

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 /

«01» сентября 2024 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Нейтронная оптика

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

Форма обучения: Очная форма обучения

Дубна 2024 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:

д.ф.м.н., член-корр. РАН, профессор Аксенов Виктор Лазаревич, по совместительству профессор филиала МГУ

Руководитель магистерской программы:

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

Аннотация к рабочей программе дисциплины

В лекционном курсе содержатся базовые знания о принципах нейтронной оптики: когерентных процессах рассеяния нейтронов на одномерных магнитных и немагнитных слоистых структурах, дифракции на трехмерных периодических средах и некогерентном упругом рассеянии в неупорядоченных средах. В рамках курса студенты познакомятся с принципом работы нейтронных рефлектометров на источниках нейтронов и с типом экспериментов, которые проводятся на них как в области фундаментальной, так и в прикладной области физики. Курс является обязательной Дисциплиной магистерской программы и теоретическим базисом к Научно-исследовательской практике и Научно-исследовательской работе.

Дисциплина «Нейтронная оптика» реализуется на 1 курсе в 2 семестре и является обязательной для освоения обучающимися.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Нейтронная оптика» реализуется на 1-ом курсе в 2-ом семестре магистратуры, относится к базовой части и является обязательной для освоения обучающимися.

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

Курсы математического анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений, методов математической физики, раздел оптика из курса общей физики, разделы теоретическая механика, электродинамика и квантовая механика из курса теоретической физики, а также курсы атомной физики и физики атомного ядра и частиц.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции	Результаты обучения
ПК-1	<p><u>Знать</u> разделы ядерной физики, необходимыми для решения поставленной научной задачи</p> <p><u>Уметь</u> применять экспериментальные и теоретические знания при решении поставленной научной задачи</p> <p><u>Владеть</u> экспериментальными и теоретическими методами исследования при решении научных задач в области современной ядерной физики</p>
МПК-2	<p><u>Знать</u> основные направления исследования в физике нейтронов и применения нейтронографии</p> <p><u>Уметь</u> пользоваться актуальными базами данных ядерной физики.</p> <p><u>Владеть</u> способностью анализировать данные и источники по ядерной физики и нейтронографии.</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 34 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 72 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (ак.ч.)	В том числе					Форма текущего контроля успеваемости, наименование	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы ¹						работа обучающегося, академические
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа			Всего		
			Семинары	Лабораторные занятия*	Практические занятия*			
Теоретические основы нейтронной	16	2	2			12	ОП	

¹Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

оптики. Стационарное уравнение Шредингера и алгебра полупрозрачных зеркал.								
Свойства амплитуд отражения и пропускания произвольных одномерных потенциалов. Произвольные периодические немагнитные потенциалы. Реальные потенциальные барьеры различных веществ и ультрахолодные нейтроны. Частные случаи периодических потенциалов. Потенциал Кроннига-Пенни. Брэгговский характер отражения от периодических потенциалов. Характеристики брэгговских пиков.	32	5	5				22	КР
Методы нейтронной оптики Запрещенные рефлексы в периодических системах, ферро- и антиферро- отражения. Способы построения многослойных суперзеркал и их экспериментальное исследование. Каналирование нейтронов в резонансных слоях.	28	5	5				18	КР
Приближенные и численные методы расчета амплитуд отражения и пропускания произвольными потенциальными барьерами. Теория возмущений, одномерная и трехмерная функции Грина.	28	5	5				18	ОП
Промежуточная аттестация	4						4	зачет
Итого	108		34				74	

*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

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

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Вопросы по теории:

1. Стационарное уравнение Шредингера.
2. Алгебра полупрозрачных зеркал.
3. Физический смысл длины рассеяния.
4. Псевдопотенциал Ферми.
5. Произвольные периодические немагнитные потенциалы.
6. Потенциал Кроннига-Пенни.

Задачи:

1. Получить структурный фактор решетки.
2. Получить выражение для амплитуды рассеяния.
3. Получить формулу Дебая.
4. Найти фазы рассеяния нейтронов на абсолютно твердой сфере: $V = \infty$ при $r < r_0$, $V = 0$ при $r > r_0$. (использовать уравнение для радиальной части волновой функции (в.ф.); доп. условие: на границе сферы в.ф. равна нулю).
5. Найти длину рассеяния нейтронов абсолютно твердой сферы.

Вопросов к зачету:

1. Взаимодействие нейтронов низких энергий с веществом. Псевдопотенциал Ферми.
2. Оптические аналогии в свойствах нейтронов.
3. Методы нейтронной оптики. Нейтрон-оптические устройства
4. Взаимодействие медленных нейтронов с веществом.
5. Сечение рассеяния. Корреляционные функции.
6. Когерентное и некогерентное рассеяние.
7. Магнитное рассеяние. Поляризованные нейтроны
8. Динамическая теория рассеяния.
9. Поляризация нейтронов.
10. Преломление и расщепление пучка нейтронов.
11. Расщепление пучка в магнитно-неколлинеарных средах.
12. Спиновые состояния и вектор поляризации.
13. Вектор поляризации во внешнем магнитном поле.
14. Принципы теории рассеяния при скользящем падении. Амплитуда рассеяния.
15. Борновское приближение в методе искаженных волн.
16. Сечение рассеяния поляризованных нейтронов. За рамками борновского приближения.
17. Основы нейтронной рефлектометрии. Зеркальное отражение.
18. Законы сохранения энергии и импульсы при зеркальном отражении.
19. Закон сохранения нейтронного потока. Усреднение и когерентность.
20. Глубина проникновения нейтронной волны. Формулы Френеля.
21. Формализм Паррата.
22. Отражение от пленки на подложке. Отражение от двухслойных структур. Отражение от периодических структур.

23. Иерархия вкладов сечения рассеяния при скользящем падении: зеркальное, диффузное и малоугловое рассеяние.
24. Борновское приближение искаженных волн.
25. Поляризационная нейтронная рефлектометрия. Трехмерный анализ поляризации.
26. Стоячие нейтронные волны. Усиленные стоячие нейтронные волны.
27. Методы регистрации. Стоячие волны в пленке, периодической структуре, магнитной структуре.
28. Изотопы. Чувствительная рефлектометрия.
29. Нейтронная интерферометрия.
30. Двухпучковый интерферометр. Кристальный интерферометр.
31. Когерентность и интерферометрия. Многопучковая интерферометрия.
32. Когерентная длина рассеяния. Гравитационная квантовая интерференция.
33. Интерферометрия и проблема квантовых измерений.
34. Фундаментальные симметрии Р-нечетные эффекты.
35. Двойное лучепреломление и нейтрон-оптический дихроизм.
36. Резонансный механизм усиления Р-нечетных явлений.

6.2. Шкала и критерии оценивания

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний	В целом успешные, но не систематические знания	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания	Успешные и систематические знания
Умения	Отсутствие умения применять фундаментальных и актуальных проблем.	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания	Успешное и систематическое умение применять знания
Навыки	Отсутствие/фрагментарные навыки в решении задач	В целом успешные, но не систематические навыки в решении задач	В целом успешные, но содержащее отдельные пробелы навыки в решении задач	Успешные и систематические навыки в решении задач

7. Ресурсное обеспечение

Основная литература

1. В.К.Игнатович. Нейтронная оптика. М.: Физматлит, 2006
2. И.И.Гуревич, В.П.Протасов. Нейтронная физика. М.: Энергоатомиздат, 1997.
3. В.Л. Аксенов, А.М. Балагуров. Основы нейтронографии. М.: Изд. МГУ. 2023.

Дополнительная литература

1. В.Л. Аксенов, Т.В. Тропин. Лекции по теории конденсированного состояния, М.: Физический факультет МГУ. 2020.
2. V.F. Sears. Neutron Optics. N.Y., Oxford, Oxford Univ. Press, 1989.
3. Р. Ньютон, Теория рассеяния волн и частиц, М. Мир – 1969

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
2. Программный продукт Microsoft ProjectProfessional 2013 академическая лицензия
3. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
4. Программный продукт Microsoft VisualStudioProfessional 2013 - RUS академическая лицензия.

Материально-техническое обеспечение

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

8. Язык преподавания: русский