

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт»

Программа вступительного испытания
по направлению подготовки

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

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Вступительное испытание (экзамен) по направлению подготовки 1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» осуществляется с целью выявления у абитуриента объема научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Абитуриент должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

Билет для собеседования включает в себя два вопроса по общефизическим и математическим дисциплинам и один вопрос по дисциплине специализации. Вопросы по общей физике охватывают следующие темы: колебания и волны, основы молекулярной физики и термодинамики, основы электромагнетизма и оптики, основы квантовой физики, строения вещества, атомной и ядерной физики. Вопросы по высшей математике призваны определить уровень поступающих в аспирантуру владения математическими навыками, необходимыми при решении физических задач.

Критерии оценки результатов испытания:

Оценка «отлично» (5 баллов) ставится, при условии если поступающим даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, при строгом соблюдении логической последовательности рассуждений.

Оценка «хорошо» (4 балла) ставится, при условии если даны достаточно полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, но логическая последовательность рассуждений соблюдается не всегда;

Оценка «удовлетворительно» (3 балла) ставится, при условии если даны в основном правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, однако глубина раскрытия экзаменационной темы и логическая последовательность рассуждений соблюдены недостаточно.

Оценка «неудовлетворительно» (2 балла) ставится, в случае если экзаменуемым не выполнены условия, позволяющие поставить оценку «удовлетворительно».

Решения экзаменационной комиссии принимаются большинством голосов членов экзаменационной комиссии.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Вопросы по общефизическим дисциплинам

I. 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. Основное уравнение молекулярно-кинетической 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. Вязкость газов. Теплопроводность газов.

II. Основы электромагнетизма

7. Линии напряженности электрического поля и эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Работа силы электрического поля. Потенциал.
8. Электрический диполь в однородном и неоднородном поле (вращательный момент, энергия, сила). Дипольный электрический момент системы зарядов. Поле электрического диполя.
9. Поле вне и внутри объемно заряженного шара. Поле одной и двух заряженных плоскостей.
10. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии.
11. Сила и плотность тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока. Удельная тепловая мощность тока.
12. Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Сила Лоренца. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле.

13. 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).
14. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Э.Д.С. индукции. Индуктивность соленоида. Токи замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля
15. Ток смещения. Полный ток. Уравнения Максвелла.

III. Основы волновой оптики

16. Волновое уравнение. Уравнение плоской волны.
17. Эффект Доплера для звуковых и электромагнитных волн.
18. Принцип Гюйгенса. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления.
19. Явление интерференции. Сложение двух электромагнитных волн. Интенсивность суммарной волны.
20. Временная когерентность, длина когерентности на примере опыта Юнга с монохроматическим протяженным источником.
21. Способы наблюдения интерференции света (зеркало Ллойда, бипризма и бизеркала Френеля).
22. Интерференционные полосы равного наклона. Интерференционные полосы равной толщины. Простой клин.
23. Кольца Ньютона. Интерференция света на тонких пленках. Просветление оптики.
24. Графическое сложение амплитуд. Зоны Френеля.
25. Дифракция Френеля на круглом отверстии и на диске. Дифракция Френеля на щели. Дифракция Фраунгофера на щели.
26. Дифракционная решетка. Положение и угловая ширина главных дифракционных максимумов дифракционной решетки. Дисперсия и разрешающая способность дифракционной решетки.
27. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Брэгга-Вульфа.

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

28. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина).
29. Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка.
30. Фотоэффект. Уравнение А.Эйнштейна для фотоэффекта.
31. Опыт Боте. Фотоны.
32. Эффект Комптона.
33. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.
34. Элементарная боровская теория водородоподобного атома.
35. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.

36. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка размеров и минимальной энергии водородоподобного атома.
37. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка минимальной энергии одномерного гармонического осциллятора.
38. Уравнение Шредингера. Физический смысл и свойства пси-функции.
39. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Результаты квантовой механики для одномерного гармонического осциллятора.
40. Результаты квантовой механики для водородоподобного атома.
41. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.
42. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома. Электронные конфигурации.
43. Характеристические рентгеновские спектры. Закон Мозли.
44. Комбинационное рассеяние света. Эффект Рамана.
45. Энергетические зоны в твердых телах. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость.

Вопросы по математическим дисциплинам

1. Элементы теории чисел. Натуральные числа. Делимость. Целые, рациональные и действительные числа. Мнимые числа.
2. Функция, ее область определения и область значений. Возрастание, убывание, периодичность, четность, нечетность. Наибольшее и наименьшее значения функции. График функции.
3. Последовательности, предел последовательности. Пределы функций, предел функции по Коши.
4. Понятие производной функции. Основные правила дифференцирования функций. Нахождение экстремумов функции.
5. Понятие первообразной функции. Вычисление неопределенных и определённых интегралов, в том числе несобственных. Интегральная сумма.
6. Понятие числового ряда. Признаки сходимости числовых рядов. Степенные ряды. Разложение функции в ряд Тейлора. Остаточный член в ряде Тейлора.
7. Элементы линейной алгебры. Векторные пространства и линейные отображения, базисы, размерность, квадратичные формы.
8. Понятие матрицы. Действия с матрицами. Определитель матрицы и его вычисление.
9. Элементы теории групп. Линейные представления групп. Группы и алгебры Ли.

10. Гильбертовы пространства. Линейные операторы в гильбертовом пространстве. Понятие о спектре оператора. Линейные операторы и их матрицы в конечномерном вещественном и комплексном пространстве.
11. Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Методы решения СЛАУ: метод Гаусса, метод Крамера. Критерий существования нетривиального решения системы однородных линейных алгебраических уравнений.
12. Понятия градиента функции, дивергенции, ротора и циркуляции векторного поля. Теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса.
13. Понятие обыкновенного дифференциального уравнения. Уравнения первого порядка и методы их решения. Линейное дифференциальное уравнение произвольного порядка с постоянными коэффициентами. Методы его решения.
14. Система линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Методы её решения.
15. Понятие аналитической функции. Разложение функции, аналитической в кольце, в ряд Лорана. Классификация изолированных особых точек. Вычеты. Основная теорема о вычетах и её приложения.
16. Основные уравнения математической физики. Классификация линейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка с двумя независимыми переменными.
17. Преобразование Фурье и его основные свойства. Применение для решения дифференциальных уравнений.
18. Решение задачи Коши для волнового уравнения в одномерном случае.
19. Элементы теории вероятностей. Случайные величины и распределения вероятностей. Числовые характеристики случайных величин и вероятностных распределений.
20. Основы теории оценивания неизвестных параметров распределений. Статистическая проверка гипотез

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. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 2009. 570 с.
3. 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.
4. Иродов И.Е. Волновые процессы: основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бинوم. Лаборатория знаний, 2015. 263 с.

5. Иродов И.Е. Квантовая физика: основные законы. Москва: Бином. Лаборатория знаний. 2014. 256 с.
6. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 320 с.
7. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т.1: Физика атомного ядра. 2009. 383 с.
8. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 2: Физика ядерных реакций. 2008. 318 с.
9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 3: Физика элементарных частиц. 2008. 412 с.
10. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2009. 608 с.
11. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Астрель, АСТ, 2005. 992 с.
12. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: учебник для вузов. Москва: Физматлит, 2009. 307 с.
13. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики: Учеб. пособие для вузов. М.: МГУ; Наука, 2004. 798 с.
14. Мэтьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. М., Атомиздат, 1972.
15. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. М., Наука, 1971.

Вопросы по дисциплине специализации

1. Общие свойства и характеристики ядер: плотность, заряд, спины ядер, четность, спектры возбуждения, ядерная нестабильность. Модели ядра, энергия связи. Виды радиоактивности. Законы α распада.
2. Прохождение заряженных частиц через вещество. Ионизационные потери, взаимодействие электронов и фотонов с веществом. Излучение Вавилова-Черенкова, переходное излучение. Резонансное рассеяние гамма-лучей. Эффект Мёссбауэра.
3. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Ультрахолодные нейтроны.
4. Альфа-распад, деление ядер, кластерные распады ядер. Трансурановые и сверхтяжелые элементы.
5. Бета-распад. Элементарная теория бета-распада. Правила отбора и форма бета-спектра, корреляционные характеристики. Разрешенные и запрещенные бета-переходы. Бета-распад нейтрона. Электронный захват.
6. Основы теории ядерных реакций. Вероятность распада и сечение процесса. Законы сохранения. Принцип детального равновесия. Каналы реакции.

7. Кинематика двухчастичных распадов. Энергетические и угловые распределения продуктов двухчастичного распада. Упругое eN -рассеяние. Формулы Резерфорда, Мотта, Розенблюта.
8. Принципы работы газовых ионизационных детекторов. Ионизационная камера, пропорциональная камера, счетчик Гейгера-Мюллера. Принципы работы полупроводниковых детекторов. Сцинтилляционные детекторы. Черенковские детекторы.
9. Классификация частиц и взаимодействий, основные свойства. Лептоны и кварки. Стандартная модель элементарных частиц и взаимодействий.
10. Дискретные симметрии. Пространственное отражение, зарядовое сопряжение, обращение времени, СРТ-теорема.
11. Электромагнитные взаимодействия. Правила отбора по изотопическому спину. Процессы фоторождения и электророждения. Рассеяние электронов и мю-мезонов нуклонами и ядрами. Электромагнитные формфакторы. Магнитные моменты элементарных частиц.
12. Изотопические свойства сильных взаимодействий. $SU(3)$ -симметрия сильных взаимодействий. Модель кварков. Глубоко-неупругие процессы, кварк-партонная модель. Квантовая хромодинамика.
13. Столкновения элементарных частиц. Нуклон-нуклонные столкновения при малых энергиях. Упругое рассеяние, поляризационные явления, неупругие процессы. Общие свойства рассеяния при высоких энергиях.
14. Теория Ферми слабого взаимодействия. Универсальная теория слабых взаимодействий. Гипотеза о сохранении векторного тока. Унитарная симметрия в слабых взаимодействиях и угол Кабиббо. Смешивание кварков. Физика K_0 -мезонов. Осцилляция странности. Интерференционные явления с нарушением CP -инвариантности в распадах K_0 -мезонов.
15. Модель Глэшоу-Салама-Вайнберга и нейтральные токи в слабых взаимодействиях. Механизм Хиггса нарушения электрослабой симметрии и массы частиц. Наблюдение Z - и W -бозонов в экспериментах на ускорителях. Открытие бозона Хиггса. Крупнейшие экспериментальные комплексы на LHC.
16. Физика нейтрино. Дираковское и майорановское нейтрино. Масса нейтрино. Гипотеза нейтринных осцилляций. Современные данные по нейтринным осцилляциям. Процессы двойного двух-нейтринного и безнейтринного бета-распада ядер.
17. Нейтринные эксперименты на ускорителях при высоких и низких энергиях, реакторах, детектирование солнечных, атмосферных нейтрино и нейтрино от взрывов сверхновых, эксперименты по изучению нейтринных осцилляций.
18. Основные сведения о космических лучах. Основные понятия, интенсивность, состав космического излучения.
19. Происхождение и эволюция Вселенной. Нуклеосинтез нуклидов в Солнечной

системе и Галактике. Реликтовое излучение, барионная асимметрия.
Модели эволюции звезд. Основные ядерные реакции на Солнце.
20. Скрытая масса Вселенной. Темная материя и темная энергия. Изучение природы и поиски Темной материи.

Литература

1. Л.Б. Окунь. Лептоны и кварки. М.: Наука, 1990.
2. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. М., Атомиздат, 1974
3. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. Энергоатомиздат, 2007, 1991,1975.
5. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц 2002.
6. Белоцкий К.М.;Емельянов В.М. Лекции по основам электрослабой модели и новой физике: Москва: МИФИ, 2007
9. Ченг Т.П., Ли Л.Ф. Калибровочные теории в физике элементарных частиц, М.: Мир, 1987. -624 с.
10. Волошин М.Б., Тер-Мартиросян К.А. Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц, М.: Энергоатомиздат - 1984.
11. Бронников К.А., Рубин С.Г. Лекции по гравитации и космологии, учебное пособие для вузов, К. А. Бронников, С. Г. Рубин, Москва: МИФИ, 2008
12. Михеева Е.В., Лукаш В.Н. Физическая космология, Москва: Физматлит, 2012.
13. Акимов, Ю.К. Фотонные методы регистрации излучений - 2-е изд., испр. и доп. - Дубна: ОИЯИ, 2014.
14. Болоздыня А.И., Ободовский И. М. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения. - Долгопрудный: ИНТЕЛЛЕКТ, 2012.
15. Григорьев, В.А. Газоразрядные детекторы элементарных частиц: учебное пособие для вузов - Москва: НИЯУ МИФИ, 2012.
16. Ю. Ц. Оганесян. Введение в физику тяжелых ионов: учебное пособие для вузов/ред. Москва: МИФИ, 2008.