

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  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
по дисциплине**

**Введение в квантовую теорию рассеяния и ее приложения к ядерной физике**  
*название дисциплины*

---

для направления подготовки

**14.03.02 Ядерные физика и технологии**  
*код и направления подготовки*

---

образовательная программа

**Инновационные ядерные технологии**

---

Форма обучения: очная

**г. Обнинск 2023 г.**

## **Область применения**

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Введение в квантовую теорию рассеяния и ее приложения к ядерной физике» и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **Цели и задачи фонда оценочных средств**

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Введение в квантовую теорию рассеяния и ее приложения к ядерной физике» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

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

## 1.1. В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

<i>Код компетенций</i>	<i>Наименование компетенции</i>	<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i>
ПК-4	Способен к расчету и проектированию элементов систем в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами CDIO	З-ПК-4 Знать: типовые методики планирования и проектирования систем. У-ПК-4 Уметь: использовать стандартные средства автоматизации проектирования. В-ПК-4 Владеть: методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами CDIO.

## 1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП бакалавриата

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см. РПД).

## 1.3. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
<b>Текущая аттестация, 7 семестр</b>			
1.	1. Основы нерелятивистской квантовой теории рассеяния	З-ПК-4; У-ПК-4; В-ПК-4	КР1
2.	2. Фазовая теория рассеяния	З-ПК-4; У-ПК-4; В-ПК-4	КР2
<b>Промежуточная аттестация, 7 семестр</b>			
	Экзамен	З-ПК-4; У-ПК-4; В-ПК-4	Экзаменационный билет

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
<b>Высокий</b> <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
<b>Продвинутый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
<b>Пороговый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/Посредственно/ Зачтено
<b>Ниже порогового</b>	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Незачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
высокий	<b>высокий</b>	<b>высокий</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>продвинутый</i>
продвинутый	<i>пороговый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>пороговый</i>
	<b>продвинутый</b>	<b>продвинутый</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>пороговый</i>
	<i>пороговый</i>	<i>продвинутый</i>
пороговый	<b>пороговый</b>	<b>пороговый</b>
ниже порогового	<b>пороговый</b>	<b>ниже порогового</b>
	<b>ниже порогового</b>	-

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

– Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

– Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.

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

– Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:

○ контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.

○ контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

– Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
<b>Текущая аттестация</b>	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>7-8</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
КР1	8	18	30
<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>15-16</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
КР2	15	18	30
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>-</b>	<b>24 – (60% 40)</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		

<i>Вопрос 1</i>	-	12	20
<i>Вопрос 2</i>	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

\* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

**4.Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков**

## Форма экзаменационного билета

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

Направление подготовки	<b>14.03.02 «Ядерные физика и технологии»</b>
Образовательная программа	<b>«Инновационные ядерные технологии»</b>
Дисциплина	<b>Введение в квантовую теорию рассеяния и ее приложения к ядерной физике</b>

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №\_\_

1. Вопрос для проверки уровня обученности ЗНАТЬ

.....

2. Вопрос для проверки уровня обученности УМЕТЬ и ВЛАДЕТЬ

.....

Составитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

В.Л. Шаблов

Начальник отделения \_\_\_\_\_  
(подпись)

Д.С. Самохин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

## Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li><li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li><li>- правильно формулировать определения;</li><li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li><li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Хорошо 30-35	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li><li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li><li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li><li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Удовлетворительно 24-29	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li><li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li></ul>
Неудовлетворительно 23 и меньше	Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none"><li>- незнание значительной части программного материала;</li><li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li><li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>

**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**

Направление подготовки	<b>14.03.02 «Ядерные физика и технологии»</b>
Образовательная программа	<b>«Инновационные ядерные технологии»</b>
Дисциплина	<b>Введение в квантовую теорию рассеяния и ее приложения к ядерной физике</b>

**ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Типы процессов взаимодействия между квантовыми частицами. Сечения процессов. Условия проведения экспериментов по измерению сечений.
2. Асимптотика волновой функции рассеяния. Амплитуда рассеяния. Связь амплитуды и дифференциального сечения упругого рассеяния.
3. Интегральное уравнение теории рассеяния частицы на силовом центре (уравнение Липпмана-Швингера).
4. Борновские ряды для волновой функции и амплитуда рассеяния. Первое борновское приближение для амплитуды рассеяния и его свойства.
5. Оптическая теорема.
6. Условия применимости первого борновского приближения при низких и высоких энергиях.
7. Амплитуда рассеяния на потенциалах Юкавы и Кулона в первом борновском приближении. Формула Резерфорда.
8. Кулоновское рассеяние. Решение Гордона. Формула Резерфорда
9. Кулоновское рассеяние медленных частиц. Множитель Гамова.
10. Упругое рассеяние быстрых электронов на атомах. Формфактор атома. Поведение дифференциальных сечений при малых и больших углах рассеяния.
11. Рассеяние ультррелятивистских электронов на ядрах. Двухпараметрическое распределение Ферми.
12. Рассеяние на сферически симметричном потенциале. Фазы рассеяния. Разложение Факсена-Хольцмарка.
13. Парциальные амплитуды рассеяния. Связь фаз рассеяния и парциальных амплитуд. Диаграмма Аргана.
14. Рассеяние медленных частиц. Длина рассеяния. Длина рассеяния нуклона на нуклоне.
15. Приближение эффективного радиуса.
16. Метод переменной фазы.
17. Феноменологические нуклон-нуклонные потенциалы. Ядерный кор.
18. Метод функций Йоста. Регулярное решение. Интегральное уравнение для регулярного решения.
19. Аналитические свойства регулярного решения и функций Йоста для различных типов потенциалов. Связь регулярных решений, отвечающих нулям функции Йоста на физическом и нефизическом листе, со связанными, виртуальными и резонансными состояниями.
20. Резонансное рассеяние. Формулы Брейта-Вигнера и Фано.

21. Теорема Фока-Крылова.
22. Задача двух тел в квантовой механике. Связь дифференциальных сечений в лабораторной системе и системе центра масс. Средняя потеря энергии и средний косинус угла рассеяния при упругом рассеянии медленного нейтрона на ядре.
23. Эйкональное приближение. Функция профиля.
24. Приближение Ситенко-Глаубера.

**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**

Направление подготовки	<b>14.03.02 «Ядерная физика и технологии»</b>
Образовательная программа	<b>«Инновационные ядерные технологии»</b>
Дисциплина	<b>Введение в квантовую теорию рассеяния и ее приложения к ядерной физике</b>

**Комплект заданий для контрольных работ**

**Контрольная работа №1**

**Рассеяние частицы в силовом поле. Интегральное уравнение теории рассеяния.**

1. Среднеквадратический радиус атома равен  $6a_0^2$  ( $a_0$  - первый боровский радиус). заряд ядра равен 2. Дифференциальное сечение упругого рассеяния электрона на этом атоме на нулевой угол равно (в единицах  $a_0^2$ ).
2. Чему равно волновое число  $\alpha$ -частицы с энергией  $20 \text{ МэВ}$ ? Принять энергию покоя нуклона равной  $940 \text{ МэВ}$ . Учесть, что  $\hbar c = 197 \text{ МэВ} \cdot \text{Фм}$ . Ответ выразить в  $\text{Фм}^{-1}$  и округлить до целых.
3. Амплитуда упругого рассеяния на нулевой угол на некотором потенциале равна  $-1 + 2i$  (в  $\text{Фм}$ ), когда волновое число равно  $4 \text{ Фм}^{-1}$ . В этом случае дифференциальное сечение рассеяния на нулевой угол и полное сечение равны (в единицах  $\text{Фм}^2$ ).
4. Медленный электрон с энергией  $0,034 \text{ эВ}$  упруго рассеивается на атоме. При этом дифференциальное сечение рассеяния оказывается практически изотропным, а действительная часть амплитуды рассеяния на нулевой угол – равной  $6a_0$ , где  $a_0$  – боровский радиус. Чему равна в этом случае мнимая часть амплитуды рассеяния?

**Контрольная работа №2**

**Разложение по парциальным волнам. Резонансное рассеяние.**

1. Определите эффективный радиус системы «нейтрон-протон» в триплетном состоянии, зная, что энергия связи дейтрона равна  $2.224 \text{ МэВ}$ , а триплетная длина рассеяния  $a_t$  равна  $5.4 \text{ Фм}$ . Воспользуйтесь следующими данными:  $\hbar c = 197.3 \text{ МэВ} \cdot \text{Фм}$ ,  $m_p = 938.3 \text{ МэВ}/c^2$ ,  $m_n = 939.6 \text{ МэВ}/c^2$ . Указание: воспользуйтесь разложением эффективного радиуса.
2. Для резонанса с нулевым фоновым фазовым сдвигом найдите энергию, при которой соответствующее парциальное сечение максимально. Энергия резонанса  $E_R$ , ширина  $\Gamma$ .
3. Функция профиля описывается формулой  $\omega(b) = (A + iB) \exp(-\alpha^2 b^2)$ , причем параметры  $A$  и  $B$  вещественны. Чему равно дифференциальное сечение на угол  $0^\circ$ ? Волновое число

рассеивающейся частицы  $k$ . Чему равно полное сечение рассеяния и полное упругое сечение рассеяния?

### Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично с 26 до 30 баллов	- задания контрольной работы выполнены более чем на 80%; - продемонстрировано уверенное знание теоретических положений; - допустимо наличие в решениях несущественных неточностей.
Хорошо с 22 до 25 баллов	- задания контрольной работы выполнены более чем на 2/3; - продемонстрированы прочные знания учебного материала; - решения содержат определенные (несущественные) неточности.
Удовлетворительно с 18 до 21 баллов	- задания контрольной работы выполнены более чем на 50%; - знание учебного материала-посредственное.
Неудовлетворительно с 0 до 18 баллов	- решено менее 50% заданий; - в решении задач имеются существенные ошибки; - продемонстрировано незнание значительной части учебного материала.