

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:

Современные проблемы физики (Современная нейтронография)

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 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Разработчик программы:

Авдеев Михаил Васильевич, доктор физ.-мат. наук, по совместительству профессор физического факультета МГУ

Руководитель магистерской программы:

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

Аннотация к рабочей программе дисциплины

В курсе содержится современная информация по использованию рассеяния нейтронов (нейтронографии) в исследованиях строения конденсированного вещества. В рамках курса студенты познакомятся со свойствами и законами рассеяния нейтронов, возможностями, которые предоставляют нейтроны для изучения традиционных материалов и наноструктур, основными современными методиками нейтронографических исследований, интернет-ресурсами для нейтронографии, а также организацией нейтронных исследований в мире.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина реализуется на 1-ом курсе во 1-ом семестре магистратуры и входит в состав модуля «Современное естествознание», является обязательной дисциплиной.

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:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
ОПК-3	<p><u>Знать</u> достижения современной ядерной физики в разрезе междисциплинарного научного развития</p> <p><u>Уметь</u> применять современные достижения естествознания при анализе и постановке научных задач</p> <p><u>Владеть</u> методами анализа и синтеза современных научных междисциплинарных результатов при проведении профильных научных исследований</p>

ОПК-5	<p><u>Знать</u> тенденции и перспективы развития современной ядерной физики, а также смежных областей науки и техники</p> <p><u>Уметь</u> использовать передовой отечественный и зарубежный опыт в области современной ядерной физики при постановке научной задачи</p> <p><u>Владеть</u> навыками научно-инновационного прогнозирования при решении исследовательских задач в области современной ядерной физики.</p>
МПК-1	<p><u>Знать</u> основные разделы и направления в области фундаментальной и прикладной ядерной физики.</p> <p><u>Уметь</u> структурировать явления фундаментальной и прикладной ядерной физики, создавать или подбирать физическую модель для их описания.</p> <p><u>Владеть</u> методами оценки границы применимости физических моделей, определять их недостатки и несоответствия.</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **2** з.е., в том числе: **36** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, **36** 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

Изучение курса 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.

№ 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	Тема 1. Экспериментальные аспекты рассеяния тепловых и холодных нейтронов.	16	4	4		8	Оп
2	Тема 2. Методы на основе упругого рассеяния нейтронов	18	5	5		8	КР
3	Тема 3. Методы на основе неупругого рассеяния нейтронов	18	5	5		8	КР
4	Тема 4. Поляризованные нейтроны. Методы на основе прецессии спина нейтрона.	16	4	4		8	Оп
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет
ИТОГО:		72	18	18		36	

6

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

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Вопросы по теории:

1. Взаимодействие тепловых нейтронов с веществом. Сечения рассеяния и поглощения.
2. Упругое рассеяние тепловых нейтронов. Длина рассеяния. Когерентное и некогерентное рассеяние.
3. Стационарные и импульсные источники нейтронов.
4. Детекторы тепловых и холодных нейтронов.
5. Дифракция нейтронов.
6. Малоугловое рассеяние нейтронов.
7. Нейтронная рефлектометрия.
8. Закон рассеяния.
9. Неупругое когерентное рассеяние нейтронов.
10. Неупругое некогерентное рассеяние нейтронов.
11. Квазиупругое рассеяние нейтронов.
12. Поляризованные нейтроны.
13. Нейтронное спин-эхо при неупругом рассеянии.
14. Спин-эхо малоугловое рассеяние нейтронов.

Задачи:

1. Получить выражение для функции распределения по длинам волн тепловых нейтронов в замедлителе с температурой T . Получить выражения для средней длины волны и наиболее вероятной длины волны.
2. Оценить, сколько нейтронов производится в единицу времени в ядерном реакторе мощностью 20 МВт.
3. Оценить полное сечение упругого рассеяния для легкой и тяжелой воды.
4. Определить сечения когерентного и некогерентного рассеяния тепловых нейтронов на неподвижном атоме водорода.
5. Определить сечения когерентного и некогерентного рассеяния тепловых нейтронов на атоме никеля из природной смеси.
6. Определить магнитную длину рассеяния нейтронов на атомных состояниях Fe^{3+} (${}^6\text{S}_{5/2}$), Fe^{2+} (${}^5\text{D}_4$), Co (${}^4\text{F}_{9/2}$), Ni (${}^3\text{F}_4$).
7. Получить структурный фактор в дифракции на кристалле NaCl , элементарная ячейка ГЦК, $a = 5.6 \text{ \AA}$
8. Рассчитать плотности длины рассеяния (когерентное рассеяние) тепловых нейтронов для природных Si , Ni , Ti и D_2O (тяжелая вода). Длины когерентного рассеяния тепловых нейтронов, $b, \times 10^{-12} \text{ см}$: 0.42 (Si); 1.03 (Ni); -0.34 (Ti); 0.667 (D); 0.58 (O).
9. В малоугловом рассеянии получить формулу для расчета форм-фактора сферической оболочки с внешним и внутренним радиусами R_1 , R_2 , соответственно. Получить формулу для расчета радиуса инерции такой сферической оболочки.
10. Используя законы геометрической оптики для зеркального отражения от плоской поверхности полубесконечной однородной среды получить формулу Френеля.

Вопросы к зачету:

1. Взаимодействие тепловых нейтронов с веществом. Сечения рассеяния и поглощения. Упругое рассеяние тепловых нейтронов.

2. Длина рассеяния. Когерентное и некогерентное рассеяние. Типы некогерентности.
3. Магнитное рассеяние.
4. Источники нейтронов на основе ядерных реакций.
5. Источники нейтронов на основе реакций деления.
6. Источники нейтронов на основе ускорителей частиц. Реакция синтеза и испарительная реакция. Метод времени пролета.
7. Формирование нейтронных пучков. Коллимация пучка нейтронов. Нейтронводы. Фильтры и монохроматоры.
8. Ядерные реакции, используемые для регистрации тепловых нейтронов.
9. Пропорциональные газовые детекторы. Сцинтилляционные детекторы. Позиционно-чувствительные детекторы.
10. Дифракция нейтронов. Сечение рассеяния на периодической структуре. Структурный фактор. Постановка эксперимента в стационарном и импульсном режимах.
11. Дифракция на жидкостях и аморфных телах. Парная корреляционная функция и структурный фактор. Формализмы Фабера-Займана и Бхатия-Торнтонна.
12. Малоугловое рассеяние нейтронов. Плотность длины рассеяния. Сечение рассеяния на флуктуациях плотности. Контраст.
13. Малоугловое рассеяние нейтронов. Кривая рассеяния. Форм-фактор и структурный фактор. Интегральные параметры кривой рассеяния. Нейтронная рефлектометрия. Показатель преломления и коэффициент отражения. Оптический потенциал.
14. Нейтронная рефлектометрия. Отражение от тонкой пленки и многослойных структур. Шероховатые поверхности. Магнитная рефлектометрия.
15. Закон рассеяния. Тепловое и спин-изотопное усреднение. Корреляционные функции Ван-Хова. Формула Ван-Хова.
16. Неупругое когерентное рассеяние нейтронов. Динамический структурный фактор.
17. Неупругое когерентное рассеяние нейтронов. Трехосный кристаллический спектрометр. Методы сканирования обратного пространства. Неупругое некогерентное рассеяние нейтронов. Обобщенная плотность фоновых состояний. Спектрометры прямой и обратной геометрии. Квазиупругое рассеяние нейтронов. Трансляционная и вращательная диффузия.
18. Поляризованные нейтроны. Получение поляризованных нейтронов. Поляризационные фильтры.
19. Прецессия спина нейтрона в однородном магнитном поле. Эффект ведущего магнитного поля. Устройства поворота спина нейтрона.
20. Спин-эхо при неупругом рассеянии.
21. Спин-эхо малоугловое рассеяние нейтронов.

6.2. Шкала и критерии оценивания

Результат	Критерии оценивания знаний, умений и навыков
-----------	--

освоения дисциплины	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ Зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний	В целом успешные, но не систематические знания	В целом успешное, 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 успешное, 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. А.В.Белушкин, Введение в методику рассеяния нейтронов, М.: МГУ, 2000
3. В.Л.Аксенов, Т.В.Тропин, Лекции по теории конденсированного состояния, М: МГУ - 2020

Дополнительная литература

1. «Рассеяние тепловых нейтронов» под ред. П.Игелстаффа, М.: Атомиздат, 1970
2. А.И.Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич, Основы экспериментальных методов ядерной физики М.: Энергоатомиздат, 1985
3. «Динамические свойства твердых тел и жидкостей. Исследования методом рассеяния нейтронов», под ред. С.Лавеси и Т.Шпрингера, М: Мир, 1980.
4. Д.И.Свергун, Л.А.Фейгин, Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние, М.: Наука, 1986.
5. Ю.А.Изюмов, Н.А.Черноплеков, Нейтронная спектроскопия, М: Мир, 1979.
6. К.Уиндзор, Рассеяние нейтронов от импульсных источников, М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. П.А.Крупчицкий, Фундаментальные исследования с поляризованными медленными нейтронами, М.: Энергоатомиздат, 1985.
8. А.Ф. Скрышевский. Структурный анализ жидкостей и аморфных тел. М., Высшая школа, 1980, 328с.
9. К.Клайкнехт. Детекторы корпускулярных излучений, М: Мир, 1990.

10. Ю.В.Заневский, Многопроволочные детекторы элементарных частиц, М.: Атомиздат, 1982.
11. И.И.Гуревич, Л.В.Протасов. Физика нейтронов низких энергий. М.: Наука, 1965.
12. М.П.Шаскольская, Кристаллография, М.:Высшая школа, 1984.
13. Дж. Каули. “Физика дифракции”. Москва, “Мир”, 1979, 432 с.
14. Н.Ашкрофт, Н.Мермин, Физика твердого тела, М: Мир, 1979.
15. Ч.Киттель, Введение в физику твердого тела. М.:Наука, 1978.

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 продуктMicrosoft 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 обычной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

8. Язык преподавания: русский