«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

«_____» _____ 2025 г.

Программа
вступительного испытания
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»
по специальной дисциплине в форме вступительного экзамена
по группе научных 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
1.3.13. Электрофизика, электрофизические установки
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 специальной дисциплине в форме вступительного экзамена по группе специальностей 1.3. Физические науки (далее – программа вступительного испытания, вступительное испытание). Программа вступительного испытания в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования

(уровень магистра или специалиста).

Вступительное 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 вступительного испытания 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. Дайте определение материальной точки. Запишите выражения для скорости и ускорения материальной точки в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Определите понятия силы и массы. Укажите способы измерения этих величин. Сформулируйте законы Ньютона и принцип относительности Галилея.

2. Сформулируйте задачу об одномерном движении материальной точки в потенциальном поле и получите закон движения в квадратурах. Исследуйте его вблизи точек поворота. Выведите формулу для периода нелинейных колебаний при финитном движении.

3. Сформулируйте задачу о движении в центральном поле. Покажите, что движение в центральном поле является плоским и происходит с постоянной секторной скоростью. Получите закон движения в квадратурах. Введите понятие эффективного потенциала.

4. Сформулируйте задачу Кеплера. Докажите первый закон Кеплера. Какие траектории возможны в данной задаче?

5. Рассмотрите задачу о движении механической системы при наличии связей. Приведите классификацию связей. Получите уравнения Лагранжа из второго закона Ньютона.

6. Запишите уравнения Лагранжа. Что такое интегралы движения? Как с их помощью найти закон движения? Приведите определения обобщенной энергии и обобщенного импульса. Сформулируйте и выведите условия их сохранения.

7. Запишите функцию Лагранжа нерелятивистской частицы в произвольном электромагнитном поле. Выясните, что происходит с функцией Лагранжа и уравнениями Лагранжа при калибровочных преобразованиях.

8. Приведите определение функции Гамильтона. Функцией, каких независимых переменных она является? Выведите канонические уравнения Гамильтона из уравнений Лагранжа.

9. Получите уравнение Гамильтона-Якоби. Как и в каких случаях разделяются переменные в уравнении Гамильтона-Якоби? Опишите схему нахождения закона движения с помощью уравнения Гамильтона-Якоби.

10. Дайте определение абсолютно твердого тела. Сколько оно имеет степеней свободы? Введите углы Эйлера. Получите кинематические уравнения Эйлера. Запишите функцию Лагранжа симметричного волчка с неподвижной точкой.

11. Сформулируйте задачу о свободных малых колебаниях с несколькими степенями свободы. Запишите уравнения движения в приближении малых колебаний. Получите его общее решение. Что такое нормальные колебания, как определять их частоты и амплитуды?

12. Сформулируйте задачу о вынужденных малых колебаниях с несколькими степенями свободы. Что представляет собой общее решение уравнений движения? Найдите закон установившихся малых колебаний. Сформулируйте условие резонанса.

13. Дайте определение идеальной жидкости. Получите уравнение Эйлера и уравнение непрерывности для идеальной жидкости. Выведите уравнение Бернулли для стационарного течения жидкости.

Список рекомендуемой литературы

1. И.И. Ольховский. Курс теоретической механики для физиков. М., Изд-во МГУ, 1978.

2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Механика. М., Физматлит, 2001.

3. Л.С. Кузьменков. Теоретическая физика. Классическая механика. М., Наука, 2015.

4. Ю.Г. Павленко. Лекции по теоретической механике. М., Физматлит, 2002.

5. В.Р. Халилов, Г.А. Чижов. Динамика классических систем. М., Изд-во МГУ, 1993.

6. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Гидродинамика. М., Наука, 1988.

7. Б.В. Петкевич. Теоретическая механика. М., Наука, 1989.

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?

3. Сформулируйте второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Приведите различные его формулировки и докажите их эквивалентность. Укажите механизмы возникновения необратимости.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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?

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

10. 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.

11. 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. И.А.Квасников, Термодинамика и статистическая физика, том 1, теория равновесных систем, термодинамика. Изд. УРСС, М., 2002.

2. И.А.Квасников, Термодинамика и статистическая физика, том 2, теория равновесных систем, статистическая физика. Изд. УРСС, М., 2002.

3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. Изд. УРСС, М., 2021.

3.3. Электродинамика

1. Запишите уравнения Максвелла для электромагнитного поля в среде. Запишите уравнение непрерывности зарядов и токов в проводящей среде. Какой вид имеют материальные уравнения и условия на границе раздела сред для характеристик электромагнитного поля? Приведите примеры явлений, описываемых некоторыми из этих уравнений.

2. Получите выражение для энергии электростатического поля системы, состоящей из произвольного числа заряженных проводящих тел. Результат выразите через потенциальные и ёмкостные коэффициенты. Укажите свойства этих коэффициентов.

3. Получите уравнения для скалярного и векторного потенциалов электромагнитного поля в линейной однородной изотропной среде в отсутствие дисперсии. Выполните калибровочное преобразование для потенциалов и получите уравнения для потенциалов при выполнении калибровочного условия Лоренца. Запишите решение для запаздывающих потенциалов.

4. Получите выражение для энергии магнитного поля системы, состоящей из произвольного числа контуров со стационарными токами. Результат представьте в двух формах: через индуктивные коэффициенты и через магнитный поток. Укажите свойства индуктивных коэффициентов.

5. Запишите выражения для силы и момента сил, действующих на диполь в неоднородном электрическом поле. Опишите излучение электромагнитных волн в дипольном приближении. Как выглядит угловое распределение интенсивности? Что такое радиационное трение?

6. Опишите структуру плоской электромагнитной волны. Что такое поляризация волны? Как преобразуется электрическое и магнитное поле электромагнитной волны при переходе к движущейся системе отсчета. В чем состоит эффект Доплера.

7. Постройте ковариантное (четырехмерное) обобщение уравнений электромагнитного поля в среде. Запишите выражения для тензоров,

образованных компонентами векторов $\vec{E}, \vec{D}, \vec{B}, \vec{H}$ и получите закон преобразования компонент этих векторов при преобразованиях Лоренца.

8. Запишите материальные уравнения для электромагнитного поля в среде при наличии временно́й дисперсии. Дайте определение комплексной диэлектрической проницаемости в среде и укажите её аналитические свойства. Получите формулы Крамерса-Кронига.

9. Опишите распространение электромагнитной волны в слабо проводящей, диспергирующей среде. Для однородной волны, получите выражения для показателя преломления и коэффициента поглощения, представив их через вещественную и мнимую части комплексной диэлектрической проницаемости среды.

Список рекомендуемой литературы

1. В.А. Алешкевич. Электромагнетизм. М., Физматлит, 2014.
2. В.И. Денисов. Введение в электродинамику сплошных сред. М, Изд-во МГУ, 1989.
3. А.Н.Матвеев. Электричество и магнетизм. М., Лань, 2010.
4. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. М., Физматлит, 2018.
5. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М., Физматлит, 2005.
6. С.Г.Калашников. Электричество. М., Физматлит , 2003.
7. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Т.3., Физматлит, 2004.
8. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Часть 1. Микроскопическая теория. – М., НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003.
9. Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Часть 2. Теория электромагнитных явлений в веществе. М., НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005.

3.4. Оптика

1. Получите из уравнений Максвелла волновое уравнение для вектора напряженности электрического поля световой волны в однородном изотропном диэлектрике без свободных зарядов. Запишите выражения для вектора Умова-Пойнтинга и объемной плотности энергии электромагнитной волны в изотропной среде. Изобразите взаимное расположение векторов E, H, k, S в пространстве и графики их изменения во времени в бегущей гармонической волне.

2. Объясните волновую природу давления света на примере плоской электромагнитной волны, падающей нормально на поверхность. Запишите выражения для импульса световой волны, давления света на поверхность с коэффициентом отражения R. Какова поляризация естественного света? Изобразите траектории конца вектора напряженности электрического поля для случаев линейной, круговой и эллиптической поляризации

3. В чем заключается явление интерференции света? В случае интерференции света от двух монохроматических точечных источников (схема Юнга) получите выражения для интенсивности и ширины интерференционной полосы, запишите значения фазы и разности хода в максимуме и минимуме m-ого порядка интерференции.

4. Что такое временная когерентность света? Длина и время когерентности. Функция видности Майкельсона. Функция автокорреляции и степень когерентности. Приведите примеры длины когерентности излучения различных источников света.

5. Сформулируйте теорему Винера-Хинчина для спектральной плотности мощности и корреляционной функции случайных световых колебаний. Опишите применение этой теоремы в фурье-спектроскопии. Рассмотрите наиболее типичные примеры.

6. Что такое пространственная когерентность? Как влияет размер теплового источника на видность интерференционной картины в опыте Юнга. Звездный интерферометр Майкельсона и измерение угловых размеров звезд.

7. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля. Получите выражение для радиуса *n*-ой зоны Френеля, постройте векторную диаграмму для комплексной амплитуды поля при дифракции на круглом отверстии. Изобразите амплитудную и фазовую зонные пластинки. Запишите дифракционный интеграл Кирхгофа.

8. Пользуясь векторной диаграммой изобразите график изменения интенсивности плоской волны при дифракции на круглом отверстии в зависимости от расстояния. Сформулируйте приближение Френеля в теории дифракции и запишите дифракционный интеграл в этом приближении. Как работает собирающая линза?

9. Сформулируйте приближение Фраунгофера для дифракции волн и запишите в этом приближении интеграл для дифрагирующего светового поля. Дайте определение дальней зоны дифракции. Представьте распределение дифрагировавшего поля в дальней зоне как пространственное преобразование Фурье поля на дифракционномм отверстии.

10. Сформулируйте основные положения электронной теории дисперсии и ее приближения. Изобразите кривые дисперсии и абсорбции в окрестности линии поглощения. Укажите области нормальной и аномальной дисперсии и изобразите картину дисперсии, получаемую в скрещенных призмах. Опишите в первом приближении теории дисперсии распространение светового импульса в диспергирующей среде. Что такое групповая и фазовая скорости?

11. Прохождение света через границу раздела двух диэлектриков. Формулы Френеля. Явление полного внутреннего отражения. Угол Брюстера. Зависимость коэффициента отражения света от угла падения и поляризации падающего света.

12. Распространение света в одноосных кристаллах. Луч и нормаль. Изобразите поверхность нормалей и объясните ее физический смысл. Изобразите взаимное расположение волнового, лучевого векторов и векторов напряженностей электрического и магнитного полей. Приведите оптическую

схему получения света с круговой и эллиптической поляризацией из естественного света.

Список рекомендуемой литературы

1. Алешкевич В.А. ОПТИКА. М. «Физматлит». 2010.
2. Матвеев А.Н. ОПТИКА. М. «Высшая школа». 1985.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 4. ОПТИКА. 3-е изд. М. «Физматлит». 2005.
4. Ландсберг Г.С. ОПТИКА. 5-е изд., М., «Наука». 1976.
5. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. ФИЗИЧЕСКАЯ ОПТИКА. М. МГУ, 1998.
6. Борн М., Вольф В. ОСНОВЫ ОПТИКИ. М.. «Наука». 1970.
7. Крауфорд Ф. ВОЛНЫ. 3-е изд. М. «Наука».1984.

3.5. Квантовая физика

1. Выведите формулу Планка для равновесного излучения и рассмотрите следствия из нее: формулу Рэлея-Джинса и формулу Вина. Укажите условия, при которых эти формулы справедливы.

2. Чему равно численное значение постоянной Планка? Опишите эксперименты по определению постоянной Планка: тепловое излучение, фотоэффект, тормозное рентгеновское излучение, эффект Комптона. При выполнении каких условий реализуется классический предел квантовой теории?

3. Дайте определение чистого и смешанного состояний квантовых систем. Приведите примеры квантовых систем, находящихся в чистом и смешанном состояниях. Каковы основные свойства и физический смысл волновой функции и матрицы плотности? Что является результатом измерения физической величины? Как найти вероятность того или иного результата измерения в чистом состоянии и в смешанном состоянии? Как

найти среднее значение физической величины в чистом состоянии и в смешанном состоянии?

4. Выпишите явный вид операторов координаты и импульса в координатном и импульсном представлениях. Как выглядит соотношение неопределенностей Гайзенберга и каков его физический смысл? Выпишите нестационарное и стационарное уравнения Шредингера для одномерного движения материальной точки. Каков их физический смысл?

5. Найдите уровни энергии одномерного гармонического осциллятора. Как выглядят волновые функции гармонического осциллятора в координатном представлении?

6. Запишите уравнение Шредингера для атома водорода и обсудите вид и основные характеристики решений этого уравнения. Объясните, что характеризуют квантовые числа.

7. Запишите операторы проекций углового момента частицы на оси *OX*, *OY* и *OZ* декартовой системы координат и квадрата полного углового момента, а также соотношения коммутации для этих операторов. Приведите выражения для оператора квадрата полного углового момента и оператора проекции углового момента частицы на ось *OZ*. Сформулируйте задачу на собственные функции и собственные значения этих операторов и запишите их собственные функции и собственные значения.

8. Постройте первый порядок стационарной теории возмущений для невырожденного уровня. Каковы условия применимости полученных ответов? Постройте первый порядок стационарной теории возмущений для вырожденного уровня.

9. Эффект Зеемана: выпишите гамильтониан многоэлектронного атома в присутствии однородного магнитного поля, определите, что такое «слабое поле», вычислите фактор Ланде.

10. Эффект Штарка: выпишите гамильтониан атома водорода в присутствии однородного электрического поля, опишите расщепление уровня

n=2. Почему эффект Штарка в многоэлектронном атоме отличается от эффекта Штарка в атоме водорода?

11. Постановка задачи об упругом рассеянии на потенциале $V(\mathbf{x})$. Амплитуда рассеяния, дифференциальное и полное сечение. Уравнение Липпмана-Швингера. Борновский ряд, первое борновское приближение, условия применимости первого борновского приближения.

12. Принцип неразличимости тождественных частиц. Собственные значения оператора перестановки двух частиц. Бозоны и фермионы. Волновая функция N тождественных фермионов (бозонов). Базис в пространстве состояний N тождественных фермионов (бозонов). Свойства наблюдаемых для системы N тождественных частиц.

13. Описание динамики квантовых систем. Представление Шредингера, представление Гайзенберга, их эквивалентность. Формальные решения уравнений Гайзенберга и Шредингера для консервативной системы. Интегралы движения, их физический смысл. Стационарные состояния.

14. Охарактеризуйте основные классы молекул и типы связей в них. Опишите вращательные, колебательные и электронные спектры молекул (характерные частоты, квантование уровней и др.). Дайте качественную картину возникновения гомополярной силы связи в молекуле водорода. Разъясните квантовую природу сил Ван-дер-Ваальса.

Список рекомендуемой литературы

1. А.С. Давыдов. Квантовая механика. М., Физматгиз, 1973.

2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. М,. Физматлит, 2004.

3. О.Д. Тимофеевская, О.А. Хрусталев. Лекции по квантовой механике. М,. URSS, 2017.

4. Д.И. Блохинцев. Основы квантовой механики. М., Наука, 1983.

5. А.А. Соколов, Ю.М. Лоскутов, И.М. Тернов. Квантовая механика. М., Просвещение, 1965.

3.6. Ядерная физика

1. Опишите опыт Резерфорда. Что такое ядро, каковы его характерные размеры? Каким распределением описываются плотности распределения массы и заряда ядра? Как связан радиус ядра и его массовое число? Дайте определение энергии связи ядра. Чему равен дефект массы ядра?

2. Какие частицы называют стабильными? Перечислите все виды взаимодействий с указанием частиц — переносчиков взаимодействия и характерным временем взаимодействия. Приведите примеры процессов, происходящих по различным взаимодействиям. Выпишите все фундаментальные частицы Стандартной модели. Что такое адроны? Что такое лептоны? В каких взаимодействиях они участвуют?

3. Перечислите квантовые числа, характеризующие частицы. Что такое спин? Какие значения он может принимать? Что характеризует квантовое число внутренней четности? От чего зависит значение изоспина? Какие квантовые числа совпадают у частиц и античастиц? Какие квантовые числа сохраняются в сильном взаимодействии? В слабом и электромагнитном?

4. Дайте определение радиоактивности. В чем заключается статистический характер распада? Выведите закон радиоактивного распада. Что такое период полураспада? Как связаны период полураспада и постоянная распада? Чем обусловлены естественная и искусственная радиоактивности? Что такое космические лучи? Что такое альфа-распад? Приведите пример альфа-радиоактивного ядра. Запишите три типа бета-распада. Почему происходят гамма-излучение в ядрах?

5. Запишите формулу Вайцзеккера для энергии связи ядер, объясните роль каждого слагаемого. Нарисуйте зависимость удельной энергии связи стабильных ядер от массового числа. Обоснуйте, почему при делении тяжелых ядер и в реакциях синтеза легких ядер выделяется энергия.

6. В чем особенность магических чисел для ядер? Какая модель используется для объяснения магических ядер? Какое уравнение описывает состояния нуклонов в этой модели? Какие квантовые числа описывают

состояние нуклонов? Какую роль играет спин-орбитальное взаимодействие? В чем заключается принцип Паули?

7. Что такое цепная реакция? Что характеризует коэффициент размножения нейтронов? Какие процессы называются критическими, надкритическими и подкритическими? Как устроен ядерный реактор? Как осуществляется контроль скорости реакции в ядерном реакторе?

8. Что такое энергия реакции? Чему равна пороговая энергия реакции в СЦИ и в лабораторной системе отсчета? Какие законы сохранения работают в ядерных реакциях? Сформулируйте законы сохранения полного момента, изоспина, проекции изоспина и четности. В каких реакциях они могут нарушаться? Опишите возможные механизмы ядерных реакций.

9. В чем отличие адронов и лептонов? Какие частицы называются барионами? Перечислите кварки трех поколений с указанием их зарядов и ароматов. Какой кварковый состав нуклонов? Для чего было введено квантовое число «цвет»? Какие ограничения на кварковый состав и взаимодействие между кварками накладывает наличие «цвета»? В чем заключается явление конфаймента?

10. Что такое комптоновское рассеяние? Нарисуйте диаграммы Феймана прямого и обратного эффекта Комптона. Как связаны длина волны и угол рассеяния фотона? В чем состоит выдвинутая де Бройлем гипотеза об универсальности корпускулярно-волнового дуализма? Чему равна длина волны де Бройля? В чем состоял эксперимент Дж. Томсона по изучению дифракции электронов? Сформулируйте принцип неопределенности Гейзенберга.

11. В чем заключается явление альфа-распада? Запишите закон Гейгера-Неттола. При каких условиях возможен альфа-распад? Какова роль кулоновского и центробежного барьеров в альфа-распаде? Что такое радиоактивные семейства?

12. Как связаны размер исследуемого объекта и требуемая для этого энергия? Какая энергия необходима для исследования структуры ядра?

Нуклона? Какая принципиальная структура ускорителя? Объясните принцип работы линейного ускорителя, циклотрона, микротрона и ускорителя на встречных пучках. В чем их недостатки и преимущества?

13. Определите операции зарядового, пространственного и временного сопряжения. В каких взаимодействиях нарушаются C-, P-, T-симметрии? В каком эксперименте наблюдается несохранение CP-симметрии? В чем заключается CPT-теорема? Какие предпосылки к нарушению T-симметрии?

14. В каких ядрах можно наблюдать вращательные состояния в спектре и почему? Как можно объяснить наличие колебательных уровней в спектре ядра? Что такое фононы? Изобразите схематически монопольные, дипольные и квадрупольные коллективные колебания. Как выглядят спектры вращательных и колебательных уровней в ядре?

15. Какие реакции происходили в эпоху дозвездного нуклеосинтеза? Какие элементы образовались в результате pp- и CNO-циклов? Какой состав имеет звезда на стадии горения кремния? Какова роль r- и s- процессов?

Список рекомендуемой литературы

1. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. Частицы и атомные ядра. Учебник. Изд. 4-е, испр. и доп., 2019.

2. И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. Изд. 6-е. 2018.

3.7. Биофизика

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.

Список рекомендуемой литературы

1. Лекции по биофизике / Под ред. В.А. Твердислова – Москва, Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023.

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

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

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

4.1. Механика

1. Заяц бежит по прямой со скоростью V_1. Его начинает преследовать со скоростью V_2 собака, которая в ходе погони всегда бежит в направлении строго на зайца. В начальный момент времени расстояние между ними равно a и направления их движения ортогональны. Найти уравнение траектории собаки в системе отсчета, связанной с зайцем.

2. Космический корабль движется по эллиптической орбите вокруг планеты массы M, так что минимальное расстояние до силового центра равно a, а максимальное равно b. Найти скорость, которую необходимо ему сообщить в афелии, так чтобы он стал двигаться по параболе.

3. Частица массы m и зарядом e движется по сфере радиуса R в поле силы тяжести и однородном постоянным магнитном поле, напряженности H_0, направленном в противоположную сторону от силы тяжести. Построить функцию Лагранжа, найти интегралы движения и закон движения в квадратурах.

4. Два небесных тела масс 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.

5. Частица массы m движется в потенциале $U(r) = \frac{-\alpha}{r} + \frac{\beta}{r^2}$, где $\alpha,\ \beta > 0$. Найти смещение перигелия траектории за период для случая финитного движения.

6. Записать функцию Лагранжа релятивистской частицы массы m и с зарядом e в произвольном электромагнитном поле и построить по ней функцию Гамильтона, взяв декартовы координаты частицы в качестве обобщенных.

7. Подвергнуть одномерный гармонический осциллятор унивалентному каноническому преобразованию с производящей функцией $F = \frac{1}{2}m\omega q^2 ctgQ$. Найти явный вид преобразования. Построить новый гамильтониан *K*. Записать новые уравнения Гамильтона и их решить. Зная решения последних, записать решения старых уравнений Гамильтона.

8. Методом Гамильтона-Якоби найти закон движения в квадратурах для частицы с массой m и зарядом e, совершающей плоское движение в поле электрического диполя. Диполь находится в плоскости движения. Вектор дипольного момента имеет модуль p и также лежит в плоскости движения.

9. К стенке прикреплена спица, на которую нанизаны две бусинки массами $3m$ и m. Между собой бусинки соединены пружиной жесткостью k. Бусинка массы $3m$ присоединена к стенке пружиной жесткостью k. При этом стенка совершает малые колебания по закону $x_{\text{ст}} = Asin\Omega t$. Система находятся в горизонтальной плоскости, трением пренебречь. Найти закон установившихся вынужденных колебаний и условия резонанса.

10. Вычислить переменную «действие» для одномерного гармонического осциллятора. Используя данный результат, найти как будет меняться амплитуда малых колебаний маятника при медленном изменении длины нити *l(t)*.

11. Функция Лагранжа симметричного волчка с неподвижной точкой имеет вид $L = \frac{J_1}{2}\left(\dot{\theta}^2 + sin^2\theta\dot{\varphi}^2\right) + \frac{J_3}{2}\left(\dot{\psi} + cos\theta\dot{\varphi}\right)^2 - mgLcos\theta$. Объясните смысл входящих в функцию Лагранжа величин. Найдите минимальное значение

частоты вращения волчка вокруг вертикальной оси симметрии, при котором движение является устойчивым.

12. В случае стационарного течения несжимаемой идеальной жидкости в трубке длиной L, наклоненной под углом □ к горизонту, найдите соотношения между скоростями течения на концах трубки, сечения в которых равны S_1 и S_2. Плотность жидкости ρ.

4.2. Молекулярная физика, статистическая физика и термодинамика

13. Определите 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.

14. Найдите зависимость давления от объема для процесса, проводимого над одноатомным идеальным газом, при котором молярная теплоемкость газа меняется с температурой по закону $C = \square T$, где □ – постоянная.

15. Газ Ван-дер-Ваальса в количестве двух молей адиабатически и квазистатически расширяется от объема V_1 до объема V_2. Начальная температура газа T_1. Найдите работу, совершенную газом. Константы Ван-дер-Ваальса a и b и его молярную теплоемкость при постоянном объеме c_V считайте известными.

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

17. С одним молем идеального газа проводят процесс $\mathrm{p}=\mathrm{p}_0 - \mathrm{aV}^2$, где a — постоянная величина. Найдите максимально возможную температуру газа в этом процессе. Проиллюстрируйте это решение на p-V диаграмме.

18. 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

19. Какое количество теплоты надо подвести к одному молю газа Ван-дер-Ваальса, чтобы при расширении в пустоту от объема V_1 до объема V_2 его температура не изменилась? Постоянные a и b газа Ван-дер-Ваальса известны.

20. На броуновскую частицу массой m_0, совершающую случайные блуждания вдоль оси OX, действует сила вязкого трения $\gamma \frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{dt}}$ и случайная сила толчков со стороны окружающих ее молекул. Найдите корреляционную функцию для скорости частицы.

4.3. Электродинамика

21. По круглой тонкой пластинке радиусом R равномерно распределен заряд Q. Найдите напряженность поля на оси, перпендикулярной к плоскости пластинки, как функцию расстояния zот ее центра. Исследуйте полученное выражение при $z << R$ и $z >> R$.

22. Заряд электронного облака в атоме водорода в основном состоянии распределен по закону $\rho(r) = \frac{q}{\pi a^3} e^{-2r/a}$, где q – заряд электронной оболочки, a – боровский радиус. Вычислите напряженность электрического поля, созданного электронной оболочкой.

23. Заряд q расположен на расстоянии a от плоской границы раздела двух полупространств с диэлектрическими проницаемостями ε_1 и ε_2. Найдите его потенциал и действующую на него силу.

24. Тонкий диск радиуса a, заряженный с постоянной поверхностной плотностью заряда σ, равномерно вращается с угловой скоростью $\vec{\omega}$. Найдите отношение модуля магнитного момента диска $\vec{m}_1$, *в* случае, если ось вращения проходит через его центр и перпендикулярна плоскости диска, к модулю магнитного момента диска $\vec{m}_2$, когда ось вращения проходит через его

диаметр.

25. По сфере радиуса R распределен заряд с поверхностной плотностью $\sigma = \sigma_0 \cos\vartheta$, где ϑ – угол, образуемый радиус-вектором, проведенным из центра сферы в произвольную точку сферы, с осью OZ. Найдите напряженность электрического поля в произвольной точке вне и внутри сферы.

26. 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.

27. Сфера радиусом R, заряженная с поверхностной плотностью ω, вращается вокруг оси симметрии с угловой скоростью ω. Найдите индукцию магнитного поля на оси вращения.

28. Металлический шар радиуса R зарядили зарядом Q. На расстоянии $d > R$ от его центра поместили точечный заряд q. Чему равен потенциал шара? Чему равна сила, действующая на точечный заряд?

29. Доказать, что если частица совершает периодической движение, то средняя за период скорость потерь энергии совпадает со средней интенсивностью излучения.

4.4. Оптика

30. 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.

31. 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.

32. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ = 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?

33. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ = 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 укладывается n зон Френеля. Постройте приближенно график зависимости интенсивности света на оси отверстия от расстояния до точки наблюдения.

4.5. Квантовая физика

34. Найти уровни энергии в потенциале $V(x)=-V_0\delta(x-a) - V_0\delta(x+a) + U_0\delta(x)$. Найти зависимость количества уровней от параметров системы.

35. 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 волновую функцию $|\Psi(t)\rangle$ и средние значения величин x, y, p_x , p_y в произвольный момент времени t.

36. Гамильтониан системы двух частиц со спином 1/2 имеет вид $H= -2\mu_0 (s^{(1)}_z - s^{(2)}_z)H_z$. Найти вероятность того, что полный спин системы равен нулю в момент времени t, если в момент времени $t=0$ спин первой частицы был ориентирован вдоль оси x, а второй – против оси x .

37. Одномерный гармонический осциллятор. Найти поправки к энергии n-го уровня, вызванные возмущением αx^4.

38. Найти в квазиклассическом приближении уровни энергии в потенциале $V(x<0)=\infty$, $V(x>0)=kx\text{^}2/2$. Сравнить с точным ответом.

39. Заряженный двумерный симметричный гармонический осциллятор

помещен в слабое однородное магнитное поле, ориентированное по оси *z*. В первом порядке теории возмущений найти поправки к энергии второго возбужденного уровня $3\hbar\omega$, вызванные магнитным полем.

40. Найдите явный вид матриц-операторов компонент углового момента $\hat{J}_i$ в состоянии с полным моментом $J = 1$.

41. Найти парамагнитную составляющую магнитной восприимчивости свободного фермионного газа (спин частиц *1/2*) при нулевой температуре.

42. Решите уравнение Гайзенберга для операторов орбитального момента l_x , l_y , l_z , если гамильтониан системы равен $H=-\mu_o H_x l_x$.

43. Источник потенциала Юкавы равномерно распределен по шару радиуса R с плотностью заряда ρ_0. Найти формфактор и дифференциальное сечение упругого рассеяния.

4.6. Ядерная физика

44. Определить 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.

45. Рассчитать приведённую длину волны $\hat{\lambda}$ (в Фм) протона с кинетической энергией 1 ГэВ.

46. Рассчитать минимальную кинетическую энергию (в МэВ) протонов в реакции рождения нейтрального пиона на неподвижной водородной мишени: $p + p \to p + p + \pi^0$.

47. Для распада ${}^3_1H \to {}^3_2He + e^- + \bar{\nu}_e$ найти верхнюю границу (в МэВ) спектра электронов. (Значения энергий связи: W(^{3}H)=8.481 МэВ; W(^{3}He)=7.718 МэВ).

48. Определить наиболее вероятный тип (E - электрический / M - магнитный) и мультипольность J γ-кванта, излучаемого при переходе ядра ^{13}C из первого возбуждённого состояния ($J^P = 1/2^+$) в основное состояние ($J^P = 1/2^-$).

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

50. Рассчитать кинетическую энергию (в МэВ) α-частиц в распаде $^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{218}_{84}Po + {}^{4}_{2}He.$ Энергии связи:

W(^{222}Rn)=1708.2 МэВ, W(^{218}Po)=1685.5 МэВ, W(^{4}He)=28.3 МэВ

51. Для распада $^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e^{-} + \bar{\nu}_e$ найти верхнюю границу (в МэВ) спектра электронов. (Значения энергий связи: W(14C)=105.284 МэВ ; W(14N)=104.658 МэВ).