

Программа
вступительного испытания по специальной дисциплине
в аспирантуру НИЦ «Курчатовский институт»
по группе научных специальностей:
1.3. Физические науки
1.3.5. Физическая электроника

1. Общие положения

1.1. Данная программа предназначена для подготовки к вступительным испытаниям в аспирантуру по специальной дисциплине. Программа вступительных испытаний в аспирантуру подготовлена в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (уровень магистра или специалиста).

Экзамен проводится с целью выявления у поступающего объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Поступающий должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

1.2. Программой устанавливается:

форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;

шкала оценивания;

максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;

критерии оценки ответов.

1.3. Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными приказом НИЦ «Курчатовский институт».

1.5. По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном

Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

2. Форма, процедура проведения и шкала оценивания вступительного испытания.

2.1. Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. Экзамен проходит в устной форме. Подготовка к ответу составляет 1 астрономический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Ответ на билет оценивается от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

Билет включает в себя два вопроса по общефизическим и математическим дисциплинам, один вопрос по дисциплине специализации.

Вопросы по общей физике охватывают следующие темы: колебания и волны, основы молекулярной физики, термодинамики, оптики, а также квантовой и ядерной физики.

Вопросы по высшей математике призваны определить на основе решения конкретных математических примеров уровень владения поступающим в аспирантуру математическими навыками, необходимыми при решении физических задач.

Дисциплины специализации включают в себя вопросы по научной специальности 1.3.5 Физическая электроника

В случае проведения экзамена в дистанционном формате вступительное испытание проводится в режиме видеоконференцсвязи.

2.2. Экзамен по специальной дисциплине оценивается по 10-балльной шкале. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания по специальной дисциплине, устанавливается равным 4 баллам.

Шкала оценивания

Оценка, баллы	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
9-10	Поступающий уверенно владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их строгими и полными доказательствами, уверенно отвечает на дополнительные вопросы программы вступительного

	испытания.
6-8	Поступающий владеет материалом, приводит точные формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, сопровождает их доказательствами, в которых допускает отдельные неточности. Отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.
4-5	Поступающий знаком с основным материалом программы, приводит формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, но допускает некоторые неточности, сопровождает их доказательствами, в которых допускает погрешности либо описывает основную схему доказательств без указания деталей. Отвечает на дополнительные вопросы по программе вступительного испытания, допуская отдельные неточности.
0-3	Поступающий не владеет основным материалом программы, не знаком с основными понятиями, не способен приводить формулировки теорем, процессов и явлений, и других утверждений, не умеет доказывать теоремы и другие утверждения, не знает даже схемы доказательств. Не отвечает на большинство дополнительных вопросов по программе вступительного испытания.

3. Вопросы к вступительному испытанию

3.1. Вопросы по общефизическим 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. 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. Вязкость газов. Теплопроводность газов. 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

7. Линии напряженности электрического поля и эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Работа силы электрического поля. Потенциал.

8. Электрический диполь в однородном и неоднородном поле (вращательный момент, энергия, сила). Дипольный электрический момент системы зарядов. Поле электрического диполя.

9. Поле вне и внутри объемно заряженного шара. Поле одной и двух заряженных плоскостей.

10. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии.

11. Сила и плотность тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока. Удельная тепловая мощность тока.

12. Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Сила Лоренца. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле.

13. 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).

14. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Э.Д.С. индукции. Индуктивность соленоида. Токи замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля.

15. Ток смещения. Полный ток. Уравнения Максвелла.

Основы волновой оптики

16. Волновое уравнение. Уравнение плоской волны.

17. Эффект Доплера для звуковых и электромагнитных волн.

18. Принцип Гюйгенса. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления.

19. Явление интерференции. Сложение двух электромагнитных волн.

Интенсивность суммарной волны.

20. Временная когерентность, длина когерентности на примере опыта Юнга с монохроматическим протяженным источником.

21. Способы наблюдения интерференции света (зеркало Ллойда, бипризма и бизеркала Френеля).

22. Интерференционные полосы равного наклона. Интерференционные полосы равной толщины. Простой клин.

23. Кольца Ньютона. Интерференция света на тонких пленках. Просветление оптики.

24. Графическое сложение амплитуд. Зоны Френеля.

25. Дифракция Френеля на круглом отверстии и на диске. Дифракция Френеля на щели. Дифракция Фраунгофера на щели.

26. Дифракционная решетка. Положение и угловая ширина главных дифракционных максимумов дифракционной решетки. Дисперсия и разрешающая способность дифракционной решетки.

27. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Брэгга-Вульфа.

Основы квантовой физики, строения вещества, атомной и ядерной физики

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

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

30. Фотоэффект. Уравнение А.Эйнштейна для фотоэффекта.

31. Опыт Боте. Фотоны.

32. Эффект Комптона.

33. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.

34. Элементарная боровская теория водородоподобного атома.
35. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.
36. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка размеров и минимальной энергии водородоподобного атома.
37. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка минимальной энергии одномерного гармонического осциллятора.
38. Уравнение Шрёдингера. Физический смысл и свойства пси-функции.
39. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Результаты квантовой механики для одномерного гармонического осциллятора.
40. Результаты квантовой механики для водородоподобного атома.
41. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.
42. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома. Электронные конфигурации.
43. Характеристические рентгеновские спектры. Закон Мозли.
44. Комбинационное рассеяние света. Эффект Рамана.
45. Энергетические зоны в твердых телах. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость.

3.2. Вопросы по высшей математике

1. Элементы теории чисел. Натуральные числа. Делимость. Целые, рациональные и действительные числа. Мнимые числа.
2. Функция, ее область определения и область значений. Возрастание, убывание, периодичность, четность, нечетность. Наибольшее и наименьшее значения функции. График функции.
3. Последовательности, предел последовательности. Пределы функций, предел функции по Коши.
4. Понятие производной функции. Основные правила дифференцирования функций. Нахождение экстремумов функции.

5. Понятие первообразной функции. Вычисление неопределенных и определённых интегралов, в том числе несобственных. Интегральная сумма.

6. Понятие числового ряда. Признаки сходимости числовых рядов. Степенные ряды. Разложение функции в ряд Тейлора. Остаточный член в ряде Тейлора.

7. Элементы линейной алгебры. Векторные пространства и линейные отображения, базисы, размерность, квадратичные формы.

8. Понятие матрицы. Действия с матрицами. Определитель матрицы и его вычисление.

9. Элементы теории групп. Линейные представления групп. Группы и алгебры Ли.

10. Гильбертовы пространства. Линейные операторы в гильбертовом пространстве. Понятие о спектре оператора. Линейные операторы и их матрицы в конечномерном вещественном и комплексном пространстве.

11. Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Методы решения СЛАУ: метод Гаусса, метод Крамера. Критерий существования нетривиального решения системы однородных линейных алгебраических уравнений.

12. Понятия градиента функции, дивергенции, ротора и циркуляции векторного поля. Теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса.

13. Понятие обыкновенного дифференциального уравнения. Уравнения первого порядка и методы их решения. Линейное дифференциальное уравнение произвольного порядка с постоянными коэффициентами. Методы его решения.

14. Система линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Методы её решения.

15. Понятие аналитической функции. Разложение функции, аналитической в кольце, в ряд Лорана. Классификация изолированных особых точек. Вычеты. Основная теорема о вычетах и её приложения.

16. Основные уравнения математической физики. Классификация линейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка с двумя независимыми переменными.

17. Преобразование Фурье и его основные свойства. Применение для решения дифференциальных уравнений.

18. Решение задачи Коши для волнового уравнения в одномерном случае.

19. Элементы теории вероятностей. Случайные величины и распределения вероятностей. Числовые характеристики случайных величин и вероятностных распределений.

20. Основы теории оценивания неизвестных параметров распределений. Статистическая проверка гипотез

Список рекомендуемой литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.1: Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие для вузов. 2012. 522 с.

2. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 2009. 570 с.

3. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие для вузов. 2012. 360 с.

4. Иродов И.Е. Волновые процессы: основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2015. 263 с.

5. Иродов И.Е. Квантовая физика: основные законы. Москва: Бином. Лаборатория знаний. 2014. 256 с.

6. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 320 с.

7. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т.1: Физика атомного ядра. 2009. 383 с.

8. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 2: Физика ядерных реакций. 2008. 318 с.

9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 3: Физика элементарных частиц. 2008. 412 с.

10. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся

вузов: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2009. 608 с.

11. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Астрель, АСТ, 2005. 992 с.

12. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: учебник для вузов. Москва: Физматлит, 2009. 307 с.

13. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики: Учеб. пособие для вузов. М.: МГУ; Наука, 2004. 798 с.

14. Мэтьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. М., Атомиздат, 1972.

15. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. М., Наука, 1971.

3.3. Вопросы по научной специальности 1.3.5 Физическая электроника

Вакуумная электроника

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

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

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

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

Плазменная и твердотельная электроника

1. Электрический разряд в газах, виды разрядов. Плазма: физические процессы

в плазме, излучение плазмы, диагностика плазмы. Приборы и устройства плазменной электроники, игнитрон, ртутные вентили, приборы отображения информации. Электронно-ионные источники и их применение в технике и технологиях.

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

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

Электронно-дырочные и гетеропереходы

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

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

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

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

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

Функциональные возможности полупроводниковых диодов

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

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

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

Биполярные транзисторы

1. Принцип действия транзистора в качестве усилителя. Коэффициент передачи тока на низкой частоте в схеме с общей базой (выражения для постоянных токов,

коэффициент передачи). Влияние рекомбинационной составляющей тока на величину коэффициента передачи. Статические характеристики и коэффициент передачи тока в различных схемах включения (с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором). Выражения для переменных токов в транзисторе, эквивалентная схема. Частотная зависимость коэффициента передачи в схемах с общей базой и общим эмиттером, предельная частота и частота отсечки.

2. Транзистор в качестве линейного четырехполюсника. y -, z - и h - параметры. Максимальная частота усиления по мощности. Различные типы сверхбыстродействующих биполярных транзисторов. Основные области применения, СБИСы.

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

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

Полевые и другие транзисторы и диоды

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

2. Расчет выходных статических характеристик МОП-транзистора, эквивалентная схема и частотные свойства. Энергонезависимые элементы памяти на основе МОП- и МНОП-транзисторов. преимущества и недостатки полевых

транзисторов. Различные типы сверхбыстродействующих полевых транзисторов. Основные области применения. СБИСы.

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

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

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

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

7. Диэлектрические оптические среды и устройства: классификация диэлектрических оптических сред, классификация нелинейных оптических эффектов, электрооптические эффекты и материалы, объёмные электрооптические устройства, пространственно распределенные и интегральные электрооптические устройства, акустооптические эффекты и материалы, объёмные и интегральные акустооптические устройства, диэлектрические среды для генерации когерентного излучения, твердые диэлектрические среды для преобразования частоты когерентного излучения.

Фоточувствительные МДП-приборы для преобразования изображений.

Микроэлектроника

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

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

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

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

Список рекомендуемой литературы

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев – 4-е изд., доп. - М: Высшая школа, 2006. - 800 с.