

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
филиала МГУ в г.Дубне
/ Э.Э. Боос /
« 14 » 09 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Синхротронные исследования конденсированных сред

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

Форма обучения: Очная форма обучения

Дубна 2022 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. кандидат физ.-мат. наук Шуленина Александра Владимировна, младший научный сотрудник физического факультета МГУ

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, академик РАН Г.В. Трубников, по совместительству заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Синхротронные исследования конденсированных сред»

Основной целью изучения дисциплины является обучение студентов основным механизмам взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Приводятся основные принципы монохроматизации рентгеновского излучения монокристаллами, а также описание детекторов для измерения характеристик излучения: энергетического, пространственного и временного спектра. Приводятся описания различных методов исследования конденсированных сред с помощью СИ (метод фотоэлектронной спектроскопии, EXAFS-спектроскопии, инфракрасной спектроскопии). Приводятся результаты использования СИ для технологических целей в области создания наноструктурированных систем.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Синхротронные исследования конденсированных сред» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре магистратуры и входит в состав профессионального блока вариативной части.

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

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
МПК-2 Способен ставить, формализовать и решать задачи в области фундаментальной и прикладной ядерной физики	ИМПК-2.4 Знает основные и перспективные направления фундаментальной и прикладной ядерной физики	Знать: основные понятия, методы и модели, используемые в синхротронных исследованиях. Уметь: математически описывать процессы взаимодействия синхротронного излучения с веществом. Владеть: дифракционным и иными методами исследования конденсированных сред.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Синхротронное излучение (СИ), основные понятия.

Введение в физику и технику СИ. Синхротронное излучение, исторический путь, место в современных исследованиях. Основные свойства СИ. Синхротронное излучение, описание основных свойств исходя из кинематических принципов частной теории относительности. Теория синхротронного излучения исходя из принципов релятивистской электродинамики. Вывод основных формул, описывающих спектрально-угловые распределения. Специализированные источники СИ, их классификация. Сравнительные характеристики источников СИ. Преимущества СИ по сравнению с другими источниками излучения.

Тема 2. Свойства ондуляторного излучения.

Генерация ондуляторного излучения. Теория ондуляторного излучения, вывод основных формул, описывающих спектрально-угловые распределения. Отличие его от синхротронного излучения. Типы встраиваемых устройств: ондуляторов, вигглеров и шифтеров.

Тема 3. Элементы установок на пучках СИ для исследования конденсированных сред.

Транспортировка и преобразование пучков СИ. Вывод пучка СИ из накопителя. Структура выводных каналов, основные принципы их построения. Основные узлы экспериментальных установок. Основные принципы построения рентгеновских монохроматоров – одно- и двухкристалльных. Энергетическое разрешение монохроматора, спектральный интервал, диаграммы Дю Монда для разных типов монохроматоров. Детекторы для регистрации рентгеновского излучения, основные типы (газонаполненные, полупроводниковые, сцинтилляционные), их основные параметры, примеры построения измерительных систем.

Тема 4. Перспективные элементы рентгеновской оптики.

Формирование пучков СИ, пространственная фокусировка в разных спектральных диапазонах. Методы монохроматизации. Дифракционные решетки, зеркала. Принципы построения монохроматоров, их основные характеристики.

Тема 5. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.

Фотопоглощение, комптоновское рассеяние, сечения взаимодействий в зависимости от энергий. Когерентное рассеяние рентгеновского излучения. Динамическая теория рассеяния рентгеновского излучения на кристаллах. Основные методы фотоэлектронной спектроскопии, области применения, экспериментальные установки, анализ экспериментальных данных из разных областей исследований.

Тема 6. Основные экспериментальные методы исследования конденсированных сред на пучках СИ.

Дифракционные методы. Метод EXAFS спектроскопии в структурных исследованиях. Механизм возникновения тонкой структуры, основные экспериментальные схемы и основные экспериментальные результаты исследований в области материаловедения, биологии, физики твердого тела. Метод инфракрасной спектроскопии, основные принципы, аппаратура, детекторы, методы исследования, основанные на рассеянии рентгеновского излучения, дифракции, малоугловом рассеянии.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	в за че тн ы х Тру дое ин мко сть ах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудо емко сть	в том числе ауд.занятий			Самост оятельн ая работа студент ов
			Общая ауди торная нагруз ка	Ле кц ий	Се ми нар ов	
Синхротронные исследования конденсированных сред	2	72	34	17	17	38

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Синхротронные исследования конденсированных сред» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ тем ы		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Са мо ст оя тель на я ра бо та	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и н а р ы	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)			
1	Синхротронное излучение (СИ), основные понятия.	8	2	2		4	опрос	
2	Основы теории рассеяния электромагнитных волн на пучках СИ для исследования конденсированных сред.	12	3	3		6	контрольная	
3	Сферически симметричные рассеиватели. Теория Ми.	12	3	3		6	контрольная	
4	Перспективные элементы рентгеновской оптики.	12	3	3		6	опрос	
5	Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.	12	3	3		6	опрос	
6	Основные экспериментальные методы исследования конденсированных сред на пучках СИ.	12	3	3		6	реферат	
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет	
ИТОГО:		72	17	17		38		

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Синхротронные исследования конденсированных сред» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Синхротронные исследования конденсированных сред» проводится в первом семестре в форме зачета в виде письменной работы.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
ЗНАТЬ: основные понятия, методы и модели, используемые в синхротронных исследованиях. ИМПК-2.4 З-1	Отсутствие знаний основных понятий, методов и моделей, используемых в синхротронных исследованиях.	В целом успешные, но не систематически знания основных понятий, методов и моделей, используемых в синхротронных исследованиях.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основных понятий, методов и моделей, используемых в синхротронных исследованиях.	Успешные и систематические знания основных понятий, методов и моделей, используемых в синхротронных исследованиях.
УМЕТЬ: математически описывать процессы взаимодействия синхротронного излучения с веществом. ИМПК-2.4 У-1	Отсутствие умения математически описывать процессы взаимодействия синхротронного излучения с веществом.	В целом успешное, но не систематическое умение математически описывать процессы взаимодействия синхротронного излучения с веществом.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение математически описывать процессы взаимодействия синхротронного излучения с веществом.	Успешное и систематическое умение математически описывать процессы взаимодействия синхротронного излучения с веществом.
ВЛАДЕТЬ: дифракционными и иными методами исследования конденсированных сред. ИМПК-2.4 В-1	Отсутствие/фрагментарное владение дифракционными и иными методами исследования конденсированных сред.	В целом успешное, но не систематическое владение дифракционными и иными методами исследования конденсированных сред.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение дифракционными и иными методами исследования конденсированных сред.	Успешное и систематическое владение дифракционными и иными методами исследования конденсированных сред.

			ных сред.	
--	--	--	-----------	--

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу:

Пример вопросов по теории:

1. Отличие ондуляторного излучения от синхротронного излучения.
2. Типы ондуляторов и вигглеров, используемые в спектроскопии твердого тела.
3. Транспортировка и преобразование пучков СИ.
4. Динамическая теория рассеяния рентгеновского излучения на кристаллах.
5. Методы исследования конденсированных сред, основанные на дифракции рентгеновских лучей.

Пример задач:

1. Какова энергия электронов в синхротроне, если максимум интенсивности энергетического спектрального распределения рентгеновских фотонов наблюдается при энергии 15 кэВ? Радиус орбиты в накопительном кольце синхротрона равен 20 м.
2. Определить максимум в энергетическом спектре рентгеновского излучения синхротрона, если электроны с энергией 4.16 ГэВ движутся в его магнитном поле по траектории с радиусом 20 м.
3. Определить толщину слоя железа ($Z=26$) и свинца ($Z=82$), ослабляющего в 100 раз интенсивность рентгеновского излучения молибдена ($\lambda_{\text{MoK}\alpha}=0,710\text{\AA}$; $\rho_{\text{Fe}}=7.86\text{г/см}^3$; $\rho_{\text{Pb}}=11.34\text{г/см}^3$).

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Зачет проводится в форме письменной работы.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету:

1. Синхротронное излучение: основные свойства, исторический путь, место в современных исследованиях.
2. Синхротронное излучение, описание основных свойств исходя из кинематических принципов частной теории относительности.
3. Теория синхротронного излучения исходя из принципов релятивистской электродинамики.
4. Вывод основных формул, описывающих спектрально-угловые распределения.
5. Генерация ондуляторного излучения.
6. Вывод основных формул, описывающих спектрально-угловые распределения.
7. Отличие ондуляторного излучения от синхротронного излучения.
8. Типы ондуляторов и вигглеров, используемые в спектроскопии твердого тела.
9. Специализированные источники СИ, их классификация.

10. Сравнительные характеристики источников СИ.
11. Транспортировка и преобразование пучков СИ.
12. Вывод пучка СИ из накопителя.
13. Структура выводных каналов, основные принципы их построения.
14. Формирование пучков СИ, пространственная фокусировка в разных спектральных диапазонах.
15. Методы монохроматизации.
16. Дифракционные решетки, зеркала.
17. Принципы построения монохроматоров, их основные характеристики.
18. Основные принципы построения экспериментальных установок на пучках СИ для исследования конденсированных сред.
19. Преимущества СИ по сравнению с другими источниками излучения.
20. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.
21. Когерентное рассеяние рентгеновского излучения.
22. Динамическая теория рассеяния рентгеновского излучения на кристаллах.
23. Основное уравнение для внутренних полей.
24. Основные принципы построения рентгеновских монохроматоров – одно- и двухкристалльных.
25. Энергетическое разрешение монохроматора, спектральный интервал.
26. Детекторы для регистрации рентгеновского излучения, основные типы (газонаполненные, полупроводниковые, сцинтилляционные), их основные параметры.
27. Примеры построения измерительных систем.
28. Основные экспериментальные методы исследования конденсированных сред на пучках СИ.
29. Основные методы фотоэлектронной спектроскопии.
30. Области применения фотоэлектронной спектроскопии, экспериментальные установки.
31. Анализ экспериментальных данных из разных областей исследований.
32. Метод EXAFS спектроскопии в структурных исследованиях.
33. Механизм возникновения тонкой структуры.
34. Метод инфракрасной спектроскопии.
35. Основные принципы инфракрасной спектроскопии, аппаратура, детекторы.
36. Методы исследования, основанные на рассеянии рентгеновского излучения.
37. Методы исследования, основанные на дифракции.
38. Основные экспериментальные схемы и основные экспериментальные результаты исследований в области материаловедения, биологии, физики твердого тела.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература

1. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение, методы исследования структуры веществ, Москва, «Физматлит», 2007
2. Тернов И.М., Михайлин В.В. «Синхротронное излучение», Москва, Энергоатомиздат, 1986.
3. Михайлин В.В. «Синхротронное излучение в спектроскопии», Москва, МГУ: Университетская книга, 2011.

Дополнительная литература

1. «Синхротронное излучение, свойства и применение» Под редакцией К. Кунца, М., Москва, «Мир», 1981.
2. BCAS – CERN Acceleration School Synchrotron radiation and free electron, CERN-2005-012, 13 NOV 2005, proceedings, editor D.Brand.
3. «Исследование по синхротронному излучению и его применениям в Московском университете» Под редакцией Михайлина В.В. Издание 3-е. Москва, изд. МГУ, 2011.
4. Зубавичус Я.В., Словохотов Ю.Л. Рентгеновское синхротронное излучение в физико-химических исследованиях. Успехи химии. Т.70, вып.5, с.429-463. 2001.
5. СвERGун Д.И., Штыкова Э.В., Волков В.В., Фейгин Л.А. Рентгеновское малоугловое рассеяние, синхротронное излучение и структура био- и наносистем. Кристаллография. Т.56, №5, с.777–804. 2011.
6. Тернов И.М. Синхротронное излучение. Успехи Физических Наук. Т.165, №4, с.429-456. 1995.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux (<https://astralinux.ru/>) или аналог, с офисным пакетом.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям
6. <http://kcsni.nrcki.ru/>
7. <http://www.esrf.eu>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.