# ***Программа вступительного экзамена по направлению подготовки 11.06.01«Электроника, радиотехника и системы связи»***

**Целью** вступительного испытания является оценка уровня освоения поступающим компетенций, необходимых для обучения по направлению ***«Электроника, радиотехника и системы связи»***по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

**Программы вступительных испытаний при приеме на обучение в аспирантуре формируются** на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (СУОС Университета ИТМО) по программам специалитета или магистратуры.

**Форма вступительного испытания:** устно-письменная

**Форма вступительного испытания с использованием дистанционных технологий:** тест, устно-письменная

**Продолжительность** проведения вступительного испытания. Продолжительность вступительного испытания - не более 90 минут.

**Критерии оценивания:** “неудовлетворительно”, “Удовлетворительно”, “Хорошо”, “Отлично”

**Минимальный проходной балл,** подтверждающий успешное прохождение вступительных испытаний: оценка “удовлетворительно”.

**Перечень принадлежностей**, которые поступающий имеет право пронести в аудиторию во время проведения вступительного испытания: письменные принадлежности, непрограммируемый калькулятор.

# ***Exam curriculum for program track 11.06.01 Electronics, Radio Engineering and Communication Systems exam curriculum***

The **purpose** of the entrance exam is to assess the level of applicants' competencies that are essential for studying in the ***Electronics, Radio Engineering and Communication Systems exam curriculum*** program track at the level of PhD programs for training research and pedagogical staff.

**The curricula for PhD program entrance exams are based on the** federal state educational standards for Specialist's and Master's programs.

**Exam format:** oral and written

**Exam format with the use of distance learning technologies:** test, oral, and written

**Exam duration:** no longer than 90 minutes.

**Assessment criteria:** "unsatisfactory", "satisfactory", "good", "excellent".

**Minimum pass grade:** "satisfactory".

**The list of objects** that an applicant can bring to the classroom when taking the entrance exam: writing utensils, a non-programmable calculator.

# **Профиль подготовки 05.27.03 «Квантовая электроника»**

1. Тепловая модель - основа современных представлений о силовом лазерном воздействии на вещество. Качественная схема механизмов и последовательности процессов поглощения света и перехода поглощенной энергии в тепло.
2. Лазерная резка. Особенности физических процессов резки и разделения материалов, процессы газификации и уноса различных материалов, управляемое термораскалывание. Лазерные установки для резки, разделения и скрайбирования различных материалов.
3. Основные механизмы оптического поглощения в полупроводниках; механизмы и последовательность передачи энергии. Особенности межзонного поглощения. Внутризонное поглощение света. Кинетика фотовозбуждения полупроводника лазерным излучением. Влияние диффузионно-рекомбинационных процессов.
4. Газолазерная резка (ГЛР), общая схема процессов. Основные сферы использования ГЛР в авиа– и автопромышленности, при изготовлении оснастки и инструмента, в деревообработке и изготовлении рекламы и т.п.
5. Основные свойства поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ), структура и распределение полей. Методы возбуждения ПЭВ. Эффективность возбуждения ПЭВ на решетке и шероховатой поверхности.
6. Лазерная сварка и ее сравнение с другими видами соединения материалов. Методика анализа процессов лазерной сварки. Металлургические аспекты сварки.
7. Общая характеристика нагревания лазерным излучением. Тепловые эффекты в конденсированных средах. Основные особенности температурной кинетики при лазерном воздействии. Теплопроводные механизмы отвода тепла. Уравнение теплопроводности; начальное и граничные условия.
8. Основные предпосылки и особенности термоупрочнения материалов лазерным излучением. Физические основы процесса лазерного упрочнения. Виды лазерного упрочнения: в твердой фазе, с переплавом материала, с механическим воздействием импульса отдачи.
9. Термические эффекты, сопровождающие лазерный нагрев. Термомеханические эффекты; фазовые переходы в твердом состоянии; диффузионно-химические явления; эмиссионные процессы. Лазерное плавление поверхности.
10. Термохимическая обработка поверхности: микролегирование, аморфизация. Лазерная микрометаллургия.
11. Нелинейные режимы лазерного нагрева. Обратные связи между оптическими и фотофизическими процессами при лазерном нагревании металлов и полупроводников.
12. Методы трехмерного лазерного синтеза - стереолитография, синтез из порошков и послойная сборка из плоских слоев. Перспективы трехмерного синтеза. Основные сферы применения трехмерного синтеза — проектирование, моделирование, изготовление оснастки и деталей.
13. Линейные режимы лазерного нагрева. Критериальные параметры и основные закономерности. Особенности нагревания материала световым пятном конечного размера. Общая характеристика лазерных линейных режимов разогрева при отсутствии теплообмена, одномерном, двумерном и трехмерном теплопроводном оттоке тепла.
14. Общая характеристика трехмерного лазерного синтеза. Его основные особенности: прямое преобразование трехмерного компьютерного образа в материальный объект. Базовая схема процесса.
15. Общая характеристика механизмов лазерного разрушения. Механическое низкотемпературное разрушение хрупких материалов. Химические механизмы разрушения. Высокотемпературные механизмы с участием испарения. Лазерное испарение. Теплофизика перехода от нагрева к испарению. Вытеснение расплава избыточным давлением паров из лунки. Гидродинамический механизм лазерного разрушения.
16. Основные сферы применения лазеров для обработки пленок. Подгонка параметров пленочных элементов – резисторов, конденсаторов, кварцевых резонаторов, СВЧ–интегральных схем и т.п.
17. Взаимодействие излучения с инверсной средой. Условия усиления электромагнитных волн в идеальной среде.
18. Режимы работы лазеров. Особенности основных режимов. Режим свободной генерации. Режим модуляции добротности резонатора. Режим синхронизации мод.
19. Закон Бугера для нормальной и инверсной сред. Ненасыщенный показатель усиления, зависимость его от частоты.
20. Твердотельные лазеры. Системы оптической накачки. Твердотельные лазеры с накачкой лазерными диодами
21. Усиление света в реальной среде. Коэффициент потерь. Активная часть контура усиления.
22. Активные среды твердотельных лазеров. Трехуровневые и четырехуровневые лазеры. Перестраиваемые твердотельные лазеры
23. Способы получения инвертированных сред. Общие принципы создания инверсии. Методы заселения и расселения уровней.
24. Твердотельные микролазеры и волоконные лазеры.
25. Поперечная и продольная релаксации возбужденных атомов. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий.
26. Способы управления длиной волны лазерного излучения. Модуляция и отклонение лазерного излучения.
27. Ширина и контур спектральных линий. Естественная ширина линий. Факторы, влияющие на уширение линий
28. Способы получения одномодового и одночастотного излучения Схемы и устройства селекции продольных и поперечных мод лазерного излучения.
29. Взаимодействие излучения с инверсной средой. Энергетические уровни атомов, ионов и молекул. Оптические и неоптические переходы. Вероятности и скорости оптических переходов.
30. Устройства и элементы вывода излучения из резонатора лазера. Полупрозрачные зеркала. Элемент с отверстием связи. Вывод излучения через края одного из отражателей.

**Профиль подготовки 05.12.07 «Антенны, СВЧ устройства и их технологии»**

**1.Основы технической электродинамики**

1.1. Уравнения максвелла в основных формах. Материальные уравнения. Комплексная форма уравнений Максвелла. Граничные условия. Плоские волны. Локальное приближение плоской волны для произвольного волнового фронта.

1.2. Лемма Лоренца. Теорема взаимности. Взаимные и невзаимные среды. Примеры невзаимных устройств.

1.3. Электромагнитные потенциалы уравнения Гельмгольца: скалярный и векторный потенциалы. Векторы Герца. Принцип двойственности для уравнений Максвелла.

1.4. Элементарные электромагнитные излучатели: электрический и магнитный диполи, элемент Гюйгенса и их свойства.

**2.Длинные линии**

2.1. Телеграфные уравнения для многопроводных и двухпроводных линий передачи, их вывод и решение. Распространение волны в линии передачи. Линия из двух проводов и ее основные свойства: постоянные распространения и затухания, характеристическое сопротивление, частотная дисперсия.

2.2. Режимы распространения волн в линиях передачи: режим бегущей волны, отражение в линиях передачи, стоячие волны. КСВ и коэффициент отражения.

2.3. Входное сопротивление линии передачи в произвольном сечении. Отрезки линий передачи и шлейфы и их применение в цепях СВЧ. Диаграмма Вольперта-Смита. Согласование импеданса.

**3.Основы теории антенн**

3.1. Проволочные антенны. Полуволновый вибратор. Диаграмма направленности. Сопротивление излучения. Эквивалентная схема Щелкунова.

3.2. Интегральное уравнение для тока на антенне. Вывод уравнения Поклингтона. Уравнение Галлена.

3.3. Метод наведенных ЭДС. Расчет собственного и взаимного импеданса связанных полуволновых вибраторов.

3.4. Антенные решетки. Теорема перемножения. Плоская периодическая антенная решетка с прямоугольной ячейкой. Диаграмма направленности одиночной цепочки элементов: основной и боковые максимумы, сканирование, дифракционные максимумы.

3.5. Излучение из произвольной апертуры в экране в приближении Киргхофа. Прямоугольная апертура. Круглая апертура. Максимальный коэффициент направленного действия апертурной антенны и условия его достижения.

3.6. Рупорные антенны. Диаграмма направленности пирамидального рупора. Коэффициент направленного действия и коэффициент использования поверхности апертуры. Оптимальный рупор.

3.7. Зеркальные антенны. Основные принципы построения параболических антенн. Коэффициент усиления и коэффициент использования поверхности апертуры зеркальных антенн. Механическое сканирования путем перемещения облучателя.

3.8. Микрополосковые (печатные) антенны. Основная мода прямоугольного полоскового резонатора. Диаграмма направленности прямоугольной полосковой антенны. Схемы питания полосковых антенн с линейной круговой поляризацией.

3.9. Расчет шумов в линейных цепях. Эргодические случайные процессы. Тепловой шум, формула Найквиста. Расчет отношения сигнал/шум в радиоканале. Шумовая температура приемной антенны.

**4.СВЧ устройства**

4.1. Аналогия между волноводом и длинной линией. Неоднородности в волноводе. Соединения волноводов. Методы расчета волноводных неоднородностей. Эквивалентные схемы волноводных устройств.

4.2. Матрица рассеяния, ее свойства. Трехплечное взаимное сочленение без потерь. Возможность согласования такого сочленения со всех входов. Четырехплечные сочленения. Матрица передачи.

4.3. Устройства СВЧ: нагрузка, аттенюатор, фазовращатель, направленный ответвитель, диодная секция. Объемные резонаторы. Собственная и нагруженная добротность резонатора.

4.4. Свойства и основные параметры ферритов на СВЧ. Тензор магнитной проницаемости намагниченного феррита. Невзаимные устройства, содержащие ферриты. Типы ферритовых вентилей и принципы их действия. Электрически управляемые элементы тракта: коммутаторы, Y-циркуляторы, фазовращатели.

4.5. Особенности движения электронов в СВЧ поле. Устройство и принцип действия усилителей и генераторов СВЧ: пролетного клистрона, отражательного клистрона, ЛБВ, ЛОВ, магнетрона. Эффект Ганна. Генератор на диоде Ганна.

**Рекомендованная литература для профиля 05.12.07 «Антенны, СВЧ устройства и их технологии»**

* + - 1. Сазонов, Дмитрий Михайлович. Антенны и устройства СВЧ : [учебник для вузов по специальности "Радиотехника"] .— М. : Высшая школа, 1988 .— 432 с. : ил. — Библиогр.: с. 426 .— Предм. указ.: с. 427-428.
      2. Нефедов, Евгений Иванович. Устройства СВЧ и антенны / Е. И. Нефедов .— М. : Издательский центр "Академия", 2009 .— 375, [1] с. : ил.
      3. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин [и др.] ; под ред. Г. А. Ерохина, М. : Горячая линия - Телеком, 2007 .— 492 с. : ил.
      4. Электродинамика и распространение радиоволн / Муромцев Д.Ю., Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А. — Москва : Лань", 2014
      5. А. Д. Григорьев Электродинамика и микроволновая техника — Москва : Лань", 2007, - 708 с.
      6. Белоус Анатолий Иванович. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи : техническая энциклопедия : в 2 кн. Кн. 1 / Белоус А.И., Мерданов Мердан Казимагомедович, Шведов Сергей Васильевич. — М. : Техносфера, 2016. — 685 с. : ил.
      7. Зайцев, Эрнст Федорович. Флуктуационные колебания в радиофизике [Текст] : учеб. пособие / Э. Ф. Зайцев ; Ленингр. гос. техн. ун-т. - Ленинград : ЛГТУ, 1990. - 78 с. - Библиогр.: с. 76. - 0.20 р.

# **Specialization 05.12.07 Antennas, microwave devices, and their technologies**

**1. Fundamentals of technical electrodynamics**

1.1. Maxwell's equations in their main forms. Constitutive equations. Maxwell's equations in complex form (for time-harmonic fields). Boundary conditions. Plane waves. Local plane wave approximation for arbitrary wavefront.

1.2. Lorentz lemma (Lorentz reciprocity). Reciprocity principle. Reciprocal and non-reciprocal media. Examples of non-reciprocal devices.

1.3. Electromagnetic potentials in the Helmholtz equation: scalar and vector potentials. Hertz vectors. Duality principle for Maxwell's equations.

1.4. Elementary sources of electromagnetic radiation: electrical and magnetic dipoles, Huygens element, and their properties.

**2. Transmission** **lines.**

2.1. Telegrapher's equations for two- and multiconductor transmission lines, their derivation and solution. Wave propagation in transmission lines. Two-wire line and its basic properties: propagation and attenuation coefficients, characteristic impedance, frequency dispersion.

2.2. Propagation modes in transmission lines: traveling-wave mode, reflection of signal in transmission line, standing waves. Standing-wave ratio (SWR) and reflection coefficient.

2.3. Input impedance of transmission line at an arbitrary section. Segments of transmission lines, stubs, and their use in microwave circuits. Smith chart (Volpert-Smith chart). Impedance matching.

**3. Fundamentals of antenna theory**

3.1. Wire antennas. Half-wave dipole. Radiation pattern. Radiation resistance. Schelkunoff’s equivalent circuit for an antenna.3.2. Integral equation for current distribution in antennas. Derivation of the Pocklington’s equation. Hallen's equation.

3.3. Induced electromotive force method. Calculating self-impedance and mutual impedance between coupled half-wave dipoles.

3.4. Antenna arrays. Pattern multiplication theorem. Flat periodic antenna arrays with rectangular unit cells. Radiation pattern of a single chain of elements: main and side maximums, scanning, diffraction maximums.

3.5. Diffraction of radiation by an arbitrary aperture in a screen in Kirchhoff's approximation. Rectangular aperture. Circular aperture. Maximum directivity of an aperture antenna, and ways of reaching it.

3.6. Horn antennas. Directional pattern of a pyramidal horn antenna. Directivity and aperture efficiency. Optimum horn.

3.7. Parabolic antennas. Key design concepts of parabolic antennas. Gain and aperture efficiency of parabolic antennas. Mechanical scanning using feeder movement.

3.8. Patch antennas. Primary mode of a rectangular stripline resonator. Radiation pattern of a rectangular patch antenna. The power supply diagram of a patch antenna with linear and circular polarization.

3.9. Noise calculation in linear circuits. Ergodic random processes. Thermal noise, the Nyquist formula. Calculating the signal-to-noise ratio in a radio channel. Antenna noise temperature for receivers.

**4. Microwave devices**

4.1. Analogy between a waveguide and a transmission line. Waveguide discontinuities. Waveguide junctions. Methods for calculating waveguide discontinuities. Equivalent circuits of waveguide devices.

4.2. Scattering matrix and its properties. Lossless three-port reciprocal junction. Possibility of the interfacing of such junctions from all ports. Four-port junction. Transfer matrix.

4.3. Microwave devices: microwave load, attenuator, phase shifter, directional coupler, diode block. Cavity resonators. Intrinsic and loaded Q-factor.

4.4. Properties and key parameters of ferrites in microwave applications. Permeability tensor of magnetized ferrites. Nonreciprocal devices based on ferrites. Types of ferrite isolators and their operating principles. Electrically controlled elements of a path: switches, Y-circulators, and phase shifters.

4.5. Motion of electrons in a microwave field. Design and operating principle of microwave amplifiers and oscillators (sources): floating-drift-tube klystron, reflex klystron, traveling-wave tube, backward-wave tube, magnetron. Gunn effect. Gunn diode generator.

**Recommended literature for specialization 05.12.07 Antennas, microwave devices, and their technologies**

* + - 1. Сазонов, Дмитрий Михайлович. Антенны и устройства СВЧ : [учебник для вузов по специальности "Радиотехника"] .— М. : Высшая школа, 1988 .— 432 с. : ил. — Библиогр.: с. 426 .— Предм. указ.: с. 427-428.
      2. Нефедов, Евгений Иванович. Устройства СВЧ и антенны / Е. И. Нефедов .— М. : Издательский центр "Академия", 2009 .— 375, [1] с. : ил.
      3. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин [и др.] ; под ред. Г. А. Ерохина, М. : Горячая линия - Телеком, 2007 .— 492 с. : ил.
      4. Электродинамика и распространение радиоволн / Муромцев Д.Ю., Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А. — Москва : Лань", 2014
      5. А. Д. Григорьев Электродинамика и микроволновая техника — Москва : Лань", 2007, - 708 с.
      6. Белоус Анатолий Иванович. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи : техническая энциклопедия : в 2 кн. Кн. 1 / Белоус А.И., Мерданов Мердан Казимагомедович, Шведов Сергей Васильевич. — М. : Техносфера, 2016. — 685 с. : ил.
      7. Зайцев, Эрнст Федорович. Флуктуационные колебания в радиофизике [Текст] : учеб. пособие / Э. Ф. Зайцев ; Ленингр. гос. техн. ун-т. - Ленинград : ЛГТУ, 1990. - 78 с. - Библиогр.: с. 76. - 0.20 р.