

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра физических методов исследования твёрдого тела



Рабочая программа дисциплины
РЕНТГЕНОВСКИЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Цель учебного курса «Рентгеновские спектральные методы» – ознакомление студентов-физиков с возможностями применения современных спектральных методов, использующих рентгеновское излучение, для определения структуры, электронного строения и химического состава твердых тел. Особое внимание уделяется изучению особенностей технической реализации, а также физических принципов, лежащих в основе данных методов.

Конечной целью курса является формирование базовых профессиональных, а также общекультурных навыков в области применения физических методов для исследования твердого тела. Фактически в рамках данного курса студент должен получить знания, позволяющие ему не только выбрать конкретный метод исследования, но и успешно использовать его для решения поставленной перед ним научно-практической задачи. Такие специальные знания необходимые для выполнения лабораторных работ в рамках спецпрактикума, подготовки квалификационной работы бакалавра. В рамках спецкурса рассматриваются следующие методы: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, Оже-электронная спектроскопия, рентгеновская эмиссионная спектроскопия, спектроскопия рентгеновского поглощения, EXAFS, микроразноудовый анализ, рентгеновская флуоресценция.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать основы теории возникновения тормозного и характеристического рентгеновского излучения, поглощения рентгеновского излучения, фотоэмиссии электронов, рентгеновской флуоресценции; иметь представление об особенностях технической реализации и физических принципах, лежащих в основе рентгеновских спектральных методов;</p> <p>основы принципов детектирования рентгеновского излучения, а также возможности рентгеновской эмиссионной спектроскопии, микроразноудового анализа, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии рентгеновского поглощения.</p> <p>Уметь производить получение спектров рентгеновской эмиссионной спектроскопии, микроразноудового анализа, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии рентгеновского поглощения; производить обработку и интерпретацию полученных данных.</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		Владеть навыками работы на современном рентгеновском спектрометре; использованием современных программных комплексов для обработки спектральных данных.

Учебный курс «Рентгеновские спектральные методы» читается классическим способом – проводятся лекции и практические занятия с постановкой промежуточных вопросов. При подаче материала лекционного курса используется мультимедийная техника. На экран выводятся определения, основные понятия, а также графические иллюстрации, помогающие наглядно подать материал. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Обсуждаются способы решения поставленных задач, оптимальность предложенных решений. Поощряется элемент соревновательности. Существенным элементом образовательных технологий является не только умение студента найти решение задачи, но и способность доходчиво донести его до всей аудитории. Умение ответить на вопросы сокурсников и преподавателя развивает навыки, которые будут необходимы в дальнейшей профессиональной деятельности студента. На контрольные вопросы студенты отвечают, как у доски, так и письменно. Каждому студенту предлагается свой вариант.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в передовых отечественных и международных научных центрах. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в Институтах, в которых студенты проходят научную практику. Обучающиеся готовят и представляют на занятиях сообщения в виде компьютерной презентации.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Курс «Рентгеновские спектральные методы» является одной из профессиональных дисциплин по выбору по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Общая и фундаментальная физика. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по электродинамике, кристаллографии, квантовой механике, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, численные методы решения систем линейных уравнений и др.). Он должен предшествовать прохождению производственной практики и выполнению квалификационной работы бакалавра, т.к. дает необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения исследований, связанных с определением химического и фазового состава твердого тела.

В результате изучения курса студенты физического факультета НГУ должны усвоить теоретические основы методов рентгеновского спектрального анализа, изучить принципы и возможности микронного анализа, рентгеновской эмиссионной спектроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии рентгеновского поглощения. Студенты также должны усвоить методические основы проведения спектроскопических экспериментов, возможности современного экспериментального оборудования, в том числе методы детектирования рентгеновского излучения, а также устройство и принцип действия источников синхротронного излучения. Кроме того, у студентов должно сформироваться умение применять рентгеновские спектральные методы для решения научно-практических задач; умение использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области физики; умение приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: сообщения на занятиях, контрольные вопросы;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
 - практические занятия – 16 часов;
 - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
 - промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.
- Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		
				Лекции	Практические занятия	

1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Рентгеновские методы в современной науке	1	3	1	1	1	
2.	Принципы генерации рентгеновского излучения	2	3	1	1	1	
3.	Генерация синхротронного излучения	3	3	1	1	1	
4.	Рентгеновские лазеры и принцип рекуперации энергии	4	3	1	1	1	
5.	Газовые детекторы рентгеновского излучения	5	3	1	1	1	
6.	Твердотельные детекторы рентгеновского излучения	6	3	1	1	1	
7.	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия: Основы метода	7	3	1	1	1	
8.	РФЭС: связь с квантовой химией	8	3	1	1	1	
9.	РФЭС: обработка и интерпретация спектров	9	3	1	1	1	
10.	Основы рентгеновской эмиссионной спектроскопии	10	3	1	1	1	
11.	Рентгеновская эмиссионная спектроскопия: обработка и интерпретация спектров	11	4	1	1	2	
12.	Рентгеновское поглощение, ближняя и дальняя структура спектров поглощения (XANES и EXAFS)	12	3	1	1	1	
13.	Обработка и интерпретация XANES-спектров	13	3	1	1	1	
14.	Обработка и интерпретация EXAFS-спектров	14	3	1	1	1	
15.	Теория рентгеновской флуоресценции	15	3	1	1	1	
16.	Микрозондовый анализ	16	4	1	1	2	
17.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
18.	Консультации перед экзаменом		2				2
19.	Экзамен		2				2
Всего			72	16	16	18	22

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

1. **Рентгеновские методы в современной науке.** Методы определения химического состава твердых тел. Структурные методы. Особенности применения методов в микроэлектронике, неорганической химии и катализе. (1 час)
2. **Принципы генерации рентгеновского излучения.** Основы теории возникновения тормозного и характеристического рентгеновского излучения. Конструкция рентгеновских трубок. Зависимость интенсивности излучения от напряжения на трубке. Закон Мозли. Система обозначений рентгеновских переходов. (1 час)
3. **Генерация синхротронного излучения.** Принцип действия и конструкция синхротронов 1, 2, 3 и 4 поколений (линейные ускоритель, накопительное кольцо, поворотный магнит, ондулятор, виглер). (1 час)
4. **Рентгеновские лазеры и принцип рекуперации энергии.** Устройство и основные параметры лазера на свободных электронах. (1 час)
5. **Газовые детекторы рентгеновского излучения.** Точечные, линейные, 2-х и 3-х координатные детекторы. (1 час)
6. **Твердотельные детекторы рентгеновского излучения.** Спектральное, пространственное и амплитудное разрешение. (1 час)
7. **Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.** Основы метода РФЭС. Вакуумная часть фотоэлектронных спектрометров. Рентгеновские монохроматоры и детекторы электронов. Калибровка спектрометров. Эффект зарядки образцов. Глубина анализа. (1 час)

8. **РФЭС: связь с квантовой химией.** Классификация термов. Многоэлектронные процессы. Спин-орбитальное и мультиплетное расщепление. Применимость приближения «замороженных» орбиталей. Теорема Кумпанса. Метод УФЭС. Пики плазмонных потерь. Определение ширины запрещенной зоны. (1 час)
9. **РФЭС: обработка и интерпретация спектров.** Химсдвиг и зарядовое состояние элементов. Рентгеновские сателлиты. Количественный анализ. Природа Оже-линий в РФЭС спектрах, понятие Оже-параметра, эффект релаксации. Система обозначения Оже-переходов. (1 час)
10. **Основы рентгеновской эмиссионной спектроскопии.** Конструкция спектрометров. Система обозначений рентгеновских переходов. Дипольные правила отбора. Ширина линий. (1 час)
11. **Рентгеновская эмиссионная спектроскопия: обработка и интерпретация спектров.** (1 час)
12. **Рентгеновское поглощение, ближняя и дальняя структура спектров поглощения.** Теория поглощения рентгеновского излучения. Понятие края поглощения. Тонкая структура спектров рентгеновского поглощения. (1 час)
13. **Обработка и интерпретация XANES-спектров.** Правила отбора. Возможности метода. Взаимосвязь спектров XANES и эмиссионных спектров. (1 час)
14. **Обработка и интерпретация EXAFS-спектров.** Методика извлечения структурной информации, точность определения координационных чисел и межатомных расстояний. Ближний и дальний порядок. (1 час)
15. **Теория рентгеновской флуоресценции.** Рентгеновские методы химического анализа. Получение количественно информации. (1 час)
16. **Микрозондовый анализ.** Пространственное и спектральное разрешение. Особенности применения микрозондового анализа в катализе и в микроэлектронике. (1 час)

Программа практических занятий (16 часов)

Занятие 1. Практическая работа на рентгеновском фотоэлектронном спектрометре: пробоподготовка, загрузка образца, запись рентгеновских фотоэлектронных спектров. (2 часа)

Занятие 2. Первичная обработка рентгеновских фотоэлектронных спектров, учет эффекта зарядки образцов. (1 час)

Занятие 3. Обработка РФЭС спектров, вычитание фона, разложение спектров на индивидуальные составляющие. (2 часа)

Занятие 4. Обработка РФЭС спектров, определение Оже-параметра. (1 час)

Занятие 5. Обработка РФЭС спектров, количественный анализ. (2 часа)

Занятие 6. Первичная обработка XANES спектров, аппроксимация спектров в виде линейной комбинации спектров реперных соединений. (2 часа)

Занятие 7. Первичная обработка EXAFS спектров, нормировка и определение E_0 . (2 часа)

Занятие 8. Моделирование EXAFS спектров. (4 часа)

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6

5. Перечень учебной литературы.

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: учеб. Пособие для вузов. В 10 т. Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория). – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 800 с.
2. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. – М.: Физматлит, 2007. – 672 с., ISBN 978-5-9221-0805-8 (6 экз.)
3. Мазалов Л.Н. Рентгеновские спектры и химическая связь. Новосибирск: Наука, 1982.(3 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

4. Мазалов Л.Н. Рентгеновские спектры и химическая связь. Новосибирск: Наука, 1982.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем заслушивания сообщений на практических занятиях.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области рентгенографии в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основы теории возникновения тормозного и характеристического рентгеновского излучения, поглощения рентгеновского излучения, фотоэмиссии электронов, рентгеновской флуоресценции; иметь представление об особенностях технической реализации и физиче-	Заслушивание сообщений, экзамен.

	ских принципах, лежащих в основе рентгеновских спектральных методов; основы принципов детектирования рентгеновского излучения, а также возможности рентгеновской эмиссионной спектроскопии, микронзондового анализа, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии рентгеновского поглощения.	
ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	Уметь производить получение спектров рентгеновской эмиссионной спектроскопии, микронзондового анализа, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии рентгеновского поглощения; производить обработку и интерпретацию полученных данных.	Заслушивание сообщений, экзамен.
ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	Владеть навыками работы на современном рентгеновском спектрометре; использованием современных программных комплексов для обработки спектральных данных.	Заслушивание сообщений, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Рентгеновские спектральные методы».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6

Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры тем сообщений на занятиях

1. Тенденции развития международных центров СИ. Синхротроны 1, 2, 3 и 4 поколений.
2. Рентгеновские лазеры и принцип рекуперации энергии.
3. Газовые датчики рентгеновского излучения.
4. Твердотельные датчики рентгеновского излучения.
5. Применение рентгеновской эмиссионной спектроскопии для исследования химического строения малых молекул.
6. Особенности применения микронзондового анализа в катализе.
7. Рентгеновские методы химического анализа.
8. Рентгеновская флуоресценция.
9. Применение метода РФЭС для анализа поверхности твердых тел.
10. РФЭС в исследовании полупроводников и изоляторов.
11. Спектроскопия рентгеновского поглощения. Современные тенденции развития.
12. Возможности и ограничения метода EXAFS.
13. Особенности применения рентгеновских спектральных методов для *insitu* исследований механизмов каталитических реакций.

Примерные вопросы на экзамен

Тема №1 «Рентгеновские методы в современной науке»

- 1.1. Современные спектральные рентгеновские методы.
- 1.2. Строение атома. Закон Мозли.
- 1.3. Система обозначений рентгеновских переходов.
- 1.4. Соотношение энергии и длины волны X-лучей.
- 1.5. Методы определения химического состава твердых тел.
- 1.6. Структурные методы.
- 1.7. Особенности применения методов в микроэлектронике, неорганической химии и катализе.

Тема №2 «Принципы генерации рентгеновского излучения»

- a. Основы теории возникновения характеристического рентгеновского излучения.
- b. Тормозное излучение, оценка минимальной длины волны.
- c. Конструкция рентгеновских трубок.
- d. Типы катодов.
- e. Мощность, яркость и старение рентгеновской трубки.
- f. Выбор напряжения рентгеновской трубки.
- g. Зависимость интенсивности излучения от напряжения на трубке.

Тема №3 «Генерация синхротронного излучения»

- 3.1. Основы теории возникновения синхротронного излучения.
- 3.2. Принцип действия и конструкция синхротрона.
- 3.3. Линейный ускоритель, накопительное кольцо, поворотный магнит, ондулятор, виглер.
- 3.4. Отличия синхротронов 1, 2, 3 и 4 поколений.

Тема №4 «Рентгеновские лазеры и принцип рекуперации энергии»

- 4.1. Рекуперация энергии.
- 4.2. Устройство и основные параметры лазера на свободных электронах.

Тема №5 «Газовые детекторы рентгеновского излучения»

- 1.1. Принцип работы газового детектора рентгеновского излучения.
- 1.2. Микростриповые детекторы.
- 1.3. Газовый усилитель.
- 1.4. Точечные, линейные, 2-х и 3-х координатные детекторы.

Тема №6 «Твердотельные детекторы рентгеновского излучения»

- 6.1. Принцип работы твердотельного детектора рентгеновского излучения.
- 6.2. Спектральное, пространственное и амплитудное разрешение.
- 6.3. Использование ПЗС матриц.

Тема №7 «Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия»

- 1.5. Основы метода РФЭС.
- 1.6. Вакуумная часть фотоэлектронных спектрометров.
- 1.7. Рентгеновские монохроматоры и детекторы электронов.
- 1.8. Калибровка спектрометров.
- 1.9. Эффект зарядки образцов.

- 1.10. Глубина анализа метода РФЭС.
- 1.11. Реализация метода РФЭС с угловым разрешением.

Тема №8 «РФЭС: связь с квантовой химией»

- 8.1. Классификация термов.
- 8.2. Многоэлектронные процессы.
- 8.3. Спин-орбитальное и мультиплетное расщепление.
- 8.4. Применимость приближения «замороженных» орбиталей. Теорема Кумпанса.
- 8.5. Метод УФЭС.
- 8.6. Пики плазмонных потерь.
- 8.7. Определение ширины запрещенной зоны.

Тема №9 «РФЭС: обработка и интерпретация спектров»

- 9.1. Химсдвиг и зарядовое состояние элементов.
- 9.2. Рентгеновские сателлиты.
- 9.3. Количественный анализ.
- 9.4. Природа Оже-линий в РФЭС спектрах, понятие Оже-параметра, эффект релаксации.
- 9.5. Система обозначения Оже-переходов.

Тема №10 «Основы рентгеновской эмиссионной спектроскопии»

- 10.1. Конструкция спектрометров.
- 10.2. Система обозначений рентгеновских переходов.
- 10.3. Дипольные правила отбора.
- 10.4. Ширина линий.

Тема №11 «Рентгеновская эмиссионная спектроскопия: обработка и интерпретация спектров»

- 11.1. Применение метода наименьших квадратов при аппроксимации спектров набором линий.
- 11.2. Использование метода МО ЛКАО при анализе эмиссионных спектров малых молекул.

Тема №12 «Рентгеновское поглощение, ближняя и дальняя структура спектров поглощения»

- 12.1. Теория поглощения рентгеновского излучения.
- 12.2. Линейный и массовый коэффициенты поглощения.
- 12.3. Понятие края поглощения.
- 12.4. Конструкция спектрометров рентгеновского поглощения.
- 12.4. Тонкая структура спектров рентгеновского поглощения.

Тема №13 «Обработка и интерпретация XANES-спектров»

- 13.1. Типы линий, наблюдаемых в спектрах XANES.
- 13.2. Правила отбора при поглощении рентгеновского излучения.
- 13.3. Возможности метода.
- 13.4. Взаимосвязь спектров XANES и эмиссионных спектров.

Тема №14 «Обработка и интерпретация EXAFS-спектров»

- 14.1. Методика извлечения структурной информации.

14.2. Точность определения координационных чисел и межатомных расстояний.

14.3. Ближний и дальний порядок.

Тема №15 «Теория рентгеновской флуоресценции»

15.1. Конструкция Рентгеновские методы химического анализа.

15.2. Получение количественно информации.

15.3. Метод трех поправок.

15.4. Применение рентгеновских спектральных методов для *in situ/perando* исследований.

Тема №16 «Микрозондовый анализ»

16.1. Конструкции приборов для микрозондового анализа.

16.2. Пространственное и спектральное разрешение.

16.3. Особенности применения микрозондового анализа в катализе и в микроэлектронике.

16.4. Перспективы их развития рентгеновских спектральных методов.

Пример экзаменационного билета

1. Понятие края рентгеновского поглощения, правила отбора, определяющие рентгеновское поглощение.

2. Получение и обработка спектров EXAFS.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Рентгеновские спектральные методы»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного