

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. В.А.КОТЕЛЬНИКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)**

УТВЕРЖДАЮ

ИО Директора

_____ С.А.Никитов

« ____ » _____ 2014 г.

ПРОГРАММА

вступительных испытаний поступающих на обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальной дисциплине

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ: 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.07 Физика конденсированного состояния

Форма проведения вступительных испытаний.

Вступительные испытания проводятся в устной форме. Для подготовки ответов поступающий использует экзаменационные листы.

ЗАВ.ОАДС _____
(подпись)

д.ф.-м.н. Кузнецова И.Е.
(фамилия)

« ____ » _____ 2014 года.

1. Основы физики твердого тела

Определение кристаллических и аморфных твердых тел, узлы и векторы решетки, элементарная ячейка. Векторы обратной решетки, ячейка Вигнера – Зейтца. Механизмы притяжения и отталкивание атомов при образовании кристаллической решетки. Решетка Бравэ. Точечная и пространственная симметрия кристаллов. Кристаллические классы. Акустические и оптические фононы, ветви колебаний, зоны Бриллюэна. Теплоемкость твердых тел. Модель Дебая и приближение Эйнштейна. Продольные и поперечные акустические волны в анизотропных твердых телах. Ангармонизм кристаллической решетки и тепловое расширение. Механизмы поляризуемости анизотропных твердых тел. Пьезоэлектричество. Диэлектрическая проницаемость кристаллов и ее частотная зависимость. Обменное взаимодействие. Магнитоупорядоченные среды.

2. Электронные свойства твердых тел

Волновые функции электрона в периодическом потенциале. Электронная зонная структура в приближении почти свободных электронов. Связь энергетической зонной структуры твердого тела с атомными уровнями энергии. Особенности электронного спектра металлов, полупроводников и диэлектриков. Метод эффективной массы в полупроводниках. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках. Экситоны Ванье-Мотта. Статистическое распределение равновесных электронов и дырок в полупроводниках. Разогрев электронного газа в электрическом поле. Механизм рассеяния носителей тока и электропроводность металлов и полупроводников. Термо ЭДС. Вклад электронного газа в теплопроводность. Эффект Холла в полупроводниках. Контакт металл-полупроводник. Неравновесная электронная функция распределения и кинетическое уравнение, которому она подчиняется.

3. Феноменологическое описание электродинамики твердых тел.

Тензор электропроводности. Линейная связь между током и электрическим полем в однородной стационарной среде. Временная и пространственная дисперсия. Диэлектрическая проницаемость и электропроводность. Принцип причинности и дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига. Правило сумм.

4. Электромагнитные волн в среде.

Дисперсионное уравнение для электромагнитных волн в среде, поперечные и продольные волны. Высокочастотные свойства электронного газа в металлах и полупроводниках. Невозможность поглощения фотона свободным электроном. Частотная зависимость электропроводности на высоких частотах. Нормальный и аномальный скин-эффект. Плазменные колебания. Поглощение инфракрасного излучения свободными носителями заряда в полупроводниках.

5. Оптическое поглощение полупроводников и их фотопроводимость.

Собственное оптическое поглощение в полупроводниках. Вертикальные и невертикальные оптические переходы. Закон сохранения квазиимпульса при межзонных переходах. Спектр оптического поглощения вблизи края фундаментального поглощения при вертикальных разрешенных и запрещенных переходах и при невертикальных переходах с участием фононов. Экситонные эффекты. Примесное оптическое поглощение в полупроводниках. Решеточное поглощение. Фотопроводимость за счет изменения концентрации носителей заряда и вследствие изменения подвижности носителей при внутризонных переходах.

7. Флуктуационные явления.

Корреляции флуктуаций во времени, корреляционная функция флуктуаций. Спектральная плотность флуктуаций. Теорема Винера-Хинчина. Спектральная плотность

джонсоновского шума, дробового шума, генерационно-рекомбинационного шума. Фликкер-шум. Эквивалентно-шумовая мощность приемника излучения.

8. Размерное квантование.

Квантовые ямы (КЯ) в гетероструктурах, волновые функции и спектр электрона в прямоугольной и квазипрямоугольной яме, двумерные подзоны, условия наблюдения размерного квантования. Квантовые проволоки и квантовые точки. Спектр и плотность электронных состояний в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D): а) для электронов с параболическим законом дисперсии, б) для ультрарелятивистского спектра (графен).

9. Системы с 2D электронным газом

Пленки полуметаллов (висмут), МДП-структуры на основе кремния, селективно легированные гетероструктуры, гетероструктуры с квантовыми ямами, сверхрешетки, графен. Молекулярно-пучковая эпитаксия и MOCVD: рост наноструктур III-V с квантовыми ямами и точками.

10. Полевые транзисторы с двумерным с 2D электронами.

Транзисторы на основе кремниевой МДП-структуры (MOSFET) и на основе гетероструктуры (HEMT); их сравнительные характеристики.

11. 2D оптика и электрооптика.

Принципиальные составляющие высокоскоростной оптоволоконной линии связи. Гетеролазеры с квантовыми ямами: геометрия, зонная диаграмма, пороговый ток. Области применений. Гетеролазеры с квантовыми точками. Межзонное поглощение в квантовых ямах. 2D экситон: энергия связи и влияние электрического поля, квантово-размерный эффект Штарка и его применения в оптических КЯ- модуляторах. Преимущества КЯ модуляторов над объемными модуляторами.

12. Проводимость 2D систем

Квантовый точечный контакт и квантование баллистической проводимости, условия наблюдения. Формула Ландауэра. 2D проводимость и кондактанс в магнитном поле: тензор 2D проводимости и тензор 2D сопротивления в классически сильных магнитных полях. Квантовые магнитные поля и эффект Шубникова-де Гааза. Экспериментальная реализация: измерения с использованием холловского моста и диска Корбино. Квантование Ландау. Скачущие орбиты и краевые токи. Спектр электронов на скачущих орбитах в калибровке Ландау. Целочисленный квантовый эффект Холла и универсальность холловского кондактанса: объяснение с помощью магнитных краевых состояний и токов в системах на основе кремния и арсенида галлия. Квантовый эффект Холла в графене. Представление о дробном квантовом эффекте Холла. Межэлектронное взаимодействие. Межэлектронное взаимодействие в объемных системах и 2D системах (в наноструктурах). Параметр межэлектронного взаимодействия в вырожденных и невырожденных системах. Электронный газ и электронная жидкость.

13. Основы сверхпроводимости.

Сверхпроводимость и эффект Мейсснера. Скачок теплоемкости при переходе в сверхпроводящее состояние. Изотопический эффект. Уравнения Лондонов. Проникновение магнитного поля в сверхпроводник. Промежуточное и смешанное состояние сверхпроводников. Энтропия сверхпроводника. Теплоемкость. Свободная энергия. Уравнения Гинзбурга-Ландау. Длина когерентности. Эффект близости (явления в области S-N границы). Критическое магнитное поле тонкой пленки. Критиче-

ский ток тонкой пленки. Электрон-фононное взаимодействие. Основное состояние сверхпроводника. Спектр электронных возбуждений в сверхпроводнике. Энергетическая щель. Зависимость энергетической щели от температуры. Квазичастичное туннелирование в структурах сверхпроводник-изолятор-нормальный металл (S-I-N) и сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (S-I-S). Слабая сверхпроводимость. Фазовая когерентность и виды слабой связи. Эффекты Джозефсона. Влияние электромагнитного излучения на вольт-амперную характеристику джозефсоновского перехода.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников. Наука, 1977г.
2. А.И.Ансельм. Введение в теорию полупроводников. Наука, 1978г.
3. Ч.Киттель, Введение в физику твердого тела, "Наука", Москва, 1978г.
4. Дж.Займан, Принципы теории твердого тела, "Мир", Москва, 1974г.
5. Н.Ашкрофт, Н.Мермин. Физика твердого тела. В 2-х томах. Мир, 1979г.
6. Ф.Блатт. Физика электронной проводимости в твердых телах. Мир. 1971г.
Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М., Физматлит, 2003.
7. Г.Г.Зегря, В.И.Перель. Основы физики полупроводников. М., Физматлит, 2009
8. Ш.М.Коган. Электронный шум и флуктуации в твердых телах. М., Физматлит, 2009
9. Ван дер Зил. Шумы при измерениях. Мир, 1979.
10. Букингем. Шумы в электронных приборах. Мир, 1988
11. М. Грундман. Основы физики полупроводников. Нанопизика и технические приложения. М., Физматлит, 2012
12. А.А. Абрикосов. Основы теории металлов, 2-ое изд., испр. и доп., М, Физматлит, 2009.
13. Й. Имри. Введение в мезоскопическую физику (пер. с англ.), Физматлит, М., 2002
14. Питер Ю, Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников (пер. с англ.), Физматлит, М., 2002
15. Андо Т., Фаулер Ф., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М., Мир. 1985.
16. В.В.Шмидт. Введение в физику сверхпроводников, МЦНМО, Москва.2000.
17. А.Бароне, Дж.Патерно. Эффект Джозефсона: физика и применения, «МИР», Москва, 1984.