

**Программа
вступительного испытания по специальной дисциплине
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»
по группе научных специальностей:**

**1.3. Физические науки
1.3.3. Теоретическая физика**

1. Общие положения.

1.1. Данная программа предназначена для подготовки к вступительным испытаниям в аспирантуру по специальной дисциплине. Программа вступительных испытаний в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (уровень магистра или специалиста).

Экзамен 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. Каждый экзаменационный билет содержит по 3 вопроса. Экзамен проходит в устной форме. Подготовка к ответу составляет 1 академический 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 два вопроса по общефизическим и математическим дисциплинам, один вопрос по дисциплине специализации.

Вопросы по общей физике охватывают следующие темы: колебания и волны, основы молекулярной физики, термодинамики, оптики, а также квантовой и ядерной физики.

Вопросы по высшей математике призваны определить на основе решения конкретных математических примеров уровень владения поступающим в аспирантуру математическими навыками, необходимыми при решении физических задач.

Вопросы по дисциплине специализации включают в себя вопросы по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

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

2.2. Экзамен по специальной дисциплине оценивается по 10-балльной шкале. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания по специальной дисциплине, 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 экзамену

3.1. Вопросы по общей физике

Колебания, основы молекулярной физики и термодинамики

1. Свободные колебания системы без трения. Математический маятник. Физический маятник. Сложение гармонических колебаний одного направления. Биения. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс.

2. Различные формы записи уравнения состояния идеального газа. Уравнение адиабаты идеального газа. Работа, совершаемая идеальным газом при политропическом и адиабатическом процессе. Физический смысл энтропии идеального газа.

3. Число ударов молекул газа о стенку. Газокинетический вывод выражения для давления газа на стенку. Основное уравнение молекулярнокинетической теории газов.

4. Распределение Максвелла. Наиболее вероятная скорость молекул, средняя арифметическая и средняя квадратичная скорости молекул. Распределение Больцмана. Распределение молекул по координатам. Барометрическая формула.

5. КПД тепловой машины. КПД цикла Карно. Теорема Карно.

6. Явления переноса. Диффузия газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента диффузии. Вязкость газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента вязкости. Теплопроводность газов. Газокинетический вывод выражения для коэффициента теплопроводности.

Основы электромагнетизма

1. Линии напряженности электрического поля и эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Работа силы электрического поля. Потенциал.

2. Электрический диполь в однородном и неоднородном поле (вращательный момент, энергия, сила). Дипольный электрический момент системы зарядов. Поле электрического диполя.

3. Поле вне и внутри объемно заряженного шара. Поле одной и двух заряженных плоскостей.

4. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии.

5. Сила и плотность тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока. Удельная тепловая мощность тока.

6. Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Сила Лоренца. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле.

7. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции. Поле в центре и на оси кругового тока. Поле бесконечного прямого тока. Контур с током в однородном и неоднородном магнитном поле (вращательный момент, энергия, сила).

8. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. ЭДС индукции. Индуктивность соленоида. Токи замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля.

9. Ток смещения. Полный ток. Уравнения Максвелла.

Основы волновой оптики

1. Волновое уравнение. Уравнение плоской волны.

2. Эффект Доплера для звуковых и электромагнитных волн.

3. Принцип Гюйгенса. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления.

4. Явление интерференции. Сложение двух электромагнитных волн. Интенсивность суммарной волны.

5. Временная когерентность, длина когерентности на примере опыта Юнга с монохроматическим протяженным источником.

6. Способы наблюдения интерференции света (зеркало Ллойда, бипризма и бизеркала Френеля).

7. Интерференционные полосы равного наклона. Интерференционные полосы равной толщины. Простой клин.

8. Кольца Ньютона. Интерференция света на тонких пленках. Просветление оптики.

9. Графическое сложение амплитуд. Зоны Френеля.

10. Дифракция Френеля на круглом отверстии и на диске. Дифракция Френеля на щели. Дифракция Фраунгофера на щели.

11. Дифракционная решетка. Положение и угловая ширина главных дифракционных максимумов дифракционной решетки. Дисперсия и разрешающая способность дифракционной решетки.

12. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Брэгга-Вульфа.

Основы квантовой физики, физики строения вещества, атомной и ядерной физики

1. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина). Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка.

2. Фотоэффект. Уравнение А.Эйнштейна для фотоэффекта. Опыт Боте. Фотоны. Эффект Комптона.

3. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Элементарная боровская теория водородоподобного атома. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.

4. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка размеров и минимальной энергии водородоподобного атома и одномерного гармонического осциллятора.

5. Уравнение Шредингера. Физический смысл и свойства пси-функции.

Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме и в потенциале одномерного гармонического осциллятора.

6. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.

7. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома. Электронные конфигурации.

8. Характеристические рентгеновские спектры. Закон Мозли.

9. Комбинационное рассеяние света. Эффект Рамана.

10. Энергетические зоны в твердых телах. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость.

3.2. Вопросы по высшей математике

1. Понятие производной функции. Основные правила дифференцирования функций. Нахождение экстремумов функции.

2. Понятие матрицы. Определитель матрицы и его вычисление.

3. Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Методы решения СЛАУ: метод Гаусса, метод Крамера. Критерий существования нетривиального решения системы однородных линейных алгебраических уравнений.

4. Понятие первообразной функции. Вычисление неопределенных и определённых интегралов, в том числе несобственных.

5. Понятие числового ряда. Признаки сходимости числовых рядов. Разложение функции в ряд Тейлора.

6. Понятия градиента функции, дивергенции, ротора и циркуляции векторного поля. Теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса.

7. Понятие обыкновенного дифференциального уравнения. Типы ОДУ первого порядка и методы их решения: уравнение с разделяющимися переменными, однородное ОДУ, уравнение в полных дифференциалах, линейное дифференциальное уравнение, уравнения, не разрешённые относительно производной.

8. Линейное дифференциальное уравнение произвольного порядка с постоянными коэффициентами. Методы его решения.

9. Система линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Методы её решения.

10. Понятие аналитической функции. Разложение функции, аналитической в кольце, в ряд Лорана. Классификация изолированных особых точек. Вычеты. Основная теорема о вычетах и её приложения.

11. Основные уравнения математической физики. Классификация линейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка с двумя независимыми переменными.

12. Решение краевых задач для уравнений гиперболического и параболического типов методом Фурье.

13. Решение задачи Коши для волнового уравнения в одномерном случае.

3.3. Вопросы по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика

1. Принцип наименьшего действия, уравнения Лагранжа, уравнения Гамильтона, канонические преобразования, уравнение Гамильтона-Якоби. Законы сохранения (теорема Нётер).

2. Нерелятивистское финитное и инфинитное движение в центральном поле: формы траекторий в потенциалах $-a/r$, $-b/r^2$, $-a/r-b/r^2$. Формула Резерфорда, обсудить отдельно предельный случай малых углов.

3. Движение заряженной частицы в постоянном электромагнитном поле и в поле плоской электромагнитной волны.

4. Колебания механических систем со многими степенями свободы. Собственные частоты и нормальные колебания (проиллюстрировать на примерах). Вынужденные колебания. Резонанс.

5. Действие электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для полей. Уравнения Максвелла. Локальное сохранение заряда и энергии-импульса.

6. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Дипольное излучение. Квадрупольное и магнитно-

дипольное излучение. Рассеяние электромагнитной волны свободными зарядами.

7. Излучение ультррелятивистского заряда. Угловое и спектральное распределение. Торможение излучением.

8. Замедление времени в гравитационном поле. Центральносимметричное статическое гравитационное поле (решение Шварцшильда). Движение в поле Шварцшильда. Наблюдаемые эффекты (отклонение света, прецессия перигелия).

9. Гравитационные волны в линейном приближении. Мощность излучения гравитационных волн.

10. Уравнение Шредингера. Соотношение неопределенности. Плотность вероятности и потока вероятности. Расплывание волнового пакета. Общие свойства стационарных состояний в одномерном случае.

11. Решение одномерного уравнения Шредингера в прямоугольной яме и для гармонического осциллятора.

12. Собственные значения и собственные функции оператора момента импульса. Разделение переменных в уравнении Шредингера в центральном поле. Решение в кулоновском поле (уровни энергии и волновые функции стационарных состояний).

13. Квазиклассическое приближение. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Коэффициент прохождения потенциального барьера.

14. Уравнение Шредингера в магнитном поле. Квантование Ландау. Прецессия спина в магнитном поле.

15. Стационарная теория возмущений. Эффект Штарка.

16. Многоэлектронные атомы. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса-Ферми.

17. Вариационный метод решения уравнения Шредингера (пример: расчет энергии основного состояния атома He). Уравнение Хартри-Фока.

18. Квантовомеханическая теория рассеяния. Формула Борна. Фазовая теория рассеяния. Резонансное рассеяние (формула Брейта-Вигнера).

19. Термодинамические величины классического идеального (одно- и многоатомного) газа.

20. Слабонеидеальный классический газ. Вириальное разложение. Уравнение ван-дер-Ваальса.

21. Термодинамические величины идеальных бозе- и ферми-газов (примеры: энергия, энтропия, давление и теплоемкость вырожденного электронного газа и излучения абсолютно чёрного тела, бозе-конденсация).

22. Теплопроводность твердых тел (теория Дебая). Тепловое расширение.

23. Спектр и термодинамические свойства слабонеидеального ферми-газа с отталкиванием, эффект Купера (задача Бардина-Купера-Шриффера).

24. Равновесие фаз. Химическое и ионизационное равновесия.

25. Решение уравнения Дирака для атома водорода. Тонкая структура.

26. Сечение рассеяния фотона электроном (эффект Комптона).

27. Тормозное излучение электрона и образование пар фотоном на ядре.

28. Аномальный магнитный момент электрона.

29. Радиационное расщепление уровней $2s_{1/2}$, $2p_{1/2}$ в атоме водорода (лэмбовский сдвиг).

30. Гравитационные волны на поверхности идеальной жидкости.

31. Ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости по трубе.

32. Звуковые волны в идеальной жидкости. Поглощение звука в неидеальной жидкости.

33. Термодинамические соотношения для диэлектриков в электрическом поле. Силы, действующие на (жидкий либо аморфный) диэлектрик.

34. Отражение и преломление электромагнитной волны на плоской границе двух диэлектрических сред.

35. Излучение Вавилова-Черенкова.

36. Кинетические коэффициенты (теплопроводность, вязкость, электропроводность) слабонеоднородного газа.

37. Бесстолкновительная плазма: самосогласованное поле, диэлектрическая проницаемость, продольные и ионно-звуковые волны, затухание Ландау.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.1: Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие для вузов. 2012. 522 с.
2. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: учебник для вузов. Москва: Физматлит, 2009. 307 с.
3. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Пятаевский Л.П. Теоретическая физика. В 10 т., М.: Наука. Т.4. Квантовая электродинамика. 1968, 1980, 1989, 2001.
4. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики, М.: Наука, 1976.
5. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2009. 608 с.
6. Вайнберг С. Гравитация и космология. М., Мир, 1972.
7. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Астрель, АСТ, 2005. 992 с.
8. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. М., Наука, 1971.
9. Давыдов А.С. Квантовая механика. М.: Наука, 1963 (другое издание – 1973).
10. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М.: Мир, 1987.
11. Иродов И.Е. Волновые процессы: основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2015. 263 с.
12. Иродов И.Е. Квантовая физика: основные законы. Москва: Бином. Лаборатория знаний. 2014. 256 с.
13. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 320 с.
14. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. - М.: Наука, 1977.
15. Л.Д.Ландау, Лифшиц Е.М. Гидродинамика, М. Наука, 1986.
16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. - Теоретическая физика. Т. 1. Механика. - М.: Наука. - 1988.
17. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч. 1. – М.: Наука. Физматлит, 1995.
18. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.2. Теория поля. М.: Наука. 1972 (другие издания - 1989, 2001).
19. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.3. Квантовая

20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: ГИФМЛ, 1982.
21. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т.2. М.: Физматгиз, 1962 (другое издание – 1971).
22. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т. 1. - М.: Физматгиз, 1962.
23. Механика. Нерелятивистская теория. М.: Наука. 1972 (другие издания - 1989, 2001).
24. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т.1: Физика атомного ядра. 2009. 383 с.
25. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 2: Физика ядерных реакций. 2008. 318 с.
26. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 3: Физика элементарных частиц. 2008. 412 с.
27. Мэтьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. М., Атомиздат, 1972.
28. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 2009. 570 с.
29. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие для вузов. 2012. 360 с.
30. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики: Учеб. пособие для вузов. М.: МГУ; Наука, 2004. 798 с.