

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики

 / Титова Л.В./  
13.06.2024г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.07.01 Ядерные реакции**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

14.03.02 Ядерные физика и технологии

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Физика атомного ядра и частиц

**3. Квалификация выпускника: бакалавр**

**4. Форма обучения: очная**

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра ядерной физики

**6. Составители программы:**

д.ф.м.н., профессор Кадменский Станислав Георгиевич

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 13.06.2024

**8. Учебный год: 2027/2028**

**Семестр(ы): 8**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- ознакомление студентов с основными подходами, используемыми при описании различных типов ядерных реакций.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучение основных особенностей математических моделей, используемых для описания ядерных реакций: оптическая модель, испарительная модель, многочастичная теория ядерных реакций, многоступенчатые прямые статистические реакции, теория открытых Ферми-систем;

- приобретение умений эффективно применять вышеуказанные знания для решения фундаментальных и прикладных задач ядерной физики; использовать математический формализм теории ядерных реакций; владеть техникой расчета свойств атомных ядер в рамках основных моделей ядра.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к вариативной части цикла Б1.В.ДВ. (Дисциплины по выбору).

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области.	ПК-1.1	Знать основные способы анализа состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников по тематике исследований.	Знать: основные теоретические представления о низкоэнергетическом делении атомных ядер и свойствах атомных ядер, влияющих на процесс деления, основы квантовой теории деления атомных ядер, механизмы возникновения асимметрий и анизотропий в угловых распределениях продуктов двойного и тройного деления ядер.  Уметь: при использовании аппарата квантовой теории деления рассчитывать анизотропии и асимметрии в угловых распределениях фрагментов двойного и тройного деления ядер.  Владеть: теоретическими основами процесса деления атомных ядер, являющегося определяющим в работе атомной энергетики.
		ПК-1.2	Использует основные способы анализа состояния научно-технической проблемы путем подбора.	
		ПК-1.3	Проводит изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований.	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час —4/144.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		8 семестр
Аудиторные занятия	38	38
в том числе:	лекции	12
	практические	26
	лабораторные	
Самостоятельная работа	70	70
в том числе: курсовая работа (проект)		
Контроль	36	36
Форма промежуточной аттестации	Экзамен	Экзамен
Итого:	144	144

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Общие теоретические представления о спонтанном и низкоэнергетическом индуцированном двойном делении ядер	Общее понятие деления атомного ядра. Стадии деления атомного ядра. Потенциал деформации ядра в модели двугорбого барьера деления. Ядерная изомерия. Механизм появления анизотропий в угловых распределениях фрагментов деления в работах О. Бора и В.М. Струтинского.	-
1.2	Квантовая теория спонтанного и низкоэнергетического вынужденного двойного деления ядер	Общие представления квантовой теории двойного деления ядер. Механизм генерации больших значений спинов и относительных орбитальных моментов фрагментов двойного деления ядер. Представление о «холодности» делящегося ядра	-
1.3	Общие теоретические представления о тройном делении ядер	Анализ экспериментальных свойств тройного деления. Современные теоретические модели тройного деления ядер.	-
1.4	Квантовая теория спонтанного и низкоэнергетического вынужденного тройного деления ядер	Динамика тройного деления. Переход в уравнении Шредингера, описывающем движение продуктов тройного деления к гипергеометрическим координатам. Построение ядерных и кулоновских потенциалов взаимодействия продуктов деления. Механизм «встряски», отвечающий за вылет третьих частиц.	-
1.5	T-нечетные асимметрии в тройном делении ядер	Понятие T-нечетных асимметрий и их связь с T-инвариантностью. Теоретическое описание T-нечетных асимметрий в рамках квантовой теории тройного деления ядер.	-
1.6	P-четные и P-нечетные асимметрии в двойном и тройном делении ядер	Понятие P-нечетных и P-четных асимметрий и их связь с сохранением пространственной четности. Теоретическое описание P-нечетных и P-четных асимметрий в рамках квантовой теории двойного и тройного деления ядер.	-

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
1	Общие теоретические представления о спонтанном и низкоэнергетическом индуцированном двойном делении ядер	2	4		10	6	22
2	Квантовая теория спонтанного и низкоэнергетического вынужденного двойного деления ядер	2	4		12	6	24
3	Общие теоретические представления о тройном делении ядер	2	4		12	6	24
4	Квантовая теория спонтанного и низкоэнергетического вынужденного тройного деления ядер	2	4		12	6	24
5	T-нечетные асимметрии в тройном делении ядер	2	4		12	6	24
6	P-четные и P-нечетные асимметрии в двойном и тройном делении ядер	2	6		12	6	26
	Итого:	12	26		70	36	144

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

**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	Михайлов М. А. Ядерная физика и физика элементарных частиц: учебное пособие : в 2-х ч, Ч. 1. Физика атомного ядра/ М. А.Михайлов.– М.: Прометей, 2011.– 94 с.
2	Мальшев Л. Г.Физика атома и ядра/ Л. Г.Мальшев , А. А.Повзнер.– Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014.– 145 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Капитонов И. М. Введение в физику ядра и частиц: учебник/ И. М.Капитонов.– М.: Физматлит, 2010.– 512 с.
7	Квантовая теория двойного и тройного деления атомных ядер : учебное пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: С.Г. Кадменский, Л.В. Титова .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2007 .— 46 с. : ил. — Библиогр.: с.44-46 .
8	Теория атомного ядра : Учебное пособие для гос. ун-тов / А.С. Давыдов .— М. : Физматлит, 1958 .— 612 с. + ил., табл.
9	Бор, О. Структура атомного ядра : [в 2 т.] : пер. с англ. / О. Бор, Б. Моттельсон ; под ред. Л.А. Слива .— М. : Мир, 1971-.Т. 2: Деформация ядер .— 1977 .— 464 с. : ил., табл.
10	Деление ядер / И. Халперн ; пер. с англ. Б.Д. Кузьминова, Г.Н. Смиреникина; под ред. А.И. Лейпунского .— М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962 .— 154 с.
11	Деление атомных ядер : Учеб. пособ. по курсу "Основы ядер. и нейтрон. физики" / А.И. Абрамов ; Обнин. ин-т атом. энергетики. Физ.-энергет. фак. — Обнинск, 1991 .— 103с. : ил.,табл. — 2000.
12	Фотоделение при подбарьерных возбуждениях ядер / Ю. Б. Остапенко [и др.] // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 1981. – ЭЧАЯ. Т. 12, вып. 6. – С. 1364–1431.
13	Кадменский С. Г. Механизмы двойного и тройного низкоэнергетического деления ядер с учетом эффектов несферичности / С. Г. Кадменский // Ядерная физика. – 2004. – Т. 67, № 1. – С. 167–179.
14	Кадменский С. Г. Квантовые и термодинамические характеристики спонтанного и низкоэнергетического индуцированного деления ядер / С. Г. Кадменский // Ядерная физика. – 2005. – Т. 68, № 12. – 2030–2041.

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

№ п/п	Ресурс
	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ

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

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.03.02. Ядерная физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с.

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - [www.lib.vsu.ru](http://www.lib.vsu.ru) - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Большая физическая аудитория им. М.А. Левитской (для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) Специализированная мебель, ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apilo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/">https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/</a> ) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses">https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses</a> )	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 428
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apilo-T	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 31
Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)	г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 313а

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Общие теоретические представления о спонтанном и низкоэнергетическом индуцированном двойном делении ядер	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	Устный опрос, собеседование по билетам к экзамену
2.	Квантовая теория спонтанного и низкоэнергетического вынужденного двойного деления ядер			
3.	Общие теоретические представления о тройном делении ядер			
4.	Квантовая теория спонтанного и низкоэнергетического вынужденного тройного деления ядер			
5.	T-нечетные асимметрии в тройном делении ядер			
6.	P-четные и P-нечетные асимметрии в двойном и тройном делении ядер			
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Пункт 20.2.1 Вопросы к экзамену

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Устный опрос

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

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Повышенный уровень</i>	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Базовый уровень</i>	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	<i>Пороговый уровень</i>	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к экзамену

---

### 20.2.1. Перечень вопросов к экзамену:

1. Общее понятие деления атомного ядра. Стадии деления атомного ядра.
2. Динамика тройного деления. Переход в уравнении Шредингера, описывающем движение продуктов тройного деления к гипергеометрическим координатам.
3. Потенциал деформации ядра в модели двугорбого барьера деления. Ядерная изомерия.
4. Понятие Т-нечетных асимметрий и их связь с Т-инвариантностью. Экспериментальное обнаружение Т-нечетных асимметрий в тройном делении ядер.
5. Механизм появления анизотропий в угловых распределениях фрагментов деления в работах О. Бора и В.М. Струтинского.
6. Вероятности вылета третьих частиц в тройном делении ядер. Механизм «встряски».
7. Общие представления квантовой теории двойного деления ядер. Волновые функции фрагментов деления, каналовые функции.
8. Теоретическое описание Т-нечетных асимметрий в рамках квантовой теории тройного деления ядер.
9. Механизм генерации больших значений спинов и относительных орбитальных моментов фрагментов двойного деления ядер.
10. Понятие Р-нечетных и Р-четных асимметрий и их связь с сохранением пространственной четности. Экспериментальное наблюдение Р-нечетных и Р-четных асимметрий в делении ядер.
11. Представление о «холодности» делящегося ядра.
12. Теоретическое описание Р-нечетных асимметрий в рамках квантовой теории тройного деления ядер.
13. Анализ экспериментальных свойств тройного деления. Современные теоретические модели тройного деления ядер.
14. Ядерные и кулоновские потенциалы взаимодействия продуктов деления.
15. Теоретическое описание Р-нечетных асимметрий в рамках квантовой теории двойного и тройного деления ядер.
16. Механизм генерации больших значений спинов и относительных орбитальных моментов фрагментов двойного деления ядер.
17. Теоретическое описание Р-четных асимметрий в рамках квантовой теории двойного и тройного деления ядер.
18. Динамика тройного деления. Энергетические характеристики продуктов тройного деления.

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

Критерии оценивания компетенций	<i>Уровень сформированности компетенций</i>	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Повышенный уровень</i>	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Базовый уровень</i>	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	<i>Пороговый уровень</i>	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно