

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО КОНКУРСНОЙ ГРУППЕ «ИНБИКСТ ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ»  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ**

На вступительном испытании будут заданы вопросы по выпускной квалификационной работе, вопросы по общефизическим и математическим дисциплинам и вопросы по направленности, по которой поступающий намерен обучаться.

**I. Вопросы по выпускной квалификационной работе  
(магистратура или специалитет)**

1. Основные положения.
2. Новизна.
3. Актуальность.

**II. 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 определенных 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 разрешенные 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.

### III. Вопросы по направленности

#### Направленность: 01.04.01 Приборы и методы экспериментальной физики (физико-математические, технические науки)

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  $\delta$ -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 ЛHC.
18. Дискретные распределения. Непрерывные распределения. Функция плотности вероятности.
19. Биномиальное распределение. Распределение Пуассона. Свойства пуассоновского потока случайных событий.
20. Распределение Гаусса. Распределение  $\chi^2$ .
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. Болодзыня 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.

### **Направленность: 01.04.02 Теоретическая физика (физико-математические науки)**

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 ультрарелятивистского заряда. Угловое и спектральное распределение. Торможение излучением.
8. Замедление времени в гравитационном поле. Центральное-симметричное 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-Зоммер-фельда. 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.

**Направленность: 01.04.07 Физика конденсированного состояния  
(физико-математические, технические науки)**

1. Структурные единицы вещества
  - 1.1. Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества. Роль ядер, электронных оболочек, сил взаимодействия структурных единиц в формировании свойств конденсированных сред.
  - 1.2. Статистика структурных единиц, распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна, принцип Паули.
  - 1.3. Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Атом водорода.
2. Орбитали
  - 2.1. Геометрия волновых функций s, p, d, состояний. Атомные орбитали.
  - 2.2. Схема энергетических уровней в атоме, заполнение их электронами. 1-ое и 2-ое правила Хунда.
  - 2.3. Гибридные орбитали. Условия гибридизации. Построение гибридных орбиталей. Основные типы гибридных орбиталей,  $\sigma$ ,  $\pi$  связи.
  - 2.4. Многоцентровые и двухцентровые гибридные орбитали.
3. Симметрия и структура кристаллов
  - 3.1. 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.
  - 3.2. Ячейка Вигнера – Зейтца. Обратная решетка. Простейшие структуры металлов, полупроводников и диэлектриков.
  - 3.3. Теория и методы структурного анализа. Индексы Миллера. Условие дифракции Лауэ. Формула Брэгга-Вульфа.
4. Типы связей в кристаллах
  - 4.1. Силы ван дер Ваальса. Молекулярные кристаллы. Энергия связи. Ионное взаимодействие. Константа Маделунга.
  - 4.2. Ковалентные кристаллы. Металлическая связь.
  - 4.3. Водородная связь в кристаллах и жидкостях.
5. Фононы
  - 5.1. Характер колебаний атомов в решетке. Нулевые колебания. Фононы.
  - 5.2. 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.
  - 5.3. Групповая и фазовая скорости фононов.
  - 5.4. Статистика фононов. Вероятность возбуждения фонона, среднее число фононов, средняя энергия возбуждения.
  - 5.5. Спектральная плотность фононов в трехмерном, двумерном и одномерном случаях. Температура Дебая.
  - 5.6. Модели Дебая и Эйнштейна. Теплоемкость решетки в модели Дебая в трехмерном, двумерном и одномерном случаях.
6. Электроны
  - 6.1. Невзаимодействующие электроны в потенциальном ящике. Энергия и импульс

- Ферми. Модель ферми-жидкости.
- 6.2. Электрон в поле периодического потенциала кристаллической решетки. Эффективный потенциал. Волновая функция электрона.
  - 6.3. Одноэлектронное приближение, адиабатическое приближение. Теорема Блоха. Квазиимпульс электрона.
  - 6.4. Закон дисперсии электрона в решетке. Энергетические зоны.
  - 6.5. Зоны Бриллюэна. Заполнение зон электронами. Поверхности Ферми. Классификация поверхностей Ферми.
  - 6.6. Эффективная масса электронов. Различные способы введения понятия эффективной массы электронов в твердом теле.
  - 6.7. Феноменологическое описание электропроводности. Модель Друде. Электропроводность в модели фермиевских электронов. Формула Лифшица.
  - 6.8. Плотность электронных состояний в трехмерном, двумерном и одномерном случае.
  - 6.9. Электронная теплоемкость.
  - 6.10. Теплопроводность твердого тела и ее зависимость от температуры
7. VII Электроны в магнитном поле
    - 7.1. Квантование энергетического спектра свободных электронов в магнитном поле. Уровни Ландау. Проводник в магнитном поле.
    - 7.2. Распределение квантованных магнитным полем электронов в пространстве импульсов.
    - 7.3. Спектральная плотность квантованных магнитным полем электронов.
    - 7.4. Эффект Шубникова- де Гааза. Условия наблюдения. Связь частоты с энергией Ферми и сечением поверхности Ферми.
  8. VIII Магнитные свойства конденсированных сред
    - 8.1. Парамагнетизм немагнитных веществ. Закон Кюри.
    - 8.2. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм.
    - 8.3. Обменное взаимодействие. Магнитный фазовый переход. Спонтанная намагниченность.
  9. IX. Сверхпроводимость
    - 9.1. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейсснера. Глубина проникновения магнитного поля. Длина когерентности. Квантование магнитного потока.
    - 9.2. Сверхпроводник в магнитном поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Критические магнитные поля.
  10. X. Квантовые жидкости
    - 10.1. Жидкий гелий. Фононы и Ротоны в жидком гелии. Закон дисперсии элементарных возбуждений в жидком гелии.
    - 10.2. Сверхтекучесть. Критерий сверхтекучести Ландау.

### **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.

**Направленность: 01.04.10 Физика полупроводников  
(физико-математические, технические науки)**

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 АШВV, 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 гомеоплярных 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 (p-n) переходы. Распределение потенциала в области p-n перехода. Вольтамперная характеристика p-n перехода. Туннельный эффект в p-n переходах. Туннельные диоды. Контакт металл-полупроводник. Основы одноэлектроники.

### 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.

### Направленность: 01.04.16 Физика атомного ядра и элементарных частиц (физико-математические, технические науки)

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, СРТ-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-партоновая 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<sub>0</sub>-мезонов. Осцилляция странности. Интерференционные явления с нарушением CP-инвариантности в распадах K<sub>0</sub>-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 LHC.
  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.

### 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.

### 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

### **Направленность: 03.01.02 Биофизика**

#### **(физико-математические, технические науки)**

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

### **Направленность: 03.01.03 Молекулярная биология (физико-математические)**

1. Определение предмета «Молекулярная биология». Основные этапы развития. Наиболее принципиальные открытия.
2. Доказательства генетической роли нуклеиновых кислот.
3. Хронология открытий, подготовивших создание Уотсоном и Ериком 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.