

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Одобрено на заседании
УМС ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол № 3-8/2022 от 30.08.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

для магистров направления подготовки

03.04.02 Физика

образовательная программа

«Инновационные технологии в ядерной медицине»

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2022 г.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Цель изучения дисциплины:

изучение специальных вопросов ядерной физики и решение с помощью них актуальных проблем в области медицинской физики, влияние на применение новых технологий в ядерной медицине.

Формируемые дисциплиной знания и умения готовят выпускника данной образовательной программы к выполнению следующих обобщенных трудовых функций.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение специальных вопросов ядерной физики, получение знаний об основных новых технологиях в ядерной медицине и их применении в лучевой терапии, физических основах новых технологий в ядерной медицине;
- применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности;
- овладение навыком определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.

В результате освоения ООП обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	З-ОПК-1 – Знать: фундаментальные законы и принципы физики; основы психологии и педагогики. У-ОПК-1 – Уметь: применять полученные знания для решения научно-исследовательских задач в своей профессиональной деятельности; представлять законы и принципы физики в виде математических уравнений, формул, графиков, качественного описания; применять основы психологии, методики преподавания в педагогической деятельности. В-ОПК-1 – Владеть: навыками решения научно-исследовательских задач в области экспериментальной и теоретической физики; педагогическими технологиями, необходимыми для ведения преподавательской деятельности.
ОПК-4	Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности	З-ОПК-4 – Знать: основные этапы внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности. У-ОПК-4 – Уметь: проводить анализ потенциальных сфер внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности. В-ОПК-4 – Владеть: навыками апробации результатов научных исследований.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Теоретическая физика.

Взаимодействия частиц.

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Производственная практика: научно-исследовательская работа.

Дисциплина реализуется в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений, блока «Дисциплины» программы магистратуры и относится к профессиональному модулю, раздел «Дисциплины по выбору».

Дисциплина изучается на 2 курсе в 3 семестре.

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид работы	Количество часов на вид работы
Контактная работа обучающихся с преподавателем	
Аудиторные занятия (всего)	42
В том числе:	
<i>лекции</i>	12
<i>практические занятия</i>	30
Промежуточная аттестация	+
В том числе:	
<i>зачет</i>	+
Самостоятельная работа обучающихся	
Самостоятельная работа обучающихся	66
Всего (часы):	108
Всего (зачетные единицы):	3

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

4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

Неделя	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебной работы				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1-5	1. Фазовая теория рассеяния и ее применение к ядерным столкновениям.	3	8			18
6-10	2. Разложение по парциальным волнам.	3	8			16

	Парциальные амплитуды. Фазы рассеяния.				
11-14	3. Метод функций Иоста. Аналитические свойства парциальных амплитуд. Нули функций Иоста. Связанные, виртуальные и резонансные состояния. Резонансное рассеяние. Формулы Брейта-Вигнера и Фано.	3	8		16
15-18	4. Эйкональное рассеяние. Функция профиля.	3	6		16
	Всего:	12	30		66

Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная работа, СРО – самостоятельная работа обучающихся

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Фазовая теория рассеяния и ее применение к ядерным столкновениям	
1.1.	Разложение по парциальным волнам. Парциальные амплитуды. Фазы рассеяния.	Разложение по парциальным волнам. Парциальные амплитуды. Фазы рассеяния. Диаграмма Аргана. Метод переменной фазы. Рассеяние медленных частиц. Длина рассеяния. Приближение эффективного радиуса. Феноменологические нуклон-нуклонные потенциалы.
1.2.	Метод функций Иоста. Аналитические свойства парциальных амплитуд. Нули функций Иоста. Связанные, виртуальные и резонансные состояния. Резонансное рассеяние. Формулы Брейта-Вигнера и Фано.	Метод функций Иоста. Аналитические свойства парциальных амплитуд. Нули функций Иоста. Связанные, виртуальные и резонансные состояния. Резонансное рассеяние. Формулы Брейта-Вигнера и Фано. Распад резонансных состояний. Закон радиоактивного распада. Теорема Фока-Крылова. Эффект накопления частиц в потенциальной яме при резонансном рассеянии.
1.3.	Эйкональное рассеяние. Функция профиля.	Эйкональное приближение. Функция профиля. Приближение Ситенко –Глаубера для упругого рассеяния нейтрона на ядре. Формула Глаубера для сечения полного рассеяния нейтрона на дейтроне.

Практические занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Фазовая теория рассеяния и ее применение к ядерным столкновениям	
1.1.	Разложение по парциальным волнам. Парциальные амплитуды. Фазы рассеяния.	Разложение по парциальным волнам. Парциальные амплитуды. Фазы рассеяния. Диаграмма Аргана. Рассеяние медленных частиц. Длина рассеяния. Приближение эффективного радиуса. Феноменологические нуклон-нуклонные потенциалы.
1.2.	Метод функций Иоста. Аналитические свойства парциальных амплитуд.	Метод функций Иоста. Аналитические свойства парциальных амплитуд. Нули функций Иоста. Связанные, виртуальные и резонансные состояния.

	Нули функций Йоста. Связанные, виртуальные и резонансные состояния. Резонансное рассеяние. Формулы Брейта-Вигнера и Фано.	
1.3.	Эйкональное рассеяние. Функция профиля.	Резонансное рассеяние. Диаграмма Аргана для резонансного рассеяния. Формулы Брейта-Вигнера и Фано. Распад резонансных состояний. Закон радиоактивного распада. Теорема Фока-Крылова.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Не предусмотрено.

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
Текущий контроль			
1.1	Разложение по парциальным волнам. Парциальные амплитуды. Фазы рассеяния.		
1.2.	Метод функций Йоста. Аналитические свойства парциальных амплитуд. Нули функций Йоста. Связанные, виртуальные и резонансные состояния. Резонансное рассеяние. Формулы Брейта-Вигнера и Фано.	ОПК-1, ОПК-4	Контрольная работа
1.3.	Эйкональное рассеяние. Функция профиля.	ОПК-1, ОПК-4	Тестирование
Промежуточный контроль			
	Зачет	ОПК-1, ОПК-4	Вопросы к зачету
Всего:			

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

6.2.1. Зачет

- а) типовые задания (вопросы) к зачету:

1. Рассеяние на сферически симметричном потенциале. Фазы рассеяния. Разложение Факсена-Хольцмарка.
2. Парциальные амплитуды рассеяния. Связь фаз рассеяния и парциальных амплитуд. Диаграмма Аргана.
3. Рассеяние медленных частиц. Длина рассеяния. Длина рассеяния нуклона на нуклоне.
4. Приближение эффективного радиуса.
5. Метод переменной фазы.
6. Феноменологические нуклон-нуклонные потенциалы. Ядерный кор. Экспериментальные факты, свидетельствующие о существовании ядерного кора.
7. Метод функций Иоста. Регулярное решение. Интегральное уравнение для регулярного решения.
8. Функция Иоста для s-волнового рассеяния на потенциале прямоугольной ямы.
9. Свойство симметрии функции Иоста.
10. Аналитические свойства регулярного решения и функций Иоста для различных типов потенциалов. Связь регулярных решений, отвечающих нулям функции Иоста на физическом и нефизическом листе, со связанными и виртуальными состояниями.
11. Связь регулярных решений, отвечающих нулям функции Иоста нефизическом листе, с резонансными состояниями.
12. Резонансное рассеяние. Формулы Брейта-Вигнера и Фано.
13. Теорема Фока-Крылова.
14. Эффект накопления частиц в потенциальной яме при резонансном рассеянии.
15. Эйкональное приближение. Функция профиля.
16. Оптический потенциал и его свойства.
17. Рассеяние на абсолютно черном ядре в эйкональном приближении.
18. Приближение Ситенко–Глаубера для упругого рассеяния нейтрона на ядре.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

1. уровень освоения студентом материала, предусмотренного учебной программой;
2. полнота и правильность ответа, степень осознанности, понимания изученного;
3. обоснованность, четкость, краткость изложения ответа;
4. ответы на дополнительные вопросы.

в) описание шкалы оценивания:

На зачете задается 2 вопроса. Максимальная сумма баллов за ответ на один вопрос - 20 баллов.

14-20 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- полно раскрывает содержание теоретических вопросов.

8-13 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- сделал все, что требуется для получения оценки «отлично», однако при этом допустил незначительные неточности при изложении материала, не искажающие содержание ответа по существу вопроса.

1-7 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- раскрывает содержание не всех теоретических вопросов;
- не всегда умеет увязать теорию и практику.

0 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- имеет пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине, не может дать четкого определения основных понятий;

- не может успешно продолжать дальнейшее обучение в связи с недостаточным объемом знаний.

6.2.2. Тестовые материалы

а) типовые задания (вопросы) - образец:

Тестовые материалы по курсу

1. Амплитуда рассеяния на нулевой угол на некотором потенциале равна $-1 + i$ (в ФМ), когда волновое число равно $2\Phi M^{-1}$. В этом случае дифференциальное сечение рассеяния на нулевой угол и полное сечение равны (в единицах Φm^2):

A. 1 и 4π

B. 2 и 4π

C. 1 и π

D. 2 и π .

E. 2 и 2π .

2. Частица массы m рассеивается на потенциале прямоугольной ямы глубиной V_0 и радиусом R . В каком из случаев длина рассеяния бесконечна?

A. $(2mV_0)^{1/2}R = \pi\hbar$

B. $(2mV_0)^{1/2}R = \frac{\pi}{2}\hbar$

C. $(2mV_0)^{1/2}R = \frac{\pi}{4}\hbar$

3. Какое из выражений правильно описывает поведение резонансной части фазового сдвига в зависимости от энергии?

A. $\delta_R = \arctg \frac{2}{\Gamma} (E_R - E)$

B. $\delta_R = \arctg \frac{2}{\Gamma} (E - E_R)$

C. $\delta_R = \text{arcctg} \frac{2}{\Gamma} (E_R - E)$

D. $\delta_R = \text{arcctg} \frac{2}{\Gamma} (E - E_R)$

4. Какое из выражений правильно определяет длину рассеяния:

A. $a_0 = -\lim_{k \rightarrow 0} f_0(k)$

B. $\frac{1}{a_0} = -\lim_{k \rightarrow 0} k \operatorname{ctg} \delta_0(k)$

C. $a_0 = -\lim_{k \rightarrow 0} k f_0(k)$

5. Длина рассеяния для некоторого потенциала равна $10 \Phi_m$. Чему равно дифференциальное сечение рассеяния на этом потенциале в пределе низких энергий?

A. 10 барн

B. 1 миллибарн

C. 10 миллибарн

D. 100 миллибарн

E. 1 барн

6. Длина рассеяния для потенциала прямоугольной ямы радиуса R равна бесконечности. Чему равен в этих условиях эффективный радиус:

A. $(-R)$

B. $\frac{R}{2}$

C. R

7. Полное сечение рассеяния задано в виде суммы $\sigma = \sum_l \sigma_l$. Какое из выражений задает парциальное сечение σ_l ?

A. $4\pi(2l+1) \frac{\sin^2 \delta_l}{k^2}$

B. $4\pi(2l+1) |f_l(k)|^2$

C. $4\pi(2l+1) \frac{|f_l(k)|^2}{k^2}$

D. $\pi(2l+1) \frac{|\exp(2i\delta_l) - 1|^2}{k^2}$

8. Какое из выражений правильно описывает поведение парциального сечения рассеяния вблизи

резонанса с энергией E_R , шириной Γ и нулевым фоновым фазовым сдвигом?

A.

$$\sigma_l = \frac{4\pi}{k^2} (2l+1) \frac{\Gamma^2}{(E - E_R)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}}$$

B.

$$\sigma_l = \frac{\pi}{k^2} (2l+1) \frac{\Gamma^2}{(E - E_R)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}}$$

C.

$$\sigma_l = 4\pi(2l+1) \frac{1}{1 + \varepsilon^2}$$

(ε - приведенная энергия)

D.

$$\sigma_l = \pi(2l+1) \frac{1}{1 + \varepsilon^2}$$

9. Нуклон с энергией $E=20$ МэВ рассеивается на потенциале, радиус действия которого равен 5 ФМ . Чему равно максимальное значение орбитального момента, которое надо учитывать в разложении амплитуды рассеяния по парциальным волнам?

1. 10

2. 5

3. 1

4. 0

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Критерии оценки знаний студентов по итогам тестирования

Отлично:

Все задания тестов выполнены полностью, продемонстрированы твёрдые практические навыки.

Хорошо:

Задания тестов выполнены в основном правильно, допущены небольшие неточности. Практические навыки не вполне твёрдые.

Удовлетворительно:

Задания выполнены более чем наполовину. При этом студент продемонстрировал слабое владение теоретическим материалом. Практические навыки также слабые.

Неудовлетворительно:

Задания тестов выполнены менее чем наполовину. При этом студент продемонстрировал слабое владение теоретическим материалом. Нет практических навыков в использовании теоретического материала дисциплины.

в) описание шкалы оценивания:

Оценка «отлично»- 26-30 баллов

Оценка «хорошо»-22-25 баллов

Оценка «удовлетворительно»-18-21 баллов

Оценка «неудовлетворительно»-меньше 18 баллов

6.2.3. Контрольная работа

а) типовые задания (вопросы) - образец:

Разложение по парциальным волнам. Резонансное рассеяние.

а) типовые задания (вопросы) - образец:

1. Определите эффективный радиус системы «нейтрон-протон» в триплетном состоянии, зная, что энергия связи дейтрона равна 2.224 МэВ , а триплетная длина рассеяния a_t равна 5.4 Фм . Воспользуйтесь следующими данными: $\hbar c = 197.3 \text{ МэВ Фм}$, $m_p = 938.3 \text{ МэВ}/c^2$, $m_n = 939.6 \text{ МэВ}/c^2$. Указание: воспользуйтесь разложением эффективного радиуса.

2. Для резонанса с нулевым фоновым фазовым сдвигом найдите энергию, при которой соответствующее парциальное сечение максимально. Энергия резонанса E_{R_1} , ширина Γ .

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Оценка «отлично» - задания контрольной работы выполнены более чем на 80%, продемонстрировано уверенное знание теоретических положений, допустимо наличие в решениях несущественных неточностей.

Оценка «хорошо» - задания контрольной работы выполнены более чем на 2/3, при этом продемонстрированы прочные знания учебного материала, однако, решения содержат определенные (несущественные) неточности.

Оценка «удовлетворительно» - задания контрольной работы выполнены более чем на 50%, знание учебного материала-посредственное.

Оценка «неудовлетворительно» - решено менее 50% заданий, в решении задач имеются существенные ошибки, продемонстрировано незнание значительной части учебного материала.

в) описание шкалы оценивания:

Оценка «отлично»- 26-30 баллов

Оценка «хорошо»-22-25 баллов

Оценка «удовлетворительно»-18-21 баллов

Оценка «неудовлетворительно»-меньше 18 баллов

6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	Контрольная точка № 1		

	Контрольная работа	18	30
	Контрольная точка № 2		
	Тестирование	18	30
Промежуточный	Зачет		
	Вопросы к зачету	24	40
ИТОГО по дисциплине		60	100

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная учебная литература:

1. Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Н.П.Юдин. Частицы, атомы и ядра.-Изд-во ЛКИ.-2007.-361с.
2. Л.Б. Окунь. Элементарное введение в физику элементарных частиц. - М., Физматлит, 2006.
3. Гааз Л. Волны материи и квантовая механика. - Изд-во Либроком.-2014г.-169 с.

б) дополнительная учебная литература:

1. Дж. Тейлор. Теория рассеяния. - М., Мир, 1975. –545 с.
2. Р. Ньютон. Теория рассеяния волн и частиц.- М., Мир, 1969 .– 607 с.
3. А. Г. Ситенко. Теория ядерных реакций. - М., Энергоатомиздат, 1983. – 136 с.
4. А. Садбери. Квантовая механика и физика элементарных частиц. - М., Мир,1989. –487 с.
5. Г.Фрауенфельдер, Э.Хенли Субатомная физика.- М., Мир, 1969 .– 736 с.

8. Перечень ресурсов* информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины

В перечне ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины, указываются сведения об Интернет-ресурсе в виде ссылки. Могут указываться адреса Интернет-сайтов специализированных ведомств, электронных журналов и другой периодики, баз данных и т.п.

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [Электронный ресурс] URL: <http://elibrary.ru> (Дата обращения: 12.06.2020).
2. Электронно-библиотечная система издательство "Лань": [Электронный ресурс] URL: www.e.lanbook.com (Дата обращения: 12.06.2020).
3. Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ": [Электронный ресурс] URL: www.library.mephi.ru (Дата обращения: 12.06.2020).
4. E-learning for Nuclear Newcomers [Электронный ресурс] URL: <https://www.iaea.org/topics/infrastructure-development/e-learning-for-nuclear-newcomers> (Дата обращения: 12.06.2020).

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	<p>Лекции являются основной формой обучения в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных материалов. В тетради для конспектирования лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись.</p> <p>При изучении дисциплины следует помнить, что лекционные занятия</p>

	<p>являются направляющими в большом объёме научного материала. Большую часть знаний студент должен набирать самостоятельно из учебников и научной литературы. На мультимедийных лекциях не надо стремиться сразу переписывать всё содержимое слайдов. Необходимо научиться сопоставлять устное повествование преподавателя с наглядным представлением, после чего следует законспектировать важные факты в рабочей тетради. Тем более, не стоит полностью переписывать таблицы, перерисовывать схемы и графики мультимедийных лекций. Лучше всего, если вы пометите в конспекте лекций два противоположных или взаимодополняющих примера.</p> <p>Вопросы, возникшие у Вас в ходе лекций, рекомендуется записывать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю.</p> <p>Необходимо активно работать с конспектом лекции: после окончания лекции рекомендуется перечитать свои записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям, зачету, при выполнении самостоятельных заданий.</p>
Практические занятия	<p>При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с литературой, рекомендованной преподавателем, и конспектом лекций. Необходимо разобраться в основных понятиях.</p>
Самостоятельная работа	<p>Согласно учебному плану дисциплины ряд вопросов общей программы вынесен для самостоятельной проработки с последующей проверкой полученных знаний и их закрепления на практических занятиях.</p> <p>Самостоятельная работа включает изучение литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим занятиям и зачету.</p>
Подготовка к зачету	<p>При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др. Подготовку к зачету необходимо начинать заранее. Следует проанализировать научный и методический материал учебников, учебно-методических пособий, конспекты лекций. Знать формулировки терминов и уметь их чётко воспроизводить. Ответы на вопросы из примерного перечня вопросов для подготовки к зачету лучше обдумать заранее. Ответы построить в чёткой и лаконичной форме.</p>

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

10.1. Перечень информационных технологий

- Компьютерное тестирование по итогам изучения разделов дисциплины.
- Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
- Использование слайд-презентаций при проведении лекционных и практических занятий.
- Интерактивное общение с помощью программы skype.

10.2. Перечень программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса по данной дисциплине используется следующее ПО: ScientificView, SciLab, OpenOffice, Прог.-лаб. комплекс «ППЭ».

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Используемые при изучении дисциплины специализированные лаборатории и кабинеты с оборудованием, компьютерные классы, лекционные аудитории, оснащенные мультимедийным оборудованием и т.п., имеющиеся в ИАТЭ НИЯУ МИФИ:

Лаборатория прямых методов преобразования ядерной энергии

Компьютеризованное рабочее место – 10 шт.

Программные лабораторные комплексы

Принтер -1

Сканер -1

Мультимедиапроектор – 1

Установка по генерации газовой-пылевой плазмы -1.

12. Иные сведения и (или) материалы

12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Применяемые на лекционных занятиях:

- Технология концентрированного обучения (проблемная лекция, лекция-беседа, привлечение внимания студентов к наиболее важным вопросам темы, содержание и темп изложения учебного материала определяется с учетом особенностей студентов)

- Технология активного обучения (визуальная лекция с разбором конкретных ситуаций)

Применяемые на практических занятиях:

- Технология активного обучения (визуальный семинар с разбором конкретных задач).

- Технология интерактивного обучения (мозговой штурм: группа получает задание, далее предполагается высказывать как можно большее количество вариантов решения, затем из общего числа высказанных идей отбираются наиболее удачные, которые могут быть использованы на практике).

- Технология деловых игр (имитация соревновательной игры: малые группы получают одинаковые задания и выполняют их на скорость и качество, которое оценивается преподавателем).

6 часов проводятся в интерактивной форме.

№ пп	Специальные вопросы ядерной физики	Вид занятий (лекция, семинары, практические занятия)	Количество ак. ч.	Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий
1	Разложение по парциальным волнам. Парциальные амплитуды. Фазы рассеяния.	лекция	2	Проблемная лекция
2	Метод функций Йоста. Аналитические свойства парциальных амплитуд. Нули функций Йоста. Связанные, виртуальные и	лекция	2	Проблемная лекция
3	Эйкональное рассеяние. Функция профиля.	лекция	2	Проблемная лекция

12.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)

Перечень тем для самостоятельной работы студентов

1. Рассеяние в центральном силовом поле. Разложение по парциальным волнам. Фазы рассеяния. Парциальные сечения.
2. Низкоэнергетическое рассеяние. Длина рассеяния. Приближение эффективного радиуса.
3. Оптическая теорема. Оптическая теорема для парциальных сечений.
4. Кулоновское рассеяние. Формула Резерфорда. Кулоновское рассеяние при низких энергиях. Множитель Гамова. Условия применимости первого борновского приближения для кулоновского рассеяния.
5. Рассеяние быстрых электронов на атомах и ядрах. Формфакторы атомов и ядер. Формула Мотта. Двухпараметрическое распределение Ферми.
6. Метод функций Иоста. Регулярное решение. Интегральное уравнение для регулярного решения.
7. Аналитические свойства регулярного решения и функций Иоста. Нули функции Иоста на физическом и нефизическом листе. Связанные, виртуальные и резонансные состояния.
8. Резонансное рассеяние. Формулы Брейта-Вигнера и Фано. Диаграмма Аргана для резонансного рассеяния.
9. Теорема Фока-Крылова.
10. Закон радиоактивного распада в рамках квантовой теории рассеяния и условия его применимости.
11. Упругое и неупругое рассеяние быстрых электронов на атомах, формфакторы атомов и ядер, приближение Бете.
12. Тормозная способность заряженных частиц. Формула Бете–Блоха.
13. Закон $1/v$.
14. Эйкональное приближение. Функция профиля. Приближение Ситенко–Глаубера для упругого рассеяния нейтрона на ядре.
15. Оптический потенциал. Рассеяние на абсолютно черном ядре в эйкональном приближении.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите решение квантовомеханической задачи Кеплера для состояний рассеяния и выведите из него формулу Резерфорда. Сформулируйте условие применимости первого борновского приближения для кулоновского рассеяния. Дайте определение кулоновского параметра.
2. Дайте определение формфактора квантовой системы. Запишите выражение для амплитуды упругого рассеяния быстрого электрона на атоме.
3. Запишите выражение для амплитуды упругого рассеяния быстрого электрона на бесспиновом ядре. Что такое «двухпараметрическое распределение Ферми»? Какая информация была получена о параметрах этого распределения из данных по упругому рассеянию быстрых электронов?
4. Дайте определение парциальных состояний рассеяния и парциальных амплитуд. Запишите уравнение Липпмана-Швингера для парциальных состояний рассеяния.
5. Дайте определение фаз рассеяния и запишите их связь с парциальными амплитудами.
6. Запишите разложение Факсена-Хольцмарка. Сколько парциальных волн надо эффективно учитывать в этом разложении?
7. Дайте определение длины рассеяния. Почему длина рассеяния-вещественная величина?
8. Сформулируйте приближение эффективного радиуса. Каковы параметры этого приближения для нейтрон-протонного рассеяния?
9. Дайте определение регулярное решение радиального уравнения Шредингера и запишите

интегральное уравнение для регулярного решения.

10. Дайте определение функции Йоста. Как по функции Йоста определить фазу рассеяния?
11. Опишите аналитические свойства регулярного решения и функций Йоста для различных типов потенциалов. Опишите связь регулярных решений, отвечающих нулям функции Йоста на физическом и нефизическом листе, со связанными, виртуальными и резонансными состояниями.
12. Как параметризуется выражение для фазы рассеяния при резонансном рассеянии? Что такое «приведенная энергия»? Запишите формулы Брейта-Вигнера и Фано. Как устроена диаграмма Аргана для резонансного рассеяния?
13. Сформулируйте теорему Фока-Крылова.
14. Сформулируйте закон $1/v$ и условия его применимости.
15. Запишите выражения для сечений упругого и неупругого рассеяния быстрых электронов на атомах. Дайте определение упругого и неупругого формфакторов.
16. Сформулируйте приближение Бете для неупругого рассеяния быстрых электронов на атомах.
17. Закон радиоактивного распада и условия его применимости.
18. Запишите выражение для амплитуды упругого рассеяния частицы в эйкональном приближении и сформулируйте условия его применимости.

Типовые задания для самопроверки

1. Медленный электрон с энергией 0,034 эВ упруго рассеивается на атоме. При этом дифференциальное сечение рассеяния оказывается практически изотропным, а действительная часть амплитуды рассеяния на нулевой угол – равной $4a_0$, где a_0 – борковский радиус. Чему равна в этом случае мнимая часть амплитуды рассеяния?
2. Частица массой m налетает на покоящуюся частицу массой $3m$. Вычислите, во сколько раз дифференциальное сечение в лабораторной системе координат на нулевой угол больше дифференциального сечения в системе центра масс (на тот же угол)?
3. α -частица с энергией $E=20$ МэВ рассеивается на потенциале, радиус действия которого равен $5 \Phi_m$. Чему равно максимальное значение орбитального момента, которое надо учитывать в разложении амплитуды рассеяния по парциальным волнам?
4. Функция профиля описывается формулой $\omega(b) = (A + iB) \exp(-\alpha^2 b^2)$. Чему равно дифференциальное сечение на угол 0° ? Волновое число рассеивающейся частицы k .
5. Известно, что в системе «нейтрон-антипротон» имеется s -волновое связанное состояние с энергией 83 МэВ. Опишите эту систему, используя модель прямоугольной ямы с радиусом $R=1.4 \Phi_m$ и глубиной V_0 . Вычислите V_0 и сравните с соответствующим значением этой величины в случае дейтрона.
6. Известно, что для системы нейтрон-протон в синглетном состоянии длина рассеяния $a_S = -23.5 \Phi_m$, а эффективный радиус равен $r_{OS} = 2.7 \Phi_m$. Рассчитайте, пользуясь этими данными, энергию виртуального состояния в $n-p$ – системе. Воспользуйтесь следующими данными: $\hbar c = 197.3$ МэВ Φ_m , $m_p = 938.3$ МэВ/ c^2 , $m_n = 939.6$ МэВ/ c^2 . Указание: воспользуйтесь разложением эффективного радиуса.

12.3. Краткий терминологический словарь

Сечение рассеяния, амплитуда рассеяния, состояния рассеяния, интегральное уравнение теории рассеяния (уравнение Липпмана-Швингера), борновские ряды, нерелятивистские фейнмановские диаграммы, разложение по парциальным волнам, парциальные амплитуды, фазы рассеяния, парциальные сечения, длина рассеяния, приближение эффективного радиуса, феноменологические нуклон-нуклонные потенциады, ядерный кор, мезонная теория ядерных сил, оптическая теорема, кулоновское рассеяние, формула Резерфорда, множитель Гамова, упругое и неупругое рассеяние быстрых электронов на атомах, формфакторы атомов и ядер, приближение Бете, функции Йоста, регулярное решение, аналитические свойства регулярного

решения и функций Иоста, нули функции Иоста, связанные, виртуальные и резонансные состояния, резонансное рассеяние, формулы Брейта-Вигнера и Фано, диаграмма Аргана, теорема Фока-Крылова, эйкональное приближение, функция профиля, приближение Ситенко–Глаубера, скорости переходов в квантовых системах, «золотое правило Ферми», закон радиоактивного распада, тормозная способность заряженных частиц, формула Бете–Блоха, Брегга, пик закон $1/v$, параметр неупругости.

Программу составил:

В.Л. Шаблов, д.ф.-м.н., профессор отделения ЯФиТ

Рецензенты:

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рассмотрена на заседании отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ и рекомендована к переутверждению

(протокол № 12 от «06» 06 2022г.)

Начальник отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ



А.А. Котляров