

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» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Теория рассеяния волн и частиц

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:

Доктор физ.-мат. наук Гончаров Сергей Антонович, 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 «Теория рассеяния волн и частиц»

В данном курсе рассматривается теория рассеяния параллельно в рамках классической теории излучения, классической механики частиц и квантовой механики. Целью курса является освоение студентами ряда общих теоретических подходов и методов, применяемых для описания процессов рассеяния электромагнитных волн и макро- и микрочастиц, и выходящих за рамки обычных университетских курсов теоретической физики.

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 волн и частиц» реализуется на 1-ом курсе в 1-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-1 Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области фундаментальной и прикладной ядерной физики на основе фундаментальных знаний	ИМПК-1.2 Знает основные разделы фундаментальной и прикладной ядерной физики: модели атомного ядра и ядерных реакций, основы нейтронной физики и физики конденсированного состояния, базовые установки и приборы ядерно-физического эксперимента	Знать: основы теории, термины и модели, используемые в теории рассеяния. Уметь: выбирать наиболее адекватно подходящую модель для описания данного явления или создавать такую на основе существующих. Владеть: знаниями математических теорем, терминов и иными, необходимыми для успешного использования и понимания модельных описаний явлений рассеяния.
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: основные типы задач в теории рассеяния. Уметь: определять и решать основные типы задач теории рассеяния. Владеть: способностью описывать изменения состояний в рамках используемой модели.

1. **Форма обучения:** очная.

2. **Язык обучения:** русский.

3. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Классическая теория рассеяния.

Задача двух тел. Л-система и ц-система. Эффективный потенциал. Движение в центральном поле. Траектории и точки поворота. Функция отклонения. Дифференциальное и полное эффективные сечения. Классическая обратная задача рассеяния и ее приближенное решение (метод Келлера). Ограниченное движение, закручивание, классическое радужное рассеяние и глория. Рассеяние в кулоновском поле, классическая формула Резерфорда. Сингулярные потенциалы.

Тема 2. Основы теории рассеяния электромагнитных волн.

Уравнения Максвелла и распространение электромагнитных волн в среде. Плоская волна и монохроматическая волна. Плотность и поток энергии и импульса. Поляризация. Параметры Стокса. Матрица плотности. Характеристики пучка электромагнитных волн. Рассеяние свободными зарядами. Амплитуда рассеяния электромагнитных волн и ее различные представления. Дифференциальное сечение рассеяния электромагнитных волн. Поляризация рассеянного пучка. Рассеяния электромагнитных волн вперед и оптическая теорема. Полное сечение и сечение поглощения. Двукратное рассеяния электромагнитных волн. Рассеяние облаком. Показатель преломления.

Тема 3. Сферически симметричные рассеиватели. Теория Ми.

Векторные сферические гармоники. Мультипольное разложение электромагнитных волн. Парциальное разложение амплитуды рассеяния электромагнитных волн. S-матрица и ее свойства. Рассеяния электромагнитных волн на однородной сфере (Теория Ми). Рэлеевское рассеяние. Приближение Рэля-Ганса. Борновское приближение. Рассеяние электромагнитных волн на однородной сфере очень малого радиуса и очень малой оптической плотности. Резонансное рассеяние.

Тема 4. Квантовая нерелятивистская теория рассеяния.

Разложение по парциальным волнам в квантовой теории рассеяния. Борновское приближение. Рассеяние квантовых частиц при малых энергиях. Длина рассеяния. Квантовая формула Резерфорда в Борновском приближении. Квантовая теория рассеяния в кулоновском поле – точное решение. Рассеяние на системе частиц в квантовой механике. Потенциальный подход: эффективный потенциал, оптическая модель. Метод сильной связи каналов. Метод искаженных волн

7. **Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	в за че Тру дое мко сть	объем учебной нагрузки в ак. часах					
		Общая трудое мкость	в том числе ауд.занятий			Учебн о- практи ческие	Самост оятельн ая работа студент
			Общая аудито рная нагруз	Ле кц ий	Се ми нар ов		

	ин иц ах		ка			заняти я	ов
Теория рассеяния волн и частиц	2	72	36	18	18	-	36

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

Изучение курса «Теория рассеяния волн и частиц» 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	Классическая теория рассеяния	10	2	2		6	ОП	
2	Основы теории рассеяния электромагнитных волн	22	6	6		10	КР	
3	Сферически симметричные рассеиватели. Теория Ми	18	5	5		8	КР	
4	Квантовая нерелятивистская теория рассеяния	18	5	5		8	ОП	
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет	
ИТОГО:		72	18	18		36		

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

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Теория рассеяния волн и частиц» 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 волн и частиц» проводится в первом семестре 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 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: основы теории, термины и модели, используемые в теории рассеяния. ИМПК-1.2 З-1	Отсутствие знаний основ теории, терминов и моделей, используемых в теории рассеяния.	В целом успешные, но не систематические знания основ теории, терминов и моделей, используемых в теории рассеяния.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основ теории, терминов и моделей, используемых в теории рассеяния.	Успешные и систематические знания основ теории, терминов и моделей, используемых в теории рассеяния.
ЗНАТЬ: основные типы задач в теории рассеяния. ИМПК-1.3 З-1	Отсутствие знаний основных типов задач в теории рассеяния	В целом успешные, но не систематические знания основных типов задач в теории рассеяния	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основных типов задач в теории рассеяния	Успешные и систематические знания основных типов задач в теории рассеяния
УМЕТЬ: выбирать наиболее адекватно подходящую модель для описания данного явления или создавать такую на основе существующих. ИМПК-1.2 У-1	Отсутствие умения выбирать наиболее адекватно подходящую модель для описания данного явления или создавать такую на основе существующих	В целом успешное, но не систематическое умение выбирать наиболее адекватно подходящую модель для описания данного явления или создавать такую на основе существующих	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение выбирать наиболее адекватно подходящую модель для описания данного явления или создавать такую на основе существующих	Успешное и систематическое умение выбирать наиболее адекватно подходящую модель для описания данного явления или создавать такую на основе существующих
УМЕТЬ: определять и	Отсутствие умения	В целом успешное, но	В целом успешно	Успешное и систематическое

решать основные типы задач теории рассеяния. ИМПК-1.3 У-1	определять и решать основные типы задач теории рассеяния	не систематическое умение определять и решать основные типы задач теории рассеяния	е, но содержащее отдельные пробелы умение определять и решать основные типы задач теории рассеяния	умение определять и решать основные типы задач теории рассеяния
ВЛАДЕТЬ: знаниями математических теорем, терминов и иными, необходимыми для успешного использования и понимания модельных описаний явлений рассеяния. ИМПК-1.2 В-1	Отсутствие/фрагментарное владение знаниями математических теорем, терминов и иными, необходимым и для успешного использования и понимания модельных описаний явлений рассеяния.	В целом успешное, но не систематическое владение знаниями математических теорем, терминов и иными, необходимыми для успешного использования и понимания модельных описаний явлений рассеяния.	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владения знаниями математических теорем, терминов и иными, необходимыми для успешного использования и понимания модельных описаний явлений рассеяния.	Успешное и систематическое владение знаниями математических теорем, терминов и иными, необходимыми для успешного использования и понимания модельных описаний явлений рассеяния.
ВЛАДЕТЬ: способностью описывать изменения состояний в рамках используемой модели. ИМПК-1.3 В-1	Отсутствие/фрагментарное владение способностью описывать изменения состояний в рамках используемой модели	В целом успешное, но не систематическое владение способностью описывать изменения состояний в рамках используемой модели	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение способностью описывать изменения состояний в рамках используемой модели	Успешное и систематическое владение способностью описывать изменения состояний в рамках используемой модели

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример:

Вопросы по теории:

1. Обратная задача рассеяния (на примере классической механики).
2. Рассеяние вперед и оптическая теорема для электромагнитных волн.
3. Двухкратное рассеяние электромагнитных волн.
4. Мультипольное разложение электромагнитных волн, амплитуды рассеяния электромагнитных волн, S-матрица, ее свойства и выражение через нее полных сечений.

Задачи:

1. Вывести формулу Резерфорда для классических частиц.
2. Какова степень плоской поляризации, если степень круговой поляризации пучка равна 30%.
3. Показать, что матрица плотности ρ и степень поляризации P пучка электромагнитных волн связаны соотношением:

$$\det \rho = \frac{1}{4}(1 - P^2)$$

Показать, что в отсутствии поглощения матрица рассеяния электромагнитных волн S^J унитарна.

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

Зачет проводится в форме письменной работы.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросов к зачету:

1. Упругое рассеяние в классической механике. Эффективный потенциал, траектории, функция отклонения.
2. Определение дифференциального и полного сечения рассеяния классических и квантовых частиц и электромагнитных волн.
3. Обратная задача рассеяния (на примере классической механики).
4. Характеристики электромагнитной волны и пучка волн. Различные представления амплитуды рассеяния и выражение через них сечения.
5. Рассеяние вперед и оптическая теорема для электромагнитных волн и квантовых частиц.
6. Двухкратное рассеяние электромагнитных волн и рассеяние облаком.
7. Разложение по парциальным волнам для электромагнитных волн (векторные сферические гармоники). S-матрица и ее свойства.
8. Рассеяние электромагнитных волн на однородной сфере.
9. Рэлеевское рассеяние (рассеяние электромагнитных волн на сфере малого радиуса и малой оптической плотности).
10. Рассеяние электромагнитных волн на сфере произвольного радиуса и малой оптической плотности. Приближение Рэлея-Ганса и Борновское приближение.
11. Основы теории рассеяния рентгеновских лучей.
12. Рассеяние квантовых частиц на центральном потенциале на примере кулоновского поля (парциальные амплитуды, Борновское приближение и точное решение).
13. Формула Резерфорда в классической и квантовой механике.
14. Квантовое рассеяние при малых энергиях. Длина рассеяния. Фаза s-волны. (На примере рассеяния на прямоугольной яме).
15. Рассеяние на системе частиц в квантовой механике. Амплитуды и сечения. Приближение сильной связи каналов и метод искаженных волн.

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

Основная литература

1. И.И. Ольховский, Курс теоретической механики для физиков, М.: Наука - 1970.
2. Р.Ньютон, Теория рассеяния волн и частиц, М. Мир - 1969
3. В.В. Балашов, Квантовая теория столкновений, М., НИИЯФ МГУ, «Макспресс» - 2012

Дополнительная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц, т.1 Механика, М. Наука - 1973
2. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц, т.2 Теория поля, М. Наука - 1973
3. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц, т.8 Электродинамика сплошных сред, М. Наука - 1982
4. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц, т.3 Квантовая механика, М. Наука - 1974
5. И.Е. Иродов, Волновые процессы, М. ЛБЗ ЮНИМЕДИАСТАЙЛ - 2002
6. Дж. Тейлор, Теория рассеяния, М. Мир - 1975
7. Д.А. Варшалович, А.Н. Москалев, В.К. Херсонский, Квантовая теория углового момента, Ленинград Наука – 1975
8. J.A. Adam, Physics Reports, 2002, v.356, pp. 229-365

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. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования)
<http://www.elibrary.ru>

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.