

**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
ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЁРДОГО ТЕЛА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. 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 ра- бота, не включая пе- риод сессии	Самостоятельная подготовка к проме- жуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференциро- ванный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

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

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2026

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.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	7
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.	8

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

Дисциплина «**Физические методы исследования твердого тела с использованием синхротронного излучения**» имеет своей целью дать общие представления о синхротронном излучении и тех физических методиках, которые могут быть реализованы с использованием синхротронного излучения при исследовании твердого тела, об особенностях использования этих методиках и их выборе в зависимости от исследовательской задачи.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.3. Анализирует закономерности изучаемых процессов и явлений при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать теорию генерации синхротронного излучения и его взаимодействия с твердым телом; основные методы и подходы к определению локальной атомной, электронной и магнитной структуры объектов с различной степенью дальнего; возможности экспериментальных методов, реализованных с использованием синхротронного излучения, для исследования твердого тела, о принципах действия экспериментальной аппаратуры, о погрешности определяемых величин. Уметь планировать сложные физико-химические исследования твердого тела (функциональные материалы, наноструктуры, полупроводниковые пленки, и т.д.), выбрав соответствующие решаемой задаче методы исследования. Владеть теоретическими представлениями об особенностях взаимодействия синхротронного излучения с твердым телом (рассеяние, поглощение, радиационный распад); навыками работы с системами подачи заявок на проведение исследований в российских и зарубежных центрах синхротронного излучения.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физические методы исследования твердого тела с использованием синхротронного излучения» является одной из дисциплин по выбору по направлению подготовки 03.04.02 Физика (профиль подготовки «Общая и фундаментальная физика»). Курс «Физические методы исследования твердого тела с использованием синхротронного излучения» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата.

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.

Трудоемкость дисциплины – 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 3 семестр – дифференцированный зачёт

№	Вид деятельности	Семестр
		3
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	
3	Лабораторные занятия, ч	
4	Занятия в контактной форме, ч, из них	34
5	аудиторных занятий, ч	32
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	38
10	Всего, ч	72

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

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

№ п/ п	Наименование темы и её содержание	Объем, час
1	Раздел 1. Природа синхротронного излучения Характеристическое и тормозное излучение. Система обозначения рентгеновских переходов. Синхротронное излучение: его свойства и получение. Принципиальное устройство синхротрона. Паразитическое СИ — источники СИ 1-го поколения. 1. Квантовая теория синхротронного излучения. Квантовые состояния электрона в магнитном поле. Волновая функция. Взаимодействие электрона с полем излучения. Квантовые закономерности в интенсивности	6

	СИ. Экспериментальное исследование влияния СИ на движение электронов в циклическом ускорителе. 2. Характеристики источников СИ. Критическая энергия спектра синхротронного излучения. Характеристики интенсивности фотонного излучения. Спектрально-угловое распределение мощности. Эмиттанс. Формула Шотта. Особенности углового распределения мощности.	
2	Раздел 2. Теория взаимодействия рентгеновского излучения с веществом 3. Поглощение рентгеновского излучения. Типы взаимодействия. Каналы распада. Фотоэлектрон. Флуоресценция. 4. Отражение и рассеяние рентгеновского излучения. Рассеяние рентгеновских лучей электроном. Комптоновское рассеяние. Томпсоновское рассеяние. Связанный электрон. Рассеяние на атоме. Преломление и отражение Дифракция.	4
3	Раздел 3. Спектральные методы (РФЭС, XANES/EXAFS, эмиссионная спектроскопия) 5. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Количественный анализ. Глубина анализа. Послойный анализ. Химсдвиг. Теорема Купманса. Эффект релаксации. Система обозначений и анализ Оже-спектров. Понятие Оже-параметра. Система обозначения линий. Форма линий. Спин-орбитальное расщепление. Калибровка спектрометра. Положение линий относительно уровня Ферми спектрометра. Методы учета эффекта зарядки образцов. 6. Спектроскопия рентгеновского поглощения – XANES. Понятие края рентгеновского поглощения. Тонкая структура спектров рентгеновского поглощения. Метод XANES. Правила отбора. Получение, обработка и интерпретация спектров. 7. Спектроскопия рентгеновского поглощения – EXAFS. Поглощение рентгеновского излучения. Тонкая структура спектров рентгеновского поглощения. Метод EXAFS. Возможности и ограничения метода EXAFS. Получение и обработка спектров. Точность определения координационных чисел и межатомных расстояний. 8. Рентгеновская эмиссионная спектроскопия. Применение рентгеновской эмиссионной спектроскопии для исследования химического строения малых молекул и твердых тел. Система обозначений рентгеновских переходов. Получение, обработка и интерпретация спектров. Правила отбора.	8
4	Раздел 4. Дифракция рентгеновского излучения 9. Кинематическая дифракция. Кинематическая дифракция: рассеяние на атоме, молекуле, жидкости. Функция парных корреляций. Малоугловое рассеяние. 10. Монокристалльная и порошковая дифракция. Трансляционная симметрия. Решетки Бравэ. Обратная решетка. Условие Лауэ. Построе-	4

	ние Эвальда. Структурный фактор элементарной ячейки. Систематические погасания для центрированных ячеек. Задача структурного анализа.	
5	Раздел 5. Методики, использующие когерентность излучения (фазоконтрастная томография, фотон-корреляционная спектроскопия) 11. Рентгеновская визуализация. Абсорбционный контраст (радиография). Преобразование Радона и компьютерная томография. Пропагатор рентгеновской волны. Фазовый контраст. Рефракционно-контрастная визуализация. Интерферометр Тальбо. Когерентная дифракционная визуализация. 12. Рентгеновская фотон-корреляционная спектроскопия. Спеклы при рассеянии когерентной волны. Спеклы в оптическом и рентгеновском диапазонах. Понятие когерентности, видимость и опыт Юнга. Связь яркости источника и когерентности. Рентгеновская фотон-корреляционная спектроскопия – метод исследования динамики в конденсированных средах. Количество когерентных мод и контрастность картины спеклов. Требования к оснащению экспериментальной станции. Примеры: броуновское движение, флуктуации антиферромагнитных доменов, нестационарная динамика в металлических стеклах.	4
6	Раздел 6. Применение физических методов в режиме in situ/operando 1. Особенности проведения in situ/operando исследований в условиях вакуума. Система дифференциальной откачки. Система напуска газа и контроля давления и температуры. 2. Особенности проведения in situ/operando исследований в условиях повышенных давлений. Пресс Париж-Эдинбург. Криогенные исследования.	4
7	Раздел 7. Современные центры синхротронного излучения 3. Современные центры синхротронного излучения: возможности, проведение исследований. Европейский центр синхротронного излучения (ESRF). ЦКП «СКИФ». Особенности подачи заявок на проведение исследований.	2

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение методических материалов при подготовке к лабораторным работам, кроме тематических	24
Подготовка к тематическим лабораторным работам, оформление результатов в виде отчета	12
Подготовка к дифференцированному зачёту	2

5. Перечень учебной литературы.

1. Тернов И.М., Михайлин В.В. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. Москва, Энергоатомиздат. 1986. – 296 с.(1 экз.)
2. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. Москва, Физматлит, 2007. – 672 с., ISBN 978-5-9221-0805-8 (6 экз.)
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: учеб. Пособие для вузов. В 10 т. Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория). Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 800 с.
4. Рентгеновские спектры молекул : отв. ред. А.В. Николаев ; Акад наук СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т неорган. химии / [Л.Н. Мазалов, В.Д. Юматов, В.В. Мурахтанов и др.] Новосибирск : Наука, 1977, 329, [5] с. : ил., табл. ; 20 см. (2 экз.)
5. Мазалов Л.Н. Рентгеновские спектры и химические связи. Новосибирск, Наука. Сибирское отделение, 1992.(3 экз.)
6. Порай-Кошиц М. А. Основы структурного анализа химических соединений: [учеб. пособие для хим. спец. ун-тов] / М. А. Порай-Кошиц. М.: Высшая школа, 1989, 191 с. ISBN 5-06-000074-5.(2 экз.)

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Philip Wilmott. An Introduction to Synchrotron Radiation. Techniques and Applications. Wiley. 2019
2. Herman Winick. Synchrotron radiation sources: A primer. World Scientific, 1995.
3. X-ray data booklet. (Second edition). A.C. Thompson and D. Vaughan editors. LBNL University of California: CXRO&ALS. 2001. 457p. Доступно в интернете: <http://xdb.lbl.gov/xdb.pdf>.

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.
- «Российская национальная платформа открытого образования» (<http://openedu.ru/>),

Coursera (www.coursera.org), edX (www.edx.org);

- Веб-страницы ведущих международных центров СИ.

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.

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, 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 заслушивания ответов студентов на вопросы по материалам предыдущих лекций (5-10 минут в начале каждой лекции).

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 использования методов на основе синхротронного излучения в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачёте. Он проводится в конце семестра по билетам в устной форме или в форме предоставления реферата по заранее выбранной тематике. 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

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК-1	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.3. Анализирует закономерности изучаемых процессов и явлений при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать теорию генерации синхротронного излучения и его взаимодействия с твердым телом; основные методы и подходы к определению локальной атомной, электронной и магнитной структуры объектов с различной степенью дальнего; возможности экспериментальных методов, реализованных с использованием синхротронного излучения, для исследования твердого тела, о принципах действия экспериментальной аппаратуры, о погрешности определяемых величин. Уметь планировать сложные физико-химические исследования твердого тела (функциональные материалы, наноструктуры, полупроводниковые пленки, и т.д.), выбрав соответствующие решаемой задаче методы исследования. Владеть теоретическими представлениями об особенностях взаимодействия синхротронного излучения с твердым телом (рассеяние, поглощение, радиационный распад); навыками работы с системами подачи заявок на проведение исследований в российских и зарубежных центрах синхротронного излучения.	Устный опрос, дифференцированный зачёт

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Устный опрос:</u> – ответ наполнен теоретическим и фактическим материалом, подкрепленными ссылками на научную литературу и источники, – полнота понимания и изложения причинно-следственных связей, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – ответ дан полностью. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы. В ответе обучающийся мог допустить не принципиальные неточности. <u>Дифференцированный зачёт:</u> – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	Отлично
<u>Устный опрос:</u> – ответ наполнен теоретическим и фактическим материалом, подкрепленными ссылками на научную литературу и источники, – неполнота реализации выбранных методов, – полнота понимания и изложения причинно-следственных связей, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – ответ дан полностью. Отвечает на дополнительные вопросы. В ответе обучающийся мог допустить не принципиальные неточности. <u>Дифференцированный зачёт:</u> – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в объяснении отдельных процессов и явления, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	Хорошо
<u>Устный опрос:</u> – теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплен ссылками на научную литературу и источники, – частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей,	Удовлетворительно

– осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – фрагментарность раскрытия темы. При ответах на вопросы допускает ошибки. <u>Дифференцированный зачёт:</u> – теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплён ссылками на научную литературу и источники, – частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей, – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, в объяснении процессов и явлений, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	
<u>Устный опрос:</u> – отсутствие теоретического и фактического материала, подкреплённого ссылками на научную литературу и источники, – непонимание причинно-следственных связей, – компилятивное, неосмысленное, нелогичное и неаргументированное изложение материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – фрагментарность раскрытия темы, – неподготовленность ответа на основе предварительного изучения литературы по темам, неучастие в коллективных обсуждениях в ходе практического (семинарского) занятия. <u>Дифференцированный зачёт:</u> – фрагментарное и недостаточное представление теоретического и фактического материала, не подкреплённое ссылками на научную литературу и источники, – непонимание причинно-следственных связей, – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	<i>Неудовлетворительно</i>

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

Примеры вопросов для устного опроса:

1. История развития центров синхротронного излучения (поколения источников СИ).
2. Вставные магнитные устройства для генерирования СИ.
3. Экспериментальные станции для исследования объектов в экстремальных условиях.
4. Монохроматоры и кристалл-спектрометры - дифракционная оптика.

Вопросы на дифференцированном зачёте

1. Характеристическое и тормозное излучение. Система обозначения рентгеновских переходов. Синхротронное излучение: его свойства и получение.
2. Квантовая теория синхротронного излучения. Квантовые состояния электрона в магнитном поле. Волновая функция.
3. Взаимодействие электрона с электромагнитным полем. Квантовые закономерности в интенсивности СИ. Экспериментальное исследование влияния СИ на движение электронов в циклическом ускорителе.
4. Поглощение рентгеновского излучения. Типы взаимодействия. Каналы распада. Фотоэлектрон. Флуоресценция.
5. Отражение и рассеяние рентгеновского излучения. Рассеяние рентгеновских лучей электроном. Комптоновское рассеяние. Томпсоновское рассеяние. Связанный электрон. Рассеяние на атоме. Преломление и отражение Дифракция.
6. Применение метода РФЭС для анализа поверхности твердых тел. Количественный анализ. Глубина анализа.
7. Применение метода РФЭС. Послойный анализ. Химсдвиг. Теорема Купманса.
8. Эффект релаксации. Система обозначений и анализ Оже-спектров. Понятие Оже-параметра.
9. Основы метода РФЭС. Система обозначения линий. Форма линий. Спин-орбитальное расщепление. Калибровка спектрометра. Положение линий относительно уровня Ферми спектрометра. Методы учета эффекта зарядки образцов
10. Понятие края рентгеновского поглощения. Тонкая структура спектров рентгеновского поглощения. Метод XANES. Правила отбора.
11. Получение, обработка и интерпретация XANES спектров. Спектроскопия кругового магнитного дихроизма. Получение, обработка и интерпретация спектров
12. Поглощение рентгеновского излучения. Тонкая структура спектров рентгеновского поглощения. Метод EXAFS. Возможности и ограничения метода EXAFS. Получение и обработка EXAFS спектров. Точность определения координационных чисел и межатомных расстояний.
13. Применение рентгеновской эмиссионной спектроскопии для исследования химического строения малых молекул и твердых тел. Система обозначений рентгеновских переходов. Получение, обработка и интерпретация спектров. Правила отбора.
14. Кинематическая дифракция. Кинематическая дифракция: рассеяние на атоме, молекуле, жидкости. Функция парных корреляций. Малоугловое рассеяние.
15. Монокристаллическая и порошковая дифракция. Трансляционная симметрия. Решетки Бравэ. Обратная решетка. Условие Лауэ. Построение Эвальда. Структурный фактор элементарной ячейки. Систематические погасания для центрированных ячеек. Задача структурного анализа.
16. Рентгеновская визуализация. Абсорбционный контраст (радиография). Преобразование Радона и компьютерная томография. Пропагатор рентгеновской волны. Фазовый контраст. Рефракционно-контрастная визуализация. Интерферометр Тальбо. Когерентная дифракционная визуализация.
17. Рентгеновская фотон-корреляционная спектроскопия. Спеклы при рассеянии когерентной волны. Спеклы в оптическом и рентгеновском диапазонах. Понятие когерентности, види-

мость и опыт Юнга. Связь яркости источника и когерентности. Рентгеновская фотон-корреляционная спектроскопия – метод исследования динамики в конденсированных средах. Количество когерентных мод и контрастность картины спеклов. Требования к оснащению экспериментальной станции. Примеры: броуновское движение, флуктуации антиферромагнитных доменов, нестационарная динамика в металлических стеклах.

18. Особенности проведения *in situ/operando* исследований в условиях вакуума. Система дифференциальной откачки. Система напуска газа и контроля давления и температуры.
19. Особенности проведения *in situ/operando* исследований в условиях повышенных давлений. Пресс Париж-Эдинбург. Криогенные исследования.
20. Современные центры синхротронного излучения: возможности, проведение исследований. Европейский центр синхротронного излучения (ESRF). ЦКП «СКИФ». Особенности подачи заявок на проведение исследований.

Пример билета на дифференцированном зачёте

1. Поглощение рентгеновского излучения. Типы взаимодействия. Каналы распада.
2. Рентгеновская визуализация. Абсорбционный контраст (радиография). Преобразование Радона и компьютерная томография. Пропагатор рентгеновской волны. Фазовый контраст. Рефракционно-контрастная визуализация. Интерферометр Тальбо. Когерентная дифракционная визуализация.

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.