

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:

Теория рассеяния нейтронов

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. д.ф.м.н., член-корр. РАН, профессор Аксенов Виктор Лазаревич, почасовик 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 «Теория рассеяния нейтронов»

Целью дисциплины является изучение студентами теоретических основ использования рассеяния нейтронов для изучения конденсированного состояния вещества, в частности формализм временных корреляционных функций. Рассматривается ядерное рассеяние в конденсированном веществе, элементарная теория рассеяния нейтронов низких энергий, нейтронно-оптические явления.

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 «Теория рассеяния нейтронов» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре и на 2-ом курсе в 3-ем 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-2.3 Умеет анализировать литературные источники по теме фундаментальной и прикладной ядерной физики и нейтронографии	Знать: основные направления исследования в физике нейтронов и применения нейтронографии Уметь: пользоваться актуальными базами данных ядерной физики. Владеть: способностью анализировать данные и источники по ядерной физики, нейтронографии, в том числе на предмет их адекватности, соответствия иным базам данных.
МПК-1 Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области фундаментальной и прикладной ядерной физики на основе фундаментальных знаний	ИМПК-1.3 Умеет выполнять следующие операции в рамках решения задач профессиональной деятельности: модельные расчеты свойств атомных ядер и сечений ядерных реакций, моделирование экспериментальных установок, проведение измерений и анализ экспериментальных данных	Знать: задачи теории рассеяния и методы их решения в применении к физике нейтронов. Уметь: качественно и количественно описывать процессы рассеяния частиц и кластеров частиц. Владеть: математическим аппаратом и знанием квантовой механики и иных разделов, необходимых для успешного решения задач теории рассеяния.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Элементарная теория рассеяния нейтронов низких энергий.

Упругое рассеяние на потенциале. Длина рассеяния. Псевдопотенциал Ферми. Основные формулы рассеяния. Эффекты некогерентности.

Тема 2. Нейтронно-оптические явления.

Оптический потенциал. Рассеяние при скользющем падении. Дифракция в трехмерных периодических потенциалах. Малоугловое рассеяние нейтронов.

Тема 3. Формализм временных корреляционных функций.

Формула Ван Хофа. Функция рассеяния. Сечение рассеяния. Корреляционные функции.

Тема 4. Ядерное рассеяние в конденсированном веществе.

Рассеяние нейтронов в кристаллической решетке. Коллективные возбуждения при структурном фазовом переходе. Простые классические жидкости. Квантовая бозе-жидкость. Молекулярные твердые тела.

Тема 5. Магнитное взаимодействие нейтронов с веществом.

Виды магнитного взаимодействия. Магнитный атомный фактор. Амплитуда магнитного рассеяния. Интерференция магнитного и ядерного рассеяния.

Тема 6. Рассеяние неполяризованных нейтронов в магнитных материалах.

Магнитные структуры. Базовые модели магнетизма. Сечение магнитного рассеяния нейтронов. Рассеяние нейтронов в сильно коррелированных электронных системах.

Тема 7. Поляризация нейтронов.

Спиновые состояния и вектор поляризации. Ларморова прецессия вектора поляризации. Преломление и расщепление пучка нейтронов в магнитных средах. Деполяризация нейтронного пучка.

Тема 8. Рассеяние поляризованных нейтронов в конденсированном веществе.

Принципы рефлектометрии поляризованных нейтронов. Стоячие нейтронные волны при полном отражении. Неупругое и упругое рассеяние поляризованных нейтронов. Малоугловое рассеяние поляризованных нейтронов.

7. **Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	

						я	
Теория рассеяния нейтронов	4	144	70	35	35		74

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

Изучение курса «Теория рассеяния нейтронов» 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 те ль 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- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)			
1	Элементарная теория рассеяния нейтронов низких энергий	16	4	4		8	опрос	
2	Нейтронно-оптические явления	16	4	4		8	контрольная	
3	Формализм временных корреляционных функций	16	4	4		8	контрольная	
4	Ядерное рассеяние в конденсированном веществе	20	5	5		10	опрос	
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет	
5	Магнитное взаимодействие нейтронов с веществом	16	4	4		8	опрос	

6	Рассеяние неполяризованных нейтронов в магнитных материалах	16	4	4		8	контрольная
7	Поляризация нейтронов	16	4	4		8	контрольная
8	Рассеяние поляризованных нейтронов в конденсированном веществе	20	6	6		8	опрос
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет
ИТОГО:		144	3 5	3 5		74	

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

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Теория рассеяния нейтронов» 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 «Теория рассеяния нейтронов» проводится в форме зачета в виде письменной работы.

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	Перечень вопросов

	сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	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 направления исследования в физике нейтронов и применения нейтронографии и. ИМПК-2.3 3-1	Отсутствие знаний основных направлений исследования в физике нейтронов и применения нейтронографии и.	В целом успешные, но не систематически знания основных направлений исследования в физике нейтронов и применения нейтронографии и.	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знания основных направлений исследования в физике нейтронов и применения нейтронографии и.	Успешные и систематические знания основных направлений исследования в физике нейтронов и применения нейтронографии.
ЗНАТЬ: задачи теории рассеяния и методы их решения в применении к физике нейтронов. ИМПК-1.3 3-1	Отсутствие знаний задач теории рассеяния и методов их решения в применении к физике нейтронов.	В целом успешные, но не систематически знания задач теории рассеяния и методов их решения в применении к физике нейтронов.	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знания задач теории рассеяния и методов их решения в применении к физике нейтронов.	Успешные и систематические знания задач теории рассеяния и методов их решения в применении к физике нейтронов.
УМЕТЬ: пользоваться актуальными	Отсутствие умения пользоваться	В целом успешное, но не	В целом успешно е, но	Успешное и систематическое умение

базами данных ядерной физики. ИМПК-2.3 У-1	актуальными базами данных ядерной физики.	систематическое умение пользоваться актуальными базами данных ядерной физики.	содержащее отдельные пробелы умение пользоваться актуальными базами данных ядерной физики.	пользоваться актуальными базами данных ядерной физики.
УМЕТЬ: качественно и количественно описывать процессы рассеяния частиц и кластеров частиц. ИМПК-1.3 У-1	Отсутствие умения качественно и количественно описывать процессы рассеяния частиц и кластеров частиц.	В целом успешное, но не систематическое умение качественно и количественно описывать процессы рассеяния частиц и кластеров частиц.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение качественно и количественно описывать процессы рассеяния частиц и кластеров частиц.	Успешное и систематическое умение качественно и количественно описывать процессы рассеяния частиц и кластеров частиц.
ВЛАДЕТЬ: способностью анализировать данные и источники по ядерной физики, нейтронографии и, в том числе на предмет их адекватности, соответствия иным базам данных. ИМПК-2.3 В-1	Отсутствие/фрагментарное владение способностью анализировать данные и источники по ядерной физики, нейтронографии и, в том числе на предмет их адекватности, соответствия иным базам данных.	В целом успешное, но не систематическое владение способностью анализировать данные и источники по ядерной физики, нейтронографии и, в том числе на предмет их адекватности, соответствия иным базам данных.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение способностью анализировать данные и источники по ядерной физики, нейтронографии и, в том числе на предмет их адекватности, соответствия иным базам данных.	Успешное и систематическое владение способностью анализировать данные и источники по ядерной физики, нейтронографии, в том числе на предмет их адекватности, соответствия иным базам данных.
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом и знанием квантовой механики и иных разделов, необходимых	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом и знанием квантовой механики и	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом и знанием	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математическим	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом и знанием квантовой механики и

для успешного решения задач теории рассеяния. ИМПК-1.3 В-1	иных разделов, необходимых для успешного решения задач теории рассеяния.	квантовой механики и иных разделов, необходимых для успешного решения задач теории рассеяния.	м аппаратом и знанием квантовой механики и иных разделов, необходимых для успешного решения задач теории рассеяния.	иных разделов, необходимых для успешного решения задач теории рассеяния.
---	--	---	---	--

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу:

Примеры заданий во 2-ом семестре:

Вопросы по теории:

1. Первое борновское приближение в теории рассеяния.
2. Рассеяние вперед и оптическая теорема.
3. Когерентная длина нейтрона.
4. Амплитуды рассеяния, S-матрица, ее свойства и выражение через нее полных сечений.

Задачи:

1. Начертить схему геометрии рассеяния нейтронов низких энергий.
2. Найти длину рассеяния абсолютно твердой сферы.
3. До каких энергий рассеяние нейтронов на протонах будет сферически симметричным
4. Показать, что в отсутствии поглощения матрица рассеяния электромагнитных волн S^J унитарна.

Примеры заданий во 3-ем семестре:

Вопросы по теории:

1. Взаимодействие нейтронов с электронными оболочками атомов.
2. Уравнение Дирака.
3. Вектор поляризации.
4. Ларморова прецессия
5. Преломление пучка нейтронов в магнитных средах.

Задачи:

1. Частица со спином $1/2$ находится в состоянии с определенным значением $s_z=1/2$. Определить вероятности возможных значений проекции спина на ось z' , наклоненную под углом θ к оси z .
2. Показать, что матрицы Паули антикоммутируют.
3. Получить и объяснить график зависимости коэффициента отражения от волнового вектора.
4. Получить коэффициент усиления стоячей волны в нейтронном резонаторе.

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. Виды магнитного взаимодействия нейтронов с веществом.
2. Магнитный атомный фактор.
3. Амплитуда магнитного рассеяния.
4. Интерференция магнитного и ядерного рассеяния.
5. Магнитные структуры.
6. Базовые модели магнетизма.
7. Сечение магнитного рассеяния.
8. Кристаллические электронные поля в магнитных материалах.
9. Спиновые состояния и вектор поляризации нейтронов.
10. Ларморова прецессия вектора поляризации.
11. Преломление и расщепление нейтронного пучка в магнитных средах.
12. Деполяризация нейтронного пучка.
13. Принципы рефлектометрии поляризованных нейтронов.
14. Неупругое и упругое рассеяние поляризованных нейтронов.
15. Малоугловое рассеяние поляризованных нейтронов.
16. Стоячие нейтронные волны при полном отражении.

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

Основная литература

1. В.Л.Аксенов, Т.В.Тропин, Лекции по теории конденсированного состояния, М: МГУ - 2020
2. В.В. Балашов, Квантовая теория столкновений, М., НИИЯФ МГУ, «Макспресс» - 2012
3. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц, т.3 Квантовая механика, М. Наука - 1974
4. В.Ф.Турчин, Медленные нейтроны, М: Госатомиздат -1963

Дополнительная литература

1. И.И.Гуревич, Л.В.Тарасов, Физика нейтронов низких энергий, М: Наука - 1965
2. J.M.Carpenter, С.-К.Loong, Elements of Slow - Neutron Scattering, Cambridge: University Press - 2015
3. Р.Ньютон, Теория рассеяния волн и частиц, М. Мир - 1969
4. A.Furrer, J.Mesot, Th.Strassle, Neutron Scattering in Condensed Matter Physics, World Scientific – 2009
5. В.Ф.Турчин, Медленные нейтроны, М: Госатомиздат -1963
6. В.В. Балашов, Квантовая теория столкновений, М., НИИЯФ МГУ, «Макспресс» - 2012

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

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.