


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Ядерной физики
 Кадменский С.Г.
28.08.2019

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.05.01 Теория ядерных реакций

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 03.03.02 Физика
2. Профиль подготовки: Ядерная физика
3. Квалификация выпускника: бакалавр физики
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра ядерной физики
6. Составители программы: д.ф.-м.н., проф. Кадменский Станислав Георгиевич,

7. Рекомендована:

Научно-методическим советом физического факультета, протокол № 6 от 26.06.2019

РП продлена на 2022-2023 учебный год НМС физического факультета 14.06.2022, протокол №6

8. Учебный год: 2022/2023 Семестр(ы): 8

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Ознакомление студентов с основными подходами используемыми при описании различных типов ядерных реакций при низких, средних и промежуточных энергиях; Привитие навыков решения прикладных задач, связанных с теорией ядерных реакций и использованием ЭВМ.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Теория ядерных реакций» относится к профессиональному циклу бакалавриата по направлению 03.03.02 Физика. Она базируется на предшествующих курсах дисциплин: «Высшая математика», «Общая физика», «Информатика». Для освоения дисциплины «Теория ядерных реакций» особенно необходимы знания,

умения и компетенции, полученные при изучении таких дисциплин, как «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Дисциплина является предшествующей для таких курсов подготовки бакалавров по специализациям «Ядерная физика» по направлению 03.03.02 Физика, как «Физика конденсированных сред», «Экспериментальные методы ядерной спектроскопии», «Альфа-бета-гамма-спектроскопия», «Моделирование ядерно-физических процессов», «Физика фундаментальных взаимодействий».

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
	профессиональные	
ПК-4	способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	<p>знать: фундаментальные понятия, базовые модели, принципы и математические методы теории ядерных реакций, а также границы их применимости;</p> <p>уметь: выделить конкретное «физическое» содержание в прикладных задачах описания ядерных реакций, проводить анализ полученных результатов, ставить и решать конкретные задачи по физике ядерных реакций;</p> <p>владеть: базовыми формализмами современных теорий ядерных реакций при низких, средних и промежуточных энергиях, базирующихся на представлениях Общей физики, Высшей математики, Информатики, Математической статистики, Классической механики, Электродинамики, Атомной и ядерной физики, с приложениями к решению типовых задач по физике ядерных реакций.</p>

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) : 3 /108.

Форма промежуточной аттестации экзамен

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		№ семестра 7
Аудиторные занятия	26	26
в том числе:		
лекции		
практические		
лабораторные	26	26
Самостоятельная работа	82	82
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 1 час)		
Итого:	108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1.Лабораторные		
1	Потенциальное рассеяние	Потенциальное рассеяние на сферическом потенциале. Уравнение Шредингера и граничные условия.
2	Фазы рассеяния	Фазы рассеяния. S-матрица для упругого рассеяния. Свойства S-матрицы. Унитарность. Условие обращения времени.
3	Аналитические свойства S-матрицы	Аналитические свойства S-матрицы в комплексной плоскости K. Полюса в верхней комплексной полуплоскости и связанные состояния. Сечения упругого рассеяния в окрестности полюсов.
4	Полюса	Полюса в нижней комплексной полуплоскости. Виртуальные полюса и сечение вблизи виртуальных полюсов, (квазистационарные полюса и сечения) общее выражение для S-матрицы потенциального рассеяния в комплексной плоскости.Траектории полюсов.
5	Многочастичная теория ядерных реакций	Многочастичная теория ядерных реакций. Уравнение Липпмана-Швингера.
6	Оптическая теорема.	Оптическая теорема. Перераспределение потенциалов. T-матричный вариант теории ядерных реакций. Связь S - и T - матриц.
7	R-матричная теория ядерных реакций.	R-матричная теория ядерных реакций. Внешняя область. Каналовые функции для открытых каналов реакции. Волновая функция системы во внутренней области. Система связанных функций. Сшивка внешней и внутренней функций на радиусе канала. Связь S- и R-матриц.
8	Приближение случайных фаз Бете.	Приближение случайных фаз Бете. Случай сильно-перекрывающихся резонансов. Характеристики резонансного состояния -приведенная ширина, сдвиг.
9	Усреднение сечения реакций	Усреднение сечения реакций и усредненная S- матрица. Нейтронные резонансы и нейтронная силовая функция. Модель "черного" ядра.
10	Оптическая модель.	Оптическая модель. Оптическая теорема.
11	Многоступенчатые прямые и статистические реакции.	Многоступенчатые прямые и статистические реакции.

		Предравновесная модель и "мастер" - уравнение.
12	Оптическая модель для альфа-частиц и произвольных составных частиц.	Оптическая модель для альфа-частиц и произвольных составных частиц.
13	Современное развитие теории ядерных реакций.	Современное развитие теории ядерных реакций. Теория открытых Ферми-систем и атомные ядра.
14	Приближение высоких энергий.	Приближение высоких энергий. Метод Глаубера. Сечения рассеяния нуклонов и составных частиц на ядрах.
15	Мульти фрагментация	Мульти фрагментация. Скейлинг.
16	Испарительная модель.	Испарительная модель. Составное ядро. Метод Хаузера-Фешбаха.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Контроль	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.	Потенциальное рассеяние		2	1	3	6
2	Фазы рассеяния		2	1	3	6
3	Аналитические свойства S-матрицы		2	1	3	6
4	Полюса		2	1	3	6
5	Многочастичная теория ядерных реакций		2	2	3	7
6	Оптическая теорема.		2	1	3	6
7	R-матричная теория ядерных реакций.		2	2	3	6
8	Приближение случайных фаз Бете.		2	2	3	6
9	Усреднение сечения реакций		2	1	3	6
10	Оптическая модель.		2	2	3	7
11	Многоступенчатые прямые и статистические реакции.		2	2	3	7
12	Оптическая модель для альфа-частиц и произвольных составных частиц.		2	2	3	7
13	Современное развитие теории ядерных реакций.		3	1	3	7
14	Приближение высоких энергий.		3	2	3	8
15	Мульти фрагментация		3	1	3	7
16	Испарительная модель.		3	2	3	8
			36	24	48	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

1. работа с конспектами лекций,
2. выполнение практических заданий, тестов
3. выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ишханов Б. С. Частицы и атомные ядра : учебник по дисциплине "Физика атом. ядра" для студ. вузов, обуч. по специальностям 010701 - "Физика", 010705 - "Физика атом. ядра и частиц" и направлению 010700 - "Физика" / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2007 .— 581 с.(60 шт.)
2	Давыдов, А. С. Квантовая механика : [учебное пособие для студентов ун-тов и техн. вузов] / А.С. Давыдов .— 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011 .— 703 с.
3	Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт./ К.Н.Мухин.– Лань, 2009 // Издательство «Лань»: электронно-библиотечная система.– URL: https://e.lanbook.com/book/277#authors

б) основная литература:

№ п/п	Источник
4	Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учеб. для вузов : в 2 кн. / К.Н. Мухин .— 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1993.
5	Сивухин Д.В. Общий курс физики: в 5 т. / Д.В. Сивухин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002.– Т.5: Атомная и ядерная физика.– 2002.– 782 с.
6	Гольдбергер М. Теория столкновений / М. Гольдбергер, К. Ватсон. – М. : Мир, 1967.
7	Теория рассеяния и распадов в квантовой механике / А.Г. Ситенко. и др., – М. : Наука, 1970.
8	Ландау Л.Д. Квантовая механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Наука, 2001.
9	Вильдермут К. Единая теория ядра / К. Вильдермут, Я. Тан. – М. : Мир, 1980.
10	Лейн А. Теория ядерных реакций при низких энергиях / А. Лейн, Р. Томас. – М. : изд.-во и иностр. лит. 1960.
11	Ситенко А.Г. Теория реакций / А. Г. Ситенко.- М. : Энергоатомиздат, 1983.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ Источник
12	www.lib.vsu.ru
13	О.М. Князьков: Теория ядерных реакций. http://www.phys.spbu.ru/library/studentlectures/knjazkov/
14	Б.С.Ишханов, Э.И.Кэбин. Ядерные реакции http://nuclphys.sinp.msu.ru/react/index.html
15	Б.С.Ишханов, Э.И.Кэбин. Деление ядер. http://nuclphys.sinp.msu.ru/react/index.html

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
14	Алтуни, К.К. Теоретическая физика атомного ядра и элементарных частиц : учебно-методическое пособие / К.К. Алтуни. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 71 с. - ISBN 978-5-4475-0321-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240556

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)

Требования к аудиториям для проведения лекционных и практических занятий:

наличие доски и средств письма на ней, оснащение проекционной техникой и компьютером.

Требования к аудиторному оборудованию для проведения лабораторных занятий:

наличие компьютерных классов с современной компьютерной техникой.

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-4 Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	Знать: фундаментальные понятия, базовые модели, принципы и математические методы теории ядерных реакций, а также границы их применимости;		Практическое задание
	Уметь: выделить конкретное «физическое» содержание в прикладных задачах описания ядерных реакций, проводить анализ полученных результатов, ставить и решать конкретные задачи по физике ядерных реакций;		Практическое задание
	Владеть: базовыми формализмами современных теорий ядерных реакций при низких, средних и промежуточных энергиях, базирующихся на представлениях Общей физики, Высшей математики, Информатики, Математической статистики, Классической механики, Электродинамики, Атомной и Ядерной физики, с приложениями к решению типовых задач по физике ядерных реакций.		Практическое задание
Промежуточная аттестация			КИМ

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен применять теоретические знания для решения практических задач в области дисциплины.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки, допускает ошибки при решении практических задач</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен пояснять ответ, не умеет применять теоретические знания для решения практических задач в области дисциплины</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в физических понятиях.</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

19.3 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

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Потенциальное рассеяние на сферическом потенциале. Уравнение Шредингера и граничные условия
2. 2-Мультифрагментация. Скейлинг.
3. S-матрица для упругого рассеяния. Свойства S-матрицы. Унитарность
4. 2-Теория открытых Ферми-систем.
5. Аналитические свойства S-матрицы. Полюса и связанные состояния
6. 2-Приближение высоких энергий. Метод Глаубера.
7. Аналитические свойства S-матрицы. Виртуальные и квазистационарные состояния и сечения рассеяния.
8. 2-Оптическая теорема.
9. Аналитические свойства S-матрицы. Траектории полюсов. Виртуальные и антисвязанные состояния.
10. 2-Связь S- и T- матриц. Уравнение Липпмана - Швингера для T- матрицы.
11. R-матричная Физика ядерных реакций. Каналовые функции. Волновая функция системы в внешней области.
12. 2-T-матричный вариант модели ядерных реакций.
13. R-матричная теория ядерных реакций. Волновые функции системы во внутренней области. Система связанных функций. Сшивка волновых функций.
14. 2-Предравновесная модель и «мастер»- уравнение.
15. Связь S- и R- матриц. Приближение изолированного резонанса.
16. 2-Статистические ядерные реакции.
17. Приближение случайных фаз. Случай сильно перекрывающихся резонансов. Приведенная ширина, энергетический сдвиг резонанса.
18. 2-Многоступенчатые прямые реакции.
19. Нейтронные резонансы и нейтронная силовая функция.
20. 2-Испарительная модель. Составное ядро. Метод Хаузера-Фешбаха.
21. Оптическая модель для упругого рассеяния нейтронов.
22. 2-Оптическая модель для составных частиц.

19.3.2 Перечень практических заданий

1. Получить формулу углового распределения продуктов фотоядерной реакции $\gamma + A \rightarrow C^* \rightarrow B + y$, проходящей через промежуточное состояние C^* . Учесть возможность разных поляризационных состояний фотона.
2. Найти продольный формфактор упругого рассеяния для ядра ^{16}O в области $q \leq 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-1}$. (Спин ядра ^{16}O равен нулю, нуклоны заполняют оболочки 1s, 1p; радиальные волновые функции считать осцилляторными с параметром $r_0 = 1,77 \cdot 10^{-13} \text{ см}$).
3. Выразить эффективное сечение рассеяния электронов назад ($\theta = 180^\circ$).
4. Получить формулы углового распределения продуктов распада ориентированной системы в представлении квантовых чисел lLJ . Сравнить с результатами в представлении спина канала.
5. При изучении рассеяния π^+ -мезонов на протонах было обнаружено, что сечение упругого рассеяния имеет максимум при кинетической энергии в с.ц.и. $E_r = 150 \text{ МэВ}$, причем зависимость сечения упругого рассеяния в этой области описывается формулой Брейта-Вигнера (резонанс дельта-изобара). Угловое распределение рассеянных мезонов при $E = E_r$ хорошо аппроксимируется выражением $\sigma(\theta) \propto 1 + 3 \cos^2 \theta$. Используя этот факт, определить, какие значения спина и четности может иметь резонанс? Внутренняя четность π -мезона отрицательна.
6. Получить формулу углового распределения фотонов из реакции $A(n, \gamma)B$, учитывая возможность интерференции состояний составного ядра, имеющих противоположную четность.
7. Получить выражение для T-матрицы кулоновского рассеяния.
8. В области $q \ll 1/R$ (R – характерный радиус ядра) выразить формфакторы упругого рассеяния электронов на ядрах с нулевым спином через среднеквадратический радиус распределения заряда в ядре.
9. Найти угловое распределение протонов, возникающих при фоторасщеплении дейтона. Ограничиться дипольным приближением. Нуклоны считать бесспиновыми, а начальное состояние дейтона – S-состояние по относительному движению.

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме письменных работ выполнение практико-ориентированных заданий. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практические задания, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются количественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.