

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
(НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ)

## **ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**для поступающих на обучение по программам подготовки научных  
и научно-педагогических кадров в аспирантуре по конкурсу по  
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ по очной форме обучения  
в рамках контрольных цифр приема граждан на обучение за счет  
бюджетных ассигнований федерального бюджета на места в рамках таких  
цифр за вычетом квоты на целевое обучение**

**по научным специальностям  
в рамках группы научных специальностей**

### **1.3. Физико-математические науки:**

- 1.3.3. Теоретическая физика (отрасль науки – физико-математические науки)
- 1.3.8. Физика конденсированного состояния (отрасль науки – физико-математические науки)
- 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий (отрасль науки – физико-математические науки)

## 1. Общие положения

1. Программа вступительного испытания по специальной дисциплине для поступающих на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по конкурсу по НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ по очной форме обучения в рамках контрольных цифр приема граждан на обучение за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета на места в рамках таких цифр за вычетом квоты на целевое обучение по научным специальностям в рамках группы научных специальностей 1.3. Физико-математические науки: 1.3.3. Теоретическая физика (отрасль науки – физико-математические науки), 1.3.8. Физика конденсированного состояния (отрасль науки – физико-математические науки), 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий (отрасль науки – физико-математические науки) (далее соответственно – Программа, вступительное испытание, поступающие, Институт, программы аспирантуры) – определяет структуру и содержание вступительного испытания, время, отведенное на подготовку к ответу в письменной и устной формах, перечень справочных материалов, средств связи и электронно-вычислительной техники, разрешенных к использованию при проведении вступительного испытания, шкалу и критерии оценивания результатов вступительного испытания, а также рекомендации по подготовке ко вступительному испытанию.

2. Программа разработана в соответствии с:

– Федеральным законом от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»,

– Порядком приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, утвержденного приказом Минобрнауки России от 06.08.2021 № 721,

– Правилами приема на обучение по образовательным программам высшего образования, реализуемым НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, на 2022/2023 учебный год (далее – Правила приема).

3. Максимальное и минимальное количество баллов, приоритетность вступительного испытания при ранжировании списков поступающих, форма проведения вступительного испытания, язык, на котором осуществляется сдача вступительного испытания, способ проведения вступительного испытания, особенности проведения вступительного испытания для поступающих из числа инвалидов регламентированы Правилами приема.

4. Вступительное испытание проводится с целью конкурсного отбора наиболее способных и подготовленных к освоению программ аспирантуры поступающих.

5. Прием вступительного испытания осуществляется экзаменационной комиссией, состав которой утверждается директором Института.

6. Задачи экзаменационной комиссии при проведении вступительного испытания:

– определить соответствие знаний, умений и навыков поступающего установленным Институтом требованиям к освоению программы аспирантуры;

– проверить знания поступающего по вопросу (теме) современного состояния, направлений и актуальных проблем развития выбранной области будущей профессиональной деятельности;

– установить степень владения поступающим современными методами проведения научных исследований в выбранной области будущей профессиональной деятельности.

7. Поступающий должен продемонстрировать:

– глубокие знания, полученные в результате освоенных ранее образовательных программ высшего образования, развитость представлений о фундаментальных достижениях, ключевых работах и публикациях в соответствующей области профессиональной деятельности;

– умение ориентироваться в проблематике, аргументированно обосновывать и представлять свою точку зрения, логично излагая материал;

– навыки владения понятийно-исследовательским аппаратом и имеющийся научно-исследовательский потенциал.

8. Использование справочных материалов: не разрешено.

9. Использование средств связи и электронно-вычислительной техники: не разрешено.

## **2. Структура вступительного испытания**

10. Письменная часть вступительного испытания – ответы на вопросы экзаменационного билета в письменной форме.

В начале вступительного испытания каждый поступающий индивидуально получает (вытягивает вслепую) экзаменационный билет из набора таких билетов в присутствии экзаменационной комиссии.

Каждый экзаменационный билет состоит из 3 вопросов, перечень которых приведен в разделе 4 Программы.

Номер экзаменационного билета со списком формирующих билет вопросов фиксируется в протоколе заседания экзаменационной комиссии.

Допускается выбор не более одного экзаменационного билета. Замена экзаменационного билета не допускается.

Продолжительность подготовки поступающим письменного ответа на вопросы экзаменационного билета – 90 минут.

11. Устная часть вступительного испытания – собеседование по вопросам, вынесенным на вступительное испытание. Поступающему могут быть заданы дополнительные вопросы (не более 2) из списка вопросов, представленных в разделе 4 Программы.

Продолжительность подготовки поступающего к устному ответу на каждый дополнительный вопрос – не более 5 минут.

## **3. Система оценивания результатов вступительного испытания**

12. Результаты вступительного испытания оцениваются экзаменационной комиссией на: «отлично» (60 баллов), «хорошо» (50 баллов), «удовлетворительно» (0 баллов) и «неудовлетворительно» (0 баллов).

13. Критерии оценки результатов вступительного испытания:
- знание материала, логика, структура и аргументация ответа;
  - уровень самостоятельного мышления;
  - умение приложить теорию к практике.
14. Оценка «отлично» ставится поступающему, ответ которого:
- свидетельствует о глубоком знании материала раздела 4 Программы и концептуально-понятийного аппарата, изложен в логической последовательности, аргументированно;
  - на дополнительные вопросы дан по существу и не содержит неточностей;
  - указывает на способность применить теоретические знания при решении практических задач.
15. Оценка «хорошо» ставится поступающему, ответ которого:
- свидетельствует о твердом знании материала раздела 4 Программы и концептуально-понятийного аппарата, изложен в логической последовательности, аргументированно;
  - на дополнительные вопросы дан по существу, но содержит отдельные неприципиальные погрешности и неточности;
  - указывает на способность применить теоретические знания при решении практических задач.
16. Оценка «удовлетворительно» ставится поступающему, ответ которого:
- свидетельствует о поверхностных знаниях раздела 4 Программы и концептуально-понятийного аппарата, изложен в логической последовательности или с некоторым нарушением логической последовательности, аргументированно или недостаточно аргументированно;
  - указывает на достаточную способность применить теоретические знания при решении практических задач;
  - на дополнительные вопросы дан в основном по существу, вызывает незначительные затруднения и содержит неприципиальные погрешности и неточности.
17. Оценка «неудовлетворительно» ставится поступающему, ответ которого:
- свидетельствует о существенных пробелах в знании материала раздела 4 Программы и концептуально-понятийного аппарата, изложен с существенным нарушением логической последовательности при слабой аргументации или ее отсутствии;
  - указывает на слабую способность или неспособность применить теоретические знания при решении практических задач;
  - на дополнительные вопросы вызывает значительные затруднения и содержит принципиальные погрешности и неточности.

#### 4. Перечень вопросов, выносимых на вступительное испытание

##### Раздел «Теоретическая физика» (научная специальность 1.3.3. Теоретическая физика)

1. Основные положения квантовой механики. Принцип неопределённости. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан. Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределённости.
2. Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.
3. Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Чётность. Сложение моментов. Разложение Клебша-Гордана.
4. Движение в центральном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.
5. Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Периодические возмущения. Квазиклассическая теория возмущений.
6. Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.
7. Тождественность частиц. Симметрия при перестановке частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.
8. Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса-Ферми. Тонкая структура атомных уровней. Периодическая система Менделеева.
9. Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле. Плотность потока в магнитном поле.
10. Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта-Вигнера.
11. Заряд в электромагнитном поле. Четырёхмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, калибровочная (градиентная) инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля.
12. Действие для электромагнитного поля. Уравнения электромагнитного поля. Четырёхмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.
13. Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора. Движение заряженных частиц в слабо неоднородном магнитном поле.
14. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение.

- Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.
15. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Излучение электромагнитных волн. Поле системы зарядов на далёких расстояниях. Мультипольное излучение. Излучение быстродвижущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.
  16. Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Роль энергии. Закон возрастания энтропии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.
  17. Термодинамические величины. Температура. Работа и количество тепла. Термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста. Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.
  18. Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ.
  19. Распределение Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Светимость абсолютно чёрного тела.
  20. Неидеальные газы и конденсированные среды. Фононные спектры и термодинамические свойства газа. Термодинамические свойства неидеального классического газа.
  21. Равновесие фаз. Формула Клапейрона-Клаузиса. Критическая точка.
  22. Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы. Смесь идеальных газов. Смесь изотопов. Химические реакции. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Ионизационное равновесие.
  23. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри.
  24. Твёрдые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы.
  25. Колебания решётки. Теория упругости. Звук в твёрдых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность.
  26. Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.
  27. Флуктуации. Распределение Гиббса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Временные флуктуации. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктуационно-диссипативная теорема.

28. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.

**Раздел «Физика конденсированного состояния»  
(научная специальность 1.3.8. Физика конденсированного состояния)**

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
2. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO<sub>3</sub>.
3. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.
4. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
5. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.
6. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.
7. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
8. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.
9. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.
10. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.
11. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.
12. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
13. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

14. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
15. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.
16. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.
17. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.
18. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
19. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.
20. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
21. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
22. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.
23. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
24. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
25. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
26. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
27. Спиновые волны, магноны.
28. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
29. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.
30. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
31. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).
32. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.



33. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
34. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
35. Эффект Джозефсона.
36. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

**Раздел «Физика атомного ядра и элементарных частиц»  
(научная специальность 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных  
частиц, физика высоких энергий)**

1. Закон всемирного тяготения. Поле тяготения, напряженность. Работа в поле тяготения, потенциал.
2. Преобразования Галилея. Постулаты теории относительности. Преобразования Лоренца, следствия из них.
3. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Барометрическая формула. Распределение Больцмана.
4. Опытное обоснование молекулярно-кинетической теории. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега.
5. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея и его вывод из закона сохранения энергии. Индуктивность контура, самоиндукция. Энергия магнитного поля.
6. Первое начало термодинамики. Работа газа при изменении его объема. Теплоемкость. Изопроцессы, адиабатический процесс.
7. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия и ее свойства. Второе начало термодинамики.
8. Принцип суперпозиции электростатических полей. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Гаусса. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля. Потенциал электростатического поля.
9. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Поляризованность. Напряженность поля в диэлектриках. Теорема Гаусса для диэлектриков. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред.
10. Проводники в электростатическом поле. Электрическая емкость уединенного полупроводника. Конденсаторы. Энергия системы зарядов, уединенного проводника, конденсатора. Энергия электростатического поля.
11. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Ампера. Магнитная постоянная.
12. Магнитное поле движущегося заряда. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Теорема Гаусса для поля  $\mathbf{B}$ . Циркуляция  $\mathbf{B}$  для магнитного поля в вакууме.
13. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана, смещение Вина. Вывод формулы Релея-Джинса и Планка.
14. Естественный и поляризованный свет. Угол Брюстера. Анализ поляризованного света. Эффект Керра. Эффект Фарадея – вращение плоскости поляризации.

15. Дисперсия света, электронная теория.
16. Пространственная решетка. Рассеяние света. Дифракция на пространственной решетке. Формула Вульфа-Брэгга. Разрешающая способность.
17. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля на отверстии или диске. Дифракция Фраунгофера (на щели или решетке).
18. Когерентность и монохроматичность световых волн. Интерференция. Методы наблюдения интерференции. Интерференция света в тонких пленках.
19. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Энергия электромагнитной волны.
20. Интерференция волн. Стоячие волны.
21. Волновые процессы. Продольные и поперечные волны. Уравнение бегущей волны. Фазовая скорость. Волновое уравнение,
22. Гармонические колебания (механические, свободные, их сложение). Дифференциальное уравнение свободных затухающих и вынужденных колебаний. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Резонанс.
23. Магнитные моменты электронов и атомов. Намагниченность, Магнитное поле в веществе. Условия на границе раздела двух магнетиков.
24. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля.
25. Волновые свойства микрочастиц. Уравнение Шредингера. Соотношение неопределенности. Энергия свободной частицы.
26. Прохождение частицы через потенциальный барьер, движение в потенциальном ящике.
27. Кристаллическая решетка (индексы узлов, направления, плоскости). Моно- и поликристаллические твердые тела. Дефекты в кристаллах.
28. Упругая и пластическая деформации. Скольжение, механическое двойникование, сдвиг. Дислокации (линейные, винтовые). Преодоление препятствий дислокациями.
29. Теория свободных электронов. Два приближенных метода описания поведения в твердом теле (сильной связи, слабой связи),
30. Классическая теория теплоемкости твердого тела. Закон Дюлонга и Пти. Квантовая теория теплоемкости твердых тел по Эйнштейну. Теория Дебая.
31. Отличие квантовой статистики от классической. Электронный газ. Функция распределения Ферми-Дирака.
32. Распределение электронов по энергиям, по составляющим импульса, по импульсам. Вырожденный электронный газ. Теплоемкость электронного газа.
33. Энергетические зоны, внутренняя структура энергетических зон кристалла. Движение электрона в периодическом поле кристалла под действием внешнего поля. Эффективная масса электрона. Понятие о дырках. Заполнение зон электронами.
34. Электропроводность металлов (классическая, квантовая, сверхпроводимость),

35. Собственные и примесные полупроводники. Уровень Ферми в собственных и примесных полупроводниках. Концентрация носителей тока в полупроводниках.
36. Подвижность носителей. Собственная и примесная проводимость. Эффект Холла.
37. Массовое число  $A$ . электрический заряд  $Z$  масса атомного ядра.
38. Деление ядер. Свойства осколков деления. Массовый состав осколков деления.
39. Энергия связи, Удельная энергия связи,  $\beta$  стабильные ядра.
40. Деление ядер. Свойства осколков деления. Радиоактивность осколков деления.
41. Радиус ядра. Упругое рассеяние электронов на ядрах.
42. Свойства продуктов деления. Радиоактивность продуктов деления.
43. Радиус ядра. Исследование рентгеновского излучения мюонных атомов.
44. Свойства продуктов деления. Запаздывающие нейтроны.
45. Радиус ядра. Исследование рассеяния быстрых нейтронов на ядрах.
46. Капельная модель ядра. Формула Вейцекера и капельная модель ядра.
47. Спин и магнитный момент ядра. Магнитный момент нуклонов. Результаты измерений спинов и магнитных моментов. Однуклонная модель Шмидта.
48. Основы теории деления.
49. Четность. Закон сохранения четности.
50. Сечения фотоядерных реакций. Гигантский дипольный резонанс.
51. Форма ядер.
52. Изоспин. Изоспиновая инвариантность сильных взаимодействий. Закон сохранения изоспина. Опыты по подтверждению закона сохранения изоспина.
53. Модели ядер. Модель оболочек без остаточных взаимодействий.
54. Спин и четность состояний ядер. Модель оболочек со спариванием.
55. Законы радиоактивного распада.
56. Модель Ферми-газа.
57. Альфа распад ядер. Законы сохранения в альфа-распаде. Механизм альфа-распада.
58. Обобщенная модель ядра. Обобщенная модель со слабой связью,
59. Обобщенная модель ядра. Обобщенная модель с сильной связью.
60.  $\beta$ -распад. Энергетический спектр  $\beta$ -частиц.
61. Обобщенная модель ядра. Колебания поверхности ядра.
62.  $\beta$ -распад. Сравнительный период полураспада ( $t_f$ ). Правила отбора в  $\beta$ -распаде.
63. Фундаментальные взаимодействия и первичная классификация частиц.
64. Основные этапы развития физики атомного ядра и частиц. Масштабы явлений микромира.
65. Роль физики высоких энергий в научно-техническом прогрессе. Краткий очерк о современных научных центрах, связанных с исследованиями в области физики высоких энергий и физики элементарных частиц, современные и будущие ускорители.
66. Неупругие столкновения. Комплексный фазовый сдвиг.

67. Система единиц и системы отсчета, используемые в физике элементарных частиц. Элементы релятивистской кинематики. Общий случай преобразований Лоренца.
68. Фундаментальные степени свободы: лептоны, кварки, калибровочные бозоны - носители взаимодействия.
69. Основные характеристики частиц, законы сохранения.
70. Изоспин системы частиц. Изоспиновая структура амплитуд рассеяния ( $NN$ ,  $\pi N$ ,  $\pi\pi$ ,  $KN$ ,  $\Lambda N$ ,  $\Sigma N$  системы).
71. Формальная теория рассеяния.
72. Симметрия волновых функций и обобщенный принцип Паули. Возможные состояния системы двух нуклонов.
73. Релятивистская кинематика двух- и трехчастичных распадов частиц.
74. Рассеяние частиц с произвольным спином. Метод Блатта-Биденхарна.
75. Диаграммы Аргана.
76. Фазовый анализ в теории рассеяния. Код SAID.
77. Рассеяние частиц с произвольным спином. Метод спиральности.
78. Уравнение Липпмана-Швингера
79. Теория многократного рассеяния. Упругое рассеяние на ядрах.
80. Оптический потенциал. Приближение когерентного рассеяния.
81. Сравнительный анализ немассового поведения амплитуд рассеяния нуклонов, пионов,  $K$ -мезонов на нуклонах.
82. Оптический потенциал. Приближение некоррелированных нуклонов.
83. Упругое рассеяние пионов и каонов на ядрах. Потенциал Кисслингера.
84. Основные свойства пионов (масса, заряд, спин, изоспин, внутренняя четность, время жизни, моды распада). Методы определения их характеристик.
85. Особенности процессов образования и распада странных частиц.
86. Образование пионов в нуклон-нуклонных соударениях, Пороговая энергия образования одиночных пионов. Изотопические соотношения между эффективными сечениями отдельных реакций однопионного рождения.
87. Классификация странных частиц по изоспину. Теория Гелл-Манна-Нишиджимы.
88. Особенности рассеяния пионов на нуклонах. Пион-нуклонные резонансы.
89. Нейтральные  $K^0$  мезоны. Зарядовое сопряжение.  $CP$ -преобразование.  $K^0_1$  и  $K^0_2$ .  $K^0_L$  и  $K^0_S$  состояния. Регенерация нейтральных каонов.
90. Измерение разности масс  $K^0_1$  и  $K^0_2$ . Осцилляции  $K^0$  мезонов.
91. Особенности рождения каонов в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях. Подпороговое рождение каонов.
92. Взаимодействие  $\Lambda$  гиперонов с нуклонами и ядрами. Сечения взаимодействия. Методы исследования.
93. Кварковая модель адронов. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов. Цвет.
94.  $\nu N$  и  $e^+e^-$  сечения при высоких энергиях. Партоны.
95. Гиперядра. Энергия связи  $\Lambda$  гиперона в ядре. Двойные гиперядра.  $\Sigma$  гиперядра
96.  $C$ -частицы. частицы со скрытым очарованием.

97. Квантовая хромодинамика и кварк-кварковое взаимодействие. КХД потенциал на малых расстояниях. КХД потенциал на больших расстояниях: модель струн.
98. В-частицы. Частицы со скрытой прелестью.
99. Кварк-антикварковые комбинации: псевдоскалярные мезоны.
100. Наблюдение  $W$  и  $Z$  бозонов.
101. Пион-пионное взаимодействие Пионные резонансы. Векторные мезоны. Распады векторных мезонов.
102. Нейтральный пион. Методы определения его характеристик.
103. Фоторождение пионов на нуклонах. Модель векторной доминантности.
104. Дозвездный синтез ядер. Барионная асимметрия. Отсутствие антивещества во Вселенной.
105. Странные резонансы.
106. Особенности рождения частиц в ядро-ядерных столкновениях при высоких энергиях
107. Подавление, экранировка, эллиптические потоки, отношение средних множественностей.

#### **5. Рекомендуемая литература для подготовки ко вступительному испытанию**

1. Асланов Л.А., Треушников Е.Н. // Основы теории дифракции рентгеновских лучей // Изд. МГУ, 1985.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. // Физика твердого тела. Т. 1–2 // Мир, 1979.
3. Базаров И.П. // Термодинамика // М., 1976.
4. Балеску Р. // Равновесная и неравновесная статистическая механика. Т. 1–2 // Мир, 1978.
5. Басани Ф., Пастори-Парравичини Дж. // Электронные состояния и оптические переходы в твердых телах // Наука, 1982.
6. Блохинцев Д.И. // Основы квантовой механики // М., 1976.
7. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. // Введение в теорию квантованных полей // Наука, 1984.
8. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. // Квантовые поля // Наука, 1993.
9. Боков В.А. Физика магнетиков // Невский Диалект, 2002.
10. Васильев А.Н. // Функциональные методы в квантовой теории поля и статистике // Изд. ЛГУ, 1976.
11. Вейнберг С. // Квантовая теория поля. Т. 1–3 // Мир, 2001.
12. Волошин М.Б., Тер-Мартиросян К.А. // Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц // Энергоатомиздат, 1984.
13. Гольдштейн Г. Классическая механика // М., 1975.
14. Гуревич А.Г. // Физика твердого тела // Невский Диалект, 2004.
15. Гуревич И.И., Протасов В.П. // Нейтронная физика // Энергоатомиздат, 1997.
16. Джексон Д. // Классическая электродинамика // М., 1965.
17. Займан Дж. // Принципы теории твердого тела // Мир, 1974.
18. Индурайн Ф. // Квантовая хромодинамика // Мир, 1986.
19. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. // Квантовая теория поля. Т. 1–2 // Мир, 1984.

20. Каули Дж. // Физика дифракции // Мир, 1979.
21. Китайгородский А.И. // Рентгеноструктурный анализ // Г.Т.И., 1950.
22. Киттель Ч. // Введение в физику твердого тела (4-е издание) // Наука, 1978.
23. Киттель Ч. // Элементарная статистическая физика // Наука, 1960.
24. Коллинз Дж. // Перенормировка // Мир, 1983.
25. Коллинз П., Сквайрс Э. // Полюса Редже в физике частиц // Мир, 1971.
26. Крокстон К. // Физика жидкого состояния // Мир, 1978.
27. Кубо Р. // Статистическая механика // М., 1967.
28. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Квантовая механика / М., 2010.
29. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Механика // М., 2007.
30. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Статистическая физика Ч1. Т5 // М., 2010.
31. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Теория поля // М., 2012.
32. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Электродинамика сплошных сред // М., 2005.
33. Ландсберг Г.С. // Оптика // М., 1976.
34. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. // Статистическая физика. Ч.2. Т.9 // М., 2012.
35. Ляховский В.Д., Болохов А.А. // Группы симметрии и элементарные частицы Изд. ЛГУ, 1983.
36. Матвеев А.Н. // Механика и теория относительности // М., 1976.
37. Матвеев А.Н. // Электродинамика // М., 1979.
38. Мухин К.Н. // Экспериментальная ядерная физика (в 3 т.) // СПб, 2008.
39. Новожилов Ю.В. // Введение в теорию элементарных частиц // Наука, 1972.
40. Окунь Л.Б. // Лептоны и кварки // Наука, 1990.
41. Ольховский И.И. // Курс теоретической механики для физиков // М., 1974.
42. Пескин М., Шредер Д. // Введение в квантовую теорию поля // Изд. Удмуртского университета, 2001.
43. Рубаков В.А. // Классические калибровочные поля. Бозонные теории // УРСС,
44. Рубаков В.А. // Классические калибровочные поля. Теории с фермионами. Некоммутативные теории // УРСС, 2005.
45. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. // Термодинамика, статистическая физика и кинетика // Наука, 1977.
46. Сивухин Д.В. // Общий курс физики // Физматлит, 2002.
47. Славнов А.А., Фаддеев Л.Д. // Введение в квантовую теорию калибровочных полей // Наука, 1988.
48. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. // Квантовая механика // М., 1979.
49. Тамм Е.И. // Основы теории электричества // М., 1976.
50. Уайт Р. // Квантовая теория магнетизма // Мир, 1985.
51. Фриш С.Э., Тиморева А.В. // Общий курс физики // Физматлит, 1962.
52. Хуанг К. // Статистическая механика // М., 1966.
53. Хуанг К. // Кварки, лептоны и калибровочные поля // Мир, 1985.
54. Шаскольская М.П. Кристаллография // Высшая школа, 1984.
55. Широков Ю.М., Юдин Н.П. // Ядерная физика // М., 1972.
56. Шпольский Э.В. // Атомная физика. Т. 1–2 // М., 1974.