



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ
И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ**

ПРОГРАММА

ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО ГРУППЕ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

1.3 ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научные специальности:

- 1.3.1 Физика космоса, астрономия
- 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики
- 1.3.3 Теоретическая физика
- 1.3.5 Физическая электроника
- 1.3.8 Физика конденсированного состояния
- 1.3.9 Физика плазмы
- 1.3.11 Физика полупроводников
- 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки
- 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника
- 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий
- 1.3.17 Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества
- 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника
- 1.5.2 Биофизика
- 1.5.3 Молекулярная биология

Форма обучения: очная

Москва 2022

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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).

Вступительное испытание (экзамен) по группам специальностей 1.3 Физические науки осуществляется в письменной форме в виде вопросов по темам дисциплин. 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.

Билет включает в себя два вопроса по общефизическим и математическим дисциплинам, один вопрос по дисциплине специализации и собеседование по вступительному реферату. 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. Цель подготовки вступительного реферата – показать, что поступающий в аспирантуру обладает необходимыми теоретическими и практическими знаниями по выбранной научной специальности.

В реферате необходимо провести предварительный анализ научной проблемы и обосновать выбор темы диссертации (актуальность проблемы, цель и основные задачи планируемого исследования).

Изложенный в реферате материал должен отражать авторскую аналитическую оценку состояния исследуемой проблемы и собственную точку зрения на возможные варианты ее решения.

Оформление реферата должно соответствовать требованиям (см. Приложение №1).

Дисциплины специализации включают в себя вопросы согласно следующим научным специальностям:

- 1.3.1 Физика космоса, астрономия
- 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики
- 1.3.3 Теоретическая физика
- 1.3.5 Физическая электроника
- 1.3.8 Физика конденсированного состояния
- 1.3.9 Физика плазмы
- 1.3.11 Физика полупроводников
- 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки
- 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника

- 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий
- 1.3.17 Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества
- 1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника
- 1.5.2 Биофизика
- 1.5.3 Молекулярная биология.

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 условии соблюдения 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 соблюдается недостаточно.

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

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 4 балла.

Решения экзаменационной комиссии принимаются большинством голосов членов экзаменационной комиссии.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

1. Вопросы по общефизическим и математическим дисциплинам 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 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. 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. Электроемкость. 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, строения вещества, атомной и ядерной физики

1. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина).

2. Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка.

3. Фотоэффект. Уравнение А.Эйнштейна для фотоэффекта.

4. Опыт Боте. Фотоны.

5. Эффект Комптона.

6. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.

7. Элементарная боровская теория водородоподобного атома.

8. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.

9. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка размеров и минимальной энергии водородоподобного атома.

10. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка минимальной энергии одномерного гармонического осциллятора.

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

12. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Результаты квантовой механики для одномерного гармонического осциллятора.

13. Результаты квантовой механики для водородоподобного атома.

14. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.
15. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома. Электронные конфигурации.
16. Характеристические рентгеновские спектры. Закон Мозли.
17. Комбинационное рассеяние света. Эффект Рамана.
18. Энергетические зоны в твердых телах. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость.

Литература

1. Базаров И. П. Б 17. Термодинамика: Учебник. 5 е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 384 с.
2. Молекулярная физика. Матвеев А.Н. М.: Высшая школа, 1981. – 400 с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики, в 3-х томах. М.: Наука, 1982.
4. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высшая школа, 1991.
5. Иродов И.Е. Волновые процессы. М., СПб: Физматлит, 2002.

Высшая математика

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.

Литература

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике: Для инженеров и учащихся втузов./И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев, 13-е изд., испр. -М.: Наука, 1986.-544 с.

2. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике (12-е изд.). М.: Наука, 1977.

3. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: Учеб. для спец. вузов/Беклемишев Д.В.-6-е изд., стереотип. -М.:Наука,1987. 319с.

4. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики: Учеб. пособие для вузов /Тихонов А.Н., Самарский А.А. 5-е изд., стереотип. - М.: Наука, 1977. - 735 с.

2. Вопросы по дисциплинам специализации

Научная специальность

1.3.1 Физика космоса, астрономия

1. Основы астрометрии и космографии. Релятивистские звезды, реликтовое излучение. Установление астрономических и физических единиц. Система отчета и система координат. Гравитационное красное смещение. «Вечный двигатель» Я.Б. Зельдовича. Замедление времени.

2. Открытие «Расширения» Вселенной. Открытия Слайфера, Вирца, Леметра, Хаббла и других астрономов в начале 200ого века. Разбегание галактик. Красное смещение в космологии, связь с масштабным фактором, трудности сведения его к доплер-эффекту.

3. Основы релятивистской гравитации. Предел Чандрасекара и масса Планка в равновесии звезд. Проверки Ньютоновской гравитации в лаборатории, в солнечной системе, в двойных пульсарах и на масштабах галактик. Мотивация к релятивистской гравитации – парадокс Лапласа. Принцип эквивалентности (сильный и слабый). Общая Теория Относительности. Вскользь о модифицированной гравитации. Мир как пространство-время. Искривленный мир. Метрика, метрический тензор. Геодезический лагранжиан. Аффинный параметр.

4. Метрика Шварцшильда. Запись в шварцшильдовских, в изотропных в гармонических координатах. Орбиты в метрике Шварцшильда. Искривление лучей света. Горизонт событий. Внешнее проявление черных дыр. Описание метрики внутри горизонта.

5. Уравнения для гравитационного поля. Контравариантные, ковариантные, смешанные тензоры. Символы Кристоффеля из геодезического лагранжиана. Параллельный перенос и ковариантные производные. Избыток суммы углов треугольника и тензор кривизны. Вариационный принцип Гильберта на конкретных примерах. Вычисление компонент тензора Риччи для сферически-симметричной метрики. Вывод метрики Шварцшильда из действия Гильберта. Граничные члены. Действие Йорка-Гиббонса-Хокинга (York-

Gibbons-Hawking action). Уравнения Эйнштейна: набросок вывода.

6. Уравнения движения как следствие уравнений ОТО. Доказательство движения материальной точки по геодезической из условия зануления ковариантной дивергенции тензора энергии-импульса. Обнуление ковариантной дивергенции тензора Эйнштейна из вариационного принципа. Вывод попутно с введением векторов Киллинга.

7. Основы космологии. Однородные и изотопные модели. Вселенная Фридмана. Форма метрики в записи Фридмана и в записи Робертсона-Уокера. Кристоффели для метрики FRW (вычисление вручную из геодезического лагранжиана). Тензор Риччи в этой же метрике. Полное действие Гильберта (кривизна плюс вещество). Уравнение Фридмана из вариационного принципа. Граничные члены. Давление как источник гравитации. Связь уравнений Фридмана с термодинамикой. Ньютонов предел.

8. Практическая космология. Параметр Хаббла. Параметр или постоянная Хаббла, параметр плотности. Поведение решений в моделях Фридмана. Горизонт в современной вселенной. Рекомбинация в горячей вселенной, понятие о поверхности последнего рассеяния. Информация, содержащаяся в спектре реликтового излучения.

9. Космография: расстояния во Вселенной. Фотометрическое расстояние, вывод формулы его связи с космологическим красным смещением источника. Явные формулы для частных случаев космологических моделей. Тёмная Материя и Тёмная Энергия.

10. Равновесие сверхплотных звезд, энергетика аккреции. Релятивистские звезды. Метрика внутри сферически-симметричной звезды. Релятивистская энергия связи. Уравнения механического равновесия звезды. Вывод уравнения Оппенгеймера-Волкова для равновесия статистической релятивистской звезды из вариационного принципа. Условие нейтральной конвективной устойчивости изэнтропных релятивистских звезд.

11. Коллапс, сверхмассивные черные дыры и квазары. Потеря устойчивости, коллапс. Статистический критерий механической устойчивости. Энергия частицы в поле звезды в ОТО. Вращающиеся черные дыры, метрика Керра. Орбиты частиц и энерговыделение при аккреции в метрике Керра. Эргосфера. Физика сверхновых и гамма-всплесков. Активные ядра галактик, сверхмассивные черные дыры и квазары.

Основная литература:

1. Г.С. Бисноватый-Коган «Релятивистская астрофизика и физическая космология», КРАСАНД, 2010
2. Лукаш В.Н., Михеева Е.В. «Физическая космология», ФИЗМАТЛИТ, 2010.

Дополнительная литература:

3. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц «ТЕОРИЯ ПОЛЯ» (любое издание)
4. Зельманов А.Л., Агаков В.Г. «Элементы общей теории относительности», М., Наука, 1989.
5. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков «Введение в теорию ранней Вселенной. Т.1. Теория горячего Большого взрыва» 552 с., 2008 г.
6. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков, Т.2. «Введение в теорию ранней

Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория» ,568 с.,2010 г.

7. Я.Б. Зельдович, С.И. Блинников, Н.И. Шакуров «Физические основы строения и эволюции звезд», МГУ, 1981.

8. Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков, «Релятивистская астрофизика», М.: Наука, 1967, «Теория тяготения и эволюции звезд», М.: Наука, 1971, «Строение и эволюция Вселенной», М.: Наука, 1975.

9. А.Д. Долгов, Я.Б. Зельдович, М.В. Сажин «Космология ранней Вселенной», Издательство МГУ, 1988.

10. С. Вейнберг «Гравитация и космология» - М., Мир, 1975.

11. Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер «Гравитация», в 3-х томах. Издательство: Мир, 1977.

12. S.M. Carroll «Lecture Notes on General Relativity» gr-qc/9712019 (1997).

Научная специальность

1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики

1. Модели ядра, энергия связи.
2. Виды радиоактивности. Законы радиоактивного распада.
3. Гамма-излучение возбужденных ядер. Эффект Мёссбауэра.
4. Ионизационные потери энергии заряженных частиц. Образование δ -электронов. Формула Бете-Блоха.
5. Черенковское излучение. Переходное излучение.
6. Взаимодействие фотонов с веществом. Фотоэффект. Эффект Ожэ. Комптон-эффект. Образование электрон-позитронных пар.
7. Принципы работы газовых ионизационных детекторов. Ионизационная камера, пропорциональная камера, счетчик Гейгера-Мюллера.
8. Многопроволочная пропорциональная камера. Дрейфовая камера.
9. Принципы работы полупроводниковых детекторов.
10. Сцинтилляционные детекторы. Черенковские детекторы.
11. ФЭУ. Кремниевые фотоумножители.
12. Методы амплитудного анализа. Дискриминаторы, амплитудно-цифровые преобразователи.
13. Методы совпадений и антисовпадений.
14. Временной анализ: формирователи временной отметки, время-амплитудные и время-цифровые преобразователи.
15. Основные принципы ускорения заряженных частиц. Движение заряженных частиц в электромагнитных полях.
16. Классификация частиц и взаимодействий, основные свойства. Лептоны и кварки. Классификация адронов.
17. Крупнейшие экспериментальные комплексы на ЛНС.
18. Дискретные распределения. Непрерывные распределения. Функция плотности вероятности.
19. Биномиальное распределение. Распределение Пуассона. Свойства пуассоновского потока случайных событий.
20. Распределение Гаусса. Распределение χ^2 .
21. Формулировка гипотез. Выбор критерия согласия. Критерии для

проверки простых гипотез. Критерий Пирсона.

22. Оценка параметров фиксированным значением. Метод моментов. Метод максимального правдоподобия. Метод наименьших квадратов.

23. Оценка параметров интервалом значений. Данные, распределенные по нормальному закону. Общий одномерный случай.

24. Понятие автоматизации физических измерений.

25. Средства автоматизации физических измерений.

Литература

1. Акимов, Ю.К. Фотонные методы регистрации излучений - 2-е изд., испр. и доп. - Дубна: ОИЯИ, 2014.

2. Болоздыня А.И., Ободовский И. М. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения. - Долгопрудный: ИНТЕЛЛЕКТ, 2012.

3. Григорьев, В.А. Газоразрядные детекторы элементарных частиц: учебное пособие для вузов - Москва: НИЯУ МИФИ, 2012.

4. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. М., Атомиздат, 2009.

5. Введение в физику тяжелых ионов: учебное пособие для вузов/ред.: Ю. Ц. Оганесян. - Москва: МИФИ, 2008.

6. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. Энергоатомиздат, 2007.

7. Емельянов В.М., С. Л. Тимошенко. Введение в релятивистскую ядерную физику: Учеб. пособие для вузов - М.: МИФИ, 2003.

8. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц 2002.

9. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW (30 лекций): учебное пособие для вузов / П. А. Бутырин [и др.]. - 2-е изд. - Москва: ДМК Пресс, 2011.

Научная специальность

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 (примеры расчета энергии основного состояния He или H_2^+). 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. Рассеяние 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. Магнитогидродинамическое течение вязкой жидкости между двумя параллельными плоскостями.
33. Альфвеновские и магнитозвуковые волны.
34. Звуковые волны в идеальной жидкости. Поглощение звука в неидеальной жидкости.
35. Термодинамические соотношения для диэлектриков в электрическом поле. Силы, действующие на (жидкий либо аморфный) диэлектрик.
36. Отражение и преломление электромагнитной волны на плоской границе двух диэлектрических сред.
37. Плоская электромагнитная волна в анизотропной диэлектрической среде.
38. Излучение Вавилова-Черенкова.
39. Кинетические коэффициенты (теплопроводность, вязкость, электропроводность) слабонеоднородного газа.
40. Бесстолкновительная плазма: самосогласованное поле, диэлектрическая проницаемость, продольные и ионно-звуковые волны, затухание Ландау.

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. - Теоретическая физика. Т. 1. Механика. - М.: Наука. - 1988.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.2. Теория поля. М.: Наука. 1972 (другие издания - 1989, 2001).
3. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М.: Мир, 1987.
4. Вайнберг С. Гравитация и космология. М., Мир, 1972.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.: Наука. 1972 (другие издания - 1989, 2001).
6. Давыдов А.С. Квантовая механика. М.: Наука, 1963 (другое издание – 1973).
7. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т.2. М.: Физматгиз, 1962 (другое издание – 1971).
8. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики, М.: Наука, 1976.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч. 1. – М.: Наука. Физматлит, 1995.
10. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т. 1. - М.: Физматгиз, 1962.
11. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. - М.: Наука, 1977.
12. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика. В 10 т., М.: Наука. Т.4. Квантовая электродинамика. 1968, 1980, 1989, 2001.
13. Л.Д.Ландау, Лифшиц Е.М. Гидродинамика, М. Наука, 1986.
14. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: ГИФМЛ, 1982.

Научная специальность

1.3.5 Физическая электроника

Вакуумная электроника

1. Вакуум и его свойства. Методы получения и измерения вакуума. Электронная эмиссия: термоэлектронная, фотоэлектронная, вторичная электронная, ионно-электронная, эмиссия горячих электронов, экзоэлектронная, автоэлектронная, взрывная. Виды источников свободных электронов.

2. Движение заряженных частиц: в однородном электрическом поле, в однородном магнитном поле, в скрещенных электрических и магнитных полях.

3. Управление электронно-ионными потоками: электростатическая отклоняющая система, основы электронной оптики, магнитные отклоняющие системы.

4. Приборы и устройства вакуумной электроники: электронные лампы (диод, триод, тетрод, пентод), приборы СВЧ диапазона (клистрон, ЛБВ, ЛОВ, магнетрон), электронно-лучевые приборы (ЭЛТ, ЭОП, приемные и передающие ЭЛП), фотоэлектронные приборы (фотоэлементы, ФЭУ).

Плазменная и твердотельная электроника

1. Электрический разряд в газах, виды разрядов. Плазма: физические процессы в плазме, излучение плазмы, диагностика плазмы. Приборы и устройства плазменной электроники, игнитрон, ртутные вентили, приборы отображения информации. Электронно-ионные источники и их применение в технике и технологиях.

2. Зонная теория твердого тела. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Параметры полупроводниковых материалов. Явления на поверхности полупроводников.

3. Емкость запирающего слоя Шоттки. Влияние сил изображения и электрического поля на вольтамперные характеристики (ВАХ) диода с барьером Шоттки (эффект Шоттки на границе металл-вакуум и в запирающем слое). ВАХ диода с барьером Шоттки при наличии туннелирования через область пространственного заряда (ОПЗ). Особенности ВАХ реальных диодов с барьером Шоттки. ВАХ омического контакта. Эквивалентная схема диода с барьером Шоттки. ВАХ омического контакта. Эквивалентная схема диода с барьером Шоттки.

Электронно-дырочные и гетеропереходы

1. Образование $p-n$ перехода, контактная разность потенциалов. Распределение потенциала в ступенчатом и плавном $p-n$ переходе, ширина и емкость ОПЗ. Диодная теория выпрямления полупроводникового диода с полуограниченной базой.

2. Влияние сопротивления базы диода и уровня инжекции носителей заряда в базу на вид ВАХ. ВАХ диода при высоком уровне инжекции носителей заряда в дрейфовом приближении. Влияние рекомбинации и генерации носителей в ОПЗ $p-n$ перехода на вид его ВАХ.

3. Частотные свойства диода с длинной базой при малом уровне инжекции носителей заряда в базу диода (частотные зависимости активной проводимости и диффузионной емкости). Эквивалентная схема диода.

4. Тепловой пробой, вид ВАХ и температурная зависимость напряжения пробоя. Лавинный пробой, критерий развития лавинного пробоя, обратная ветвь ВАХ. Зависимость напряжения пробоя от концентрации примеси в базе и от температуры. Туннельный пробой, обратная ветвь ВАХ, зависимость напряжения пробоя от концентрации примесей в n – и p – областях и от температуры.

5. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Распределение потенциала в резком p - n гетеропереходе, ширина ОПЗ. Емкость гетеропереходов (резкий анизотипный и изотипный гетеропереходы без учета и с учетом граничных состояний). ВАХ гетеропереходов (анизотипные гетеропереходы: инжекционный, рекомбинационный и туннельно-рекомбинационный токи). Идеальный изотипный переход с большой плотностью граничных состояний.

Функциональные возможности полупроводниковых диодов

1. Принцип действия и основные параметры выпрямительных диодов, стабилитронов, импульсных диодов, детекторов СВЧ диапазона, параметрических диодов. Фотодиоды: расчет фототока, квантовая эффективность и быстродействие, шумовые свойства, мощность, эквивалентная шуму, различные типы фотодиодов.

2. Фотоэлементы: ВАХ и КПД идеального и реального фотоэлементов, различные типы фотоэлементов. Излучающие диоды: интенсивность и спектр рекомбинационного излучения, квантовая эффективность и КПД, материалы для изготовления излучающих диодов. Инжекционные лазеры: принцип действия, условие преобладания стимулированного излучения фотонов над поглощением, материалы и конструкция. Оптопары: основные характеристики, области применения. Современные тенденции в развитии и использовании оптоэлектронных приборов и устройств. Оптические системы связи.

3. Туннельный диод: общее описание ВАХ, расчет туннельного тока, частотные свойства, критическая и резонансная частота. Лавинно-пролетный диод: механизм усиления переменного сигнала, расчет импедансных характеристик в приближении малого сигнала, мощность и коэффициент полезного действия. Диод Ганна: междолинные переходы электронов, дипольные домены и возможные режимы работы, режим с обогащенным слоем, мощность и КПД.

Биполярные транзисторы

1. Принцип действия транзистора в качестве усилителя. Коэффициент передачи тока на низкой частоте в схеме с общей базой (выражения для постоянных токов, коэффициент передачи). Влияние рекомбинационной составляющей тока на величину коэффициента передачи. Статические характеристики и коэффициент передачи тока в различных схемах включения (с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором). Выражения для переменных токов в транзисторе, эквивалентная схема. Частотная зависимость коэффициента передачи в схемах с общей базой и общим эмиттером, предельная частота и частота отсечки.

2. Транзистор в качестве линейного четырехполюсника. y –, z – и h – параметры. Максимальная частота усиления по мощности. Различные типы

сверхбыстродействующих биполярных транзисторов. Основные области применения, СБИСы.

3. Устройство и энергетические диаграммы идеальных МДП-структур. Распределение концентрации носителей заряда в приповерхностной области полупроводника, напряженность электрического поля и плотность объемного заряда в ОПЗ. Дифференциальная емкость ОПЗ и ее зависимость от напряжения на полевом электроде. Зависимость поверхностного потенциала от напряжения на полевом электроде для реальных МДП-структур. заряд и дифференциальная емкость поверхностных состояний.

4. Вольт-фарадные характеристики реальных МДП структур. Определение основных параметров МДП-структур на основе анализа высокочастотных вольт-фарадных характеристик. Поверхностные фотоэлектродвижущие силы. Приборы с зарядовой связью, устройство и принцип действия, хранение и перенос заряда, частотные свойства.

Полевые и другие транзисторы и диоды

1. Принцип действия и статические характеристики полевого транзистора с $p-n$ переходом в качестве затвора. Расчет выходных статических характеристик полевого транзистора с $p-n$ переходом. Принцип действия и статические характеристики полевого транзистора с изолированным затвором.

2. Расчет выходных статических характеристик МОП-транзистора, эквивалентная схема и частотные свойства. Энергонезависимые элементы памяти на основе МОП- и МНОП-транзисторов. преимущества и недостатки полевых транзисторов. Различные типы сверхбыстродействующих полевых транзисторов. Основные области применения. СБИСы.

3. Инжекционные и лавинные S – диоды, принцип действия и возможные области применения. Тиристоры: статическая ВАХ с ОДС, ВАХ динистора, находящегося во включенном состоянии, влияние тока через управляющий электрод на прямую ветвь статической ВАХ, области применения. Фототиристоры.

4. Токи, ограниченные пространственным зарядом, в идеальном диэлектрике, в диэлектриках с мелкими и глубокими моноэнергетическими ловушками. ТОПЗ в диэлектриках с квазинепрерывно распределенными по энергии ловушками. Токи при двойной инжекции в диэлектрик и полупроводник, двойная инжекция с захватом, отрицательное дифференциальное сопротивление S – типа. Возможные пути использования инжекционных токов.

5. Диэлектрическая изоляция элементов интегральных схем, основные требования к диэлектрическим слоям в МДП-структурах. Пороговые переключатели на основе халькогенидных и оксидных материалов. Элементы памяти на основе формованных структур металл-диэлектрик-металл.

6. Полярные диэлектрики и их применение: электреты, пироэлектрики, сегнетоэлектрики, нелинейные диэлектрики. Пьезоэлектрики и их применение в электронике: Основные уравнения пьезоэффекта и электрострикции, пьезоэлектрические материалы различного назначения, пьезопреобразователи энергии и электрических сигналов. Электроуправляемый пьезоэффект и микропозиционеры.

7. Диэлектрические оптические среды и устройства: классификация диэлектрических оптических сред, классификация нелинейных оптических эффектов, электрооптические эффекты и материалы, объёмные электрооптические устройства, пространственно распределённые и интегральные электрооптические устройства, акустооптические эффекты и материалы, объёмные и интегральные акустооптические устройства, диэлектрические среды для генерации когерентного излучения, твёрдые диэлектрические среды для преобразования частоты когерентного излучения. Фоточувствительные МДП-приборы для преобразования изображений.

Микроэлектроника

1. Понятия, определения, цели и задачи. Элементарная база микроэлектроники: пассивные и активные элементы. Виды интегральных схем.

2. Классификация интегральных схем по различным признакам. Цифровые и аналоговые интегральные схемы. Логические элементы интегральных схем как основы цифровой электроники. Операционный усилитель как основной элемент аналоговой схемотехники. Триггеры. Интегральные схемы на полевых и биполярных транзисторах.

3. Интегральные схемы СВЧ диапазона на основе арсенида галлия. Представление о нанoeлектронике.

4. Акустоэлектроника, диэлектрическая электроника, ПЗС-приборы, магнитоэлектроника, оптоэлектроника, биоэлектроника.

Литература

1. Электроника: Учебное пособие для вузов/А.А. Щука; ред.: А.С. Сигов. - СПб: БХВ-Петербург, 2006. - 800 с.

2. Твердотельная электроника: Учебное пособие для вузов/В.А. Гуртов. – 2-е изд., доп. - М: Техносфера, 2005. - 408 с.

3. Процессы микро- и нанотехнологии: Учебное пособие для вузов/Т.И. Данилина и др.; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2005. - 316 с.

4. Полупроводниковые приборы: Учебное пособие/В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. – 8-е изд., испр. - СПб: Лань, 2006. - 480 с.

5. Вакуумная электроника. Физико-технические основы: Учебное пособие для вузов / А.Д. Сушков. - СПб: Лань, 2004. - 464 с.

6. Основы нанoeлектроники: Учебное пособие для вузов/В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. - М: Физматкнига, 2006; М: Университетская книга, 2006. - 496 с.

7. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов/И.Б. Степаненко – 2-е изд., перераб. и доп. - М: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. - 488 с.

8. Нанoeлектроника: Учебное пособие / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственная корпорация «Российская корпорация нанотехнологий», Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2010. - 88 с.

9. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов / В.Г.

Научная специальность

1.3.8 Физика конденсированного состояния

I. Структурные единицы вещества

1. Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества.

Роль ядер, электронных оболочек, сил взаимодействия структурных единиц в формировании свойств конденсированных сред.

2. Статистика структурных единиц, распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна, принцип Паули.

3. Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Атом водорода.

II. Орбитали

1. Геометрия волновых функций s , p , d , состояний. Атомные орбитали.

2. Схема энергетических уровней в атоме, заполнение их электронами. 1-ое и 2-ое правила Хунда.

3. Гибридные орбитали. Условия гибридизации. Построение гибридных орбиталей. Основные типы гибридных орбиталей, σ , π связи.

10. Многоцентровые и двухцентровые гибридные орбитали.

III. Симметрия и структура кристаллов

1. Периодические атомные ряды. Трансляции и кристаллические решетки. Базис и кристаллические структуры. Свойства симметрии кристаллических решеток. Решетки Браве. Элементарная ячейка. Двумерные и трехмерные кристаллические решетки Браве.

2. Ячейка Вигнера – Зейтца. Обратная решетка. Простейшие структуры металлов, полупроводников и диэлектриков.

3. Теория и методы структурного анализа. Индексы Миллера. Условие дифракции Лауэ. Формула Брэгга-Вульфа.

IV. Типы связей в кристаллах

Силы ван дер Ваальса. Молекулярные кристаллы. Энергия связи. Ионное взаимодействие. Константа Маделунга.

2. Ковалентные кристаллы. Металлическая связь.

3. Водородная связь в кристаллах и жидкостях.

V. Фононы

1. Характер колебаний атомов в решетке. Нулевые колебания. Фононы.

2. Колебания одномерной цепочки. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов при учете взаимодействия атома с двумя ближайшими соседями. Колебания одномерной цепочки из атомов 2-х сортов. Оптические фононы.

3. Групповая и фазовая скорости фононов.

4. Статистика фононов. Вероятность возбуждения фонона, среднее число фононов, средняя энергия возбуждения.

5. Спектральная плотность фононов в трехмерном, двумерном и

одномерном случаях. Температура Дебая.

6. Модели Дебая и Эйнштейна. Теплоемкость решетки в модели Дебая в трехмерном, двумерном и одномерном случаях.

VI. Электроны

1. Невзаимодействующие электроны в потенциальном ящике. Энергия и импульс Ферми. Модель ферми-жидкости.

2. Электрон в поле периодического потенциала кристаллической решетки. Эффективный потенциал. Волновая функция электрона.

3. Одноэлектронное приближение, адиабатическое приближение. Теорема Блоха. Квазиимпульс электрона.

4. Закон дисперсии электрона в решетке. Энергетические зоны.

5. Зоны Бриллюэна. Заполнение зон электронами. Поверхности Ферми. Классификация поверхностей Ферми.

6. Эффективная масса электронов. Различные способы введения понятия эффективной массы электронов в твердом теле.

7. Феноменологическое описание электропроводности. Модель Друде. Электропроводность в модели фермиевских электронов. Формула Лифшица.

8. Плотность электронных состояний в трехмерном, двумерном и одномерном случае.

9. Электронная теплоемкость.

10. Теплопроводность твердого тела и ее зависимость от температуры

VII. Электроны в магнитном поле

1. Квантование энергетического спектра свободных электронов в магнитном поле. Уровни Ландау. Проводник в магнитном поле.

2. Распределение квантованных магнитным полем электронов в пространстве импульсов.

3. Спектральная плотность квантованных магнитным полем электронов.

4. Эффект Шубникова- де Гааза. Условия наблюдения. Связь частоты с энергией Ферми и сечением поверхности Ферми.

VIII. Магнитные свойства конденсированных сред

1. Парамагнетизм немагнитных веществ. Закон Кюри.

2. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм.

3. Обменное взаимодействие. Магнитный фазовый переход. Спонтанная намагниченность.

IX. Сверхпроводимость

1. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейсснера. Глубина проникновения магнитного поля. Длина когерентности. Квантование магнитного потока.

2. Сверхпроводник в магнитном поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Критические магнитные поля.

X. Квантовые жидкости

1. Жидкий гелий. Фононы и Ротоны в жидком гелии. Закон дисперсии элементарных возбуждений в жидком гелии.

2. Сверхтекучесть. Критерий сверхтекучести Ландау.

Основная литература

1. Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М. Физматлит, 2016.
2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М. Физматлит: 2006

Дополнительная литература

1. В.В. Шмидт, Введение в физику сверхпроводников, М.: Наука, 2000.
2. А.А. Абрикосов Основы теории металлов. М.: Физматлит, 2005.
3. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
4. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.

Научная специальность

1.3.9 Физика плазмы

1. Движение заряженных частиц в электрическом поле. Основные уравнения электронной оптики. Электронные линзы.
2. Закон Ленгмюра. Поток заряженных частиц в вакууме с учетом объёмного заряда. Пирсова оптика.
3. Движение заряженных частиц в однородном и неоднородном магнитном поле. Магнитные линзы. Дрейфовое приближение. Адиабатические инварианты. Дрейф в поле произвольной силы.
4. Движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях.
5. Понятие плазмы. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Идеальность и не идеальность плазмы.
6. Кулоновское взаимодействие частиц плазмы. Кулоновский логарифм. Длина пробега. роводимость плазмы. «Убегающие электроны». Время максвеллизации и выравнивания температур между компонентами плазмы.
7. Диффузия и теплопроводность плазмы в присутствии и в отсутствие магнитного поля
8. Законы термо-, фото- и автоэлектронной эмиссии. Эффект Шоттки. Формула Саха-Ленгмюра.
9. Неупругие процессы в газе – возбуждение, ионизация, перезарядка, термическая ионизация, рекомбинация, образование отрицательных ионов.
10. Зажигание разряда в газе. Закон Пашена. Искровой пробой при высоком давлении, стримерная теория.
11. Электрические разряды (тлеющий, дуговой, коронный, ВЧ-разряд) - сравнительная характеристика параметров и режимов горения.
12. Основные типы колебаний и волн в плазме (ленгмюровские, ионно-звуковые, магнитно-звуковые, циклотронные, гибридные, альфвеновские). Тензор диэлектрической проницаемости, дисперсионное уравнение на примере одного из видов волн. Затухание Ландау.
13. Основные термоядерные реакции, зависимость их сечений от энергии и температуры. Энергобаланс термоядерного реактора. Критерий Лоусона.
14. МГД-уравнения плазмы, замороженность и диффузия магнитного поля. Скинирование. Равновесные конфигурации плазмы в МГД, уравнение

Греда-Шафранова. Принцип магнитной термоизоляции плазмы. Диамагнетизм плазмы. Z- пинч и его устойчивость. θ -пинч.

15. Ловушка с магнитными пробками. Время жизни частиц плазмы. Неустойчивости плазмы и методы их подавления. Способы создания и нагрева плазмы. Амбиполярные ловушки.

Радиационные пояса Земли.

16. Замкнутые магнитные ловушки. Вращательное преобразование и способы его создания. Магнитные поверхности и перекрещенность силовых линий. Дрейф и основные неустойчивости плазмы. Энергетический принцип устойчивости. Критерий Сайдемана.

17. Токамаки и стеллараторы – сравнительный анализ. Геометрия магнитного поля. Способы создания и нагрева плазмы. Диффузия и теплопроводность плазмы. Энергетическое время жизни. Влияние примесей. Диверторы.

18. Инерциальный термоядерный синтез и попытки его осуществления. Критерий Лоусона для ИС. Лазерный нагрев и сжатие плазмы. Лазеры для ЛТС. Мишени для ЛТС.

19. Торможение быстрых частиц в твердом теле. Ядерные и электронные столкновения. Потенциалы взаимодействия.

20. Взаимодействие ионов с твердым телом: торможение, каналирование, коррелированные столкновения, ион-ионная эмиссия. Метод вторичной ионной масс- спектрометрии.

21. Распыление поверхности твердого тела. Образование каскадов закономерности каскадного распыления.

22. Взаимодействие электронов с твердым телом. Торможение, электрон-электронная эмиссия. Ион-электронная эмиссия.

23. Захват частиц в твердое тело и обратное газовыделение. Блистеро-образование.

24. Закономерности рассеяния ионов поверхностью твердого тела. Метод обратного резерфордовского рассеяния. Модификация поверхности твердых тел при ионной бомбардировке, образование конусов, вискеров, ионная полировка.

25. Оптическая спектроскопия плазмы. Систематика уровней в атомах и ионах. Непрерывный спектр излучения плазмы. Интенсивность излучения плазмы.

26. Методы измерения основных параметров плазмы: концентрация, температура электронов, температура ионов.

27. Плазменные ускорители. Электродинамическое ускорение плазменных сгустков.

28. Физические основы создания инжекторов нейтральных атомов для токамаков и стеллараторов.

Основная литература

1. Морозов Д.Х. Введение в теорию горячей плазмы/Д. Х. Морозов. 2-е изд., испр. и доп. - Москва : НИЯУ МИФИ.Ч.1., Ч.2, 2013.

2. Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К., Цветков И.В. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках. Учебное пособие. М: МИФИ, 2007. 368 с.
 3. Фортов В.Е. Лекции по физике экстремальных состояний вещества / В. Е. Фортов. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2013. - 234 с. - (Высшая школа физики. Вып.1).
 4. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 2. М: Наука, 1982.
 5. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.
 6. Г.А. Месяц Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004.
 7. П.Н. Дашук. Техника больших импульсных токов и магнитных полей. М.: Атомиздат, 1970.
 8. В.Е. Черковец, С. А. Казаков, В. Г. Наумов. Лазерная техника для физических исследований и практических применений М.: МИФИ, 2006.
 9. М.В. Кузелев, А. А. Рухадзе, П. С. Стрелков Плазменная релятивистская СВЧ-электроника. М.: МГТУ, 2002.
 10. В.С. Стрелков, С.Е. Лысенко Основы техники термоядерного эксперимента Москва 2015г.МИФИ.
 11. Физика высоких плотностей энергий. Под ред. П. Кальдиrolа, Г. Кнопфель. М.: Мир, 1974.
 12. А.С. Савелов Методы исследования плазмы (лазерная диагностика) М.: МИФИ, 2008.
 13. А. Н. Диденко СВЧ – энергетика. М. : Наука, 2003.
 14. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М: Атомиздат, 1979.
 15. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М: Наука, 1988.
 16. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику. М:ФИЗМАТЛИТ, 2006.
 17. Трубников Б.А. Теория плазмы. Учебное пособие для вузов. М: Энергоатомиздат, 1996.
 18. Лукьянов С.Ю., Ковальский Н.Г. Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез. Учебник для вузов. М: МФТИ, 1999.
 19. П.Н.Дашук. Техника больших импульсных токов и магнитных полей. М: Атомиздат, 1970.
 20. Г.А.Месяц. Импульсная энергетика и электроника. М: Наука 2004.
- Дополнительная литература**
1. Миямото К. Основы физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза. М: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
 2. Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К., Цветков И.В. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках.
 3. Арцимович Л.А. Управляемые термоядерные реакции. М: Физматгиз, 1963.
 4. С.В.Мирнов. Физические процессы в плазме токамаков. М: Атомэнергоиздат, 1985.
 5. Д.А.Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. М: Атомиздат, 1963.

6. А.С.Савёлов. Методы исследования плазмы (лазерная диагностика) М: МИФИ, 2008.

7. Пустовитов В.Д. Основы МГД теории стеллараторов. ВИНТИ. Итоги науки и техники т.13, 1993, с 13-84.

Научная специальность

1.3.11 Физика полупроводников

1. Основные свойства полупроводников

Отличительные черты полупроводников. Отрицательный температурный коэффициент сопротивления. Значения удельного сопротивления. Электропроводность. Понятие о запрещенной зоне. Примесные атомы. Электронная и дырочная проводимость.

2. Основы зонной теории кристаллических твердых тел

Основные приближения зонной теории. Уравнение Шредингера для электронов в кристалле в одноэлектронном приближении. Теорема Блоха. Квазиимпульс и зона Бриллюэна. Понятие об энергетических зонах. Основные различия между металлами, полупроводниками и диэлектриками с точки зрения зонной теории. Метод сильно связанных электронов. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода сильно связанных электронов. Метод слабо связанных (почти свободных) электронов. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода слабо связанных электронов. Понятие об эффективной массе. Тензор обратных эффективных масс. Изоэнергетические поверхности. Многодолинные полупроводники. Примеры зонных структур полупроводников: зоны проводимости полупроводников $A^{III}B^V$, Si, Ge. Вырождение зон и гофрировка изоэнергетических поверхностей вблизи потолка валентной зоны. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.

3. Кристаллы во внешних полях. Неидеальные кристаллы

Средняя скорость движения электрона в кристалле. Уравнение движения электрона в кристалле во внешних полях. Заполнение зон и введение дырочного описания. Метод эффективной массы. Применение метода эффективной массы для нахождения энергетического спектра полупроводниковых систем пониженной размерности. Энергетический спектр сверхрешеток. Движение и энергетический спектр носителей заряда в постоянном электрическом поле. Картина плавного искривления энергетических зон. Мелкие уровни в гомеополярных кристаллах (водородоподобные примесные центры). Условия применимости водородоподобной модели. Глубокие примесные уровни в полупроводниках.

4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках

Плотность состояний и функция распределения электронов по квантовым состояниям. Плотность состояний в системах пониженной размерности. Концентрации электронов и дырок в зонах. Эффективные плотности состояний электронов и дырок в зонах. Невырожденный электронный (дырочный) газ. Эффективная масса плотности состояний. Вычисление положения уровня Ферми в собственном полупроводнике. Статистика заполнения примесных уровней. Уровень Ферми в полупроводнике с примесями одного типа.

Статистика электронов и дырок в компенсированных полупроводниках. Уровень Ферми в компенсированном полупроводнике. Многозарядные примесные центры.

5. Неравновесные электроны и дырки

Возникновение неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Оптическая генерация. Темпы генерации и рекомбинации. Времена жизни электронов и дырок. Уравнение кинетики рекомбинации в пространственно однородных системах. Плотность тока. Соотношение Эйнштейна. Уравнение кинетики рекомбинации в пространственно неоднородных системах. Квазиравновесие и квазиуровни Ферми. Различные типы процессов рекомбинации. Законы сохранения при рекомбинации. Межзонная рекомбинация. Коэффициент межзонной рекомбинации. Время жизни при межзонной рекомбинации. Рекомбинация через примеси и дефекты.

6. Основные представления физики неупорядоченных полупроводников

Определение неупорядоченной системы. Примеры неупорядоченных твердых тел. Случайный потенциал. Общие особенности неупорядоченных систем. Качественные представления об электронном спектре в неупорядоченных полупроводниках. Оптические переходы в неупорядоченных полупроводниках на примере аморфного гидрогенизированного кремния. Электропроводность неупорядоченных полупроводников на примере аморфного гидрогенизированного кремния.

7. Явление в контактах

Потенциальные барьеры. Распределение потенциала в слое объемного заряда. Длина экранирования. Истощенный контактный слой. Электронно-дырочные (р-п) переходы. Распределение потенциала в области р-п перехода. Вольтамперная характеристика р-п перехода. Туннельный эффект в р-п переходах. Туннельные диоды. Контакт металл-полупроводник. Основы одноэлектроники.

Основная литература

1. Г.Г. Зегря, В.И. Перель. Основы физики полупроводников. М. Физматлит, 2009.
2. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников. М. Наука, 1990.
3. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. М. Энергоатомиздат, 1985.
4. В.Л. Бонч-Бруевич и др. Сборник задач по физике полупроводников. М. Наука, 1987.

Дополнительная литература

1. П. Ю, М. Кардона. Введение в физику полупроводников. М.: Физматлит, 2002.
2. Р. Смит. Полупроводники. М. Мир, 1982.
3. К. Зеегер. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977.
4. Дж. Блекмор. Статистика электронов в полупроводниках. М.: Мир, 1964.

5. А. Роуз. Основы теории фотопроводимости. М. Мир, 1966.
6. Н. Мотт, Э. Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах. Изд. 2-е, в 2-х тт. М., Мир, 1982.

Научная специальность

1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки

1. Устройства мощной импульсной техники. Высоковольтные генератор импульсных напряжений и мощные генераторы импульсов тока. Импульсные трансформаторы. Генераторы Аркадьева-Маркса. Индукционные накопители энергии. Формирующие линии.

2. Коммутаторы на основе вакуумных и газонаполненных разрядников. Статистическое время запаздывания разряда в газоразрядных коммутаторах. Управляемые трёхэлектродные разрядники. Разрядники с лазерным поджигом искры.

3. Движение в скрещенных электромагнитных полях. Системы релятивистских уравнений движения заряженной частицы в электромагнитных полях (цилиндрическая и декартова системы координат).

4. Уравнения корпускулярной оптики. Теорема Буша. Электростатические корпускулярные линзы. Магнитные корпускулярные линзы. Оптика Пирса. Квадрупольные линзы. Матричный метод.

5. Физические процессы на поверхности катодов. Термоэлектронные, автоэмиссионные, фотоэлектронные, взрыво-эмиссионные, лазерно-плазменные эмиттеры электронов.

6. Плазменные источники ионов. Ионные источники с осциллирующими электронами. Вакуумно-дуговые источники ионов. Лазерные ионные источники. ВЧ и СВЧ ионные источники.

7. Квазиплоский релятивистский электронный диод. Ограничение тока диода пространственным зарядом. Ток Альвена. Нерелятивистское и ультрарелятивистские приближения. Закон Богуславского-Ленгмюра-Чайлда. Первеанс электронного диода. Ограничение тока пучка собственным магнитным полем.

8. Ионные диоды. Подавление электронной проводимости. Магнитная изоляция.

9. Транспортировка сильноточных пучков. Основные понятия и характерные масштабы. Качественное поведение сильноточных пучков. Поперечные и продольные эффекты пространственного заряда. Особенности зарядовой и токовой нейтрализации электронных пучков ионами и ионных пучков электронами.

10. Электростатический предельный ток пучка. Предельный ток нейтрализованного пучка. Транспортировка пучков в магнитном поле.

11. Эффект Черенкова, нормальный и аномальный эффекты Доплера. Синхротронное, ондуляторное и циклотронное излучение. Особенности спектра в релятивистском случае. Понятие о когерентности излучения системы частиц.

12. Методы диагностики потоков заряженных частиц. Магнитоиндукционные, емкостные, акустические, черенковские,

колориметрические, электрооптические и ядерные датчики тока и положения пучка. Методы измерения энергии и спектра пучка.

13. Понятие о газовом разряде. Кривая Пашена. Разряд Пеннинга. Разряд с полым катодом. ВЧ и СВЧ- разряды. Оптический пробой газа и лазерная плазма.

14. Условие квазинейтральности ионизованного газа. Масштабы пространственного и временного разделения зарядов в ионизованном газе. Экранирование электрического поля в ионизованном газе. Длина Дебая. Электростатические колебания Ленгмюра. Связь между частотой колебаний Ленгмюра и длиной Дебая. Плазменные критерии.

15. Частота кулоновских столкновений. Проводимость плазмы. Формула Спитцера. Влияние магнитного поля на проводимость плазмы. Тензор проводимости. Эффект Холла.

16. Принцип действия магнитогидродинамического генератора. Плазменные ускорители и двигатели. Ускоритель Холла. Ускоритель с замкнутым дрейфом электронов.

17. Ускоритель с собственным магнитным полем (рельсотрон).

18. Плазменные диоды для генерации нейтронов и рентгеновского излучения. Диоды с осциллирующими дейтронами (инерциальным электростатическим удержанием-ИЕС). Плазменный фокус.

19. Электродинамические волноводы и резонаторы. Фазовая и групповая скорости. Замедляющие системы.

20. Передающие и трансформирующие линии. Экспоненциальная и коническая коаксиальная линии. Трансформация импульсов с помощью ступенчатой линии. Примеры конструкций, понижающих и повышающих трансформирующих линий.

21. Электропрочность вакуумной изоляции. Проблемы ввода напряжения в вакуум. Изоляторы электронных и ионных диодов сильноточных ускорителей. Основные факторы, влияющие на электрическую прочность изоляторов. Методика расчета и проектирования высоковольтных изоляторов.

22. Электрофизические основы СВЧ-энергетики. Распространение электро-магнитных волн в поглощающих средах. Отражение и преломление плоской волны на границе двух сред с различными электродинамическими характеристиками. Распространение СВЧ колебаний в стандартных и сверхпроводящих волноводах. Поглощение энергии в резонаторных рабочих камерах.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики, в 3-х томах. М.: Наука, 1982.
2. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высшая школа, 1991.
3. Иродов И.Е. Волновые процессы. М., СПб: Физматлит, 2002.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3х томах. М.: - М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1982.
5. Иродов И.Е. Основные законы механики - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1997.

6. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма - 2-е изд., стереотип. М.: Высш. школа, 1991.
7. Иродов И.Е. Волновые процессы - М.; СПб : Физматлит, 2001, 1999, 2002
8. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ. Мир, 1993.
9. Диденко А.Н., Гаврилов Н.М., Пучков В.Н. Техническая электродинамика. - М.: МИФИ, 2000.
10. Капчинский И. М. Теория линейных резонансных ускорителей. М.: Энергоатомиздат, 1982.
11. Диденко А.Н., Григорьев И.П., Усов Ю.П.. Мощные электронные пучки и их применение. М.: Атомиздат, 1977.
12. Дж. Лоусон Физика пучков заряженных частиц. М.: Мир, 1980.
13. Милованов О.С., Собенин Н.П.: «Техника сверхвысоких частот». М.: Энергоатомиздат, 2007.
14. Милованов О.С., Собенин Н.П. «Техника сверхвысоких частот». Атомиздат, 1980.
15. Каминский В.И., Сеньюков В.А., Собенин Н.П. Высшие типы волн в элементах ускоряющих структур: Учеб. пособие для вузов. М.: МИФИ, 2002.
16. Шатохин В.Л. Технология вакуумных систем: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2000.
17. Райзер Ю.П. Физика газового разряда: Учеб. Руководство.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987.

Научная специальность

1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника

1. Законы термодинамики. Термодинамические функции.
2. Фазовые переходы.
3. Ударные волны. Законы сохранения на фронте ударной волны. Ударная адиабата.
4. Термическое уравнение состояния. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
5. Теплопроводность газов.
6. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость.
7. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие.
8. Энтропия. Статистическое обоснование закона возрастания энтропии.
9. Механизм и скорость химической реакции. Закон действующих масс. Порядок реакции. Константа скорости. Закон Аррениуса.
10. Вязкостный режим течения. Понятие о пограничном слое. Уравнения ламинарного пограничного слоя.
11. Уравнения Рейнольдса осредненного турбулентного движения. Полуэмпирическая теория турбулентности Прандтля. Универсальный профиль скорости для течений вблизи гладких и шероховатых поверхностей.
12. Уравнения теплопроводности и диффузии в химически реагирующей среде.
13. Теория и критерий теплового взрыва.

14. Теория детонации. Модель Чепмена. Модель Зельдовича-Неймана-Деринга.
15. Условие химического равновесия. Теплота реакции.
16. Распространение звука в газе, дисперсия и затухание звука. Вязкость.
17. Взаимодействие молекул. Различные составляющие межмолекулярных сил.
18. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия.
19. Фазовые переходы первого и второго рода.
20. Статистическое описание идеального газа. Распределение Больцмана. Термодинамические свойства одно-, двух- и трехатомных газов.
21. Диаграмма состояния вещества. Тройная точка
22. Диаграмма состояния вещества. Правило фаз Гиббса.
23. Конвективный теплообмен. Теплообмен в ламинарном пограничном слое.
24. Теплообмен при кипении. Кривая кипения.
25. Перепад давления в двухфазном потоке.
26. Механизмы теплообмена в двухфазном потоке.
27. Кризис теплообмена при кипении жидкости в большом объеме и каналах.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики, в 3-х томах. М.: Наука, 1982..
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, Т. 5. М.: Наука, 2001.
3. Квасников И.А. Теория равновесных систем. Термодинамика. Т.1., Статистическая физика, Т. 2. Изд-во УРСС, М, 2002.
4. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск, Изд-во Новосибирского ун-та, 2000.
5. Миронова Г.А., Брандт Н.Н., Салецкий А.М. Молекулярная физика и термодинамика в вопросах и задачах. СПб: Лань, 2012. 480с.
6. Фортов В.Е. Уравнения состояния вещества: от идеального газа до кварк-глюонной плазмы: Москва: Физматлит, 2012. 522с.
7. Базаров И. П. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 2010.
8. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1980.
9. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983.
10. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – Изд. 5-е, стереотип. – М.: Физматлит, 2006.
12. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.
13. Новиков И.И., Боришанский В.М. Теория подобия в термодинамике и теплопередаче. – М.: Атомиздат, 1979.

Раздел «Физика атомных ядер и элементарных частиц»

1. Общие свойства и характеристики ядер: плотность, заряд, спины ядер, четность, спектры возбуждения, ядерная нестабильность. Модели ядра, энергия связи.

2. Виды радиоактивности. Законы p/a распада.

3. Прохождение заряженных частиц через вещество. Ионизационные потери, взаимодействие электронов и фотонов с веществом. Излучение Вавилова-Черенкова, переходное излучение. Резонансное рассеяние гамма-лучей. Эффект Мёссбауэра.

4. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Ультрахолодные нейтроны.

5. Альфа-распад, деление ядер, кластерные распады ядер. Трансурановые и сверхтяжелые элементы.

6. Бета-распад. Элементарная теория бета-распада. Правила отбора и форма бета-спектра, корреляционные характеристики. Разрешенные и запрещенные бета-переходы. Бета-распад нейтрона. Электронный захват.

7. Основы теории ядерных реакций. Законы сохранения. Принцип детального равновесия. Каналы реакции.

8. Кинематические переменные в реакциях взаимодействия и распада. Законы сохранения энергии и импульса.

9. Вероятность распада и сечение процесса. Фазовый объём.

10. Кинематика двухчастичных распадов. Энергетические и угловые распределения продуктов двухчастичного распада.

11. Упругое eN -рассеяние. Формулы Резерфорда, Мотта, Розенблюта.

12. Принципы работы газовых ионизационных детекторов. Ионизационная камера, пропорциональная камера, счетчик Гейгера-Мюллера.

13. Принципы работы полупроводниковых детекторов.

14. Сцинтилляционные детекторы. Черенковские детекторы.

15. Классификация частиц и взаимодействий, основные свойства. Лептоны и кварки. Стандартная модель элементарных частиц и взаимодействий.

16. Дискретные симметрии. Пространственное отражение, зарядовое сопряжение, обращение времени, CPT-теорема.

17. Электромагнитные взаимодействия. Правила отбора по изотопическому спину. Процессы фоторождения и электророждения.

18. Рассеяние электронов и мю-мезонов нуклонами и ядрами. Электромагнитные формфакторы. Магнитные моменты элементарных частиц.

19. Изотопические свойства сильных взаимодействий. SU(3)-симметрия сильных взаимодействий. Модель кварков. Глубоко-неупругие процессы, кварк-партонная модель. Квантовая хромодинамика.

20. Столкновения элементарных частиц. Нуклон-нуклонные столкновения при малых энергиях. Упругое рассеяние, поляризационные явления, неупругие процессы. Общие свойства рассеяния при высоких энергиях.

21. Теория Ферми слабого взаимодействия. Универсальная теория слабых взаимодействий. Гипотеза о сохранении векторного тока. Унитарная симметрия в слабых взаимодействиях и угол Кабиббо. Смешивание кварков.

22. Физика K^0 -мезонов. Осцилляция странности. Интерференционные явления с нарушением CP -инвариантности в распадах K^0 -мезонов.

23. Модель Глэшоу-Салама-Вайнберга и нейтральные токи в слабых взаимодействиях. Механизм Хиггса нарушения электрослабой симметрии и массы частиц.

24. Наблюдение Z - и W -бозонов в экспериментах на ускорителях. Открытие бозона Хиггса. Крупнейшие экспериментальные комплексы на ЛНС.

25. 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.

26. Нейтринные эксперименты на ускорителях при высоких и низких энергиях, реакторах, детектирование солнечных, атмосферных нейтрино и нейтрино от взрывов сверхновых, эксперименты по изучению нейтринных осцилляций.

27. Основные сведения о космических лучах. Основные понятия, интенсивность, состав космического излучения.

28. Происхождение и эволюция Вселенной. Нуклеосинтез нуклидов в Солнечной системе и Галактике. Реликтовое излучение, барионная асимметрия.

29. Солнечная энергия. Основные ядерные реакции на Солнце. Модели эволюции звезд.

30. Скрытая масса Вселенной. Темная материя и темная энергия. Изучение природы и поиски Темной материи.

Раздел «Физика высоких энергий»

Экспериментальные методы

Прохождение заряженных частиц через вещество. Ионизационные потери. Взаимодействие электронов и фотонов. Излучение Вавилова-Черенкова. Переходное излучение. Электромагнитные ливни.

Методы ускорения и детектирования частиц высоких энергий

Ускорители. Основные ускорительные центры. Газовые ионизационные детекторы. Ионизационная камера. Пропорциональные камеры. Счетчик Гейгера-Мюллера. Полупроводниковые детекторы. Сцинтилляционные детекторы. Черенковские детекторы. Детекторы переходного излучения. Калориметры (электромагнитные и адронные). Примеры использования различных методов детектирования.

Классификация частиц и взаимодействий, основные свойства

Электромагнитные, слабые и сильные взаимодействия. Слабость гравитационного взаимодействия. Лептоны и кварки. Классификация адронов.

Теория о связи спина и статистики

Обобщенный принцип Паули. Распады ρ - и π -мезонов. Спин пиона.

Барионное и лептонное числа

Эксперименты по поиску несохранения барионного и лептонного чисел.

Теория Ферми слабого взаимодействия

Лангранжиан Ферми. Несохраниение P -четности $V-A$ взаимодействий.

Нарушение P -четности

Предположения Ли и Янга. Опыт Ву. Нарушение P -четности в распаде

мюона.

Нарушение С-четности

Нарушение С-четности в распадах пионов и мюонов.

СРТ-теорема

Условия СРТ-теоремы, ее следствия. Эксперименты.

Нарушение Т-четности

Поиск нарушения Т-четности в распадах нейтрона и каона. Измерение электрического дипольного момента нейтрона.

Физика нейтральных каонов

Основные свойства К-мезонов. Смешивание Каббиво. Регенерация нейтральных каонов. Осцилляция странности. CP-нарушения в каонах.

CP-нарушение в других экспериментах

Другие эксперименты. Роль нарушения CP-симметрии во Вселенной.

Механизм GIM

Очарованный кварк. Нейтральные слабые токи.

Очарованные частицы

Открытие с-кварка. Правило Цвейга. Свойства и уровни чармония. Открытие мезонов с открытым очарованием.

Открытие тау-лептонов

Открытие тау-лептона и масса тау-нейтрино.

Открытие тяжелых кварков

Открытие b-кварка. Спектроскопия ипсилона. Открытие t-кварка.

Проверка электрослабой теории

Открытие нейтральных токов. Открытие W-, Z-бозонов. Открытие бозона Хиггса. Механизмы рождения и распадов бозона Хиггса. Экспериментальное обнаружение бозона Хиггса. Роль бозона Хиггса в Стандартной модели.

Нейтрино

Обнаружение электронного, мюонного и тау нейтрино. Бета-распад. Эксперименты по измерению массы нейтрино. Двойной бета-распад. Экспериментальное обнаружение осцилляций нейтрино от различных источников. Эксперименты по определению спиральности нейтрино.

Статистические методы анализа

Дискретные распределения. Непрерывные распределения. Биноминальное распределение. Распределение Пуассона. Распределение Гауса. Распределение χ^2 . Выбор критерия согласия. Критерий проверки простых гипотез. Метод максимального правдоподобия. Метод наименьших квадратов.

Основная литература

1. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. М., 2009
2. И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц 2002.
3. Ф. Хелзен, А. Мартин. Кварки и лептоны. Мир. 1987.
4. Л.Б. Окунь. Лептоны и кварки. М.: Наука, 1990.
5. К.М. Белоцкий, В.М. Емельянов. Лекции по основам электрослабой модели и новой физике: Москва: МИФИ, 2007.
6. Д. Перкинс «Введение в физику высоких энергий», Энергоатомиздат, 1991, 1975.

7. В.И. Гольданский, Ю.П. Никитин, И.Л. Розенталь «Кинетические методы в физике высоких энергий», М., Наука, 1987.
8. Ф.Боум, П.Фогель, «Физика массивных нейтрино», Мир, 1990.
9. Л.Б. Окунь «Элементарное введение в физику элементарных частиц», М., Наука, 1985.

Дополнительная литература

1. Рубаков В.А.; Горбунов Д.С. Введение в теорию ранней Вселенной, М.: Красанд, 2010.
2. A. Mazure, V. Le Brun. Matter, Dark Matter and Anti-matter. Springer. 2016.
3. Дж. Бакол. Нейтринная астрофизика. Мир. 1993.
4. A. Bettini. Introduction to Elementary Particle Physics. Cambridge. 2008

Научная специальность

1.3.17 Химическая физика,

горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Строение и электронная структура вещества

1. Основы квантовой теории многоэлектронных систем. Адиабатическое приближение Борна-Оппенгеймера. Свойства симметрии многоэлектронной волновой функции. Основное и возбужденное состояния атома гелия. Многоэлектронные атомы и периодическая система элементов. Операторы момента импульса. Уровни энергии. Основные принципы теории валентности.

2. Электронное строение молекул. Метод молекулярных орбиталей и его применение к двухатомным молекулам. Молекулярный ион и молекула водорода. Молекулярные орбитали гомоядерных и гетероядерных двухатомных молекул. Правило пересечения потенциальных кривых. Понятие о методе самосогласованного поля. Гибридизация атомных волновых функций. Метод молекулярных орбиталей в приближении Хюккеля применительно к молекулам с сопряженными связями.

3. Электронное строение координационных соединений. Межмолекулярное взаимодействие. Теория кристаллического поля. Комплексы со слабой и сильной связью. Спин-орбитальное взаимодействие. Применение метода молекулярных орбиталей к координационным соединениям. Эффект Яна-Теллера. Силы Ван-дер-Ваальса. Донорно-акцепторные комплексы. Водородная связь.

4. Строение и свойства твердого тела. Оптические и акустические фононы. Теплоемкость и теплопроводность кристаллов. Электрон в кристалле, зона проводимости и запрещенная зона. Электропроводность металлов и полупроводников. Локализованные состояния электронов в кристалле. Аморфные твердые тела. Жидкости.

Динамика атомов и молекул

1. Химическая термодинамика и равновесие. Равновесное распределение молекул идеального газа. Распределение Максвелла и распределение Больцмана. Распределение Бозе и Ферми. Статистика Гиббса. Термодинамические свойства идеальных газов. Флуктуации. Равновесие фаз. Слабые растворы. Химические равновесия. Поверхностные явления.

2. Элементарные атомно-молекулярные процессы. Упругие столкновения атомов. Полное и дифференциальное сечения рассеяния. Неупругие столкновения. Вероятности переходов, сечения и константы скорости прямых и обратных процессов. Поверхность потенциальной энергии для системы трех атомов. Метод переходного состояния. Неадиабатические процессы.

3. Мономолекулярные реакции. Механизм активации молекул. Сильные столкновения и ступенчатое возбуждение. Статистическая модель мономолекулярных реакций.

4. Термический распад двухатомных молекул. Бимолекулярные реакции, идущие через образование промежуточного комплекса. Прямые бимолекулярные реакции: рикошетный механизм, механизм срыва, механизм прямого выбивания. Распределение энергии в бимолекулярных реакциях.

5. Обмен энергии при молекулярных столкновениях. Превращение поступательной, вращательной и колебательной энергий при столкновениях. Релаксация по поступательным, вращательным и колебательным степеням свободы. Кинетические уравнения для заселенностей уровней энергии (в том числе при наличии химических реакций).

6. Взаимодействие электронов с атомами и молекулами. Возбуждение атомов и молекул электронным ударом. Ионизация атомов и молекул электронным ударом. Фотоионизация. Рекомбинация электронов и атомов.

Основы химической кинетики

1. Механизм и скорость химической реакции. Закон действующих масс. Порядок реакции. Константа скорости. Закон Аррениуса. Кинетика сложных реакций. Обратимые, последовательные, параллельные процессы. Прямая и обратная кинетическая задача. Метод квазистационарных концентраций. Лимитирующая стадия сложного химического процесса.

2. Цепные реакции. Зарождение, продолжение и обрыв цепей. Длина цепи. Линейный и квадратичный обрыв цепей, обрыв цепей на стенках. Влияние диффузии на скорость цепного процесса. Ингибирование цепных реакций. Разветвленные цепные реакции. Предельные явления, полуостров воспламенения. Реакции с вырожденным разветвлением цепей. Химические лазеры.

3. Химические реакции в жидкой фазе. Влияние диффузии на скорость реакции. Клеточный эффект. Влияние диэлектрической постоянной и ионной силы на скорости химических реакций в растворах. Солевой эффект.

4. Гомогенно-каталитические реакции. Автокатализ. Гетерогенный катализ.

5. Коллоидная химия и наноструктуры.

6. Фотохимические реакции. Фотодиссоциация. Фотоприсоединение. Фотозамещение и фотоперегруппировка. Фотохимические окислительно-восстановительные реакции.

7. Основные понятия радиационной химии. Радиационно-химический выход. Элементарные процессы: ионизация и возбуждение, передача энергии, трековые эффекты. Реакции "сухого" и сольватированного электронов. Образование атомов и радикалов и их реакции.

8. Пространственно-временные диссипативные структуры в химии.

Реакция Белоусова-Жаботинского.

Основы молекулярной спектроскопии

1. Электронная структура молекул. Возбужденные состояния. Поглощение и испускание света.

2. Индуцированное и спонтанное излучение, лазеры. Формула Планка.

3. Спектры поглощения и люминесценции. Флуоресценция и фосфоресценция. Правила отбора для вращательных, колебательных и электронных переходов. Теория и методы расчета электронно-колебательных спектров многоатомных молекул. Приближения Франка-Кондона и Герцберга-Теллера.

4. Комплексы с переносом заряда, эксимеры и эксиплексы. Безызлучательные электронные переходы.

Химическая физика горения и взрыва

1. Теория процессов горения. Уравнения теплопроводности и диффузии в химически реагирующей среде. Теория и критерий теплового взрыва. Цепной взрыв. Пределы цепного взрыва. Воспламенение и зажигание.

2. Теория стационарного горения газовой смеси. Нормальная скорость распространения пламени. Пределы распространения пламени, предельный диаметр и предельная концентрация компонентов смеси. Диффузионно-тепловая неустойчивость пламени. Представление о турбулентном горении. Холодные пламена.

3. Ударные волны и детонация. Ударные волны. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии на фронте ударной волны. Уравнения состояния газа и конденсированных сред. Ударная адиабата, изоэнтропы, их взаимное расположение. Ударные волны в реагирующих и релаксирующих средах.

Физика экстремальных состояний вещества

1. Основные представления о поведении вещества в экстремальных условиях при высоких давлениях и температурах. Межчастичные взаимодействия. Кулоновское взаимодействие. Критерии неидеальности. Модели уравнений состояния вещества. Уравнение состояния Ми-Грюнайзена, Теория Томаса-Ферми.

2. Фазовые переходы. Переход жидкость-газ. Плавление. Фазовые диаграммы веществ. Теория Ландау переходов второго рода. Критические явления. Термодинамика топологического беспорядка - физика жидкого состояния. Компьютерное моделирование свойств веществ в экстремальных условиях.

3. «Химическая» модель ионизационного равновесия. Методы генерации экстремальных состояний вещества. Методы измерений реологических, термодинамических, оптических и электрофизических свойств.

Литература

1. Маррсл Дж., Кетти С., Теддер Дж. Теория валентности. М.: Мир, 1968.

2. Герцберг Г. Спектры и строение простых свободных радикалов. М.: Л., Физматгиз, 1962.

3. Физика взрыва/Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович и др. М.: Наука, 1975.

4. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. М.: Высш.

школа, 1974.

5. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987.

6. Денисов Е.Т., Саркисов О.М., Лихтенштейн Г.И. Химическая кинетика. М.: Химия, 2000.

7. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, 1978.

8. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ и порохов/Г.Б. Манелис. Назин, Ю.И. Рубцов, В.А. Струнин. М.: Наука, 1996.

9. Математическая теория горения и взрыва /Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. М.: Наука, 1980.

Научная специальность

1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

1. Вклад Российской научной школы в физику пучков заряженных частиц и ускорительную технику.

2. Сильноточные ускорители. Заряженная плазма.

3. Физические характеристики потоков заряженных частиц.

4. Высокоточные генераторы импульсных напряжений (ГИН).

5. Мощные генераторы импульсов тока (ГИТ).

6. Линейные индукционные ускорители.

7. Элементарная база ГИН и ГИТ.

8. Коммутаторы на основе вакуумных и газонаполненных разрядников.

9. Электропрочность вакуумной изоляции и проблемы ввода напряжения в вакуум.

10. Понятие пучка заряженных частиц. Теорема Лиувилля. Эмиттанс и яркость пучка. Аксептанс системы транспортировки пучка.

11. Системы релятивистских уравнений движения заряженной частицы в электромагнитных полях.

12. Уравнения корпускулярной оптики. Теорема Буша.

13. Электростатические и магнитные азимутально-симметричные корпускулярные линзы.

14. Оптика Пирса.

15. Квадрупольные электростатические и магнитные линзы.

16. Матричный метод анализа транспортировки пучков.

17. Электронные эмиттеры.

18. Плазменные источники ионов.

19. Квазиплоский релятивистский электронный диод.

20. Закон Богуславского-Ленгмюра-Чайлда. Ток Альвена.

21. Биполярный ионный диод.

22. Подавление электронной проводимости. Магнитная изоляция в диодных системах.

23. Ионные триоды. Пинч-рефлексный диод.

24. Транспортировка сильноточных пучков.

25. Поперечное ограничение тока транспортируемого пучка.

26. Продольное ограничение тока пучка. Виртуальный катод.

27. Разлет пучка в свободном пространстве. Сильноточный пучок в магнитном поле.
28. Зарядовая и токовая нейтрализация пучка.
29. Электростатический предельный ток пучка.
30. Предельный ток нейтрализованного пучка.
31. Сильноточные пучки в плазме.
32. Пучки Беннета-Будкера.
33. Нестационарные явления при инжекции пучка в плазму.
34. Пинч Беннета.
35. Коллективные методы ускорения.
36. Ускорение электронными кольцами.
37. Ток запираания в трубе и ускорение в прямых пучках.
38. Диоды Люса.
39. Ускорение на фронте ионизации.
40. Ускорение в лазерной плазме.
41. Методы численного решения задач физики пучков заряженных частиц (постановка задачи).
42. Уравнение Власова
43. Метод крупных частиц и его модификации.
44. Метод «облако в ячейке».
45. Метод «водяной мешок».
46. Расчет электродинамических систем формирования пучков методом интегральных уравнений и эквивалентных зарядов.
47. Проекционные и вариационные методы расчета электродинамических формирующих систем.
48. Метод конечных элементов решения электродинамических задач.
49. Эффект Черенкова.
50. Нормальный и аномальный эффекты Доплера.
51. Синхротронное и ондуляторное излучение.
52. Волны пространственного заряда неограниченной среде.
53. Циклотронные волны.
54. Потенциальные и электромагнитные волны.
55. Неустойчивость отрицательной массы.
56. Мощные генераторы когерентного излучения в оптическом и рентгеновском диапазонах волн на сильноточных электронных пучках.
57. Релятивистская лампа бегущей и обратной волны как усилитель и генератор когерентного излучения Вавилова-Черенкова.
58. Мазеры на циклотронном резонансе.
59. Ондуляторные лазеры на свободных электронах.
60. Методы диагностики потоков заряженных частиц.
61. Методы измерения энергии и спектр пучка.
62. Торможение тяжелых заряженных частиц в веществе.
63. Пик Брегга. Длина пробега.
64. Радиационная длина.
65. Формула Резерфорда. Роль столкновений при диссипации энергии в пучках и уширении эммитанса.

66. Генерация тормозного излучения при взаимодействии потоков ускоренных электронов с мишенями.

67. Использование тормозного излучения для таможенного контроля и в медицине. Метод двух энергий.

68. Генерация нейтронов при взаимодействии ускоренных потоков электронов и нуклидов водорода с мишенями.

69. Запаянные ускорительные трубки для генерации рентгеновских квантов и их применение.

70. Радиационная и электрическая безопасность при работе с генераторами мощных потоков заряженных частиц. Предельно допустимые уровни ионизирующих излучений.

71. Защита от излучения генераторов мощных потоков заряженных частиц.

Литература

1.Б.Ю. Богданович, А.В. Нестерович, А.Е. Шиканов, М.Ф. Ворогушин, Ю.А. Свистунов «Дистанционный радиационный контроль с линейными ускорителями», М., Машиностроение, 2012. Т.2. 284 с.

2.Гаврилов Н.М., Сомов С.В. «Оборудование для работы с ускоренными пучками», М., НИЯУ МИФИ, 2010, 223 с.

3.Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. «Частицы и атомные ядра», М., Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013, 582 с.

Научная специальность

1.5.2 Биофизика

1. Предмет биофизики, ее подразделение, методы. Роль русских и зарубежных ученых в развитии биофизики.

2. Биоэнергетика и ее задачи. Особенности приложения законов термодинамики к биологическим системам.

3. Первый закон термодинамики. Его значение в биофизике. Методы изучения приложимости I закона термодинамики к биосистемам. Доказательства приложимости I закона термодинамики к биосистемам.

4. Второй закон термодинамики и его приложимость к биосистемам. Значение

функции энтропии в биосистемах.

5. Свободная энергия и работоспособность биосистем. КПД биологических процессов.

6. Расчет стандартной свободной энергии в биосистемах исходя из связи свободной энергии и химического потенциала.

7. Свободная энергия активации в биосистемах.

8. Биологические системы как открытые системы. Уравнение Пригожина.

9. Соотношения Онзагера.

10. Стационарное состояние биосистемы. Свойства стационарных состояний.

11. Основные методы решения математических моделей в биологической кинетике.

12. Стационарная кинетика ферментативных процессов. Уравнение Михаэлиса-Ментон.
13. Критерий устойчивости стационарных состояний по Ляпунову.
14. Модель проточного культиватора как пример стационарной системы с различными стационарными состояниями.
15. Типы особых точек в биосистемах. Колебательные системы. Модель Вольтерра.
16. Триггерные свойства биосистем.
17. Схемы электронных возбужденных состояний, синглетное и триплетное возбужденные состояния, их особенности и значение в биосистемах.
18. Молекулярные основы зрительной рецепции.
19. Фототропизм.
20. Миграция энергии в биосистемах. Индуктивно-резонансный механизм миграции энергии (FRET).
21. Биоломинесценция.
22. Перекисное окисление липидов и хемилюминесценция.
23. Структурно-функциональная организация биологических мембран.
24. Пассивное проникновение веществ через мембрану, простая диффузия.
25. Облегченная диффузия.
26. Активный транспорт через мембрану. Структура и механизм работы Na^+/K^+ -АТФазы.
27. Уравнение Гольдмана.
28. Потенциал покоя как совокупность пассивной и активной компонент.
29. Природа потенциала действия, уравнение Ходжкина-Хаксли.
30. Возбудимые ионные каналы.
31. Действие ионизирующих излучений на биологические системы, биологическая эффективность разных типов излучений.
32. Принципы количественной радиобиологии.
33. Особенности первичного действия ионизирующих излучений на организм.
34. Механизм первичного действия ионизирующих излучений.
35. Особенность вторичных реакций лучевого поражения.
36. Пути проникновения радиоактивных изотопов в организм, факторы, влияющие на распределение радиоактивных изотопов внутри организма.
37. Факторы токсического действия радиоактивных изотопов при попадании внутрь организма.

Литература

1. Антонов В.Ф. Биофизика. Учебник для ВУЗов. М.: ВЛАДОС 2000. 288 с.
2. Артюхов В.Г., Башарина О.В. Молекулярная биофизика: механизмы протекания и регуляции внутриклеточных процессов. - Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2012.
3. Артюхов В.Г. Биофизика, Издательство: Академический Проект,

Деловая книга, 2009.

4. Волькенштейн М.В. Биофизика. – М.: Наука, 1988. – 592 с.
10. Губанов Н.И., Утепбергенов А.А. Медицинская биофизика. - М.: Медицина, 1978.– 336 с.
5. Джаксон М.Б. Молекулярная и клеточная биофизика. - М.: Мир, 2009. - 551 с.
6. Костюк П.Г. и др. Биофизика, 1988.
7. Ремизов А.Н., Максина А.Г., Потапенко А.Я. Медицинская и биологическая физика. Учебник для вузов. 2003. 506 с.
8. Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов. – М.: МГУ, 1987. – 304 с.
9. Рубин А.Б. Биофизика. Т.1,2. М.: Издательство МГУ, 2004.
10. Рубин А.Б. Лекции по биофизике, 1994.

Научная специальность

1.5.3 Молекулярная биология

1. Определение предмета «Молекулярная биология». Основные этапы развития. Наиболее принципиальные открытия.
2. Доказательства генетической роли нуклеиновых кислот.
3. Хронология открытий, подготовивших создание Уотсоном и Криком модели двойной спирали ДНК.
4. Нуклеозид, нуклеотид, полинуклеотид.
5. Принципы строения двойной спирали ДНК.
6. Параметры В-, А-, Z-форм ДНК.
7. Виды РНК. Их роль в клетке.
8. Классификация аминокислот.
9. Четыре уровня структурной организации белков. Глобулярные и фибриллярные белки.
10. Основные биологические функции белков.
11. Функции ДНК. Информационная емкость.
12. Генетический код. Его основные свойства.
13. Принципы транскрипции.
14. Понятие об опероне.
15. Субъединичный состав РНК-полимеразы E.coli. Её основные функции.
16. Особенности структуры промоторов.
17. Этапы транскрипции у прокариот.
18. Регуляция транскрипции у бактерий. Негативная индукция. Позитивная индукция.
19. Негативная репрессия. Позитивная репрессия.
20. Аттенуация в регуляции экспрессии триптофанового оперона E.coli.
21. Особенности транскрипции у эукариот.
22. Множественность и специфичность РНК-полимераз эукариот.
23. Cis-элементы и Trans-факторы транскрипции. Образование инициаторных комплексов с участием РНК-полимеразы II.

24. Понятие об энхансерах и сайленсерах.
25. Процессинг m-РНК эукариот: кепирование, полиаденилирование, сплайсинг, редактирование.
26. Различные механизмы сплайсинга. Trans-сплайсинг.
27. Альтернативный сплайсинг.
28. Малые РНК. Их функции.
29. Структура t-РНК.
30. Рекогниция. Аминоацелирование t-РНК.
31. Структура рибосом про- и эукариот. Центры рибосом *E.coli*.
32. Этапы трансляции у прокариот. Белковые факторы трансляции.
33. Регуляция трансляции на примере фага MS2.
34. Регуляция образования r-РНК и белков рибосом у *E.coli*.
35. Образование рибосом у эукариот. Понятие о ядрышке.
36. Принципы репликации ДНК.
37. Доказательство полуконсервативного характера репликации.
38. Ферментативная система ДНК *in vitro*. Активирование ДНК.
39. Понятие о матрице и затравке при репликации ДНК.
40. Строение и функции ДНК-полимеразы I из *E.coli*. Значение 3'→5' и 5'→3' гидролитических активностей.
41. Схема непрерывной антипараллельной репликации Корнберга.
42. Схема непрерывной параллельной репликации Кэрнса.
43. Схема прерывистой антипараллельной репликации Оказаки.
44. Сравнительная характеристика ДНК – полимераз I, II и III из *E.coli*.
45. ДНК – полимеразы III, *holo*-фермент.
46. Схема размножения фага M13 и доказательство наличия РНК-затравки при репликации ДНК.
47. Праймаза и праймосома.
48. Проблема денатурации матрицы при репликации. SSB. Геликазы.
49. Принципы работы и биологические функции топоизомераз.
50. Современная схема репликации ДНК *E.coli* (модель «тромбона»).
51. Особенности репликации ДНК эукариот.
52. Репликация митохондриальной ДНК позвоночных животных.
53. Теломеры, теломераза и старение.
54. Основные реparable повреждения в ДНК и принципы их исправления.
55. Геном эукариот. «Избыточность», наличие повторов, некодирующих последовательностей, компактность, нестабильность.
56. Основы метода ренатурации ДНК.
57. Сателлитная ДНК. Особенности состава. Локализация в геноме. Возможная роль.
58. Палиндромы. Роль обращенных повторов в геноме.
59. Типы структурно-функциональной организации эукариотических генов. Гены «домашнего хозяйства» и гены «роскоши».
60. Общая характеристика гистонов.
61. Компактизация ДНК эукариот. Нуклеосомный, супербидный, петлевой уровни компактизации. Метафазная хромосома.

62. Нестабильность генома. Мобильные элементы про- и эукариот; эффект их внедрения.

63. Ретровирусы. Обратная транскрипция.

64. Молекулярные основы канцерогенеза.

65. Молекулярно-биологические основы возникновения жизни на Земле. Образование биополимеров. Образование мембранных структур и пробионтов.

Литература

1. Гены/Б.Льюин : пер 9-ого англ. Изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011 – 896 с.

2. Албертс Б. и др. Молекулярная биология клетки. 2-е издание. Т. 1-3. М.: Мир, 1994.

3. Рис Э., Стернберг М. Введение в молекулярную биологию: От клеток к атомам: Пер. с англ. – М.: Мир, 202. – 142 с.

Требования к оформлению вступительного реферата

Вступительный реферат имеет следующую структуру:

а) титульный лист (см. приложение №2);

б) оглавление;

в) текст реферата:

- введение (обоснование выбора темы, ее актуальность, основные цели и задачи исследования);

- основная часть состоит из 2-3 параграфов, в которых раскрывается суть исследуемой проблемы, оценка существующих в литературе основных теоретических подходов к ее решению, изложение собственного взгляда на проблему и пути ее решения и т.д.;

- заключение (краткая формулировка основных результатов и выводов по реферату);

г) список литературы (использованной в ходе работы над выбранной темой и оформленный по ГОСТу Р 7.0.100 – 2018).

Реферат должен быть выполнен печатным способом с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×279 мм) через полтора интервала и размером шрифта – 14 пунктов, Times New Roman. Страницы реферата должны иметь следующие поля: левое – 25 мм, правое – 10 мм, верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту и равен пяти знакам. Все страницы реферата, включая иллюстрации и приложения, нумеруются по порядку без пропусков и повторений. Первой страницей реферата считается титульный лист, на котором нумерация страниц не ставится, на следующей странице ставится цифра «2» и т.д. Порядковый номер страницы печатают на середине верхнего поля страницы. Общий объем реферата не должен превышать 30 стр. печатного текста. Текст реферата печатается в одном экземпляре.

При выборе темы вступительного реферата необходимо исходить, прежде всего, из ее актуальности, а также собственных научных интересов по выбранной для обучения в аспирантуре научной специальности.



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**

Группа научных специальностей: шифр, наименование

Научная специальность: шифр, наименование

**ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ РЕФЕРАТ
НА ТЕМУ:**

« _____ »

Абитуриент:

_____ (ФИО полностью)

_____ (подпись аспиранта)

Научный руководитель:

_____ (ученая степень, ученое звание, ФИО, должность)

_____ (подпись потенциального научного руководителя)