

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО КОНКУРСНОЙ ГРУППЕ «ФЭФМ ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ»  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ**

Вступительное испытание проводится в форме собеседования.

Собеседование состоит из двух частей:

- 1) собеседование по содержанию будущей диссертационной работы, планируемой к выполнению абитуриентом – в соответствии с частью I настоящей Программы;
- 2) собеседование по общетеоретическим вопросам выбранной направленности обучения – в соответствии с частью II настоящей Программы.

**Часть I**

**Вопросы по планируемой диссертационной работе поступающего:**

1. Планируемая тема работы, информация о научном руководителе, ожидаемые результаты, научная новизна и практическая ценность (при наличии);
2. Основные результаты выпускной квалификационной работы в магистратуре или специалитете, характеризующие научный задел для кандидатской диссертации;
3. Информация об имеющихся научных публикациях и другой апробации результатов выпускной квалификационной работы в магистратуре или специалитете.

**Часть II**

**Общетеоретические вопросы:**

**Раздел «Приборы и методы экспериментальной физики»**

1. Методы измерения времени, погрешности измерений, эталоны. Учет эффектов общей теории относительности (зависимость хода часов от ускорения и гравитации)
2. Измерение частот в радиодиапазоне. Стандарты частоты.
3. Методы и погрешности измерений координат, углов, длин. Мировые стандарты и эталоны.
4. Методы измерения термодинамических величин
5. Радиоспектроскопия (эффект Зеемана, ядерный магнитный резонанс, томография).
6. Электромагнитные измерения (способы регистрации радиоизлучения, методы регистрации в оптическом диапазоне: фотодиоды, фотоумножители, черенковские детекторы).
7. Регистрация частиц и радиоактивных излучений (ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, пропорциональные счетчики, стриммерные и искровые камеры, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, пузырьковые камеры, черенковские счетчики, ядерные фотоэмульсии).
8. Шумы и помехи при измерении электрических, акустических и оптических величин
9. Дифференциальные, интерферометрические и другие методы измерений.
10. Нанотехнологии в измерительной технике
11. Дозиметрические измерения и дозиметрические единицы; коэффициенты, учитывающие влияние радиации на живые организмы, эквивалентная доза.
12. Системы единиц. Единая система единиц (СИ). Универсальные постоянные и естественные системы единиц. Производные единицы и стандарты.
13. Прямые, косвенные, статистические и динамические измерения. Оценки погрешностей косвенных измерений. Условные измерения. Проблема корреляций и уравнивание условных измерений. Принципиальные ограничения на точность измерений (физические пределы).
14. Методы измерений физических величин в исследуемой области физики.
15. Основные принципы построения приборов для измерений физических величин в заданной области физики
16. Фундаментальные шумы в измерительных устройствах.
17. Тепловой шум. Формула Найквиста. Теорема Каллена-Вельтона. Дробовой шум в электронных и оптических приборах. Шумы.

18. Квантовые эффекты в физических измерениях. Условия, когда классический подход становится неприменим.
19. Соотношения неопределенности. Роль обратного флуктуационного влияния прибора. Стандартные квантовые пределы. Квантовые невозмущающие измерения. Квантовые эталоны единиц физических величин (примеры). Эффект Джозефсона и сверхпроводящие квантовые интерферометры.
20. Случайные события. Понятие вероятности. Условные вероятности. Распределение вероятности. Плотность вероятности. Моменты.
21. Специальные распределения вероятностей и их использование в физике. Биномиальное распределение, распределение Пуассона (дробовой шум), экспоненциальное распределение. Нормальное распределение и центральная предельная теорема.
22. Многомерные распределения вероятностей. Корреляции случайных величин.
23. Случайные процессы. Эргодичность. Корреляционная функция случайного процесса. Стационарные случайные процессы. Спектральная плотность. Теорема Винера-Хинчина.
24. Оценка параметров случайных величин. Выборочные средние и дисперсии. Выборочные распределения. t-распределение Стьюдента,  $\chi^2$ -распределение.
25. Определение средних значений измеряемых параметров и их погрешностей в прямых и косвенных измерениях.
26. Техника оценки параметров при разных распределениях погрешностей измерений. Средние и вероятные значения переменных. Техника оценки параметров при асимметричных распределениях погрешностей. Суммирование результатов различных измерений. Робастные оценки. Параметрические и непараметрические оценки.
27. Аналитическая аппроксимация результатов и измерений. Интерполяция (линейная, квадратичная, кубическая и т.п.)
28. Фурье-анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вэйвлетный анализ.
29. Статистическая проверка гипотез. Критерии согласия и методы их использования. Критерий  $\chi^2$ , Смирнова-Колмогорова, Колмогорова.
30. Прямые и обратные задачи. Некорректные задачи. Обратные задачи при анализе результатов измерений и методы их решения.
31. Метод максимального правдоподобия и его применение.
32. Метод наименьших квадратов.
33. Аналитическое описание физических процессов.
34. Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств, методы оценки ожидаемых результатов и их погрешностей.
35. Метод статистических испытаний, методика его применения.
36. Использование моделей физических процессов.
37. Учет влияния прибора на результаты измерений. Моделирование с учетом особенностей используемых детекторов.
38. Создание комплексных установок. Общие требования. Обработка информации "в линию" (on-line).
39. Способы преобразования измерений для передачи на значительные расстояния.
40. Контроль процессов измерений в реальном времени
41. Способы вывода информации в реальном времени. Накопление экспериментальных данных, создание банков данных.

#### **Раздел «Физическая электроника»**

1. Законы движения заряженных частиц в статических электрических и магнитных полях. Показатель преломления в корпускулярной оптике. Оптический и механический подходы при решении задач корпускулярной оптики. Законы подобия. Параксиальные пучки. Основные свойства аксиально симметричных электростатических и магнитных полей. Теорема Буша и закон сохранения углового момента. Теорема Лагранжа-Гельмгольца и ее следствия
2. Основные типы электростатических линз. Тонкие линзы. Линза-диафрагма. Одиночная

линза, иммерсионный объектив и иммерсионная линза. Магнитные линзы. Расчет фокусных расстояний. Линза Глазера. Аберрации линз

3. Электронные микроскопы. Общие принципы работы. Конструкции электронных микроскопов. Особенности электрооптических систем. Корпускулярные микроскопы.
4. Динамика заряженной частицы в переменных во времени полях; движение частиц в полях электромагнитных волн, захват и ускорение, ускорение на биениях.
5. Термоэлектронная эмиссия (ТЭЭ). Работа выхода. Основное уравнение ТЭЭ. Термоэмиссионный метод прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Вакуумный диод с термокатодом и его вольт-амперная характеристика.
6. Эмиссия под воздействием частиц. Взаимодействие электронов подпороговых энергий с твердым телом. Упругие взаимодействия, сечения процессов. Спектры вторичных электронов. Оже-электроны. Электронно-стимулированная десорбция.
7. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Распыление. Механизмы распыления. Формула Зигмунда для коэффициента распыления. Вторичная ионная эмиссия. Коэффициент вторичной ионной эмиссии. Рассеяние ионов низких и средних энергий. Обратное резерфордское рассеяние. Ионно-электронная эмиссия. Потенциальная и кинетическая эмиссия. Ионно-фотонная эмиссия.
8. Фотоэлектронная эмиссия. Трехступенчатый механизм эмиссии.
9. Автоэлектронная, экзоэлектронная и взрывная эмиссия.
10. Формирование электронных пучков большой плотности. Пушка Пирса. Ограничение тока пространственным зарядом. Предельный ток нейтрализованных пучков - ток Пирса. Устойчивость пучков в дрейфовом пространстве, неустойчивости Пирса, диокотронная и токово-конвективная неустойчивости, слиппинг-неустойчивость.
11. Спонтанное и вынужденное излучение потоков заряженных частиц. Черенковское, циклотронное (синхротронное) и ондуляторное излучения. Нормальный и аномальный эффекты Допплера. Томсоновское рассеяние.
12. Источники СВЧ-излучения, основанные на вынужденном излучении потоков заряженных частиц: лампа бегущей волны (ЛБВ), магнетроны, гиратроны, убитроны, виркаторы, лазеры на свободных электронах.
13. Релятивистские эффекты, умножение частоты, параметрические усилители и генераторы.
14. Волны пространственного заряда. Пространственная и энергетическая группировки потоков частиц. Нелинейные механизмы насыщения излучения - захват частиц в волнах пространственного заряда, сдвиг резонансной частоты излучения. КПД СВЧ-источников излучения.
15. Физические основы электроники твердого тела. Особенности динамики электрона в идеальном твердом теле. Волновая функция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр, закон дисперсии. Энергетический спектр электрона в кристалле во внешних полях (электрическом и магнитном). Полуклассическая модель динамики электрона в кристалле, границы применимости. Дырки как способ описания ансамбля электронов, свойства и законы движения дырок
16. Энергетический спектр электрона в ограниченном кристалле. Условия локализации. Локализованные состояния Тамма. Поверхностные состояния Шокли. Особенности энергетического спектра электронов в тонких пленках (квантовый размерный эффект).
17. Типы точечных дефектов в кристаллах. Акцепторные и донорные примеси в полупроводниках. Водородоподобная модель примесного центра.
18. Неупорядоченные системы - аморфные полупроводники. Понятие идеального аморфного твердого тела (идеального стекла). Случайная структура и случайное поле. Энергетический спектр неупорядоченных систем (без случайного поля и со случайным полем). Дефекты в аморфных материалах.
19. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Обоснование применения статистики Ферми-Дирака к электронам в твердом теле (идеальном). Статистика примесных состояний. Невырожденные и вырожденные полупроводники. Уровень

- электрохимического потенциала и концентрация свободных и связанных носителей в вырожденных полупроводниках: в собственном, с одним типом примеси, в частично компенсированном. Явление компенсации.
20. Явления переноса заряда в твердом теле. Интеграл столкновений. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Электропроводность в сильных электрических полях. Эффект Ганна. Классический и квантовый размерный эффекты в электропроводности.
  21. Электропроводность в неупорядоченных системах. Прыжковая проводимость по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми (закон Мотта) и хвостах плотности состояний вблизи краев щели подвижности.
  22. Неравновесные носители заряда в полупроводниках и диэлектриках. Генерация и рекомбинация. Механизмы рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей, соотношение Эйнштейна. Плотность тока и градиент уровня Ферми. Уравнение непрерывности, анализ частных случаев локального возбуждения и инъекции.
  23. Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт твердое тело - вакуум. Контакт металл - полупроводник. Диоды Шоттки. Диодная и диффузионная теории выпрямления. Электронно-дырочный переход. Количественная теория инъекции и экстракции неосновных носителей.
  24. Выпрямление и усиление с помощью р-п переходов. Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) р-п перехода. Туннельный эффект в р-п переходах. Основные представления о полупроводниковых гетеропереходах, их применение.
  25. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и испускание света полупроводниками. Механизмы поглощения. Поглощение и отражение электромагнитных волн свободными носителями заряда. Поглощение и излучение при оптических переходах зона-зона. Прямые и не прямые переходы. Разрешенные и запрещенные переходы. Спектральные характеристики поглощения кристаллами.
  26. Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры. Оптические свойства аморфных полупроводников. Фотоэффект в р-п переходах. Солнечные батареи. Преобразование электрических сигналов в световые.
  27. Нанoeлектроника. Квантовые ямы и сверхрешетки. Квантовые нити и квантовые точки. Электронные состояния в наноструктурах. Транспортные явления в низкоразмерных системах. Оптические свойства наноструктур. Одноэлектронные явления в нанoeлектронных устройствах. Нанотехнология. Приборы нанoeлектроники.
  28. Энергетическая диаграмма реальной поверхности. Поверхностные состояния. Эффект поля и поверхностная проводимость. Влияние адсорбированных частиц на поверхностную проводимость. Полевые транзисторы.
  29. Проблема микроминиатюризации элементов микроэлектроники. Полупроводниковые, пленочные и гибридные интегральные схемы. Фотолитография, рентгеновская и электронная литографии.
  30. Магнетоэлектроника. Цилиндрические магнитные домены. Магнитные запоминающие устройства: на ферритах и на тонких пленках.
  31. Акустоэлектроника: взаимодействие электронов с длинно-волновыми акустическими колебаниями решетки, акустоэлектрический эффект, усиление ультразвуковых волн. Акустоэлектрические явления на поверхностных волнах и их практические применения - малогабаритные линии задержки, усилители и генераторы электрических колебаний.
  32. Молекулярная электроника. Основные принципы молекулярной электроники. Электронные возбуждения, используемые для передачи и хранения информации в молекулярных системах. Перспективы одномерных и квазиодномерных систем, структурная неустойчивость одномерных проводников, переходы Пайерлса и Мотта-Хаббарда. Электронные возбуждения в одномерных системах, солитонная

- проводимость. Фотопроводимость, нелинейные оптические свойства. Молекулярные полупроводники - полиацетилен и полидиацетилен: структура, свойства, легирование. Приборы молекулярной электроники.
33. Криоэлектроника. Электронные свойства твердых тел (металлы, диэлектрики, полупроводники) при низких температурах. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Особенности туннелирования в условиях сверхпроводимости.
  34. Высокотемпературная сверхпроводимость. Свойства и параметры сверхпроводников с высокой  $T_c$ . Макроскопические квантовые эффекты сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Эффект Джозефсона. Типы джозефсоновских переходов. Аналоговые устройства на эффектах Джозефсона. Стандарты напряжения, сквиды, приемные СВЧ-устройства.
  35. Цифровые ячейки логики и памяти. Проблемы создания больших интегральных схем (БИС). Особенности электронных устройств на высокотемпературных сверхпроводниках.

### **Раздел «Физика конденсированного состояния»**

1. Структура твердого тела, как одного из конденсированных состояний. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решетки Браве. Точечные и пространственные группы. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брэгга. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
2. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комплексы атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргера. Энергия дислокации. Переползание и скольжение. Размножение дислокаций. Источник Франка-Рида. Влияние радиационных, механических, термических воздействий на реальную структуру твердых тел.
3. Типы химических связей. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнейшие упаковки.
4. Аморфные твердые тела, металлические стекла, полупроводники, магнетики и их свойства.
5. Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.
6. Колебания решетки-фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки. Дебаевская частота. Фактор Дебая-Валлера в рассеянии рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.
7. Электронные состояния в кристаллах. Одноэлектронная модель. Приближения сильной и слабой связей. Зонная теория и физические свойства твердых тел. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость, поверхность Ферми. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение ферми-уровня в невырожденных полупроводниках.
8. Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Времена релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононные столкновения. Нормальные процессы, процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.
9. Металлы с большой длиной пробега электронов. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс и размерные эффекты. Проникновение электромагнитного поля в металл. Геликоны. Квантование орбит в магнитном поле. Эффект де Гааза-ван Альфена.
10. Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости.  $p$   $n$  переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители. Эффект

Ганна.

11. Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.
12. Механизмы поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофононные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора. Межзонные прямые и косые переходы. Экситоны. Люминесценция. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безизлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.
13. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Энергия анизотропии. Доменная стенка. Антиферромагнетики. Ферриты. Спиноориентированные явления. Внутренние магнитные поля, их составляющие и влияние на состояние ядерных уровней.
14. Эффективное поле. Электрострикция и пьезоэлектричество. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис.
15. Аномалии физических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов. Молекулярные кристаллы.
16. Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода. Флуктуации. Твердые растворы и промежуточные фазы.
17. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия. Диффузионные и бездиффузионные превращения. Кинетика фазовых превращений.
18. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейсснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры.
19. Основы микроскопической и термодинамической теорий. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводнике. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона.
20. Высокотемпературные сверхпроводники, их структура, химический состав. Роль кислорода в ВТСП.
21. Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структур. Электронография и электронная микроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров. Эффект Мессбауэра, ЭПР, ЯМР.
22. Электрические и гальваномагнитные измерения, как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.
23. Оптические методы исследования. Возможности, связанные с использованием лазерных источников света.
24. Условия облучения материалов в современных ядерно-энергетических установках. Упругие и неупругие столкновения бомбардирующих частиц с атомами вещества. Процессы ионизации в кристаллах. Первично выбитые атомы, их спектры. Каналирование.
25. Образование дефектов под облучением. Образование пар Френкеля в облучаемых кристаллах. Каскады атом атомных соударений. Отжиг радиационных дефектов.
26. Изменение структуры и свойств металлов под облучением, Диффузионные процессы под облучением: радиационно-ускоренные и радиационно-индуцированные фазово-структурные превращения в облучаемых сплавах. Радиационное набухание и ползучесть.
27. Ионная имплантация в металлы.
28. Методы исследования приповерхностных слоев твердого тела. Дифракция медленных электронов, электронная Оже-спектроскопия, фотоэлектронная спектроскопия, масс-спектроскопия вторичных ионов.
29. Электронная просвечивающая и растровая микроскопия дефектов в металлах.
30. Применение методов ЭПР и ЯМР в радиационной физике твердого тела.
31. Влияние несовершенств структуры твердых тел на параметры Мессбауэровских спектров.

## Раздел «Физика плазмы»

1. Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Условие термодинамического равновесия, термическая ионизация, формула Саха, корональное равновесие, снижение потенциала ионизации. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми-Дирака, модель Томаса-Ферми.
2. Столкновения заряженных частиц, дальное действие, частоты столкновений, столкновения электронов с атомами (упругие и неупругие), столкновения тяжелых частиц. Ионизация, рекомбинация, перезарядка и прилипание. Возбуждение и диссоциация молекул электронным ударом.
3. Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений, время максвеллизации и скорость выравнивания температур различных компонент плазмы. Скорость ионообразования и рекомбинации электронов и ионов, образование и разрушение возбужденных атомов (ионов). Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля. Кинетика возбужденных молекул в плазме.
4. Движение в скрещенных электрическом и магнитном полях. Дрейфовое приближение, разновидности дрейфового движения. Заряженная частица в высокочастотном поле. Понятие адиабатического инварианта.
5. Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, замороженность магнитного поля. Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение.
6. Равновесные конфигурации плазмы в магнитной гидродинамике, пинч. Неустойчивость плазмы, виды неустойчивости, перегревная и ионизационная неустойчивости. Энергетический принцип МГД-устойчивости.
7. Основные типы колебаний и волн в плазме: ленгмюровские электронные и ионные, электромагнитные, ионнозвуковые, магнито-звуковые, альфвеновские. Показатель преломления плазмы, пространственная и временная дисперсия, фазовая и групповая скорости плазменных волн.
8. Возбуждение и затухание волн в плазме, черенковское излучение, затухание Ландау. Раскачка плазменных колебаний пучками. Квазилинейное приближение.
9. Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме, геометрическая оптика, плазменный резонанс, циклотронный резонанс, линейная трансформация. Основные нелинейные процессы взаимодействия волн, неустойчивость плазмы в сильном электромагнитном поле. Рассеяние и трансформация волн.
10. Элементарные радиационные процессы, интенсивность спектральных линий, сплошные спектры, вынужденное испускание. Пробеги излучения, перенос излучения в среде, оптически прозрачная и непрозрачная плазма, лучистая теплопроводность.
11. Зондовые методы, оптические методы, СВЧ-методы, корпускулярные методы, лазерное рассеяние, магнитные измерения.
12. Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда, излучающий разряд в плотной плазме, плазменно-пучковый разряд.
13. Ударные волны в плазме, скачок уплотнения, релаксационный слой, излучение ударных волн, нелинейные волны теплопроводности. Токовые слои.
14. Управляемый термоядерный синтез, магнитное удержание и нагрев плазмы в магнитных ловушках и инерциальных системах.
15. Геофизические и астрофизические плазменные явления - ионосфера Земли, межпланетная плазма, звезды.
16. Плазменные источники излучения, плазменная СВЧ-электроника.
17. Преобразование тепловой энергии в электрическую: МГД-преобразователи, тепловые преобразователи.
18. Химические реакции в равновесной и неравновесной плазме. Механизмы и кинетика осуществления плазмохимических реакций, роль заряженных и возбужденных частиц. Энергетика химических реакций в электрических разрядах. Закалка продуктов плазмохимических процессов. Методы диагностики химически активной плазмы.

19. Взаимодействие плазмы с поверхностью твердых тел. Плазменные технологии (травление, имплантация, упрочнение, нанесение покрытий и пр.)

### **Раздел «Физика полупроводников»**

1. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-Ваальсова, ионная и ковалентная связь.
2. Структуры важнейших полупроводников – элементов AIV, AVI и соединений типов AIII BV, AII BVI, AIV BVI.
3. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
4. Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.
5. Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.
6. Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы).
7. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлоорганическая эпитаксия.
8. Методы легирования полупроводников.
9. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.
10. Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.
11. Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.
12. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.
13. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.
14. Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний.
15. Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок и собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многозарядные примесные центры.
16. Кинетические коэффициенты – проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна.
17. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях. Горячие электроны. Отрицательная дифференциальная проводимость. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.
18. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость.
19. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация.
20. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда.



- Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.
21. Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольтамперная характеристика барьера Шоттки.
  22. Энергетическая диаграмма p-n перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в p-n переходе.
  23. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Варизонные полупроводники.
  24. Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация.
  25. Эффект поля. Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.
  26. Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса-Кронига.
  27. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение.
  28. Поглощение света на свободных носителях заряда.
  29. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана – Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна – Манделъштама).
  30. Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.
  31. Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Поккельса.
  32. Эффект Бурштейна-Мосса.
  33. Эффекты Фарадея и Фойгта.
  34. Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость.
  35. Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость.
  36. Фоторазогрев носителей заряда. Фотоэлектромагнитный эффект.
  37. Аморфные и стеклообразные полупроводники. Структура атомной матрицы некристаллических полупроводников. Идеальное стекло. Гидрированные аморфные полупроводники.
  38. Особенности электронного энергетического спектра неупорядоченных полупроводников. Плотность состояний. Локализация электронных состояний. Щель подвижности.
  39. Легирование некристаллических полупроводников.
  40. Механизмы переноса носителей заряда. Прыжковая проводимость. Закон Мотта.
  41. Спектры оптического поглощения некристаллических материалов. Правило Урбаха.
  42. Нестационарные процессы. Определение дрейфовой подвижности по измерениям времени пролета. Дисперсионный перенос.
  43. Влияние внешних воздействий на свойства некристаллических полупроводников. Метастабильные состояния.
  44. Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.
  45. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка.

46. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.
47. Вольтамперная характеристика p-n перехода. Приборы с использованием p-n переходов.
48. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор.
49. Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник.
50. Шумы в полупроводниковых приборах.
51. Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования.
52. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры.
53. Использование наноструктур в полупроводниковых приборах. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (НЕМТ). Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками. Резонансное туннелирование в двухбарьерной гетероструктуре и резонансно-туннельный диод. Оптический модулятор на основе квантово-размерного эффекта Штарка.

### **Раздел «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний 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 водорода и молекула водорода. Молекулярные орбитали гомоядерных двухатомных молекул. Гетероядерные двухатомные молекулы. 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. Природа сил взаимодействия в кристаллах. Колебания и волны в одномерной решетке. Колебания атомов трехмерной кристаллической решетки. Нормальные колебания. Электрон в периодическом поле. Приближение слабо и сильно связанных электронов. Зоны Бриллюэна. Структура энергетических зон. Локализованные состояния электронов в кристалле.
5. Химическая радиоспектроскопия. Условия возникновения ЯМР и ЭПР. Времена релаксации и форма резонансной линии. Гамильтониан магнитных взаимодействий. Химический сдвиг и спин-спиновое взаимодействие в ЯМР. Сверхтонкая структура спектров ЭПР. Интерпретация тензоров сверхтонкого взаимодействия и g-тензора. Возможности методов магнитного резонанса для исследования скоростей молекулярных и химических процессов.
6. Электронная структура молекул. Возбужденные состояния. Поглощение и испускание света. Спектры поглощения и люминесценции. Флуоресценция и фосфоресценция. Теория и методы расчёта электронно-колебательных спектров многоатомных молекул. Приближения Франка-Кондона и Герцберга-Теллера. Потенциальные поверхности электронно-возбужденных состояний. Переходы между состояниями. Матричные элементы переходов. Релаксация. Взаимодействия в возбужденных состояниях, комплексы с переносом заряда, эксимеры и эксиплексы

7. Безызлучательные электронные переходы. Неадиабатическое взаимодействие. Перенос заряда. Перенос энергии электронного возбуждения. Индуктивно-резонансный механизм. Теория Ферстера-Декстера. Миграция возбуждения по донорам.
8. Законы фотохимии. Классификация фотохимических реакций. Фотодиссоциация. Фотоприсоединение. Фотозамещение и фотоперегруппировка. Фотохимические окислительно-восстановительные реакции. Фотохимическая кинетика.
9. Основные принципы конструирования избирательных супрамолекулярных систем. Фотоуправляемое комплексообразование. Фотоинициированные структурные и фазовые превращения. Кинетика тушения флуоресценции в микроэмульсиях. Методы оптической (в том числе нелинейной) спектроскопии: адсорбционные, флуоресцентные, поляризационные, комбинационного рассеяния. Место фотохимии в области развития современных технологий и средств техники.
10. 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.
11. 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 3-х атомов. Метод переходного состояния. Неадиабатические процессы.
12. Мономолекулярные реакции. Механизм активации молекул. Сильные столкновения и ступенчатое возбуждение. Статистическая модель мономолекулярных реакций.
13. 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
14. 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)
15. Взаимодействие электронов с атомами и молекулами. Возбуждение атомов и молекул электронным ударом. Ионизация атомов и молекул электронным ударом. Фотоионизация. Рекомбинация электронов и атомов
16. 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.
17. Метод квазистационарных концентраций. Лимитирующая стадия сложного химического процесса. Кинетика химических реакций в открытых системах. Стационарные режимы.
18. Химические реакции в жидкой фазе. Роль среды в элементарном акте химической реакции. Влияние диффузии на скорость реакции. Клеточный эффект. Влияние диэлектрической постоянной и ионной силы на скорости химических реакций в растворах. Солевой эффект. Влияние давления на скорость реакции. Объем активации. Соотношения структура – реакционная способность. Уравнения Гаммета и Тафта. Влияние магнитного поля на скорость химической реакции.
19. Индуцированные и гомогенно-каталитические реакции. Сопряженные реакции. Фотохимические и радиационно-химические реакции. Механизм гомогенного катализа. Кинетика гомогенно-каталитических реакций. Кислотно-основной катализ. Зависимость скорости химической реакции от функции кислотности Гаммета. Ферментативный катализ. Уравнение Михаэлиса – Ментен. Катализ комплексами и ионами металлов переменной валентности. Автокатализ.
20. Гетерогенный катализ. Равновесие и кинетика адсорбции на однородных и

неоднородных поверхностях. Изотерма адсорбции Лэнгмюра. Хемосорбция. Моно- и полимолекулярные слои адсорбатов на поверхности. Ингибирование и конкуренция реакций на поверхности. Механизмы гетерогенного катализа. Уравнения Лэнгмюра – Хиншельвуда и Ридила.

21. Проблема порядка и беспорядка в структуре материи. Динамика и информация. Проблема необратимости. Динамический хаос. Диссипативные динамические системы.
22. Параметр порядка в критических явлениях и фазовых переходах. Теория фазовых переходов I-го и II-го рода. Теория Ландау. Флуктуационная теория фазовых переходов. Гипотеза подобия. Скейлинговая теория критических показателей.
23. Неравновесные фазовые переходы. Вынужденный порядок в открытых физических системах. Принцип Пригожина-Гленсдорфа. Самоорганизация. Пространственные и временные диссипативные структуры. Генерация когерентного излучения в лазере как пример неравновесного фазового перехода.
24. Пространственно-временные диссипативные структуры в химии. Реакция Белоусова-Жаботинского
25. Теория процессов горения. Уравнения теплопроводности и диффузии в химически реагирующей среде. Теория и критерий теплового взрыва. Цепной взрыв. Пределы цепного взрыва. Воспламенение и зажигание. Зажигание накаливаемой стенкой. Зажигание искрой. Очаговое воспламенение и минимальная энергия зажигания.
26. Теория и закономерности 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. Горение перемешанных газов.
27. Горение твердых и жидких веществ в окислительной атмосфере. Зажигание и горение частиц и капель горючего в окислительной среде. Горение летучих и нелетучих взрывчатых веществ, порохов, смесей горючего с окислителем. Физика нестационарного горения.
28. Горение жидких взрывчатых веществ. Горение пористых зарядов взрывчатых веществ и порохов. Фильтрационное горение. Условия перехода послойного горения на конвективный режим и во взрыв.
29. Ударные волны и детонация. Система уравнений газовой динамики для одномерных движений в координатах Лагранжа и Эйлера. Характеристики, инварианты Римана. Понятие простой волны. 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. Взаимодействие волн — распады разрывов, затухание ударных волн.
30. Современная теория детонации. Правило отбора скорости стационарной детонации. Структура детонационной волны. Устойчивость детонационных волн. Пределы детонации. Пределы возбуждения детонации. Принцип Харитона. Особенности механизма энерговыделения в гомогенных и гетерогенных конденсированных веществах. Методы измерения основных параметров детонации. Современные методы решения задач физики горения и взрыва.

#### **Раздел «Лазерная физика»**

1. Уравнения Максвелла. Потенциальные и вихревые поля. Теорема Умова-Пойнтинга. Поляризация электромагнитных волн; параметры Стокса.
2. Уровни энергии атомов, молекул, кристаллов. Поглощение и испускание электромагнитного излучения. Вероятности спонтанных и индуцированных переходов.
3. Принцип действия лазеров. Методы создания инверсии населенностей. Релаксационные процессы. Ширина линии перехода. Коэффициент усиления. Эффект насыщения.
4. Оптические резонаторы. Спектр мод резонатора. Добротность резонатора.

- Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Методы модуляции добротности резонатора лазера. Методы активной и пассивной синхронизации мод излучения в лазере.
5. Основные типы лазеров. Динамика лазерной генерации. Классификация режимов лазерной генерации. Порог генерации. Мультистабильность и динамический хаос в лазерах
  6. Флуктуации лазерного излучения. Естественная ширина линии и естественная расходимость лазерного излучения. Предельная пространственная когерентность лазерных пучков.
  7. Стабилизация частоты генерации (активная и пассивная). Стабилизация интенсивности Перестройка частоты лазерной генерации. Методы измерения длительности лазерных импульсов.
  8. Отклик вещества на действие электромагнитного поля. Вектора поляризации и намагниченности среды. Разложение поляризации в ряд по степеням поля. Временная (частотная) и пространственная дисперсия. Тензоры линейной и нелинейной восприимчивостей вещества. Влияние симметрии среды на нелинейный отклик. Механизмы поверхностного нелинейного отклика.
  9. Резонансные процессы. Двухуровневый атом. Уравнения Блоха. Когерентные нестационарные процессы: оптическая нутация, затухание свободной поляризации, солитоны самоиндуцированной прозрачности, фотонное эхо, сверхизлучение Дике. Светоиндуцированный дрейф в газах.
  10. Многофотонные резонансные процессы. Обобщенная двухуровневая система. Многофотонное поглощение. Вынужденное комбинационное рассеяние. Генерация гармоник. Смещение частот. Параметрическое рассеяние.
  11. Взаимодействие электромагнитного излучения с кристаллами. Зонная структура энергетических уровней. Энергия Ферми. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Возбуждения в кристаллах: фононы, поляритоны, экситоны. Основные нелинейные кристаллы.
  12. Спектроскопия насыщения неоднородно уширенных переходов. Двухфотонная спектроскопия, свободная от доплеровского уширения. Спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света. Спектроскопия многоволнового смещения.
  13. Волновая оптика световых пучков и импульсов: уравнения Максвелла, волновое уравнение, уравнения квазиоптики, уравнения для медленно меняющихся амплитуд. Гауссовы пучки, их преобразование оптическими системами. Дифракционное
  14. Расплывание, длина дифракции. Волны в световодах. Дифракция случайных волновых полей, теорема Ван Циттерта-Цернике.
  15. Материальная дисперсия сплошной среды. Распространение импульсов в диспергирующих средах: групповая скорость, дисперсионное расплывание, эффекты дисперсии высших порядков. Спектрально ограниченный импульс.
  16. Волны в пространственно- периодических средах. Запрещенная зона. Фотонные кристаллы и их дисперсионные свойства.
  17. Фурье-оптика волновых пучков и импульсов; пространственная фильтрация. Основы адаптивной оптики: управление фазой световых колебаний в пространстве и во времени, формирование пучков и импульсов с заданной структурой.
  18. Волны в слабонелинейных и диспергирующих средах: методы описания и классификация нелинейных эффектов.
  19. Самовоздействие световых пучков. Природа кубической нелинейности. Самофокусировка в средах с керровской нелинейностью, критическая мощность, длина самофокусировки. Мелкомасштабная самофокусировка. Филаментация. Пространственные оптические солитоны.
  20. Самовоздействие световых импульсов в средах с кубической нелинейностью: самомодуляция, солитоны, компрессия и расплывание. Самовоздействие случайно-модулированных импульсов. Формирование сверхкоротких импульсов методами фазовой самомодуляции и компрессии.

21. Генерация оптических гармоник. Фазовый синхронизм и его реализация, групповой синхронизм. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Параметрическое усиление и генерация. Генерация суммарных и разностных частот. Вынужденное комбинационное рассеяние. Рамановские усилители и генераторы. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Обращение волнового фронта.
22. Оптические бистабильные и мультистабильные системы. Оптические логические элементы. Продольная неустойчивость в нелинейных резонаторах: от периодических колебаний через удвоение периода к оптическому хаосу. Поперечные пространственные эффекты в нелинейных резонаторах, образование и эволюция пространственных структур. Оптическое моделирование нейронных сетей.
23. Одно- и многофотонная ионизация атомов и молекул. Туннельная и надбарьерная ионизация атомов и ионов. Пондеромоторное ускорение фотоэлектронов. Уширение спектра. Генерация высоких оптических гармоник и суперконтинуума. Генерация каскада комбинационных частот.
24. Лазерный пробой газов. Лазерная искра. Лазерная плазма. Лазерный термоядерный синтез. Энергетические спектры электронов, ионов и рентгеновского излучения лазерной плазмы. Ядерные реакции в лазерной плазме.
25. Многофотонная диссоциация молекул в лазерном поле. Столкновительный и бесстолкновительный режимы многофотонной диссоциации. Лазерное разделение изотопов. Оптическое стимулирование химических реакций.
26. Лазерное управление движением частиц. Оптическое охлаждение и захват атомов и ионов. Атомные часы. Управление атомными пучками с помощью лазеров. Лазерные методы ускорения частиц.
27. Поглощение и релаксация энергии лазерного излучения в полупроводниках и металлах. Электрон- электронная, электрон- фононная и фонон- фононная релаксация. Времена релаксации. Нормальный и аномальный скин эффект.
28. Лазерный нагрев вещества. Лазерное плавление и испарение поверхности. Лазерный отжиг и легирование полупроводников. Лазерная закалка металлов. Процессы абсорбции и десорбции в поле лазерного излучения. Лазерная фотохимия, типы фотохимических реакций. Фотоакустические явления. Механизмы лазерного возбуждения звука. Фотоакустическая спектроскопия и микроскопия.
29. Лазерная фотобиология. Фотобиологические реакции: энергетические (фотосинтез), информационные (зрение), биосинтетические, деструктивно- модифицирующие (фотосенсибилизация, фотоионизация) и лазерные методы излучения. Лазерная микро- и макродиагностика биомолекул, клеток и биотканей. Лазерная оптико- акустическая томография.
30. Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля.
31. Пространственная и временная когерентность. Корреляционные функции первого и второго порядка. Когерентность высших порядков. Фоковское, когерентное и сжатое состояния поля. Пуассоновская, субпуассоновская и суперпуассоновская статистика фотонов. Группировка и антигруппировка фотонов. Счет фотонов. Дробовой шум. Связь статистики фотонов и фотоотсчетов, формула Манделя.
32. Перепутанные состояния света. Оптическая реализация кубитов и их преобразования. Состояния Белла. Парадокс Эйнштейна- Подольского- Розена. Неравенства Белла. Квантовая криптография. Квантовая телепортация.

## Литература

### К разделу «Приборы и методы экспериментальной физики»

1. Большев Л.Н. и Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., 1983
2. Кендал М. и Стюарт А. Статистические выводы и связи, пер. с англ., М., Мир, 1976.

3. Боровков А.А. Математическая статистика, М., 1984.
4. Бароне А., Патерио Д. Эффект Джозефсона: физика и применения. Пер. с англ., М., 1984.
5. Физическая энциклопедия. т. 1-5. Изд. «Советская энциклопедия», М., 1988-1998.
6. В.Б. Брагинский, «Физические эксперименты с пробными телами», М., -Наука, 1970.
7. Ю.И. Воронцов, «Теория и методы макроскопических измерений», М., - Наука, 1989.

#### **К разделу «Физическая электроника»**

1. Кельман В.М., Явор С.Я. Электронная оптика, Наука, Л., 1968, 486 с.
2. Голдстейн Дж. И др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ, кн. 1 и 2, Мир, 1984.
3. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии, М., Мир, 1985, 494 с.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники, Л., Энергоатомиздат, 1985.
5. Добрецов Л.Н., Гомаюнова М.В. Эмиссионная электроника, М., Наука, 1966.
6. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц, М., Мир, 1984, 432 с.
7. Рухадзе А.А. и др. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков, М., Атомиздат, 1980.
8. Маршалл Т. Лазеры на свободных электронах, М., Мир, 1987, 238 с.
9. Кузелев М.В., Рухадзе А.А. Вынужденное излучение сильноточных релятивистских электронных пучков. УФН, 1987, т.152, вып.2, 285-316 с.
10. Епифанов Е.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника, М., Высшая школа, 1986, 303 с.
11. Гусева М.Б., Дубинина Е.М. Физические основы твердотельной электроники, М., МГУ, 1986, 311 с.
12. Аморфные полупроводники. Под ред. М. Бродски, М., Мир, 1982.
13. Чопра К.Л. Электрические явления в тонких пленках, М., Мир, 1972, 435 с.
14. Палатник Л.С., Папиоров И.И. Эпитаксиальные пленки, М., Наука, 1971, 480 с.
15. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах, М., Мир, 1973.
16. Методы анализа поверхности. Под ред. Зандерны А., М., Мир, 1979, гл.3,4,5.
17. Афанасьев В.П., Явор С.Я. Электростатические энергоанализаторы для пучков заряженных частиц, Наука, 1978.
18. Электронная и ионная спектроскопия твердого тела. Под. Ред. Фирменса Л., М., Мир, 1981.
19. Анализ поверхности методами Оже и РФЭС. Под ред. Бригса А. И Сиха М.В., м., Мир, 1987.
20. Бинниг Г., Рорер Г. Сканирующая туннельная микроскопия – от рождения к юности, УФН. 1988, т.154, вып.
21. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Физические основы конструирования и технологии РЭА и ВЭА, М., Советское радио, 1979, 352 с.
22. Ван Дузер Т., Тренер Ч.У. Физические основы сверхпроводящих устройств и цепей, М., Радио и связь, 1984.
23. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость позавчера, вчера, сегодня, завтра. Успехи физических наук, т. 170, с. 619-630 (2000).
24. Максомов Е.Г. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Современное состояние. Успехи физических наук, т. 170, с. 1033-1061 (2000).
25. Шмидт. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ. МНО. Москва, 2000.

#### **К разделу «Физика конденсированного состояния»**

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, тт. I и II. М., Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М., Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М: Мир, 1974.

5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М., Наука, 1971
7. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979 г.
8. В.В.Шмидт «Введение в физику сверхпроводимости». МЦ НМО, Москва, 2000.

#### **К разделу «Физика плазмы»**

1. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М., Атомиздат, 1968.
2. Кролл Н., Трайвелпис А. Основы физики плазмы. М., Мир, 1975.
3. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М., Атомиздат, 1979.
4. Основы физики плазмы, тт.1,2 и дополнение к 2 т., под ред. Сагдеева Р.З., Розенблюта М.Н. М., Энергоатомиздат, 1984-1985.
5. Энциклопедия низкотемпературной плазмы, вводный том, чч.I-IV, под ред. Фортова В.Е. М., Наука, 2000.
6. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. “Основы электродинамики плазмы”. М., Высшая школа, 1988.
7. Трубников Б.А. “Теория плазмы. Учебное пособие для вузов”. М., Энергоатомиздат, 1996.
8. Лукьянов С.Ю., Ковальский Н.Г. “Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез. Учебник для вузов”. М., МФТИ, 1999.
9. Кадомцев Б.Б. “Коллективные явления в плазме”. М., Наука, 1988.
10. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. “Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений”. М., Наука, 1966.
11. Райзер Ю.П. “Физика газового разряда”. М., Наука, 1987.
12. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. “Термодинамика, статистическая физика и кинетика”. Новосибирск, изд. НГУ, 2000.
13. Силин В.П. “Введение в кинетическую теорию газов”. М., Наука, 1998.
14. “Методы исследования плазмы”, под ред. Лохте-Хольгрёвена В. М. Мир, 1971.
15. “Диагностика плазмы”, под ред. Хаддлстоуна Р. и Леонарда С. М., Мир, 1967.
16. Смирнов Б.М. “Физика атома и иона”. М., Энергоатомиздат, 1986.
17. Смирнов Б.М. “Физика слабоионизированного газа”. М., Наука, 1972.
18. Михайловский А.Б. “Теория плазменных неустойчивостей”. М., Атомиздат, т.1, 1975 и т. 2, 1977.
19. Русанов В.Д., Фридман А.А. “Физика химически активной плазмы”. М., Наука, 1984.
20. Иванов А.А., Соболева Т.К. “Неравновесная плазмохимия”. М., Атомиздат, 1978.
21. Животов В.К., Русанов В.Д., Фридман А.А. “Диагностика неравновесной химически активной плазмы”. М., Энергоатомиздат, 1985.
22. Веденов А.А. “Задачник по физике плазмы”. М., Атомиздат, 1981.
23. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. “Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы”. М., Наука, 1982.
24. Генин Л.Г., Свиридов В.Г. “Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах”. М., изд. МЭИ, 2001.
25. Фортов В.Е., Якубов И.Т. “Физика неидеальной плазмы”. Изд. ОИХФ, 1984.

#### **К разделу «Физика полупроводников»**

1. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. «Физика полупроводников». М.: Наука, 1979
2. Дж.Займан «Принципы теории твердого тела». М: Мир, 1974.
3. П.С.Киреев «Физика полупроводников». М.: Высшая школа, 1975.
4. К.В.Шалимова «Физика полупроводников». М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. С.Зи «Физика полупроводниковых приборов». М.: Мир, 1984.
6. Н.Мотт, Э.Дэвис «Электронные процессы в некристаллических веществах» М.: Мир, 1974.
7. Ю.И.Уханов «Оптические свойства полупроводников» М.: Наука, 1977



**К разделу «Химическая физика, горение и взрыв,  
физика экстремальных состояний вещества»**

1. Дж. Маррелл, С. Кетти, Дж. Теддер. Теория валентности. М.: Мир, 1968
2. Г. Герцберг. Спектры и строение простых свободных радикалов. М-Л., Физматем., 1962.
3. Ф.А.Баум, Л.П.Орленко, К.П.Станюкович, В.П.Челышев, Б.И.Шехтер. Физика взрыва. М., Наука, 1975.
4. Н.М. Эмануэль, Д.Г. Кнорре. Курс химической кинетики. М, Высшая школа, 1974.
5. Д.А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М., Наука, 1987.
6. Е.Т. Денисов, О.М. Саркисов, Г.И. Лихтенштейн. Химическая кинетика. М.: Химия, 2000
7. А.Л. Бучаченко, Р. З. Сагдеев, К. М. Салихов. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск, Наука, 1978. Г.Б. Манелис, Г.М. Назин, Ю.И. Рубцов, В.А. Струнин. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ и порохов. М.: Наука, 1996.
8. Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. Математическая теория горения и взрыва. М., Наука, 1980.
9. А.Ф. Беляев, В.К. Боболев и др. Переход горения конденсированных систем и взрыв. М., Наука, 1973.
10. Н.Н. Бахман, А.Ф. Беляев. Горение гетерогенных конденсированных систем. М., Наука, 1967.
11. Б.Н. Новожилов. Нестационарное горение твердых ракетных топлив. М., Наука, 1973.
12. Я.Б. Зельдович, Ю.П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., Наука, 1966.
13. Г.И.Канель, С.В.Разоренов, А.В.Уткин, В.Е.Фортов. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. М., Янус-К, 1996.

**К разделу «Лазерная физика»**

1. Н.В.Карлов. Лекции по квантовой электронике. М., 1988
2. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М., 1989
3. О.Звелто. Принципы лазеров. М., 1989
4. Я.И.Ханин. Основы динамики лазеров. М., 1999
5. Л.Аллен, Дж.Эберли. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М., 1978
6. С.А.Ахманов, С.Ю.Никитин. Физическая оптика. М., 199
7. М.Б.Виноградова, О.В.Руденко, А.П.Сухоруков. Теория волн. М., 1979