

«УТВЕРЖДЕНО»

Председатель экзаменационной комиссии
по проведению вступительных испытаний
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»
в форме вступительного экзамена
и собеседования по специальной дисциплине
по группе научных специальностей
1.3. Физические науки

д-р физ.-мат. наук, профессор

_____ П.К. Кашкаров

« _____ » _____ 2026 г.

**Программа
вступительного испытания
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»
по группе специальностей 1.3. Физические науки
(физико-математические науки)**

Научные специальности:

1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

1.3.3. Теоретическая физика

1.3.8. Физика конденсированного состояния

1.3.9. Физика плазмы

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

**1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний
вещества**

1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

1.3.19. Лазерная физика

1.3.20. Кристаллография, физика кристаллов

1.3.21. Медицинская физика

1. Общие положения

1.1. Данная программа предназначена для подготовки к вступительному испытанию в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт» по группе специальностей 1.3. Физические науки. Программа вступительного испытания в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (уровень магистра или специалиста).

Испытание проводится с целью выявления у поступающего объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков

системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Поступающий должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

1.2. Программой устанавливается:

форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;

шкала оценивания;

максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;

критерии оценки ответов.

1.3. Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом НИЦ «Курчатовский институт».

1.5. По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

2. Форма, процедура проведения и шкала оценивания вступительного испытания.

2.1. Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. Экзамен проходит в устной форме. Подготовка к ответу составляет 1 астрономический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Ответ на билет оценивается от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

Билет включает в себя 2 вопроса и 1 задачу по общефизическим дисциплинам.

Вопросы по физике охватывают следующие темы: механика,

молекулярная физика, статистическая физика и термодинамика, электродинамика, оптика, квантовая физика, а также ядерная физика и биофизика.

В случае проведения экзамена в дистанционном формате вступительное испытание проводится в режиме видеоконференцсвязи.

2.2. Экзамен оценивается по 10-балльной шкале. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания, устанавливается равным 4 баллам.

Шкала оценивания

Оценка, баллы	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
9-10	Поступающий уверенно владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их строгими и полными доказательствами, уверенно отвечает на дополнительные вопросы программы вступительного испытания.
6-8	Поступающий владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их доказательствами, в которых допускает отдельные неточности. Отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.
4-5	Поступающий знаком с основным материалом программы, приводит формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, но допускает некоторые неточности, сопровождает их доказательствами, в которых допускает погрешности либо описывает основную схему доказательств без указания деталей. Отвечает на дополнительные вопросы по программе вступительного испытания, допуская отдельные неточности.
0-3	Поступающий не владеет основным материалом программы, не знаком с основными понятиями, не способен приводить формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, не умеет доказывать теоремы и другие утверждения, не знает даже схемы доказательств. Не отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.

3. Вопросы к вступительному испытанию

3.1 Механика

1. Принцип относительности. Законы Ньютона. Импульс частицы, импульс силы. Полный импульс системы тел и закон его изменения. Работа силы. Кинетическая энергия частицы и закон ее изменения. Потенциальное силовое поле. Потенциальная энергия частицы. Центр инерции (центр масс). Полная механическая энергия системы частиц и условия ее сохранения.

2. Функция Лагранжа системы взаимодействующих частиц. Обобщенные координаты. Принцип наименьшего действия и уравнения Лагранжа. Обобщенная энергия, обобщенные импульсы. Замкнутые и незамкнутые системы. Симметрии пространства-времени и законы сохранения энергии, импульса и момента импульса.

3. Функция Лагранжа частицы, совершающей одномерное движение в потенциальном поле. Вывод закона движения в квадратурах. Вывод формулы для периода нелинейных колебаний при финитном движении. Исследуйте движения частицы вблизи точки поворота и вблизи локального минимума потенциальной энергии.

4. Покажите, что движение частицы в центральном поле является плоским. Вывод 2-го закона Кеплера. Уравнения Лагранжа для частицы, движущейся в центральном поле, эффективная потенциальная энергия. Вывод закона движения в квадратурах. Сформулируйте задачу Кеплера и докажите 1-й закон Кеплера. Классификация орбит в задаче Кеплера

5. Задача двух тел, приведенная масса. Упругие столкновения частиц. Задача о рассеянии движущейся частицы-снаряда на частице-мишени, покоящейся в лабораторной системе отсчета (л.с.). Выразите углы рассеяния частиц в л.с. через угол рассеяния в системе центра масс. Сечение рассеяния. Рассеяние в поле α/t , формула Резерфорда, сечения рассеяния частицы-снаряда и частицы-мишени в л.с.

6. Голономные связи, стационарные и нестационарные, в методе Лагранжа. Уравнение колебаний математического маятника (точечная масса на нерастяжимой нити), малые колебания. Уравнение колебаний математического маятника с переменной длиной. Вынужденные колебания, биения, резонанс. Изменение энергии колеблющейся системы в результате воздействия внешней силы, зависящей от времени.

7. Свободные малые колебания системы с несколькими степенями свободы. Функция Лагранжа системы, её вид в случае малых колебаний. Уравнения Лагранжа. Уравнение, определяющее частоты колебаний. Что называют нормальными колебаниями? Общее решение уравнений колебаний в случае отсутствия вырождения, нахождение амплитуд колебаний.

8. Функция Гамильтона механической системы с несколькими степенями свободы. Покажите, как от метода Лагранжа перейти к методу Гамильтона, получите уравнения Гамильтона. Скобки Пуассона, их свойства, теорема Пуассона.

9. Канонические преобразования в методе Гамильтона, производящие функции. В чем заключается идея метода Гамильтона-Якоби? Уравнение Гамильтона-Якоби. Как и в каких случаях разделяются переменные в уравнении Гамильтона-Якоби? Опишите схему нахождения закона движения механической системы в рамках метода Гамильтона-Якоби.

10. Что называют идеальной жидкостью? Уравнение Эйлера для движения идеальной жидкости. Уравнение непрерывности. Уравнение Бернулли для стационарного движения жидкости.

Список рекомендуемой литературы

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Механика. 7-е изд. - М., Физматлит, 2019.
2. Ю.Г. Павленко. Лекции по теоретической механике. - М., Физматлит, 2002.
3. Г.Л. Коткин, В.Г. Сербо, А.И. Черных. Лекции по аналитической механике. 3-е изд. - М., ИКИ, 2022.

4. Г. Голдстейн. Классическая механика. 2-е изд. - М., Наука, 1975.
5. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Гидродинамика. 5-е изд. - М., Наука, 2015.

3.2 Молекулярная физика, статистическая физика и термодинамика

1. Что такое термодинамическая система? Дайте определение и примеры термодинамических параметров. Определите внутреннюю энергию системы. Сформулируйте первое начало термодинамики. Дайте определения состояния равновесия и равновесного процесса.

2. Определите понятие энтропии. Как изменяется энтропия при квазистатических процессах? Получите уравнение адиабаты. Как изменится энтропия в результате теплообмена между двумя идеальными газами, пришедшими к равновесию? Сформулируйте второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Приведите различные его формулировки и докажите их эквивалентность.

3. Что такое термодинамические потенциалы? Определите энтальпию и свободную энергию системы. Приведите примеры использования термодинамических потенциалов для определения термодинамических параметров. Сформулируйте условия термодинамического равновесия и устойчивости пространственно однородной системы.

4. Что такое идеальный газ? При каких условиях наблюдается отклонение газов от идеальности? Запишите разложение давления неидеального газа по степеням $1/V$ (вириальное разложение). Запишите внутреннюю энергию идеального газа и его теплоемкости при изопроцессах.

5. Запишите каноническое распределение Гиббса. Сформулируйте приближения, при которых оно было получено. Укажите смысл всех входящих в него параметров. Что такое статистическая сумма? Как она связана со свободной и внутренней энергиями системы? Сформулируйте теорему о распределении энергии по степеням свободы.

6. Дайте определение химического потенциала. Запишите большое каноническое распределение Гиббса для системы с переменным числом

частиц. Сформулируйте предположения, при которых оно было получено. Укажите смысл всех входящих в него параметров.

7. Как распределены по микросостояниям бозоны и фермионы? Запишите распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Для каких квантовых систем они справедливы? Чем определяется температура вырождения? Что такое энергия Ферми?

8. Запишите уравнение Лиувилля для функции распределения микросостояний системы из N частиц. Запишите микроканоническое распределение Гиббса. Каким граничным условиям удовлетворяет функция распределения?

9. Дайте определение одночастичной функции распределения. Запишите кинетическое уравнение Больцмана. Что такое интеграл столкновений? В чем заключается приближение парных столкновений? Покажите, что при равновесном распределении вероятностей интеграл столкновений равен нулю.

10. Что такое случайный стационарный марковский процесс и его временная корреляционная функция? Запишите уравнение Смолуховского и уравнение Фоккера-Планка. Покажите, что для движения Броуновской частицы получается формула Эйнштейна.

Список рекомендуемой литературы

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. Часть 1. 6-е изд. - М., Физматлит, 2018.
2. И.А. Квасников, Термодинамика и статистическая физика. Том 1. Теория равновесных систем, термодинамика. 2-е изд. Том 2. Теория равновесных систем, статистическая физика. 2-е изд. - М., Изд. УРСС, 2002.
3. Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. 2-е изд. - Новосибирск, Изд. НГУ, 2000.
4. И.Е. Иродов. Физика макросистем. Основные законы. - М., ЛБЗ, 2001.

5. Ч. Киттель. Статистическая термодинамика. - М., Наука, 1977.

3.3 Электродинамика и теория относительности

1. Уравнения Максвелла в вакууме. Дифференциальная (уравнение непрерывности) и интегральная формы закона сохранения электрического заряда. Плотность заряда и плотность тока системы точечных зарядов. Дифференциальная и интегральная формы закона сохранения энергии. Плотность энергии электромагнитного поля и плотность потока энергии.

2. Поле системы неподвижных зарядов. Электростатический потенциал, уравнение Пуассона, функция Грина уравнения Пуассона, общее решение уравнения Пуассона. Поле на большом расстоянии от системы зарядов. Дипольный и квадрупольный моменты системы зарядов. Энергия системы зарядов во внешнем слабо неоднородном электростатическом поле. Сила и момент сил, действующие на систему с ненулевым дипольным моментом.

3. Магнитное поле зарядов, совершающих финитное движение. Векторный потенциал. Закон Био—Савара. Магнитное поле на большом расстоянии от системы зарядов. Магнитный момент системы движущихся зарядов. Магнитный момент плоского контура с током. Поле магнитного диполя. Сила, действующая на магнитный диполь в слабо неоднородном магнитном поле.

4. Уравнения Максвелла в вакууме. Скалярный и векторный потенциалы. Калибровочные преобразования, калибровочная инвариантность. Уравнения для потенциалов в кулоновской калибровке. Волновое уравнение для векторного потенциала. Плоская волна, явный вид \mathbf{A} , \mathbf{E} , \mathbf{H} . Частота, волновой вектор, период, длина волны, скорость волны. Плоская электромагнитная волна, линейная и эллиптическая поляризации, плотность потока энергии.

5. Принцип относительности. Постоянство скорости света. Преобразования Лоренца. Интервал и его свойства. Эффекты замедления времени и сокращения длины. Релятивистский закон сложения скоростей.

Аберрация света звёзд. Действие, функция Лагранжа, импульс и энергия релятивистской частицы.

6. Уравнения Максвелла в ковариантной форме. 4-вектор тока, 4-потенциал. Тензор электромагнитного поля. Преобразования Лоренца для напряжённостей электрического и магнитного полей. Инварианты поля. Плоская электромагнитная волны, волновой 4-вектор, эффект Доплера.

7. Уравнения Максвелла в ковариантной форме в калибровке Лоренца. Уравнение Даламбера. Функция Грина уравнения Даламбера. Запаздывающие потенциалы. Дипольное приближение. Электрическое и магнитное поля в ближней и дальней зонах. Угловое распределение и интенсивность дипольного излучения.

8. Дипольное излучение, угловое распределение и интенсивность. Сила радиационного трения. Спектр дипольного излучения. Рассеяние электромагнитной волны, сечение рассеяния. Рассеяние на свободном заряде, формула Томсона. Рассеяние на изотропном гармоническом осцилляторе, резонансное рассеяние.

9. Диэлектрики, свободные и связанные заряды, напряженность электрического поля и вектор электрической индукции, электрическое поле в однородном диэлектрике. Магнетики (намагничивающиеся среды), молекулярные токи и токи проводимости, напряженность магнитного поля и вектор магнитной индукции Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в среде. Условия на границах двух сред.

10. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в однородных средах. Плотность энергии и плотность потока энергии поля. Уравнения для потенциалов поля. Плоская электромагнитная волна в диэлектрической среде, скорость её распространения. Отражение и преломление плоских волн в диэлектриках. Распространение электромагнитных волн в проводящих средах.

Список рекомендуемой литературы

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. 9-е изд. - М., Физматлит, 2020.
2. И.Е. Тамм. Основы теории электричества. 11-е изд. - М., Физматлит, 2003.
3. А.Н. Матвеев. Электричество и магнетизм. - М., Лань, 2010.
4. Н.А. Кириченко. Электричество и магнетизм. - М., МФТИ, 2011.
5. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. 5-е изд. - М., Физматлит, 2016.

3.4 Оптика

1. Уравнения Максвелла, волновое уравнение. Плоские электромагнитные волны. Прохождение волн через границу раздела двух диэлектриков. Законы отражения и преломления, формулы Френеля. Явление полного внутреннего отражения. Угол Брюстера. Зависимость коэффициента отражения света от угла падения и поляризации падающего света.

2. Принцип суперпозиции и интерференция волн. Интерференционные опыты и схемы. В схеме Юнга (два монохроматических точечных источника) получите выражения для интенсивности и ширины интерференционной полосы, найдите значения фазы и разности хода в максимуме и минимуме m -го порядка интерференции.

3. Интерференция квазимонохроматических волн: временная когерентность и видность интерференционных полос. Длина и время когерентности. Максимальная разность хода в интерференционных опытах с квазимонохроматическими волнами. Приведите примеры длины когерентности излучения различных источников света.

4. Интерференционные явления для волн, испускаемых протяжёнными источниками: пространственная когерентность и видность интерференционных полос. Влияние размера теплового источника на видность интерференционной картины в опыте Юнга. "Ширина" ("радиус")

пространственной когерентности. Звездный интерферометр Майкельсона и измерение угловых размеров звезд.

5. Принцип Гюйгенса-Френеля. Граничные условия Кирхгофа. Приближение Френеля в теории дифракции. Дифракция на одномерных структурах. Интеграл Френеля, зоны Шустера. спираль Корню. Дифракция на краю экрана, на щели.

6. Дифракционные задачи с осевой симметрией. Дифракция на круглом отверстии (или экране). Интеграл Френеля, зоны Френеля, спираль Френеля. Пятно Пуассона. Амплитудные и фазовые зонные пластинки. Линза как дифракционный прибор.

7. Волновой параметр и число Френеля. Дальняя зона дифракции. Дифракционный интеграл в приближении Фраунгофера. Распределение поля в дальней зоне как пространственное преобразование Фурье поля на дифракционном отверстии. Дифракция Фраунгофера на круглом отверстии и на щели. Поле в фокальной плоскости линзы. Дифракционный предел разрешения телескопа и микроскопа.

8. Метод Релея в задачах дифракции. Волновое поле как суперпозиция плоских волн разных направлений (пространственное фурье-разложение). Пространственный спектр. Дифракция на синусоидальных решетках. Теория Аббе формирования оптического изображения (принцип двойной дифракции).

9. Дисперсия и поглощение света в линейной изотропной среде. Комплексная диэлектрическая проницаемость среды в модели Лоренца для атомов (классическая осцилляторная модель атомов), Показатель преломления и коэффициент поглощения света в модели Лоренца. Нормальная и аномальная дисперсии.

10. Плоские монохроматические электромагнитные волны. Квазимонохроматические волны - волновые пакеты. Длина пространственной когерентности и время когерентности квазимонохроматической волны. Соотношение неопределённостей "частота-время". Распространение света в

изотропной среде с показателем преломления, зависящим от частоты. Фазовая и групповая скорости света.

Список рекомендуемой литературы

1. Г.С. Ландсберг. Оптика. 7-е изд. - М., Изд. УРСС, 2021.
2. А.Н. Матвеев. Оптика. - М., Высш. шк., 1985.
3. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика. - М., МГУ, 1998.
4. И.Е. Иродов. Волновые процессы. Основные законы. - М., ЛБЗ, 1999.
5. М. Борн, В. Вольф. Основы оптики. - М., Наука, 1970.

3.5 Квантовая физика

1. Тепловое излучение как набор стоячих электромагнитных волн (мод) в резонаторе. Гипотеза о квантах поля (фотонах), средняя энергия одной моды теплового излучения как функция частоты. Спектральная плотность мод как функция частоты. Формула Планка для распределение энергии и плотности потока теплового излучения по частотам. Закон смещения Вина. Закон Стефана--Больцмана.

2. Эксперименты, подтверждающие гипотезу Планка о квантах (фотонах), и их интерпретация. Фотоэффект. Спектр тормозного рентгеновского излучения, его форма, положение границы тормозного спектра. Эффект Комптона.

3. Волновая функция. Волна де Бройля. Операторы координаты и импульса частицы. Уравнение Шредингера и оператор Гамильтона (гамильтониан) для частицы, движущейся в потенциальном поле. Принцип суперпозиции. Уравнение непрерывности для плотности вероятности. Плотность потока вероятности.

4. Физические величины и линейные эрмитовы операторы. Собственные функции (СФ) и собственные значения (СЗ) операторов. Условия полноты и ортонормировки СФ (на единицу, на **дельта**-функцию). Средние значения физических величин. Одновременная измеримость,

соотношения неопределённости. Полный набор физических величин, описывающих квантовую систему.

5. Динамика замкнутых квантовых систем. Представления Шредингера и Гейзенберга. Оператор эволюции, его унитарность. Интегралы движения в квантовой физике. Свободное движение локализованной частицы (волнового пакета) в представлении Шредингера. Уравнение Гейзенберга. Описание свободного движения и движения заряженной частицы в постоянном электрическом поле в представлении Гейзенберга.

6. Квантовое описание линейного гармонического осциллятора. Волновые функции и энергии стационарных состояний линейного осциллятора. Оператор чётности и чётность волновых функций. Эволюция во времени общего решения уравнения Шредингера для линейного осциллятора. Когерентные состояния.

7. Оператор орбитального момента частицы, соотношения коммутации для его декартовых составляющих. Явный вид операторов квадрата орбитального момента и его Z -проекции в сферических координатах, собственные функции и собственные значения этих операторов. Спин $1/2$ и матрицы Паули. Сложение угловых моментов, коэффициенты Клебша—Гордана. Спиновые функции двух электронов.

8. Квантовая задача двух тел. Квантовое описание атома водорода. Гамильтониан атома, эффективный потенциал. Атомные единицы длины и энергии. Явный вид радиальных функций. Радиальное и главное квантовые числа. Энергетический спектр атома водорода. Зависимость волновых функций состояний с орбитальными моментами 0 и 1 от полярного и азимутального углов (пространственная направленность химических связей).

9. Задача рассеяния в квантовой механике. Амплитуда и сечение упругого рассеяния. Метод Борна. Преобразование дифференциального уравнения Шредингера в интегральное уравнение. Функция Грина задачи рассеяния. Дифференциальное сечение рассеяния в борновском приближении. Условия применимости борновского приближения.

10. Принцип неразличимости тождественных частиц. Собственные значения оператора перестановки двух тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Волновая функция N невзаимодействующих тождественных фермионов (бозонов). Гамильтониан атома гелиеподобного атома. Парасостояния и ортосостояния атома гелия. Обменное взаимодействие.

Список рекомендуемой литературы

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. 6-е изд. - М., Физматлит, 2016.
2. А.А. Соколов, Ю.М. Лоскутов, И.М. Тернов. Квантовая механика. - М., Просвещение, 1965.
3. А.С. Давыдов. Квантовая механика. - М., Наука, 1973.
4. Д.И. Блохинцев. Основы квантовой механики. 7-е изд. - М., Лань, 2022.
5. И.Е. Иродов. Квантовая физика. Основные законы. 9-е изд. - М., ИЛЗ, 2025.

3.6 Ядерная физика

1. Виды фундаментальных взаимодействий, частицы - переносчики взаимодействий, характерные времена взаимодействий. Примеры процессов, обусловленных разными видами взаимодействий. Фундаментальные частицы Стандартной модели. Что такое лептоны, адроны, мезоны, барионы? В каких взаимодействиях они участвуют? Для чего было введено квантовое число «цвет»? В чем заключается явление конфаймента?

2. Квантовые числа, характеризующие частицы. Что такое спин, изоспин? Какие значения принимают эти величины? Что характеризует квантовое число внутренней четности? Для чего было введено квантовое число «цвет»? В чем заключается явление конфаймента? Какие квантовые числа совпадают у частиц и античастиц? Какие квантовые числа сохраняются в сильном взаимодействии? В слабом и электромагнитном?

3. Явление радиоактивности. В чем заключается статистический характер распада? Выведите закон радиоактивного распада. Что такое период полураспада и время жизни? Опишите механизмы альфа-, бета- и гамма-распадов. Опишите три типа бета-распада. Чем называют естественной и искусственной радиоактивностью? Что такое космические лучи, как они связаны с радиоактивностью?

4. В чем заключается явление альфа-распада? При каких условиях возможен альфа-распад? Что определяет закон Гейгера-Неттола, чем объясняется его справедливость? Какова роль кулоновского и центробежного барьеров в альфа-распаде? Что такое радиоактивные семейства?

5. Опишите опыт Резерфорда. Как интерпретируются результаты этого опыта? Можно ли по результатам этого опыта оценить характерные размеры ядер? Как связан радиус ядра и его массовое число? Каким распределением описываются плотности распределения массы и заряда ядра? Что называют энергией связи ядра? Что называют дефектом массы ядра?

6. Формула Вайцзеккера для энергии связи ядер, объясните роль всех слагаемых этой формулы. Нарисуйте зависимость удельной энергии связи стабильных ядер от массового числа. Объясните, почему при делении тяжелых ядер и в реакциях синтеза легких ядер выделяется энергия.

7. Что такое магические числа в физике атомных ядер? Каковы эти числа? Какая модель используется для объяснения магических ядер? Каким уравнением описываются состояния нуклонов в этой модели? Какие квантовые числа характеризуют состояния нуклонов? Что такое спин-орбитальное взаимодействие, существенно ли оно в этой модели? Какую роль в этой схеме играет принцип Паули?

8. Как выглядят энергетические спектры вращательных и колебательных уровней в ядрах? Для каких ядер наблюдаются вращательные состояния? Как объясняется наличие колебательных состояний в спектрах ядер? Что в физике атомных ядер называют фононами? Изобразите

схематически монопольные, дипольные и квадрупольные коллективные колебания.

9. Что называют ядерной реакцией? Приведите примеры. Какие законы сохранения работают в ядерных реакциях? Опишите возможные механизмы ядерных реакций. Что такое цепная реакция? Какая энергия необходима для исследования структуры ядра? Нуклона? Объясните принципы работы линейного ускорителя, циклотрона, микротрона и ускорителя на встречных пучках. В чем их недостатки и преимущества?

10. Современный взгляд на проблему распространённости химических элементов во Вселенной: когда и как образовались ядра и атомы? Какие реакции происходили в эпоху дозвездного нуклеосинтеза? Какие элементы образуются в результате горения звезд? Опишите схематически pp- и CNO-циклы в звездах. Какой состав имеет звезда на стадии горения кремния? Что такое r- и s- процессы, какова их роль в нуклеосинтезе?

Список рекомендуемой литературы

1. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. Частицы и атомные ядра. Учебник. 4-е изд. - М., 2019.
2. И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. 6-е изд. - М., 2018.
3. О.А. Барсуков. Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии. - М., Физматлит, 2011.
4. А.Г. Ситенко, В.К. Тартаковский. Лекции по теории ядра. - М., Атомиздат, 1972.
5. Л. Валантэн. Субатомная физика: ядра и частицы. Том 1. Элементарный подход. Том 2. Дальнейшее развитие. - М., Мир, 1986.

3.7 Биофизика (только для специальности 1.3.21)

1. Состав, строение, функции и основные физические характеристики живых клеток как термодинамических открытых систем.

2. Состав, строение, функции и основные физические характеристики нуклеиновых кислот, белков, липидов, углеводов.

3. Явления пространственно-временной самоорганизации в живых системах, активные среды, примеры автоволновой самоорганизации.

4. Электрические явления в клетках. Мембраны, ионный транспорт, потенциал покоя и распространение нервного импульса.

5. Оптическая спектроскопия в ультрафиолетовой и видимой областях. Спектры поглощения биомолекул. Особенности использования лазерного излучения.

6. Рентгеноструктурный анализа биополимеров. Формула Брэгга-Вульфа. Рентгенограммы.

7. Синхротронное излучение, особенности его использования для изучения структур биологических объектов.

8. Электронная микроскопия, криоэлектронная микроскопия и томография. Де-бройлевская длина волны электрона.

9. Особенности изучения биологических объектов с использованием медленных монохроматических нейтронов. Де-бройлевская длина волны нейтрона.

10. Использование ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) для структурно-динамических исследований биомолекул.

Список рекомендуемой литературы

1. Лекции по биофизике. Под ред. В.А. Твердислова - М., Физ. фак. МГУ, 2023.

2. В.А. Твердислов, А.Э. Сидорова, Л.В. Яковенко. Биофизическая экология. - М., УРСС, 2012.

3. Л.А. Блюменфельд. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. - М., УРСС, 2002.

4. М.В. Волькенштейн. Биофизика. Учебное руководство. 5-е изд. - М., Лань, 2025.

5. А.А. Булычев и др. Практикум по биофизике. Под. ред. А.Б. Рубина. - М., Высш. шк., 1988.

4. Примеры задач вступительного испытания по группе научных специальностей 1.3. Физические науки (физико-математические науки)

4.1. Механика

1. Два небесных тела массами m_1 и m_2 движутся вокруг общего центра масс. Минимальное расстояние между ними равно a , а максимальное b . Определить энергию системы тел, а также момент импульса в системе отсчета, где центр масс покоится.

2. К вертикальной стенке по нормали к ней прикреплена горизонтальная спица, на которую нанизаны две бусинки массой $3m$ и m , соединенные пружиной жесткостью k и длиной l_0 в недеформированном состоянии. Бусинка массой $3m$ соединена со стенкой такой же пружиной. Стенка совершает малые колебания по закону $x = A \sin(\Omega t)$. Трением пренебречь. Найти закон установившихся вынужденных колебаний и условия резонанса.

3. Используя производящую функцию $F = \frac{1}{2} m \omega q^2 \operatorname{ctg} Q$ выполнить преобразование от канонических переменных (q, p) , описывающих одномерный гармонический осциллятор (масса m , частота ω), к каноническим переменным (Q, P) . Найти явный вид преобразования. Построить гамильтониан K в новых переменных, записать новые уравнения Гамильтона и решить их. Найти зависимость переменных (q, p) от времени, выразив их через (Q, P) .

4. Методом Гамильтона-Якоби найти закон движения в квадратурах частицы (масса m , заряд e), совершающей плоское движение в поле электрического диполя. Вектор дипольного момента имеет модуль p и лежит в плоскости движения частицы.

5. Несжимаемая идеальная жидкость плотностью ρ течет по трубке длиной L , наклоненной под углом α к горизонту. Течение жидкости

стационарно. Найдите соотношения между скоростями v_1 и v_2 течения жидкости на концах трубки, где поперечные сечения трубки равны S_1 и S_2 .

4.2. Молекулярная физика, статистическая физика и термодинамика

6. Найдите массу воздуха, заключенного между двумя оконными рамами, при атмосферном давлении P_0 , считая, что температура между рамами меняется по линейному закону от T_1 до T_2 . Площадь окна равна S , расстояние между рамами L . Молярная масса воздуха μ .

7. Найдите зависимость давления P от объема V для процесса с участием одноатомного идеального газа, в котором молярная теплоемкость газа C линейно зависит от температуры T , $C = \lambda T$, где λ – постоянная.

8. Найдите термодинамические потенциалы: свободную энергию F и энтальпию H для моля одноатомного идеального газа.

9. С одним молем идеального газа проводят процесс $P = P_0 - aV^2$, где P – давление, V – объем, a – постоянная величина. Найдите максимально возможную температуру газа в этом процессе. Проиллюстрируйте это решение на p - V диаграмме.

10. Теплоизолированный цилиндрический сосуд разделен невесомым поршнем на две равные части. По одну сторону поршня находится идеальный газ массой M с молярной массой μ и молярными теплоемкостями C_V и C_P , не зависящими от температуры, а по другую сторону поршня – вакуум. Начальные температура и давление газа T_0 и P_0 . Поршень отпускают, и он, свободно передвигаясь, дает возможность газу заполнить весь объем цилиндра. После этого медленно доводят объем газа до первоначальной величины. Найдите изменение внутренней энергии и энтропии.

4.3. Электродинамика и теория относительности

11. Заряд электронного облака в атоме водорода в основном состоянии распределен по закону $\rho(r) = q e^{-2r/a} / \pi a^3$, где q – заряд электронной оболочки,

a – боровский радиус. Вычислите напряженность электрического поля, созданного электронной оболочкой.

12. Найдите векторный потенциал и индукцию магнитного поля, создаваемого контуром с током I в произвольной точке пространства на расстояниях от контура, намного больших, чем его линейные размеры.

13. Релятивистский электрон влетает в камеру Вильсона, помещённую в магнитное поле $B = 10^5$ Гс. Какова энергия электрона, если радиус кривизны его следа составляет $R = 2$ м?

14. Нерелятивистская излучающая система представляет собой заряд e , вращающийся с круговой частотой ω вокруг оси Z по окружности радиусом R . Найдите дифференциальную $\langle dI(\theta)/d\Omega \rangle$ и полную $\langle I \rangle$ интенсивности излучения, усреднённые по времени.

15. Заряд q расположен на расстоянии a от плоской границы раздела двух полупространств с диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 . Найдите силу F , действующую на этот заряд.

4.4. Оптика

16. Две плоские монохроматические линейно поляризованные волны одной частоты распространяются вдоль оси z . Первая волна поляризована по оси x и имеет амплитуду a , а вторая поляризована по оси y , имеет амплитуду b и опережает первую по фазе на χ . Найдите поляризацию результирующей волны.

17. От двух когерентных точечных источников света получена интерференционная картина на экране, удаленном от источников на расстояние $L = 2$ м, и расположенном параллельно прямой, проходящей через источники. Во сколько раз изменится ширина интерференционных полос, если между источниками и экраном поместить собирающую линзу с фокусным расстоянием $f = 40$ см так, чтобы источники оказались в ее фокальной плоскости? Расстояние между источниками много меньше f и L .

18. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны

$\lambda = 600$ нм падает нормально на непрозрачный экран с круглым отверстием диаметром $D = 1,2$ мм. На расстоянии $b = 10$ см за экраном на оси отверстия наблюдается темное пятно. На какое минимальное расстояние Δb нужно отодвинуть экран от этой точки вдоль оси отверстия, чтобы в центре дифракционной картины вновь наблюдалось темное пятно?

19. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм и интенсивностью I_0 падает на непрозрачный экран с круглым отверстием диаметром $D = 2$ мм. Найдите координату точки, лежащей на оси отверстия, для которой в пределах отверстия укладываются n зон Френеля. Постройте приближенно график зависимости интенсивности света I на оси отверстия от расстояния между отверстием в экране и точкой наблюдения.

20. С искусственного спутника Земли, движущегося по круговой орбите на высоте $h = 250$ км, проводится фотографирование земной поверхности. Разрешающая способность светочувствительной матрицы $N = 500$ линий/мм. Какими параметрами должен обладать объектив (диаметр D , фокусное расстояние f), чтобы при фотографировании разрешались детали с линейными размерами масштаба 1 м?

4.5. Квантовая физика

21. Частица массой m движется свободно с энергией E и налетает на область, где потенциальная энергия резко возрастает от нуля до $U > E$. Принимая для простоты, что потенциальная энергия возрастает скачком (от нуля до U), получить выражение для характерной длины L проникновения частицы в классически запрещённую область.

22. Найти уровни энергии частицы массой m в потенциальном поле $U(x) = -U_0\delta(x-a) - U_0\delta(x+a) + U_0\delta(x)$. Найти зависимость количества уровней от параметров системы.

23. Симметричный двумерный гармонический осциллятор в начальный момент времени находится в состоянии $|\Psi(t=0)\rangle = (i|10\rangle + |01\rangle + |00\rangle)/3^{1/2}$. Найти вектор состояния $|\Psi(t)\rangle$ и средние значения величин x , y , p_x , p_y в

произвольный момент времени t .

24. В представлении Гейзенберга получить явные выражения для зависящих от времени операторов координаты и импульса частицы массой m , движущейся в потенциале линейного гармонического осциллятора $U(x)=m\omega^2x^2/2$. Зависит ли от времени гамильтониан, выраженный через найденные операторы координаты и импульса? Найти, как меняются во времени средние значения $\langle x \rangle$ и $\langle p \rangle$, а также дисперсии σ_x^2 и σ_p^2 , если начальное состояние частицы задано некоторым вектором $|\psi_H\rangle$.

25. Найти в борновском приближении дифференциальное сечение рассеяния частицы в потенциальном поле $U(r)=U_0\exp(-r^2/2a^2)$; m – масса частицы, E – её энергия.

4.6. Ядерная физика

26. Найти расстояние, которое пройдёт в вакууме пучок нейтронов с энергией 3 МэВ, при котором интенсивность пучка уменьшится в 1000 раз. Период полураспада нейтрона принять равным 15 минутам.

27. Найти минимальную кинетическую энергию (в МэВ) падающих протонов в реакции рождения нейтрального пиона на неподвижной водородной мишени: $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$.

28. Оценить среднее время (в секундах) жизни нейтрального ρ -мезона, если ширина пика в зависимости эффективного сечения его образования от энергии составляет 150 МэВ.

29. Рассчитать кинетическую энергию (в МэВ) α -частиц, образующихся в распаде: $^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{218}\text{Po} + ^4\text{He}$. Энергии связи: $W(^{222}\text{Rn})=1708.2$ МэВ, $W(^{218}\text{Po})=1685.5$ МэВ, $W(^4\text{He})=28.3$ МэВ.

30. Для распада $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$, где $\bar{\nu}_e$ – электронное антинейтрино, найти верхнюю границу (в МэВ) спектра электронов. Значения энергий связи: $W(^{14}\text{C})=105.284$ МэВ, $W(^{14}\text{N})=104.658$ МэВ.