

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Университет «Дубна»  
(государственный университет «Дубна»)

Инженерно-физический институт  
Кафедра ядерной физики

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебно-методической  
работе

/ А.С. Деникин

« 26 » 09 2022 г.



**ПРОГРАММА  
вступительного экзамена**

Научная специальность

*1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий*

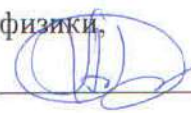
Форма обучения:

очная

Дубна, 2022 г.

**Авторы программы:**

Профессор кафедры ядерной физики,  
доктор ф.-м. н.  /Карпов А.В.

Доцент кафедры ядерной физики,  
кандидат ф.-м. н., доцент  /Деникин А.С.

Программа рассмотрена на заседании кафедры ядерной физики

Протокол заседания № 7 от «23» сентября 2022 г.

Заведующий кафедрой  /Оганесян Ю.Ц.

## 1. Аннотация

Для сдачи вступительного экзамена по научной специальности 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий поступающие должны:

- письменно и устно представить реферат с анализом той области, с которой будет связана научная работа над кандидатской диссертацией;
- уметь кратко изложить содержание научной работы над кандидатской диссертацией;
- знать материал, предусмотренный общей частью программы.

Тематическими разделами программы вступительного экзамена являются:

Общие вопросы разделов физики, включая:

- Общая физика и квантовая механика;
- Физика ядра и элементарных частиц.

## 2. Процедура проведения вступительного экзамена

Вступительный экзамен проводится в форме устного собеседования по экзаменационным билетам. Перед абитуриентов в экзаменационном билете ставятся 2 вопроса.

Время подготовки устного ответа составляет не более 40 минут. По истечении отведенного времени абитуриент приглашается для сдачи экзамена. После ответа на вопросы экзаменационного билета, абитуриенту задаются дополнительные вопросы для уточнения ответов на вопросы экзаменационного билета. Опрос одного абитуриента по экзаменационному билету продолжается не более 30 минут.

Общее время, отведенное на сдачу вступительного экзамена одним абитуриентом, составляет не более 30 минут.

Дополнительные материалы и оборудование на вступительном экзамене не используются.

## 3. Критерии выставления оценок по результатам сдачи вступительного экзамена

Ответы на вопросы билета вступительного экзамена оцениваются по четырехбалльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Отказ от ответа на один вопрос билета является, как правило, основанием для выставления неудовлетворительной оценки за вступительный экзамен в целом.

Оценка	Характеристики ответа
Отлично	Ответ полный, логичный, конкретный, без замечаний, продемонстрированы знания психологической проблематики и терминологии в области физики
Хорошо	Ответ полный, логичный, конкретный, присутствуют незначительные замечания в отношении знания проблематики и терминологии в области физики.
Удовлетворительно	Ответ неполный, отсутствует логичность повествования, допущены существенные фактологические ошибки.
Неудовлетворительно	Ответ на поставленный вопрос не дан.

## 4. Содержание программы

### Тема 1 «Общая физика и квантовая механика»

1. Движение в центрально симметричном поле. Закон сохранения момента импульса. Задача Кеплера. Законы Кеплера. Рассеяние частиц. Формула Резерфорда.
2. Однородность времени. Закон сохранения энергии. Однородность пространства. Закон сохранения импульса. Опыт Майкельсона-Морли. Постулаты Эйнштейна и некоторые эффекты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Релятивистское выражение для импульса и энергии. Релятивистские инварианты.
3. Идеальный газ. Основные газовые законы. Распределение молекул газа по скоростям. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле. Канонические распределения. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Фазовые переходы первого и второго рода. Условия устойчивости и равновесия.
4. Первое начало термодинамики. Теплота. Внутренняя энергия. Теплоемкость. Уравнение Пуассона. Циклические процессы. Второе начало термодинамики. Энтропия термодинамической системы. Термодинамические потенциалы.
5. Электростатическое поле. Теорема Гаусса. Мультипольное разложение потенциала. Статическое магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея. Правило Ленца. Самоиндукция. Энергия магнитного поля. Электромагнитные колебания.
6. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Скалярный и векторный потенциалы. Электромагнитные волны. Излучение. Энергия и поток энергии электромагнитного поля. Излучение диполя.
7. Интерференция света. Временная и пространственная когерентность. Интерферометры. Дифракция света. Приближения Френеля и Фраунгофера. Спектральные приборы.
8. Экспериментальные факты, лежащие в основе квантовой теории. Волновые и корпускулярные свойства материи. Атом водорода по Бору. Основные постулаты квантовой механики. Чистые и смешанные состояния квантовомеханической системы. Волновая функция, матрица плотности. Принцип неопределенности.
9. Описание эволюции квантовомеханических систем. Уравнения Гейзенберга и Шредингера. Стационарные состояния. Линейный квантовый гармонический осциллятор. Энергии и волновые функции стационарных состояний.
10. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
11. Угловой момент. Сложение моментов.
12. Движение в центральном поле. Атом водорода: волновые функции и уровни энергии.
13. Стационарная теория возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Эффекты Зеемана и Штарка.
14. Уравнение Дирака. Квазирелятивистское приближение. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектра атома водорода.
15. Системы тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
16. Многоэлектронный атом. Приближение самосогласованного поля. Электронная конфигурация. Терм. Тонкая структура терма. Приближение LS и jj-связей.
17. Нестационарная теория возмущений. Золотое правило Ферми.
18. Вторичное квантование свободного электромагнитного поля. Взаимодействие атома с квантованным полем излучения.
19. Основы физики молекул. Адиабатическое приближение. Термы двухатомной молекулы. Типы химической связи.
20. Излучение света атомами и молекулами. Спонтанные и вынужденные переходы. Лазеры.

## Тема 2 «Физика ядра и элементарных частиц»

1. Основные свойства атомных ядер. Опыт Резерфорда. Размеры ядер. Ядро как совокупность протонов и нейтронов. Распределение заряда в ядре. Масса и энергия связи ядра. Стабильные и радиоактивные ядра. Квантовые характеристики ядерных состояний. Спин ядра.
2. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Статистический характер распада. Искусственная радиоактивность. Альфа-распад. Одночастичная теория  $\alpha$ -распада Гамова. Закон Гейгера-Нэттола.
3. Бета-распад. Виды  $\beta$ -распада (типы  $\beta$ -переходов, энергия  $\beta$ -распада). Теория Ферми. Вероятности  $\beta$ -переходов. Классификация  $\beta$ -переходов по степени запрещенности. Правила отбора,  $\log ft$ . Форма  $\beta$ -спектра. Ферми-Кюри плот. Влияние кулоновского поля атома на форму спектра (функция Ферми). Правило Саржента.
4. Гамма-излучение ядер. Электрическое и магнитное мультипольное излучение. Одночастичные оценки вероятностей  $\gamma$ -переходов (Вайскопфа, Мошковского). Внутренняя конверсия  $\gamma$ -лучей. Ядерная изомерия и ее связь со структурой ядра. Эффект Мессбауэра.
5. Нуклон-нуклонное взаимодействие и свойства ядерных сил. Система двух нуклонов. Дейтрон – связанное состояние в  $n$ - $p$  системе. Тензорный характер ядерных сил. Зарядовая независимость ядерных сил. Изоспин. Обменный характер ядерных сил. Мезонная теория нуклон-нуклонного взаимодействия. Потенциал однопионного обмена  $NN$ -взаимодействия и фазовые сдвиги в высших парциальных волнах  $NN$  рассеяния.
6. Модели атомных ядер. Микроскопические и коллективные модели. Модель Ферми-газа. Физическое обоснование оболочечной модели. Потенциал среднего ядерного поля. Спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в ядерном потенциале. Коллективные свойства ядер. Модель жидкой капли. Полуэмпирическая формула энергии связи ядра. Деформация ядер. Колебательные и вращательные состояния ядер.
7. Ядерная электроника. Общая структура и основные элементы ядерно-физического эксперимента. Основы импульсной техники. Аналоговые и логические устройства. Цифровая электроника.
8. Принципы работы ускорителей. Линейные ускорители. Циклотроны, изохронные циклотроны, синхроциклотроны. Вывод частиц из ускорителей. Бетатрон. Линейный индукционный ускоритель. Источники заряженных частиц. Встречные пучки.
9. Методы изучения ядерных реакций. Детекторы ядерных излучений в физическом эксперименте. Сечения реакций. Каналы реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях. Кинематика ядерных реакций. Методы идентификации частиц. Измерение времен.
10. Составное ядро. Гипотеза Н. Бора о независимости процессов образования составного ядра и его распада. Плотность уровней в модели ферми-газа. Роль одночастичных состояний. Параметр плотности уровней. Температура. Распад составного ядра. Испарительные и делительная ширины.
11. Прямые ядерные реакции. Теория упругого рассеяния. Борновское приближение. Парциальное разложение волновой функции и амплитуды рассеяния. Дифференциальное сечение рассеяния. Оптическая модель упругого рассеяния. Методы описания неупругих процессов (метод искаженных волн, метод связи каналов).
12. Ядро-ядерное взаимодействие: фолдинг-потенциал, потенциал проксимити, феноменологические потенциалы. Основные экспериментальные закономерности реакций слияния и глубоко неупругого рассеяния атомных ядер. Трансурановые элементы. Сверхтяжелые ядра. Описание процесса слияния.

13. Деление ядер. Модель жидкой капли. Барьер деления. Метод оболочечной поправки Струтинского. Изомеры формы. Экспериментальные методы исследования ядерного деления. Цепная реакция деления. Ядерные взрывы. Ядерные реакторы.
14. Взаимодействие фотонов и электронов с ядрами. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта - Вигнера. Основные свойства электромагнитного взаимодействия. Испускание и поглощение фотонов. Фотоядерные реакции. Гигантский резонанс сечения фотопоглощения. Упругое рассеяние электронов. Формула Мотта. Формфакторы нуклонов и частиц.
15. Взаимодействие заряженных частиц со средой. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Пробеги заряженных частиц, многократное рассеяние, радиационное торможение. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Прохождение гамма-излучения через вещество. Эффект Комптона. Образование электрон-позитронных пар. Биологическое действие излучения и защита от него.
16. Современные астрофизические представления. Эволюция и состав Вселенной. Реликтовое излучение. Космологический нуклеосинтез в горячей Вселенной. Нуклеосинтез в звездах. Распространенность химических элементов. Нейтринная астрономия. Сверхновые. Нейтронные звезды. Черные дыры. Космические лучи. Барионная асимметрия Вселенной. Поиски антивещества во Вселенной. Распад протона.
17. Частицы и взаимодействия. Четыре типа фундаментальных взаимодействий. Константы и радиусы взаимодействия. Принципы описания взаимодействия частиц в квантовой теории поля. Переносчики взаимодействия. Понятие о диаграммах Фейнмана. Основные характеристики частиц. Классификация частиц. Калибровочные бозоны, лептоны и адроны. Фундаментальные частицы. Квантовые числа частиц и законы сохранения. Античастицы.
18. Сильные взаимодействия. Классификация адронов. Барионы и мезоны. Супермультиплеты адронов. Странность и другие адронные квантовые числа. Глубоконеупругие процессы. Кварки. Глюоны. Кварковая модель адронов. Цвет кварков и глюонов. Потенциал сильного взаимодействия. Асимптотическая свобода и невылетание кварков (конфайнмент).
19. Слабые взаимодействия. Основные характеристики слабого взаимодействия. Распады мюона и тау-лептона. Лептоны и лептонные квантовые числа. Промежуточные бозоны  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z$ . Законы сохранения в слабых взаимодействиях. Слабые распады лептонов и кварков. Нейтрино и антинейтрино. Взаимодействие нейтрино с веществом.
20. Дискретные симметрии. Симметрии и законы сохранения. Пространственная инверсия. Зарядовое сопряжение. Обращение времени. Несохранение пространственной и зарядовой четности в слабых взаимодействиях. СРТ-инвариантность. Экспериментальная проверка инвариантности различных типов фундаментальных взаимодействий. CP-преобразование.  $K^0$ -мезоны. Нарушение CP-симметрии в распаде  $K^0$ -мезонов.

## 5. Учебно-методическое обеспечение

### Основная литература

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5 Т. Т 5 : Атомная и ядерная физика : учеб. пособие – М.: Физматлит, 2002.- 784 с..
2. Матвеев А. Н. Атомная физика. – М.: Высшая школа, 1989.- 439 с..
3. Савельев И. В. Курс общей физики. В 4 Т. Т 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц : учеб. пособие / под общ. ред. В. И. Савельева. - М. : КНОРУС, 2009. - 368 с.

4. Иродов А. Н. Квантовая физика. Основные законы : учеб. пособие для вузов. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2002.- 272 с.
5. Иродов А. Н. Задачи по квантовой физике. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2002.- 216 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Робертсон, Б. Современная физика в прикладных науках. – М.: Мир, 1985.- 272 с.
2. Физическая энциклопедия. В 5 Т. М. : Советская энциклопедия, Большая российская энциклопедия, 1988 - 1998.- 757 с.
3. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа. 1977. – 288 с.
4. Физика твердого тела: Учеб. пособие для втузов/И. К. Верещагин, С. М. Кокин, В. А. Никитенко, В. А.. Селезнев, Е. А. Серов; под ред. И. К. Верещагина. - М.: Высшая школа, 2001.- 237 с.
5. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. - 792 с.
6. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в атомную физику. – М.: Наука, 1969. – 303 с.
7. Хабердигтц В. Строение материи и химическая связь. – М.: Мир, 1974. – 296 с.
8. Ч.Пул-мл., Ф.Оуэнс. Нанотехнологии. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
9. Водянов, Н. Г., Самарин В.В. Физика атома и атомных явлений. Лабораторный практикум. /Н. Г. Водянов, В. В. Самарин. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1993.- 136 с.
10. Самарин В.В. Атомная и ядерная физика: учебное пособие для выполнения лабораторных работ / Самарин В.В.– Чебоксары, ЧПИ МГОУ, 2011. – 204 с.

#### **Периодическая литература**

1. Успехи физических наук / РАН; гл. ред. Л.В. Келдыш. - М. : Успехи физических наук. - Журнал, издается с апреля 1918 года. - Доступ к архиву выпусков с 1918 г. на сайте журнала: <http://ufn.ru/ru/articles/>.
2. Журнал экспериментальной и теоретической физики : продолжение физической части Журнала Русского физико-химического общества, издававшегося с 1873 по 1930 года / учредители: РАН, Ин-т физических проблем им. П.Л. Капицы РАН; гл. ред. А.Ф. Андреев. - М. : Наука. - Журнал, издается с 1931 года. - Доступ к архиву русской и английской версии выпусков 1967 - 2012 года на сайте журнала: <http://www.jetp.ac.ru/>.
3. Теоретическая и математическая физика / РАН; гл.ред. А.А.Логунов . - М. : ТМФ. - Журнал, издается с октября 1969 года. - Доступ к архиву выпусков с 1969 г. на сайте журнала: [http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=tmf&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=tmf&option_lang=rus).

#### **Иные библиотечно-информационные ресурсы**

1. Springer on eLibrary.Ru - Полнотекстовые электронные версии научных журналов издательства SPRINGER.
2. Academic Press on eLibrary.Ru - Полнотекстовые электронные версии научных журналов издательства ACADEMIC PRESS.
3. Academic Search Premier - База данных комплексной тематики, содержащая информацию по гуманитарным и естественным областям знания.
4. Компьютерные науки статистика - тематический раздел информационной базы Science Now
5. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн». - URL: <http://www.biblioclub.ru/>. - Режим доступа: ограниченный по логину и паролю.

#### **Электронно-библиотечные системы и базы данных**

1. Коллекции ЭБС «Лань»- <http://e.lanbook.com/>

2. Электронно-библиотечная система «Znanium.com»: <http://znanium.com/>
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»: [www.bibloclub.ru](http://www.bibloclub.ru)
4. Научная электронная библиотека (НЭБ): <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
5. БД российских научных журналов на Elibrary.ru (РУНЭБ): [http://elibrary.ru/projects/subscription/rus\\_titles\\_open.asp?](http://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp?)
6. БД периодических изданий East View : <http://dlib.eastview.com>
7. Архивы научных журналов: <http://lib.uni-dubna.ru/biblweb/search/resources.asp?sid=246>
8. Базы данных компании EBSCO Publishing: <http://search.ebscohost.com/>
9. Электронная библиотека диссертаций (ЭБД) РГБ: <http://diss.rsl.ru/>  
SCOPUS: <http://www.scopus.com/home.url>

## **6. Перечень выносимых на экзамен вопросов**

1. Движение в центрально симметричном поле. Закон сохранения момента импульса. Задача Кеплера. Законы Кеплера. Рассеяние частиц. Формула Резерфорда.
2. Однородность времени. Закон сохранения энергии. Однородность пространства. Закон сохранения импульса. Опыт Майкельсона-Морли. Постулаты Эйнштейна и некоторые эффекты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Релятивистское выражение для импульса и энергии. Релятивистские инварианты.
3. Идеальный газ. Основные газовые законы. Распределение молекул газа по скоростям. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле. Канонические распределения. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Фазовые переходы первого и второго рода. Условия устойчивости и равновесия.
4. Первое начало термодинамики. Теплота. Внутренняя энергия. Теплоемкость. Уравнение Пуассона. Циклические процессы. Второе начало термодинамики. Энтропия термодинамической системы. Термодинамические потенциалы.
5. Электростатическое поле. Теорема Гаусса. Мультипольное разложение потенциала. Статическое магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея. Правило Ленца. Самоиндукция. Энергия магнитного поля. Электромагнитные колебания.
6. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Скалярный и векторный потенциалы. Электромагнитные волны. Излучение. Энергия и поток энергии электромагнитного поля. Излучение диполя.
7. Интерференция света. Временная и пространственная когерентность. Интерферометры. Дифракция света. Приближения Френеля и Фраунгофера. Спектральные приборы.
8. Экспериментальные факты, лежащие в основе квантовой теории. Волновые и корпускулярные свойства материи. Атом водорода по Бору. Основные постулаты квантовой механики. Чистые и смешанные состояния квантовомеханической системы. Волновая функция, матрица плотности. Принцип неопределенности.
9. Описание эволюции квантовомеханических систем. Уравнения Гейзенберга и Шредингера. Стационарные состояния. Линейный квантовый гармонический осциллятор. Энергии и волновые функции стационарных состояний.
10. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
11. Угловой момент. Сложение моментов.
12. Движение в центральном поле. Атом водорода: волновые функции и уровни энергии.



13. Стационарная теория возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Эффекты Зеемана и Штарка.
14. Уравнение Дирака. Квазирелятивистское приближение. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектра атома водорода.
15. Системы тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
16. Многоэлектронный атом. Приближение самосогласованного поля. Электронная конфигурация. Терм. Тонкая структура терма. Приближение LS и jj-связей.
17. Нестационарная теория возмущений. Золотое правило Ферми.
18. Вторичное квантование свободного электромагнитного поля. Взаимодействие атома с квантованным полем излучения.
19. Основы физики молекул. Адиабатическое приближение. Термы двухатомной молекулы. Типы химической связи.
20. Излучение света атомами и молекулами. Спонтанные и вынужденные переходы. Лазеры.
21. Основные свойства атомных ядер. Опыт Резерфорда. Размеры ядер. Ядро как совокупность протонов и нейтронов. Распределение заряда в ядре. Масса и энергия связи ядра. Стабильные и радиоактивные ядра. Квантовые характеристики ядерных состояний. Спин ядра.
22. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Статистический характер распада. Искусственная радиоактивность. Альфа-распад. Одночастичная теория  $\alpha$ -распада Гамова. Закон Гейгера-Нэттола.
23. Бета-распад. Виды  $\beta$ -распада (типы  $\beta$ -переходов, энергия  $\beta$ -распада). Теория Ферми. Вероятности  $\beta$ -переходов. Классификация  $\beta$ -переходов по степени запрещенности. Правила отбора,  $\log ft$ . Форма  $\beta$ -спектра. Ферми-Кюри плот. Влияние кулоновского поля атома на форму спектра (функция Ферми). Правило Саржента.
24. Гамма-излучение ядер. Электрическое и магнитное мультипольное излучение. Одночастичные оценки вероятностей  $\gamma$ -переходов (Вайскопфа, Мошковского). Внутренняя конверсия  $\gamma$ -лучей. Ядерная изомерия и ее связь со структурой ядра. Эффект Месбауэра.
25. Нуклон-нуклонное взаимодействие и свойства ядерных сил. Система двух нуклонов. Дейтрон – связанное состояние в n-p системе. Тензорный характер ядерных сил. Зарядовая независимость ядерных сил. Изоспин. Обменный характер ядерных сил. Мезонная теория нуклон-нуклонного взаимодействия. Потенциал однопионного обмена NN-взаимодействия и фазовые сдвиги в высших парциальных волнах NN-рассеяния.
26. Модели атомных ядер. Микроскопические и коллективные модели. Модель Ферми-газа. Физическое обоснование оболочечной модели. Потенциал среднего ядерного поля. Спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в ядерном потенциале. Коллективные свойства ядер. Модель жидкой капли. Полуэмпирическая формула энергии связи ядра. Деформация ядер. Колебательные и вращательные состояния ядер.
27. Ядерная электроника. Общая структура и основные элементы ядерно-физического эксперимента. Основы импульсной техники. Аналоговые и логические устройства. Цифровая электроника.
28. Принципы работы ускорителей. Линейные ускорители. Циклотроны, изохронные циклотроны, синхроциклотроны. Вывод частиц из ускорителей. Бетатрон. Линейный индукционный ускоритель. Источники заряженных частиц. Встречные пучки.
29. Методы изучения ядерных реакций. Детекторы ядерных излучений в физическом эксперименте. Сечения реакций. Каналы реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях. Кинематика ядерных реакций. Методы идентификации частиц.

- Измерение времен.
30. Составное ядро. Гипотеза Н. Бора о независимости процессов образования составного ядра и его распада. Плотность уровней в модели ферми-газа. Роль одночастичных состояний. Параметр плотности уровней. Температура. Распад составного ядра. Испарительные и делительная ширины.
  31. Прямые ядерные реакции. Теория упругого рассеяния. Борновское приближение. Парциальное разложение волновой функции и амплитуды рассеяния. Дифференциальное сечение рассеяния. Оптическая модель упругого рассеяния. Методы описания неупругих процессов (метод искаженных волн, метод связи каналов).
  32. Ядро-ядерное взаимодействие: фолдинг-потенциал, потенциал проксимити, феноменологические потенциалы. Основные экспериментальные закономерности реакций слияния и глубоко неупругого рассеяния атомных ядер. Трансурановые элементы. Сверхтяжелые ядра. Описание процесса слияния.
  33. Деление ядер. Модель жидкой капли. Барьер деления. Метод оболочечной поправки Струтинского. Изомеры формы. Экспериментальные методы исследования ядерного деления. Цепная реакция деления. Ядерные взрывы. Ядерные реакторы.
  34. Взаимодействие фотонов и электронов с ядрами. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта - Вигнера. Основные свойства электромагнитного взаимодействия. Испускание и поглощение фотонов. Фотоядерные реакции. Гигантский резонанс сечения фотопоглощения. Упругое рассеяние электронов. Формула Мотта. Формфакторы нуклонов и частиц.
  35. Взаимодействие заряженных частиц со средой. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Пробеги заряженных частиц, многократное рассеяние, радиационное торможение. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Прохождение гамма-излучения через вещество. Эффект Комптона. Образование электрон-позитронных пар. Биологическое действие излучения и защита от него.
  36. Современные астрофизические представления. Эволюция и состав Вселенной. Реликтовое излучение. Космологический нуклеосинтез в горячей Вселенной. Нуклеосинтез в звездах. Распространенность химических элементов. Нейтринная астрономия. Сверхновые. Нейтронные звезды. Черные дыры. Космические лучи. Барионная асимметрия Вселенной. Поиски антивещества во Вселенной. Распад протона.
  37. Частицы и взаимодействия. Четыре типа фундаментальных взаимодействий. Константы и радиусы взаимодействия. Принципы описания взаимодействия частиц в квантовой теории поля. Переносчики взаимодействия. Понятие о диаграммах Фейнмана. Основные характеристики частиц. Классификация частиц. Калибровочные бозоны, лептоны и адроны. Фундаментальные частицы. Квантовые числа частиц и законы сохранения. Античастицы.
  38. Сильные взаимодействия. Классификация адронов. Барионы и мезоны. Супермультиплеты адронов. Странность и другие адронные квантовые числа. Глубоконеупругие процессы. Кварки. Глюоны. Кварковая модель адронов. Цвет кварков и глюонов. Потенциал сильного взаимодействия. Асимптотическая свобода и невылетание кварков (конфайнмент).
  39. Слабые взаимодействия. Основные характеристики слабого взаимодействия. Распады мюона и тау-лептона. Лептоны и лептонные квантовые числа. Промежуточные бозоны  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z$ . Законы сохранения в слабых взаимодействиях. Слабые распады лептонов и кварков. Нейтрино и антинейтрино. Взаимодействие нейтрино с веществом.

40. Дискретные симметрии. Симметрии и законы сохранения. Пространственная инверсия. Зарядовое сопряжение. Обращение времени. Несохранение пространственной и зарядовой четности в слабых взаимодействиях. СРТ-инвариантность. Экспериментальная проверка инвариантности различных типов фундаментальных взаимодействий. СР-преобразование.  $K^0$ -мезоны. Нарушение СР-симметрии в распаде  $K^0$ -мезонов.