

**федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**



Ю.С. Клочков

ПРОГРАММА

**вступительного испытания
по специальной дисциплине**

**для поступающих на обучение по программам подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

научная специальность

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

Санкт-Петербург

2022

Руководитель ОП

к.т.н.

О.Б. Шагниева

Составители:

д.ф.-м., профессор

Я.А. Бердникова

Программа рассмотрена и рекомендована к изданию Научно-техническим советом
(протокол № 5 от «21» марта 2022 г.).

1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных требований по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

2. Структура вступительного экзамена

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

Программа содержит перечень тем (вопросов) по специальной дисциплине соответствующей научной специальности **1.3.15-Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий**.

Вступительное испытание по специальной дисциплине состоит из двух блоков:

- теоретический экзамен, проводимый очно в письменной и/или устной форме (максимальный балл – 100);
- портфолио (максимальный балл – 100).

Минимальное количество баллов для теоретического экзамена составляет 50 баллов. При получении по теоретическому экзамену результата ниже минимального балла, портфолио не рассматривается и не суммируется с результатом теоретического экзамена.

2.1. Оценка индивидуальных достижений. Структура портфолио

Максимальная возможная оценка за индивидуальные достижения (портфолио) составляет 100 баллов.

Для участия в конкурсе оценки индивидуальных достижений (портфолио) абитуриент может представить следующие документы, подтверждающие его достижения:

а. Доклады на международных и российских конференциях, научных семинарах, научных школах и т.д. по направлению будущего диссертационного исследования. Подтверждается представлением программы конференции, диплома (сертификата) участника.

б. Опубликованные или принятые к публикации научные работы (статьи, доклады в сборниках докладов). Подтверждается представлением электронных копий подлинников, ссылкой на открытые источники, справкой из редакции о принятии к публикации с обязательным указанием номера журнала и страниц. Публикации должны относиться к тому же направлению, что и тема будущего диссертационного исследования.

с. Свидетельства о государственной регистрации программ и баз данных, патенты на изобретения, патенты на полезные модели, и проч.

д. Участие в научно-исследовательских проектах, академических грантах. Подтверждается данными проекта (название, номер гранта, фонд), контактными данными руководителя проекта и краткой аннотацией (не более 200 слов), разъясняющей суть работы абитуриента.

Перечень достижений портфолио, учитываемых при приеме на обучение

№ п/п	Индивидуальное достижение	Подтверждающий документ	Количество баллов за каждое достижение
1.	Научные публикации (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе):	Копия статьи с выходными данными журнала, DOI, URL	
	в журналах перечня ВАК;		10
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q1 или Q2;		25
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q3 или Q4.		15
2.	Гранты, проекты по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тематика которых соответствует направлению подготовки в конкурсе, по которому участвует поступающий, и в которых он являлся:	Копия подписанного соглашения с грантодателем	
	руководителем		10
	исполнителем		5
3.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности:	Копия патента или свидетельства	
	– патент на изобретение;		10
	– патент на полезную модель;		7
	– свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ;		5
	– свидетельство о государственной регистрации базы данных;		5
	– свидетельство о государственной регистрации топологии интегральных микросхем.		5

№ п/п	Индивидуальное достижение	Подтверждающий документ	Количество баллов за каждое достижение
4.	Публикация в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, включая публикации в выпусках научных журналов, публикующих статьи по итогам конференций (изданиях типа Conference series и(или) Proceedings), проводимых не ранее чем за 2 года, предшествующих приему. Тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе:	Копии материалов конференций (тезисов докладов) с приложением титульных листов, DOI, URL (при наличии)	
	за конференцию, индексируемую в базе данных Web of Science и (или) Scopus (индексация сборника или журнала с публикацией подтверждается ссылкой или скриншотом из базы данных).		5
	за прочие конференции.		3
5.	Наличие дипломов победителей мероприятий международного и всероссийского значения, подтверждающие успехи в профессиональной подготовке кандидата для поступления в аспирантуру.	Копия диплома	3

Оценка индивидуальных достижений проводится на собеседовании.

2.2. Структура и процедура проведения экзамена

Максимальная возможная оценка за теоретический экзамен составляет 100 баллов. Собеседование состоит из двух частей.

1) Ответ на вопросы в соответствии с научной специальностью будущей научно-исследовательской работы (диссертации).

Абитуриент выбирает билет, содержащий два вопроса из представленных в программе собеседования тем.

Абитуриенту предоставляется 30 минут на подготовку. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы.

2) Беседа по планируемому направлению исследований. Абитуриенту необходимо раскрыть следующие вопросы: предполагаемая тема научно-исследовательской работы, формулировка проблемы, цели ее исследования, новизна. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы.

**2.3. Перечень тем для вступительного экзамена в аспирантуру по научной специальности 1.3.15
«Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий»**

I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

1. Элементы кинематики. Модели в механике. Системы отсчета, траектория, длина пути, вектор перемещения. Скорость, ускорение, угловая скорость, угловое ускорение.
2. Динамика материальной точки и поступательное движение твердого тела. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса.
3. Работа и энергия. Кинетическая и потенциальная энергии. Графическое представление энергии.
4. Механика твердого тела. Момент инерции. Кинетическая энергия вращения. Момент силы. Момент импульса. Деформации твердого тела.
5. Тяготение. Элементы теории поля. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести и вес. Поле тяготения, напряженность. Работа в поле тяготения, потенциал. Космические скорости. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.
6. Элементы механики жидкости. Давление в жидкости и газе. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли и следствия из него. Вязкость, методы ее определения. Движение тел в жидкостях и газах.
7. Элементы специальной теории относительности. Преобразования Галилея. Постулаты теории относительности. Преобразования Лоренца. следствия из них. Основной закон релятивистской динамики материальной точки. Закон взаимодействия массы и энергии.

II. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ.

1. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов. Опытные законы идеальных газов. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Основное уравнение идеальных газов. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Распределение Максвелла-Больцмана. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега. Опытное обоснование молекулярно-кинетической теории.
2. Основы термодинамики. Первое начало термодинамики. Работа газа при изменении его объема. Теплоемкость. Изопроцессы. адиабатический процесс. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия и ее свойства. Второе начало термодинамики. Цикл Карно. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его изотермы. Эффект Джоуля-Томсона.

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ.

1. Электростатика. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электростатическое поле. напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции электростатических полей. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Гаусса. Циркуляция вектора напряженности электростатического

поля. Потенциал электростатического поля. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Поляризованность. — Напряженность поля в диэлектриках. Теорема Гаусса — для электростатического поля в диэлектрике. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред. Проводники в электростатическом поле. Электрическая емкость уединенного проводника. Конденсаторы. Энергия системы зарядов. уединенного проводника, конденсатора. Энергия электростатического поля. Постоянный электрический ток. Электрический ток, сила, плотность тока. Сторонние силы. ЭДС и напряжение. Закон Ома. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Правила Кирхгофа для разветвленных цепей.

2. Магнитное поле и его характеристики. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Ампера. Магнитная постоянная. Единицы магнитной индукции и напряженности магнитного поля. Магнитное поле движущегося заряда. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Движение заряженных частиц в магнитное поле. Эффект Холла. Циркуляция магнитной индукции в вакууме. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для магнитной индукции. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.

3. Электромагнитная индукция. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея и его вывод из закона сохранения энергии. Вращение рамки с током в магнитном поле. Индуктивность контура. самоиндукция. Взаимная индукция. Энергия магнитного поля.

4. Магнитные свойства вещества. Магнитные моменты электронов и атомов. Намагниченность. Магнитное поле в веществе. Условия на границе раздела двух магнетиков.

5. Электромагнитная теория Максвелла. Ток смещения. Уравнения Максвелла. Волновые уравнения в диэлектрике. Вектор Умова-Пойтинга. Электромагнитные волны в металлах.

IV. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.

1. Механические и электромагнитные колебания. Гармонические колебания (механические, свободные. их сложение). Дифференциальное уравнение свободных. затухающих и вынужденных колебаний. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Резонанс. Переменный ток. Резонанс напряжений. Резонанс токов. Мощность, выделяемая в цепи переменного тока.

2. Упругие волны. Волновые процессы. Продольные и поперечные волны. Уравнение бегущей волны. Фазовая скорость. Волновое уравнение. Принцип суперпозиции. Групповая скорость. Интерференция волн. Стоячие волны. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Энергия электромагнитной волн. Импульс электромагнитного поля.

V. ОПТИКА.

1. Элементы геометрической и электронной оптики. Основные законы оптики. Полное отражение. Изображение предметов с помощью линз. Основные фотометрические величины и их единицы.
2. Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Интерференция. Интерференция света. Методы наблюдения интерференции света. Интерференция света в тонких пленках.
3. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля на круговом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера (на одной щели, на дифракционной решетке). Пространственная решетка. Рассеяние света. Дифракция на пространственной решетке. Формула Вульфа-Брэгга. Разрешающая способность.
4. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом. Дисперсия света. Электронная теория. Абсорбция света. Эффект Доплера.
5. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Угол Брюстера. Анализ поляризованного света. Эффект Керра. Эффект Фарадея (вращение плоскости поля поляризации).
6. Квантовая теория излучения. Тепловое излучение и его характеристики. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана, смещение Вина. Формулы Релэ-Джинса и Планка. Оптическая пирометрия. Вилы фотоэффекта. Три закона внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Масса и импульс фотона. давление света. Эффект Комптона.

VI. АТОМНАЯ ФИЗИКА.

1. Боровская теория атома. Закономерности в атомных спектрах. Модель атома Томсона. Опыты по рассеянию α - частиц. Ядерная модель атома. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Элементарная боровская теория водородного атома.
2. Квантово-механическая теория водородного атома. Гипотеза де-Бройля. Волновые свойства вещества. Уравнение Шредингера. Квантово-механическое описание движения микрочастиц. Свойства волновой функции. Квантование. Частица в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. Атомы водорода.
3. Многоэлектронные атомы. Спектры щелочных металлов. Нормальный эффект Зеемана. Мультиплетность спектров и спин электрона. Момент количества движения В квантовой механике. Результирующий момент многоэлектронного атома. Аномальный эффект Зеемана. Распределение электронов в атоме по энергетическим уровням. Периодическая система элементов Менделеева. Рентгеновские спектры. Ширина спектральных линий.
4. Молекулы и кристаллы. Энергия молекулы. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света. Теплоемкость кристаллов. Эффект Мёссбауэра. Лазеры.

VII. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА.

1. Введение. Исторический обзор развития физики атомного ядра. Роль ядерной физики в научно-техническом прогрессе.
2. Основные свойства атомных ядер. Состав, масса, энергия связи, формула Вейцеккера, энергия отделения, заряд, спин, магнитный момент. модель Шмидта. радиус и форма. квадрупольный электрический момент. четность, статистика, изотопический спин. Свойства ядерных сил.
3. Модели ядер. Классификация моделей. Гидродинамическая модель. введение в теорию деления. Модель Ферми-газа. Модель оболочек, схема построения модели ядерных оболочек, моменты и четности ядерных уровней, роль спин-орбитального взаимодействия. Обобщенная модель ядра, одночастичные состояния в несферической яме, вращательные состояния, колебательные состояния. Дипольные колебания, гигантский резонанс сечения фотоядерных реакций. Эффекты кластеризации в ядрах.
4. Радиоактивность ядер. Типы радиоактивного распада. Радиоактивные семейства, законы радиоактивного распада, вековое уравнение.
 α -распад. Законы сохранения при α -распад, элементарная теория α -распад.
 β -распад. Три вида β -распада. Гамильтониан β -взаимодействия. Введение в теорию β -распада. График Кюри.
Разрешенные и запрещенные β -переходы. Несохранение четности в слабых взаимодействиях. Двойной β -распад.
 γ -излучение ядер. Вероятность γ -переходов, мультипольность излучения, правила отбора. Каскадные γ -переходы. Внутренняя конверсия электронов. Ядерная изомерия. Эффект Мессбауэра.
5. Взаимодействие излучения с веществом. Общая характеристика взаимодействия заряженных частиц, нейтронов и γ -квантов с веществом. Ионизационное торможение заряженных частиц. Формула Бора для удельной ионизации. Учет релятивистских эффектов и эффекта плотности. Зависимость ионизационных потерь от среды. Связь пробега с энергией. Радиационное торможение электронов. Излучение Вавилова-Черенкова. Взаимодействие нейтронов с веществом.
Взаимодействие γ -излучения с веществом. Фотоэффект. Рассеяние γ -излучения. Образование электрон-позитронных пар. Диффузия и замедление нейтронов. Закон Фика. Диффузионное: уравнение. Длина диффузно. Альбеда. Уравнение возраста. Площадь миграции нейтронов. Термализация нейтронов.
6. Общие закономерности ядерных реакций. Классификация ядерных реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях: энергии, импульса, момента количества движения, четности, изоспина. Принцип детального равновесия.
7. Ядерные реакции с образованием составного ядра. Модель составного ядра. Ядерные реакции в области квазидискретного спектра энергий возбуждения, формулы Брейта-Вигнера. Ядерные реакции в области непрерывного спектра энергий возбуждения

составного ядра. Статистическая модель. Модель испарения. испарительный каскад, энергетические и угловые распределения вторичных частиц.

8. Оптическая модель ядерных реакций. Комплексный ядерный потенциал. Широкие структуры в сечениях и их интерпретация. Оптический потенциал и его зависимость от массового числа и энергии налетающих частиц. Схема расчета сечений в оптической модели. Понятие силовой функции.

Дифракционное приближение для анализа процессов рассеяния и поглощения. Схема расчета сечений, учет прозрачности ядер. Схема расчета для заряженных частиц. Сравнение результатов расчета с экспериментом.

9. Прямые ядерные реакции. Условия применимости модели прямого взаимодействия. Типы прямых взаимодействий: квазиупругое выбивание, срыв, подхват, реакции передачи. Прямые ядерные реакции под действием дейтронов: электрорасщепление дейтона в поле ядра. реакции срыва, теория Батлера.

Прямые ядерные реакции при высоких энергиях. Модель Сербера — Гольдбергера. Угловые распределения и угловые корреляции. энергетические спектры продуктов реакции, измерение энергии связи выбиваемых частиц. Импульсное приближение с плоскими и искаженными волнами.

Многочастичные ядерные реакции при высоких энергиях. Внутриядерный каскад, методы моделирования внутриядерного каскада на ЭВМ.

10. Предравновесные ядерные реакции. Модель релаксации Ферми-газа, кинетическое уравнение, сравнение экспериментальных данных с предсказаниями модели. Экситонная модель. мастер-уравнение модели, оценка членов этого уравнения, мгновенный, интегральный и полный. Энергетические спектры испускаемых частиц, сравнение с экспериментальными данными.

11. Фотоядерные реакции. Фотоядерные реакции в области гигантского дипольного резонанса. Основные экспериментальные данные о гигантском резонансе. Элементарная теория взаимодействия ядер с электромагнитным излучением, оценка зависимости от массового числа ядра мишени характеристик резонанса. Составное ядро и прямой фотоэффект. Описание гигантского дипольного резонанса в рамках одночастичной модели оболочек. Фоторасщепление ядер в области энергий выше гигантского резонанса. квазидейтонная модель. Кулоновское возбуждение ядер, механизм возбуждения.

12. Деление ядер. Энергия деления, механизм деления, элементарная теория деления. Свойства осколков деления, мгновенные и запаздывающие нейтроны, механизмы образования, число и энергетические спектры, мгновенные гамма-кванты деления. распределение энергии деления, спонтанное деление. Атомная энергетика.

VIII. ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.

1. Введение.

1.1. Основные этапы развития физики атомного ядра и частиц. Масштабы явлений микромира. Определение физики высоких энергий как науки об элементарных частицах и их взаимодействиях и превращениях при энергиях выше порогов образования пионов и проявления кварковой структуры материи. Познавательное значение физики элементарных: частиц и ее роль в выработке современного мировоззрения. Неисчерпаемость материи и основные этапы развития знания о её структуре.

Познаваемость и объективность законов природы и их диалектический характер. Краткий очерк развития науки об элементарных: частицах и техники эксперимента. 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.

1.2. Система единиц и системы отсчета, используемые в физике элементарных частиц. Элементы релятивистской кинематики. Общий случай преобразований Лоренца.

1.3. Фундаментальные взаимодействия (гравитационное, слабое, электромагнитное, (электрослабое), сильное) и первичная классификация частиц по их участию в различных взаимодействиях. Фундаментальные степени свободы: лептоны, кварки, калибровочные бозоны-носители взаимодействия.

1.4. Основные характеристики частиц, законы сохранения.

2. Физика пионов и нуклонов.

2.1. Изоспин. Изоспиновая инвариантность сильных взаимодействий. Закон сохранения изоспина. Опыты по подтверждению закона сохранения изоспина. Изоспин: системы частиц. Изоспиновая структура амплитуд рассеяния (NN , πN , $\pi\pi$, KN , ΛN , ΣN системы). Симметрия волновых функций и обобщенный принцип Паули. Возможные состояния системы двух нуклонов.

2.2. Формальная теория рассеяния. Релятивистская кинематика распада частиц, взаимодействий $2 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$, $2 \rightarrow n$ частиц. Рассеяние частиц с произвольным спином. Метод Блатта-Биленхарна и метод спиральностей. Фазовый анализ. Уравнение Липпмана-Швингера. Решение уравнения Липпмана-Швингера для сепарабельного потенциала и потенциала произвольного вида. Амплитуда рассеяния вне массовой поверхности. Сравнительный анализ немассового поведения амплитуд рассеяния нуклонов, пионов, К-мезонов на нуклонах.

2.3. Нуклон-нуклонное рассеяние. NN потенциал. Поляризация нуклонов при рассеянии.

2.4. Основные свойства пионов (масса, заряд, спин, изоспин, внутренняя четность, время жизни, моды распада). Образование пионов в нуклон-нуклонных соударениях. Пороговая энергия образования одиночных пионов. Изотопические соотношения между эффективными сечениями отдельных реакций однопионного рождения.

2.5. Рассеяние пионов на нуклонах. Энергетическая зависимость сечения упругого рассеяния пионов на нуклонах. Резонансные состояния в системе пион-нуклон. Определение их квантовых чисел. (3.3) резонанс.

2.6. Пион-пионное взаимодействие. Пионные резонансы. ρ , ω , η мезоны. Их характеристики и методы их определения. Диаграмма Далица для трехпионной системы.

- 2.7. Множественное рождение пионов. Модели, описывающие множественные процессы. Масштабная инвариантность.
- 2.8. Фоторождения пионов на нуклонах Множественное образование мезонов. Модель векторной доминантности.
- 2.9. Антинуклоны. Открытие антинуклонов и антиядер. Взаимодействие антинуклонов с нуклонами и ядрами. Аннигиляция антинуклонов.
3. Странные частицы.
- 3.1. Открытие странных частиц. Основные особенности процессов их образования и распада. Теоретические модели их распада и образования.
- 3.2. Классификация К-мезонов и гиперонов по изоспину. Правило $\Delta T=1/2$ для адронных распадов странных частиц. Квантовое число странность. Теория Гелл-Мана-Нишиджимы.
- 3.3. 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. Измерение разности масс K^0_1 и K^0_2 . Осцилляции K^0 мезонов.
- 3.4. Взаимодействия $K^\pm$ -мезонов с нуклонами и ядрами. Фазовый анализ $K^\pm N$ рассеяния. $K^\pm N$ резонансы. Особенности каон-ядерного взаимодействия.
- 3.5. Особенности рождения каонов в адрон-ядерных ядро-ядерных взаимодействиях. Подпороговое рождение каонов.
- 3.6. Взаимодействие Λ гиперонов с нуклонами и ядрами. Сечения взаимодействия. Методы исследования. Гиперядра. Энергия связи Λ гиперона в ядре. Двойные гиперядра. Σ гиперядра
- 3.7. С-частицы, частицы со скрытым очарованием. В-частицы. Частицы со скрытой прелесть.
4. Кварковая модель адронов. Взаимодействия кварков и квантовая хромодинамика.
- 4.1. Кварковая модель адронов. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов.
- 4.2. Цвет. Барионы и мезоны как наборы цветных кварков. Глюоны. Взаимодействия кварков и квантовая хромодинамика. Сравнение КЭД и КХД. Экранировка и антиэкранировка заряда. Асимптотическая свобода. Конфайнмент. Эксперименты, подтверждающие наличие кварков в адронах. Тяжелые кварки.
- 4.3. Барионный декуплет. Спин кварков и цвет. Барионный октет. Кварк-антикварковые комбинации: псевдоскалярные мезоны. Векторные мезоны. Распады векторных мезонов.
- 4.4. Спектроскопия тяжелых мезонов и модель кварков. Сравнение уровней кваркония и позитрония. Интерпретация правила Цвейга. t-кварк. Поиски свободных кварков.
- 4.5. νN и e^+e^- -сечения при высоких энергиях. Партоны.
- 4.6. Глубоко неупругое электрон-нуклонное рассеяние. Масштабная инвариантность. Рождение лептонных пар на адронных коллайдерах, процесс Дрелла-Яна.
- 4.7. Квантовая хромодинамика и кварк-кварковое взаимодействие. КХД потенциал на малых расстояниях. КХД потенциал на больших расстояниях: модель струн.
5. Слабое взаимодействие. Универсальное электрослабое взаимодействие и единые теории.
- 5.1. Классификация слабого взаимодействия. Теория Ферми. Взаимодействия свободных нейтрино. Обратный бета-распад. Нарушение четности в бета-распаде. Спиральность

нейтрино. V-A - взаимодействие. Нарушение четности в распаде Λ - гиперона. Распады пиона и мюона.

5.2. Слабый распад странных частиц, теория Кабиббо. Слабый нейтральный ток.

5.3. Наблюдение W и Z бозонов. Распад K^0 -мезонов. Семейства лептонов. масса нейтрино и нейтринные осцилляции.

5.4. Универсальное электрослабое взаимодействие и единые теории.

5.5. Перенормировка в квантовой электродинамике и связь со слабыми взаимодействиями. Введение нейтральных токов. Калибровочная инвариантность в квантовой электродинамике. Обобщенная калибровочная инвариантность. Модель Вайнберга-Салама. Экспериментальная проверка нейтральных токов в модели Вайнберга-

5.6. Салама. Сравнение наблюдаемых и предсказанных теорией масс W и Z бозонов. Бозоны Хиггса. Единые модели. Концептуальные проблемы теории поля: великое объединение, суперсимметрия, суперструны.

6. Вселенная. Большой Взрыв. Барионная асимметрия вселенной.

6.1. Вселенная. Свидетельства Большого взрыва. Первые мгновения Вселенной, Дозвездный синтез ядер. Барионная асимметрия. Отсутствие антивещества во Вселенной.

2.4. Перечень вопросов для вступительного экзамена в аспирантуру по научной специальности 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 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 электростат. поля в вакууме. Применение т.Гаусса. Циркуляция вектора напряженности электростат. поля. Потенциал электростат. поля.
9. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Поляризованность. Напряженность поля в диэлектриках. Теорема Гаусса в диэлектриках. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред.
10. Проводники в электростат. поле. Электр. емкость уединенного полупроводника. Конденсаторы. Энергия системы зарядов. уединенного проводника. конденсатора. Энергия электростат. 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 В. Циркуляция В 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-Брегга. 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 эл. 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. Кристаллическая решетка (индексы узлов, направления, плоскости). Моно- и поликристаллические твердые тела. Дефекты в кристаллах.
27. Упругая и пластическая деформации. Скольжение, механическое двойникование, сдвиг. Дислокации (линейные, винтовые). Преодоление препятствий дислокациями.
28. Теория свободных электронов. Два приближенных метода описания поведения в ТВ. теле (сильной связи, слабой связи).
29. Классическая теория теплоемкости тв. тела. Закон Дюлонга и Пти. Квантовая теория теплоемкости тв. тел по Эйнштейну. Теория Дебая.
30. Отличие квантовой статистики от классической. Электронный газ. Функция распределения Ферми-Дирака.
31. Распределение электронов по энергиям, по составляющим импульса, по импульсам. Вырожденный электронный газ. Теплоемкость электронного газа.
32. 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.
33. Электропроводность металлов (классическая, квантовая, сверхпроводимость)
34. Собственные и примесные полупроводники. Уровень Ферми в собственных и примесных полупроводниках. Концентрация носителей тока в полупроводниках.
35. Подвижность носителей. Собственная и примесная проводимость. Эффект Холла.
36. Массовое число A , электрический заряд Z , масса атомного ядра.
37. Деление ядер. Свойства осколков деления. Массовый состав осколков деления.
38. Энергия связи. Удельная энергия связи. β стабильные ядра.
39. Деление ядер. Свойства осколков деления. Радиоактивность осколков деления.
40. Радиус ядра. Упругое рассеяние электронов на ядрах.
41. Свойства продуктов деления. Радиоактивность продуктов деления.
42. Радиус ядра. Исследование рентгеновского излучения мюонных атомов.
43. Свойства продуктов деления. Запаздывающие нейтроны.
44. Капельная модель ядра. Формула Вейцекера и капельная модель ядра.
45. Спин и магнитный момент ядра. Магнитный момент нуклонов. Результаты измерений спинов и магнитных моментов. Однуклонная модель Шмидта.
46. Основы теории деления.
47. Четность. Закон сохранения четности.
48. Сечения фотоядерных реакций. Гигантский дипольный резонанс.
49. Форма ядер.

50. Формула Вейцекера и капельная модель ядра.
51. Изоспин. Изоспиновая инвариантность сильных взаимодействий.
52. Модели ядер. Модель оболочек без остаточных взаимодействий.
53. Спин и четность состояний ядер. Модель оболочек со спариванием.
54. Законы радиоактивного распада.
55. Модель Ферми-газа.
56. Альфа распад ядер. Законы сохранения в альфа-распаде.
57. Обобщенная модель ядра. Обобщенная модель со слабой связью.
58. Механизм альфа-распада.
59. Обобщенная модель ядра. Обобщенная модель с сильной связью.
60. β -распад. Энергетический спектр β -частиц.
61. Обобщенная модель ядра. Колебания поверхности ядра.
62. β -распад. Сравнительный период полураспада (t_{β}). Правила отбора в β -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. Изоспиновая инвариантность сильных взаимодействий. Закон сохранения изоспина. Опыты по подтверждению закона сохранения изоспина.
71. Изоспин системы частиц. Изоспиновая структура амплитуд рассеяния (NN , πN , $\pi\pi$, KN , ΛN , ΣN системы).
72. Формальная теория рассеяния.
73. Симметрия волновых функций и обобщенный принцип Паули. Возможные состояния системы двух нуклонов.
74. Релятивистская кинематика двух- и трех- частичных распадов частиц.
75. Рассеяние частиц с произвольным спином. Метод Блатта-Биденхарна
76. Диаграммы Аргана.
77. Фазовый анализ в теории рассеяния. Код SAID.
78. Рассеяние частиц с произвольным спином. Метод спиральности.
79. Уравнение Липпмана-Швингера
80. Теория многократного рассеяния. Упругое рассеяние на ядрах.
81. Оптический потенциал. Приближение когерентного рассеяния.
82. Сравнительный анализ немассового поведения амплитуд рассеяния нуклонов, пионов, К-мезонов на нуклонах.
83. Оптический потенциал. Приближение некоррелированных нуклонов.
84. Упругое рассеяние пионов и каонов на ядрах. Потенциал Кисслингера.

85. Основные свойства пионов (масса, заряд, спин, изоспин, внутренняя четность, время жизни, моды распада). Методы определения их характеристик
86. Особенности процессов образования и распада странных частиц.
87. Образование пионов в нуклон-нуклонных соударениях. Пороговая энергия образования одиночных пионов. Изотопические соотношения между эффективными сечениями отдельных реакций однопионного рождения.
88. Классификация странных частиц по изоспину. Теория Гелл-Мана- Нишиджимы.
89. Особенности рассеяния пионов на нуклонах. Пион-нуклонные резонансы.
90. Нейтральные K^0 мезоны. Зарядовое сопряжение. CP-преобразование. K^0_1 и K^0_2 . K^0_L и K^0_S состояния.
91. Измерение разности масс K^0_1 и K^0_2 . Осцилляции K^0 мезонов.
92. Особенности рождения каонов в адрон-ядерных ядро-ядерных взаимодействиях. Подпороговое рождение каонов.
93. Взаимодействие Λ гиперонов с нуклонами и ядрами. Сечения взаимодействия. Методы исследования.
94. Кварковая модель адронов. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов. Цвет.
95. νN и e^+e^- -сечения при высоких энергиях. Партоны.
96. Гиперядра. Энергия связи Λ гиперона в ядре. Двойные гиперядра. Σ гиперядра.
97. C-частицы, частицы со скрытым очарованием.
98. Квантовая хромодинамика и кварк-кварковое взаимодействие. КХД потенциал на малых расстояниях. КХД потенциал на больших расстояниях: модель струн.
99. B-частицы. Частицы со скрытой прелестью.
100. Кварк-антикварковые комбинации: псевдоскалярные мезоны.
101. Наблюдение W и Z бозонов.
102. Пион-пионное взаимодействие. Пионные резонансы. Векторные мезоны. Распады векторных мезонов.
103. Гиперядра.
104. Нейтральный пион. Методы определения его характеристик.
105. Фоторождение пионов на нуклонах. Модель векторной доминантности.
106. Дозвездный синтез ядер. Барионная асимметрия. Отсутствие антивещества во Вселенной.
107. Странные резонансы.
108. Особенности рождения частиц в ядро-ядерных столкновениях при высоких энергиях.
109. Подавление, экранировка, эллиптические потоки, отношение средних множественностей.

2.5. Критерии оценки теоретического экзамена

Оценка знаний поступающего в аспирантуру производится по сто бальной шкале.

100 баллов выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный и обоснованный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы экзаменационного билета правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике.

75 баллов выставляется поступающему в аспирантуру за правильные и достаточно полные ответы на вопросы экзаменационного билета, которые не содержат грубых ошибок и неточностей в трактовке основных понятий и категорий, но в процессе ответа возникли определенные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

50 баллов выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и обоснованном ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

0 баллов выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа на вопросы экзаменационного билета теоретических и практических знаний.

2.6.Список рекомендуемой литературы

1. Д.В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 1. Механика.- М.: ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0715-1; 2006 г.
2. Д.В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика.- М.: ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0601-5; 5-9221-0225-5; 2006 г.
3. Д.В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 3. Электричество.- М.: ФИЗМАТЛИТ; ISBN 978-5-9221-0673-3; 2009 г.
4. Д.В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 4. Оптика.- М.: ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0228-1, 5-9221-0763-1 5-9221-0229-X, 5-89155-087-3, 5-89155-077-6; 2006 г.
5. Д.В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 5. Атомная и ядерная физика.- М.: ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0645-7; 2006 г.
6. Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшиц. Механика. М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 978-5-9221-0819-5; 2007 г.
7. Л.Д.Ландау. Е.М.Лифшиц. Статистическая физика., М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0054-0, 2010 г.
8. Л.Д.Ландау. Е.М.Лифшиц. Теория поля. М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0056-4; 2006 г.
9. Л.Д.Ландау. Е. М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0123-4; 2003 г.
10. Л.Д.Ландау. Е.М.Лифшиц. Квантовая механика. М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 978-5-9221-0530-9; 2008 г.
11. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. . Квантовая электродинамика. М.: Физматлит. 2002. — Т. IV — 720 с. — ISBN 5-221-0058-0
12. К.Н.Мухин Экспериментальная ядерная физика, Издательство Лань. Учебник для ВУЗов. ISBN 978-5-8114-0738-5; 2008 г.
13. И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. М.: КомКнига, 2006., 328 с., ISBN 5-484-00309-1, 2006 г.
14. О.М. Бояркин. Введение в физику элементарных частиц. КомКнига. 2006., 264 с., ISBN 5-484-00375-X, 2006 г.
15. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. Частицы и атомные ядра. М.: ЛКИ, 2007, 584 с., ISBN 978-5-382-00060-2, 2007 г.

Приложение

Сведения об достижениях портфолио кандидата для поступления по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре СПбПУ

(Ф.И.О. кандидата для поступления в аспирантуру)			
(научная специальность)			
№ п.п.	Индивидуальное достижение	Количество баллов за каждое достижение	Рейтинговая оценка показателя, общий балл
1.	Научные публикации (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе): в журналах перечня ВАК;	10	
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q1 или Q2;	25	
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q3 или Q4.	15	
2.	Гранты, проекты по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тематика которых соответствует направлению подготовки в конкурсе, по которому участвует поступающий, и в которых он являлся:		
	руководителем,	10	
	исполнителем.	5	
3.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности:	10	
	– патент на изобретение;	7	
	– патент на полезную модель;	5	
	– свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ;	5	
	– свидетельство о государственной регистрации базы данных;	5	
4.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности:		
	– патент на изобретение;	7	
	– патент на полезную модель;	5	
5.	Наличие документов победителей мероприятий международного и всероссийского значения, подтверждающие успехи в профессиональной подготовке кандидата для поступления в аспирантуру	3	
	для поступления в аспирантуру		
Суммарный рейтинговый балл			

Кандидат в аспирантуру

(подпись)

(Ф.И.О).

Предполагаемый научный руководитель

(подпись)

(Ф.И.О).

Руководитель образовательных программ
по аспирантуре института

(подпись)

(Ф.И.О).