

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан физического факультета

 С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.



Рабочая программа дисциплины

**Физика атомного ядра и элементарных частиц**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Профиль подготовки  
**«Фундаментальная физика»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2021**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.04.06

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск – 2021

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-1 – Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;
- ПК-1 – Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1. – Знает основные законы, модели и методы исследования физических процессов и явлений;

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить понятийный аппарат теоретической ядерной физики и физики элементарных частиц.

– Научиться применять понятийный аппарат теоретической ядерной физики для решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 6, экзамен.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

- лекции: 32 ч.;
- лабораторные работы: 32 ч.
- в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Появление и развитие ядерной физики.

Исторические вехи развития ядерной физики. Квантово-механический язык ядерной физики. Ядерная медицина. Атомная и перспективная энергетика.

Тема 2. Свойства атомных ядер.

Масса. Заряд, Чётность. Спин. Дипольный и квадрупольные электрические моменты. Магнитный момент. Изоспин. Странность. Измеряемые в опыте характеристики ядер.

Тема 3. Модели ядер.

Микроскопические и коллективные модели ядер. Капельная и газовая модели. Формула Вейцзеккера. Оболочечная модель.

Тема 4. Радиоактивность.

Явление радиоактивности. Альфа-, бета-, гамма-распады. К-захват. Дозиметрия.

Тема 5. Ядерные реакции.

Виды реакций. Энергетическая зависимость выходов реакций. Принцип детального равновесия. Первичный нуклеосинтез. Звёздный нуклеосинтез.

Тема 6. Кинематика ядерных реакций.

Система центра масс и лабораторная система. Переходы из одной системы в другую. Сечения в различных системах. Лоренц преобразования в движущиеся системы.

Тема 7. Деление и синтез.

Условия возникновения деления. Модели деления. Энергетический выход реакций деления. Распределение продуктов деления по массе, энергии. Условие развития синтеза. Скорость термоядерных реакций. Катализ реакций.

Тема 8. Формальная теория рассеяния. Сечения.

Классическая и квантовая теория рассеяния. Резерфордовское рассеяние. Связь амплитуды рассеяния и сечения. Оптическая теорема. Парциально-волновые разложения.

Тема 9. Модели ядерных реакций.

Прямые и идущие через стадию составного ядра реакции. Резонансные и нерезонансные вклады. Формализм Хаузера-Фешбаха. Оптические модели. Реакции срыва и подхвата. Феноменология барион-барионного взаимодействия.

Тема 10. Теория многочастичных реакций. Связывание каналов.

Связанные уравнения Шрёдингера и Липпмана-Швингера. Уравнения Фаддеева. Модельные расчёты.

Тема 11. Физика субатомных частиц.

Классификация частиц по мультиплетам. Типы и характеристики фундаментальных взаимодействий. Релятивистские инварианты. Лагранжианы и сечения. Коэффициенты Клебша-Гордана. Стандартная модель и её недостатки.

Тема 12. Современные теории. КЭД. КХД.

Процессы между частицами. Сечения. Релятивистские столкновения. Вывод сечения Резерфордовского рассеяния из КЭД. Идеология КХД.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения контрольных работ, заданий по материалам курса и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение лабораторных работ – 30, выполнение контрольных работ – балл 20. Контрольная точка проводится один раз в семестр в письменной форме.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

**Экзамен в 6 семестре** проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1.5 часа.

На промежуточную аттестацию планируется не более 40% рейтинга.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Экзаменационная оценка определяется исходя из результатов экзамена и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 99-86 — «отлично»; 85-66 — «хорошо»; 65-45 — «удовлетворительно», менее 45 — «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет состоит из двух частей.

Первая часть представляет собой тест из 3-х основных вопросов, включая задачи, проверяющих сформированность компетенции ОПК-1 в соответствии с индикатором ИОПК-1.1. Ответы даются в развернутой форме.

Вторая часть содержит 2 дополнительных вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих сформированность компетенции ПК-1 и соответствие индикатору достижения компетенции ИПК-1.1. Ответ на вопрос второй части дается в краткой форме, включающей краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов.

Вопрос 1. Приведите описание фундаментальных частиц Стандартной модели (лептоны, кварки, калибровочные бозоны). Сформулируйте общее описание Стандартной модели, её параметров и нерешённых вопросов.

Вопрос 2. Опишите процесс синтеза лёгких ядер и скорости термоядерных реакций.

Вопрос 3. Задача. Нейтронный пучок проходит через пузырьковую камеру длиной  $d = 1$  м, которая может быть как пустой, так и заполненной водородом при температуре 20 градусов и давлении 760 мм рт.ст. Нейтроны детектируются счётчиком расположенным в конце цилиндра. Для одного и того же потока нейтронов счётчик регистрирует  $5 \times 10^6$  событий в пустой камере и  $4.6 \times 10^6$  событий в камере заполненной  $H_2$ . Оценить сечение нейтрон-протонного взаимодействия.

Дополнительные вопросы.

Вопрос 1. Опишите энергию связи ядра, дефект масс и формулу Вейцеккера.

Вопрос 2. Сформулируйте основные положения капельной и газовой моделей ядра.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=30151>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен.

1. Теория  $R$  –матриц. Ядерные реакции и эффективные поперечные сечения.
2. Измеряемые в опыте характеристики ядер.
3. Глубоко-неупругое рассеяние электронов и формулы Розенблата. Столкновение  $e^+e^-$ .
4. Модели прямых ядерных реакций.
5. Фото-и электророжение мезонов и адронные резонансы. Разложение по мультиполям матричных элементов операторов электромагнитного перехода и теорема Зиггера.
6. Фото-и электророжение мезонов и адронные резонансы. Разложение по мультиполям матричных элементов операторов электромагнитного перехода и теорема Зиггера.
7. 4-фундаментальных взаимодействия (лептоны, адроны, калибровочные бозоны). Стандартная модель, её параметры и нерешённые вопросы.
8. Уравнения Фаддеева и поведение ядерных сил вне массовой поверхности. Феноменология нуклон-нуклонного взаимодействия.
9. Синтез лёгких ядер и скорости термоядерных реакций.
10. Теория многочастичных реакций и связывание каналов. Формализм Хаузера-Фешбаха для резонансных реакций.
11. Энергия связи ядра, дефект масс и формула Вейцеккера.
12. Парциально-волновое разложение для амплитуды рассеяния и связь упругого и неупругого сечений с фазовыми сдвигами.
13. Импульсное приближение и методы плоских и искажённых волн (модель ядерной реакции).

14. Реакции идущие через стадию составного ядра и особенности резонансных реакций. Деление ядер и модели деления (недостатки капельной модели, оболочечные поправки).
15. Общая релятивистская формула для дифференциала сечения. Упругое, неупругое рассеяние, ядерные реакции (законы сохранения, каналы реакций, энергетический выход).
16. Капельная и газовая модели ядра.
17. Начальный, звёздный нуклеосинтез и эволюция звёзд на диаграмме Герцшпрунга-Расселя. Слабое взаимодействие.
18. Связь импульсов и энергий частиц в СЦМ и ЛС. Связь сечений в различных инерциальных системах и Лоренц преобразования для энергии-импульса.
19. Оптические модели реакций.
20. Деление ядер (осколки, энергетика, распределение продуктов по массе) и параметр делимости Бора. Ядерные реакции вызываемые нейтронами и виды обменных ядерных сил.
21. Действие радиации и её источники (абсорбционная и поглощённая дозы). Радиоактивность ( $\alpha, \beta, \gamma$  – излучения).
22. Оболочечная модель ядра (плюсы, минусы, порядок заполнения оболочек).

в) Перечень рекомендуемых лабораторных работ:

- 1) Определение периода полураспада радиоактивного изотопа по величине  $\alpha$ -пробега;
- 2) Определение активности радиоактивного препарата абсолютным методом;
- 3) Определение периода полураспада долгоживущего изотопа;
- 4) Изучение поглощения космического излучения в свинце;
- 5) Изучение углового распределения интенсивности космического излучения;
- 6) Определение  $\beta$ -активности;
- 7) Изучение  $\alpha$ -активности;
- 8) Исследование характеристического рентгеновского излучения;
- 9) Дуплетное расщепление рентгеновского излучения Fe и Mo.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к зачету.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение.

1. Детектирование частиц.
2. Электромагнитные взаимодействия в ядрах
3. Спин и изоспин в ядерных реакциях.
4. Уравнение переноса нейтронов.

Литература к темам для самостоятельного изучения

А) <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=30151> (конспекты дополнительных тем)

Б) – Айзенберг И. Механизмы возбуждения ядра / И. Айзенберг, В. Грайнер. – М.: АТОМИЗДАТ, 1973 г. – 348 с.

– Глазков В. Атомная и ядерная физика (курс лекций) / В. Глазков. – М., 2016 г. – 204 с.

– Кузьмин А. Основы теории переноса нейтронов / А. Кузьмин. – Томск: ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, 2007 г. – 192 с.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Ишханов Б. Частицы и атомные ядра. Учебник / Б. Ишханов, И. Капитонов, Н. Юдин. – М.: ЛКИ, 2007. – 584 с.
2. Капитонов И. Введение в физику ядра и частиц. /И. Капитонов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010 г. – 379 с.
3. Bianchini L. Selected exercises in Particle and Nuclear Physics / Bianchini L. – Pisa: Springer, 2018 г. – 374 с.

б) дополнительная литература:

- Давыдов А. Теория Атомного ядра / А. Давыдов. – М.: ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, 1958 г. – 613 с.
- Мухин К. Экспериментальная ядерная физика т.1 (физика атомного ядра) / Мухин К. – М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1983 г. – 376 с.
- Балашов В. Курс квантовой механики / В. Балашов, К. Долинов. – М.: РХД, 2001 г. – 336 с.
- Глазков В. Атомная и ядерная физика (курс лекций) / В. Глазков. – М.:, 2016 г. – 204 с.
- Ситенко А. Лекции по теории ядра / А. Ситенко, В. Тартаковский. – М.: АТОМИЗДАТ, 1972 г. – 351 с.
- Greiner W. Nuclear models // W. Greiner, J. Marun. – Berlin.: Springer, 1995 г. – 399 с.
- Балдин А. Кинематика ядерных реакций / А. Балдин, В. Гольданский, И. Розенталь. – М.: ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, 1959 г. – 307 с.
- Айзенберг И. Механизмы возбуждения ядра / И. Айзенберг, В. Грайнер. – М.: АТОМИЗДАТ, 1973 г. – 348 с.
- Н. Нелипа. Введение в теорию сильно-взаимодействующих элементарных частиц / Н. Нелипа. – М.: АТОМИЗДАТ, 1970 г. – 488 с.
- Greiner W. Quantum Electrodynamics (4-th Ed.) / W. Greiner, J. Reinhardt. – Berlin.: Springer, 2009 г. – 461 с.
- Кузьмин А. Основы теории переноса нейтронов / А. Кузьмин. – Томск: ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, 2007 г. – 192 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Лекции профессора Ишханова (2016 г.)  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/lect/ishkhanov2016/index.html>
2. Лекции профессора И.М. Капитонова (2016 г.)  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/lect/kapitonov2016/index.html>
3. Ядерная физика в Интернете. Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ. [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/> (дата обращения 15.02.2015)

## 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>  
– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>  
– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>  
– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>  
– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>  
– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

#### **15. Информация о разработчиках**

Егоров Михаил Викторович, кандидат физико-математических наук, физический факультет Томского государственного университета, старший научный сотрудник, доцент кафедры квантовой теории поля.