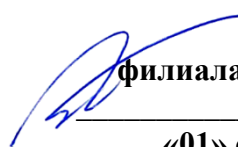


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ

УТВЕРЖДАЮ  
И.о. директора  
филиала МГУ в г.Дубне  
/ Э.Э. Боос /  
«01» сентября 2024 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

Методика малоуглового рассеяния

---

**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:**

1. доктор физ.-мат. наук, Авдеев Михаил Васильевич, по совместительству профессор 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**

Целью курса является изучение студентами практических и теоретических основ метода малоуглового рассеяния и техники проведения нейтронных экспериментов в области исследования конденсированного состояния. В ходе данного курса студент должен получить представление об основных экспериментальных подходах метода малоуглового рассеяния в решении задач по структуре и динамике конденсированного состояния вещества, ознакомиться с основными методами исследования с помощью нейтронного малоуглового рассеяния, получить информацию об основных компонентах приборно-методологической базы нейтронного эксперимента, с основным упором на современное состояние дел в этой области.

### 1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Малоугловое рассеяние нейтронов» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре и входит в состав вариативной части, является дисциплиной по выбору.

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

Курсы математического анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений, методов математической физики, разделы оптика и атомная физика из курса общей физики, электродинамика, термодинамика и статистическая физика, квантовая механика из курса теоретической физики, физика атомного ядра и частиц, молекулярная физика в объеме классических университетских курсов.

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

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

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-3	<p><u>Знать</u> основные численно-математические методы, применяемые в методике малоуглового рассеяния</p> <p><u>Уметь</u> применять математические методы при решении поставленных научных задач в методике малоуглового рассеяния</p> <p><u>Владеть</u> современными численно-математическими методами при решении задач профессиональной деятельности в методике малоуглового рассеяния</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 34 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 38 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

№ темы		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Семинары	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)	Самостоятельная работа	
1	Введение в малоугловую дифракцию	16	4	4		8	Оп
2	Инварианты рассеяния	16	4	4		8	КР
3	Системы с коррелирующими неоднородностями	16	4	4		8	КР
4	Сложные и магнитные системы	18	5	5		8	Оп
	Промежуточная аттестация	<b>6</b>				<b>6</b>	экзамен
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>17</b>	<b>17</b>		<b>38</b>	

## 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. Понятия контраста и малоуглового рассеяния. Плотность распределения длины рассеяния.
2. Форм-фактор рассеяния. Рассеяние на частицах с высокой анизотропией формы. Анализ сложных форм.
3. Асимптотики кривой малоуглового рассеяния. Приближения Гинье и Порода.
4. Структурный фактор рассеяния. Корреляционные функции и потенциал взаимодействия. Флуктуации плотности и многоуровневые системы.
5. Вариация контраста в многокомпонентных сложных системах. Метод базисных функций.
6. Магнитное рассеяние нейтронов на атомах. Магнитное малоугловое рассеяние с использованием поляризованных нейтронов.

### Задачи:

1. Получить формулу для расчета форм-фактора сферической оболочки с внешним и внутренним радиусами  $R_1, R_2$ , соответственно.
2. Получить 2D форм-фактор рассеяния  $N$  шаров радиусом  $R$ , объединенных в жесткую линейную цепочку (ориентация в плоскости рассеяния).
3. Получить радиус инерции димера из шаров с одинаковыми радиусами  $R$  и разными радиусами  $R_1, R_2$ . Воспользоваться теоремой Штейнера по определению радиуса инерции в механике для составных тел.
4. Получить вириальное разложение структурного фактора для раствора твердых шаров.
5. Получить формулу для сечение рассеяния для концентрированного раствора шаров с бимодальным распределением по размерам (радиусы частиц:  $R_1, R_2$ ; соответствующие доли частиц:  $v_1, v_2$ ;  $v_1 + v_2 = 1$ ).

### Вопросы к экзамену:

1. Ближний порядок. Функция радиального распределения.
2. Рассеяние на ансамбле неоднородностей. Контраст. Формула Дебая.
3. Установка по малоугловому рассеянию нейтронов. Основные элементы. Разрешение.
4. Длина ядерного рассеяния нейтронов. Плотность распределения длины рассеяния.
5. Форм-фактор рассеяния. Рассеяние на частицах с высокой анизотропией формы. Полидисперсные частицы.
6. Анализ сложных форм. Субчастичное моделирование. Метод шариков. Метод кубиков.
7. Анализ сложных форм. Метод сферических гармоник. Ab initio моделирование.
8. Асимптотика малых векторов рассеяния. Приближение Гинье.
9. Асимптотика больших векторов рассеяния. Приближение Порода. Фрактальные поверхности.
10. Косвенное преобразование Фурье. Характеристическая функция формы. Функция распределение парных расстояний.
11. Структурный фактор рассеяния. Корреляционные функции и потенциал взаимодействия. Вириальное разложение.
12. Рассеяние на системе полидисперсных взаимодействующих частиц. Приближение развязки. Мицеллярные растворы поверхностно-активных веществ.
13. Безчастичные системы. Флуктуации плотности. Флуктуации в критических точках. Уравнение Орнштейна-Цернике. Критические индексы.
14. Полимеры. Гауссов клубок. Формула Дебая.
15. Полимеры. Показатели скейлинга в растворах полимеров. Гели.
16. Многоуровневые системы. Фрактальные кластеры. Эффекты обрыва в малоугловом рассеянии.
17. Системы многокомпонентных и/или магнитных нанобъектов Моделирование комплексных частиц.
18. Вариация контраста: монодисперсные немагнитные наночастицы. Метод базисных функций.
19. Вариация контраста: полидисперсные и магнитные наночастицы.
20. Магнитное рассеяние нейтронов на атомах. Поляризованные нейтроны.
21. Магнитное малоугловое рассеяние с поляризованными нейтронами.

## **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 знания 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.Л.Аксенов, А.М.Балагуров. Основы нейтронографии. М.: МГУ, 2023
2. Д. И. Свргун, Л. А. Фейгин. “Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние”. Москва, “Наука”, 1986, 279с.

### Дополнительная литература

1. И.Сердюк, Н.Заккаи, Дж.Заккаи. Методы в молекулярной биофизике в 2 т., М.: KDU, 2009.
2. В.И. Иверонова, Г.П. Ревкевич, Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: МГУ, 1978.
3. Л Brumberger H Ed. Modern aspects of small-angle scattering. (Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht, 1995).
4. O. Glatter, O. Kratky. “Small-Angle X-ray Scattering”. Academic Press Inc. (London) Ltd, 1982, 515p.

5. Guinier and G. Fournet. "Small-Angle Scattering of X-Rays". John Wiley & Sons, Inc. (New York), Charman & Hall, Ltd. (London), 1955, 268p.
6. А.Ф. Скрышевский. Структурный анализ жидкостей и аморфных тел. М., Высшая школа, 1980, 328с.
7. И.И.Гуревич, Л.В.Протасов. Физика нейтронов низких энергий. М.: Наука, 1965.
8. М.В.Авдеев, В.Л.Аксенов. Малоугловое рассеяние нейтронов в структурных исследованиях магнитных жидкостей. УФН, т. 180, № 1, с.109 (2010).
9. Pedersen J. S. Analysis of small-angle scattering data from colloids and polymer solutions: modeling and least-squares fitting Adv. Coll. Inter. Sci. 70 171 (1997)
10. Vekas L, Avdeev M V, Bica D, Magnetic Nanofluids: Synthesis and Structure, in: Nanoscience and Its Applications in Biomedicine 25 (Ed. Shi D, Springer Verlag, 2009)
11. Дж. Каули. "Физика дифракции". Москва, "Мир", 1979, 432 с.
12. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. М.: Физматлит, 2007.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Java 8 (64-bit) Oracle Corporation
2. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
3. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
4. Программный продукт Microsoft ProjectProfessional 2013 академическая лицензия
5. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
6. Программный продукт Microsoft VisualStudioProfessional 2013 - RUS [Русский(Россия)] академическая лицензия

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

Материально-техническое обеспечение:

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки 03.04.02 «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

**8. Язык преподавания:** русский (дисциплина может быть реализована на английском языке).