



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
(СГУ)**

Программа
вступительного испытания по специальной дисциплине
для поступающих на направление подготовки научно-педагогических
кадров в аспирантуре
03.06.01 Физика и астрономия

Саратов – 2019

Вступительное испытание направлено на выявление степени готовности абитуриентов к освоению программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия». В ходе вступительного испытания оцениваются обобщенные знания и умения по дисциплинам направления 03.06.01 «Физика и астрономия»; выявляется степень сформированности компетенций, значимых для успешного обучения в аспирантуре по соответствующему направлению.

Вступительное испытание проводится в форме устного междисциплинарного экзамена по дисциплинам направления «Физика и астрономия».

Содержание программы

1. Общая и теоретическая физика.

Кинематика и динамика. Системы отсчета и системы координат. Понятие времени. Периодические процессы. Синхронизация часов. Кинематика материальной точки. Силы и взаимодействие. Законы Ньютона. Масса, как мера инертности. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Основные представления специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Кинематические следствия из преобразований Лоренца. Релятивистское уравнение движения. Релятивистская масса. Момент импульса материальной точки. Момент силы. Уравнение моментов. Уравнение моментов для системы материальных точек. Центр масс. Работа силы и энергия. Силовое поле. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии в нерелятивистском и релятивистском случае. Соотношение между массой и энергией. Уравнение движения твердого тела. Понятие о тензоре инерции. Главные оси и главные моменты инерции. Кинетическая энергия произвольно движущегося твердого тела. Продольные и поперечные волны. Волновое уравнение. Бегущие волны. Фазовая и групповая скорости, дисперсия. Интерференция, дифракция и поляризация волн. Стоячие волны. Статистическое описание системы многих частиц, макросостояния и микросостояния статистической системы. Связь между вероятностью макросостояния и числом микросостояний, осуществляющих данное макросостояние. Равновесное состояние как наиболее вероятное. Идеальный газ, как модель простейшей статистической системы. Средние величины. Средние по времени и средние по ансамблю. Связь между ними в равновесном состоянии. Флуктуации.

Основные характеристики молекулярного движения: средняя скорость, средняя частота столкновений, средняя длина свободного пробега, поперечные газокINETические сечения. Распределение молекул газа в поле потенциальных сил — распределение Больцмана. Барометрическая формула. Процессы переноса, диффузия, теплопроводность и внутреннее трение. Свойства разреженных газов. Классическая теория теплоемкости газов. Теплоемкость твердых тел. Метод термодинамики и его сопоставление со статистическим методом. Термодинамическое равновесие. Первое начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Циклы. Цикл Карно. Второе начало термодинамики. Энтропия. Силы электромагнитного взаимодействия. Микроскопические носители зарядов. Сохранение и квантование заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Теорема Гаусса. Энергия взаимодействия зарядов. Энергия заряженных проводников. Энергия электрического поля. Плотность энергии поля. Диэлектрики в электростатическом поле. Молекулярная картина поляризации диэлектриков. Вектор поляризации. Электрическая индукция, диэлектрическая проницаемость. Поле заряда в диэлектрике. Теорема Гаусса для диэлектриков. Постоянный электрический ток. Сила и плотность тока. Уравнение непрерывности и условие стационарности тока, дифференциальная форма закона Ома и Джоуля – Ленца. Закон Видемана – Франца. Классическая теория электропроводности металлов. Основы квантовой теории электропроводности твердых тел. Понятие о зонной теории. Металлы, изоляторы и полупроводники, Собственная и примесная проводимость полупроводников. Сверхпроводимость. Контактная разность потенциалов. Термоэлектродвижущая сила. Эффект Пельтье. Эффект Томсона. Контактные явления в полупроводниках. Электропроводность газов. Ионизация и рекомбинация ионов. Несамостоятельная и самостоятельная проводимость. Основные типы газового разряда. Плазменное состояние вещества. Поле заряда, движущегося с постоянной скоростью. Сила, действующая на движущийся заряд. Взаимодействие между движущимся зарядом и другими движущимися зарядами. Магнитные силы. Сила Лоренца. Вектор магнитной индукции. Магнитное поле. Силы, действующие на ток в магнитном поле. Магнитное поле тока. Закон Био – Савара. Циркуляция вектора магнитной индукции. Вихревой характер магнитного поля. Электропроводность в магнитном поле. Эффект Холла. Магнитное поле в веществе. Электрические токи в атомах. Спин электрона. Магнитный момент. Гиромагнитное отношение. Вектор намагничивания. Магнитная восприимчивость и проницаемость. Магнитное поле при наличии магнетиков. Теорема о циркуляции магнитного поля в веществе.

Пара- и диамагнетизм. Ферромагнетики. Зависимость ферромагнитных свойств от температуры. Доменная структура. Магнитные свойства сверхпроводников. Электромагнитная индукция. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции. Взаимная индукция. Самоиндукция. Магнитная энергия тока. Локализация магнитной энергии в пространстве. Система уравнений Максвелла. Инвариантность уравнений Максвелла относительно преобразований Лоренца. Электромагнитные волны. Скорость распространения электромагнитных возмущений. Движение электромагнитной энергии. Вектор Умова – Пойнтинга. Давление электромагнитных волн. Атомы и молекулы. Закономерности в атомных спектрах. Ядерная модель атома. Теория Бора. Уровни энергии и способы их возбуждения. Магнитные свойства атомов. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Корпускулярно-волновой дуализм. Эффект Комптона. Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов, атомов и молекул, нейтронов. Соотношение неопределенностей. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Решение уравнения Шредингера для атома водорода. Значения физических величин в стационарных состояниях. Квантование проекции момента импульса. Квантовые числа и их физический смысл. Правило отбора для квантовых чисел. Неразличимость одинаковых микрочастиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции, Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Спектры атомов. Спин-орбитальное взаимодействие и тонкая структура спектров. Дублетная структура линий в спектре щелочных металлов. Тонкая структура спектральных линий водорода. Эффект Зеемана в слабых и сильных магнитных полях. Эффект Пашена – Бака. Электронный парамагнитный резонанс. Циклотронный резонанс. Строение и спектры молекул. Типы химических связей в молекуле. Вращательные, колебательные и электронные уровни энергии и переходы между ними. Спектры молекул и молекулярные константы. Элементы теории твердых тел. Квантовая природа симметрии кристаллов. Периодичность потенциала и одноэлектронных волновых функций для кристаллической решетки. Основные представления зонной теории твердых тел. Металлы и полупроводники. Свойства атомных ядер. Статические характеристики ядер. Состав ядра. Электрический и барионный заряды. Энергия связи ядра. Дефект масс. Спин ядра и его магнитный момент. Ядерный магнитный резонанс. Размеры ядер. Форма ядер, квадрупольный момент. Четность ядра. Ядерные силы и их свойства. Эффективное сечение взаимодействия. Виды ядерных потенциалов. Обменный характер ядерных сил. Мезонная теория ядерных сил. Структура нуклона. Взаимодействие ядерного излучения с веществом. Взаимодействие заряженных частиц со

средой. Ионизационные потери, пробеги. Кулоновское взаимодействие. Ядерные взаимодействия. Тормозное излучение. Излучение Вавилова-Черенкова. Деление ядер. Энергия активации. Порог реакции. Энергия деления. Цепная реакция деления. Ядерные реакторы. Атомные электростанции. Термоядерный синтез. Перспективы термоядерной энергетики. Элементарные частицы. Классификация известных фундаментальных частиц. Спин. Масса. Частицы-античастицы. Время жизни. Схемы распада. Различные виды взаимодействия между частицами. Универсальность слабых взаимодействий. Закон сохранения лептонного и барионного зарядов. Изотопический спин. Несохранение четности в слабых взаимодействиях. Электромагнитная структура нуклона. Модель кварков. Пэртонная модель. Космические лучи. Первичное космическое излучение. Прохождение космического излучения через атмосферу. Каскадные процессы. Электронно-ядерные ливни. Временные изменения интенсивности космических лучей. Радиационные пояса. Представление о нейтронных звездах, пульсарах, черных дырах.

Литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика.-М.: Физматлит, 2006.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. -М.: Физматлит, 2006.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Ч.1. М.: Физматлит, 2010.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. -М.: Физматлит, 2006.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. -М.: Физматлит, 2007.
6. Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Физическая кинетика. -М.: Физматлит, 2007.
7. Давыдов А.С. Квантовая механика. –С-Пб.: БХВ – Петербург. 2011.

2. Радиофизика и электроника.

Колебательные системы различной природы и проблема описания их динамики. Временной и спектральный подход в теории колебаний. Нелинейные системы и основные эффекты. Первоначальное представление об основных эффектах, к которым приводит нелинейность: неизохронность, ангармоничность, мультистабильность и гистерезис, периодические и хаотические автоколебания Простейшие аттракторы. Состояния равновесия нелинейных систем на фазовой плоскости, их исследование на устойчивость и основы классификации. Устойчивая неподвижная точка как аттрактор. Понятие бассейна притяжения. Уравнение динамики нелинейного осциллятора с внешним воздействием. Трехмерное фазовое пространство неавтономной системы. Анализ задачи о нелинейном резонансе методом малого параметра. Нелинейные резонансные кривые. Гистерезис. Складки и сборки на плоскости параметров частота-амплитуда воздействия.

Резонанс на субгармониках. Резонанс на гармониках, субгармониках и комбинационных частотах. Параметрические системы. Колебательный контур с периодическим изменением емкости. Уравнение Матье и уравнение Хилла. Параметрический резонанс. Автоколебания. Уравнение Ван дер Поля. Фазовая плоскость уравнения Ван дер Поля. Бифуркация Андронова-Хопфа. Предельный цикл, как аттрактор, отвечающий периодическим автоколебаниям. Режимы слабой и сильной нелинейности: квазигармонические и релаксационные колебания. Явление синхронизации. Внешняя синхронизация периодических движений. Автогенератор под внешним периодическим воздействием и дифференциальное уравнение первого порядка для динамики фазы. Режимы захвата частоты и режимы биений. Тор как аттрактор, отвечающий квазипериодическим колебаниям. Неустойчивость и хаотическая динамика. Простейшие примеры систем с хаотическим поведением. Связь между хаосом и неустойчивостью. Сценарии перехода к хаосу. Переход к хаосу через каскад удвоений периода и универсальность Фейгенбаума. Другие сценарии перехода к хаосу через перемежаемость и через квазипериодичность. Спектральный анализ радиосигналов. Свойства спектров. Модулированных по амплитуде, частоте и фазе радиосигналы. Способы получения модулированных колебаний и их спектры. Теория фильтров. типы фильтров, характеристики идеального фильтра. Т-образные фильтры. Каскадное соединение фильтров. Усилители электрических сигналов. Свойства. Параметры. Характеристики. Классификация. Усилительный каскад на биполярном транзисторе. Обратная связь в усилителях. Операционные усилители. Генераторы. Квазилинейная модель генератора. Нелинейные модели генераторов. Цифровые сигналы. АЦП. Дискретизация по времени и квантование по уровню. Шум квантования. Эффект “просачивания”. Цифровые фильтры. Рекурсивные и нерекурсивные фильтры. Характеристики и свойства фильтров. Синтез фильтров с заданными характеристиками. Дискретные случайные процессы и их основные характеристики. Стационарные и эргодические процессы. Спектр мощности случайного процесса. Теорема Винера-Хинчина. Статистические характеристики случайного процесса. Многомерная плотность вероятности, функция распределения, характеристическая функция случайного процесса. Моментные функции случайных процессов. Стационарные случайные процессы. Нормальные случайные процессы. Свойства нормальных случайных процессов. Усреднение по времени. Эргодические случайные процессы. Спектральное представление случайных процессов. Спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса. Теорема Винера – Хинчина. Ширина

энергетического спектра. Белый шум. Спектральное представление нестационарных случайных процессов. Преобразование случайных процессов линейными инерционными системами. Преобразование основных моментных функций и спектральной плотности мощности. Преобразование закона распределения. Эффект нормализации процесса на выходе фильтра. Линейная фильтрация шума. Обнаружение регулярного сигнала на фоне шума. Оптимизация фильтра по критерию максимума пикового отношения «сигнал/шум». выделение случайного сигнала из шума. Оптимизация фильтра по критерию минимума искажений. Уравнение Винера – Хопфа. Основные понятия теории марковских процессов. Уравнение Чепмена — Колмогорова. Дискретные марковские процессы и их свойства. Управляющее уравнение. Одношаговые процессы. Случайные блуждания с непрерывным временем. Диффузионные процессы, уравнение Фоккера – Планка – Колмогорова. Стационарное решение уравнения Фоккера – Планка – Колмогорова. Стохастические дифференциальные уравнения (СДУ). Стохастические интегралы Ито и Стратоновича. Связь коэффициентов сноса и диффузии с правыми частями СДУ. Основы зонной теории кристаллического твердого тела. Распределение электронов по энергиям в металлах. Положение уровня Ферми в случаях невырожденного и сильно вырожденного электронного газа. Термоэлектронная эмиссия. Статистический вывод основного уравнения. Зависимость работы выхода от температуры. Влияние электрического поля на термоэлектронную эмиссию металлов. Температура Шоттки. Влияние электрического поля на термоэлектронную эмиссию полупроводников. Приповерхностный изгиб зон в полупроводниках. Влияние наличия поверхностных состояний на работу выхода поверхности. Вольтамперная характеристика плоского диода. Нормальный и аномальный эффекты Шоттки. Автоэлектронная эмиссия из металлов. Вывод уравнения Фаулера и Нордгейма. Термоавтоэлектронная эмиссия. Поправки Мерфи и Гуда. Измерение распределения по энергиям автоэлектронов. Метод электрического дифференцирования кривых задержки. Матричные автоэмиссионные катоды. Полевая электронная микроскопия. Сканирующий туннельный микроскоп. Взрывная эмиссия электронов: физика процесса, время запаздывания, длительность импульса. Взрывная эмиссия электронов. Физические различия явлений автоэлектронной и взрывной эмиссий. Спонтанное и индуцированное излучение электронов-осцилляторов. Линейная и квадратичная группировка в ансамбле электронов-осцилляторов. Неустойчивость Пирса. Условие развития неустойчивости Пирса. Основные результаты теории нелинейных волн пространственного

заряда. Дрейфовое приближение при описании движения электронов в скрещенных статических электрическом и магнитном полях и в поле бегущей волны. Механизм фазировки в скрещенных электрическом и магнитном полях и в поле бегущей волны. Качественное описание процесса группирования электронов в бегущей волне. Принципы работы лампы с бегущей обратной волной. Основные механизмы фазировки и ограничения мощности в ЛБВО. Физическое представление о "горячих" электронах. Методы теоретического исследования "горячих" электронов. Пороговая энергия ударной ионизации. Плотность тока эмиссии "горячих" электронов. Эмиттер горячих электронов на основе p-n и p-n-p переходов. Эмиттеры на основе структуры металл-диэлектрик-металл. Эмиссия "горячих" электронов из диспергированных металлических пленок. Эмиссия электронов из структуры полупроводник-металл. Эмиссия электронов из тонкой положительно заряженной пленки диэлектрика. Теория Фаулера фотоэлектронной эмиссии из металлов. Основы квантово-механической теории фотовозбуждения электронов. Поверхностный и объемный фотоэффекты. Особенности фотоэлектронной эмиссии полупроводников. Прямые и не прямые переходы. Физико – химические основы формирования нанообъектов. Понятие «квантоворазмерные эффекты». Базовые материалы наноиндустрии и их применение. Основы нанотранзисторов. Что представляют собой одноэлектронные транзисторы. Основы работы одноэлектронных транзисторов. Принцип действия устройств гибкой электроники и прозрачной электроники. Физические основы процессов сборки и самосборки наноструктур. Фотодетекторы на квантовых ямах и сверхрешётках. Светомодуляторы на квантовых ямах. Интегральные схемы на базе модифицированного графена. Углеродная наноэлектроника: технологии создания наноструктурированных углеродных материалов, квантовые эффекты в низкоразмерных углеродных структурах, принципы работы наноэлектронных приборов. Электронные устройства на базе графена: биосенсоры, фотодетекторы, наноисточники электромагнитных волн.

Литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. -М.: Физматлит, 2006.
2. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
3. В. С. Анищенко, В. В. Астахов, Т. Е. Вадивасова «Регулярные и хаотические автоколебания. Синхронизация и влияние флуктуаций». Издательство: Интеллект, 2009.
4. В.С. Анищенко «Сложные колебания в простых системах. Механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиофизических системах». Издательство: Либроком, 2009.

5. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. -- М.: Наука, 1981.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. -- М.: Радио и связь, 1989.
7. О.Е. Глухова Основы углеродной наноэлектроники. – Саратов: Издательство Саратовского Университета. 2015

3. Оптика и лазерная физика

Электромагнитные волны в однородных, изотропных, непоглощающих, диэлектрических средах. Плоская монохроматическая волна. Основные характеристики колебаний и волн и их физический смысл. Фазовая скорость волны. Пространственные периоды и частоты волнового поля. Сферическая и цилиндрическая волны. Уравнение параксиальной сферической волны. Гауссов пучок света. Модулированные (квазимонохроматические) волны. Амплитудная, фазовая, частотная модуляции. Разложение по гармоническим составляющим. Волновой цуг конечной длительности. Соотношение между длиной цуга и шириной спектрального интервала. Время и длина когерентности волны. Суперпозиция двух плоских монохроматических волн различной частоты. Биения. Групповая скорость. Формула Рэлея. Дисперсия света. Стоячие электромагнитные волны. Уравнение стоячей волны. Узлы и пучности в стоячей волне. Оптический резонатор. Регистрация стоячих электромагнитных волн: опыт Винера, цветная фотография Липпмана, объемная голограмма Денисюка. Поперечность электромагнитной волны. Взаимная ориентация волнового вектора, векторов электрического и магнитного полей в плоской волне. Типы поляризации электромагнитных волн. Суперпозиция ортогонально поляризованных волн с различными частотами, с изменяющимися во времени начальными фазами. Случайная (хаотическая) поляризация волн — естественный свет. Степень поляризации. Отражение и преломление света на плоской границе раздела двух изотропных диэлектриков. Формулы Френеля. Зависимость коэффициента отражения от угла падения. Изменение фазы волны при отражении. Изменение азимута колебаний линейно поляризованной волны при отражении и преломлении. Поляризация отраженного света при отражении под углом Брюстера. Изменение состояния поляризации света при отражении и преломлении. Степень поляризации отраженного и преломленного света. Полное внутреннее отражение. Предельный угол полного внутреннего отражения. Призмы полного внутреннего отражения. Волоконные и планарные световоды. Неоднородная волна вблизи границы раздела сред при полном внутреннем отражении. Нарушенное полное

внутреннее отражение. Изменение состояния поляризации света при полном внутреннем отражении. Преобразование линейно поляризованного света в циркулярно поляризованный при полном внутреннем отражении. Параллелепипед Френеля. Отражение света поверхностью металлов. Коэффициент отражения металлов. Глубина проникновения преломленной волны. Изменение состояния поляризации линейно поляризованной волны при отражении поверхностью металлов. Эллипсометрия. Распространение света в анизотропной среде. Тензор диэлектрической проницаемости. Одноосные и двуосные кристаллы. Взаимная ориентация векторов электромагнитного поля в анизотропной среде. Фазовая и лучевая скорости волны в анизотропной среде. Обыкновенные и необыкновенные волны. Поляризационные устройства. Кристаллические пластинки в четверть и половину длины волны. Поляризационные призмы Николя, Волластона, Рошона и Сенармона. Поляроиды. Закон Малюса. Оптическая активность. Хиральные среды. Интерференция монохроматических волн точечных источников. Пространственное распределение интенсивности в интерференционной картине. Интерференция плоских волн. Интерференция сферических волн. Взаимная когерентность волн. Оптические устройства для получения взаимно когерентных волн и наблюдения их интерференции — интерферометры. Интерферометры с делением волны по амплитуде и по волновому фронту. Многолучевая интерференция. Интерферометр Фабри – Перо. Распределение интенсивности в интерференционных картинах в проходящем и отраженном свете. Разность фаз и разность хода лучей в интерферометре Фабри – Перо. Сканирующий интерферометр Фабри – Перо. Применение интерферометра Фабри – Перо в высокоразрешающей спектроскопии. Временная когерентность света. Функция временной когерентности и ее связь со спектром оптического поля. Теорема Винера – Хинчина. Проявление временной когерентности в интерференционном эксперименте. Предельная разность хода и полное число наблюдаемых интерференционных полос. Поперечная пространственная когерентность. Роль конечных размеров источника света. Функция и степень пространственной поперечной когерентности. Теорема ван – Циттерта – Цернике. Длина (радиус) поперечной когерентности. Проявление ограниченной поперечной когерентности в интерферометре Юнга. Звездный интерферометр Майкельсона и его современные модификации. Проявление поперечной когерентности в интерферометрах с делением по амплитуде. Пространственная локализация интерференционных полос в интерферометрах с делением по амплитуде. Продольная пространственная

когерентность. Функция продольной пространственной когерентности квазимонохроматического света протяженного источника круглой формы. Длина продольной пространственной когерентности квазимонохроматического оптического поля. Временная и пространственная когерентность лазерного излучения. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционный интеграл. Дифракция Френеля на круглом отверстии и круглом экране. Зоны Френеля. Векторные диаграммы. Линза Френеля. Дифракция Фраунгофера (дифракция дальнего поля, дифракция в параллельных лучах). Дифракция Фраунгофера на щели и на прямоугольном отверстии. Распределение интенсивности в дифракционной картине. Дифракция Фраунгофера на круглом отверстии. Дифракционная решетка. Распределение интенсивности в картине дифракции на щелевой амплитудной дифракционной решетке. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Дифракционный спектрограф. Разрешающая способность дифракционной решетки. Фазовые дифракционные решетки. Отражающие дифракционные решетки. Синусоидальная дифракционная решетка. Объемные дифракционные решетки. Дифракция Брегга – Вульфа. Дифракция света на бегущей и стоячей акустических волнах. Физические принципы оптической голографии. Голографические схемы записи и восстановления оптического волнового поля. Голографическая интерферометрия. Объемные голограммы. Отражательные голограммы Денисюка. Спектральная селективность объемных голограмм. Оптическая цифровая голография. Распространения света в изотропной диспергирующей среде. Поляризация среды. Дисперсия света. Уравнение плоской монохроматической волны в поглощающей среде. Закон Бугера. Волновые пакеты. Групповая скорость волны. Формула Рэлея. Классическая электронная теория дисперсии. Уравнение движения осциллятора во внешнем поле. Дисперсия вдали от линии поглощения. Дисперсия в области линии поглощения — аномальная дисперсия. Дисперсионная кривая и спектральный контур поглощения. Эффект вращения направления (плоскости) поляризации при распространении света в веществе. Естественное вращение плоскости поляризации. Опыт Френеля. Сахарометрия. Поляриметры. Эффект вращения направления линейной поляризации в магнитном поле — эффект Фарадея. Рассеяние света и его закономерности. Индикатриса рассеяния. Поляризация рассеянного света. Закон Рэлея. Молекулярное рассеяние. Объяснение цвета зари и неба. Рассеяние Ми. Неупругое рассеяние света. Вынужденное и комбинационное рассеяние. Вынужденное рассеяние Мандельштама – Бриллюэна. Эффект Доплера в оптике. Проявление

эффекта Доплера в спектральных исследованиях (частотный сдвиг спектральных линий излучения звезд, доплеровское уширение спектральных линий). Проявление эффекта Доплера при интерференции и дифракции света. Сдвиг частоты света при дифракции на движущейся дифракционной решетке и на бегущей акустической волне. Физика и техника волоконных световодов. Основные свойства оптических волокон. Числовая апертура, потери, ступенчатые и градиентные волоконные световоды, многомодовые и одномодовые волокна, дисперсия волоконных световодов, нелинейные явления. Медицинские волоконные световоды и облучатели биотканей, волоконные лазеры и микроструктурные световоды. Особенности медицинских световодов УФ, видимого и ИК диапазонов. Биомедицинские волоконно-оптические датчики и зонды, волоконно-оптический когерентный томограф, физические и биохимические датчики. Оптические свойства прозрачных биотканей. Оптические модели тканей глаза. Спектры пропускания и рассеяния тканей глаза. Поляризационные свойства тканей глаза и других прозрачных биологических объектов. Оптические свойства тканей с сильным (многократным) рассеянием. Распространение света в биотканях, основные принципы и наиболее важные поглотители. Теория переноса излучения. Распространение коротких импульсов в биотканях. Принципы оптической томографии с временным разрешением. Диффузионные волны фотонной плотности. Принципы оптической модуляционной томографии биотканей. Распространение поляризованного света в биотканях. Эффекты когерентности света при взаимодействии лазерного излучения с биотканями и потоками клеток. Формирование спеклов. Интерференция спекл-полей. Динамическое рассеяние света. Методы медицинской оптической диагностики. Спектрофотометрия, методы и устройства для *in vivo* спектроскопии и получения изображений биотканей. Спектроскопия и томография биотканей с временным разрешением. Импульсные системы. Модуляционные (фазовые) системы. Интерференционные системы (волны фотонной плотности). *In vivo* измерения, пределы детектирования и примеры клинического применения. Когерентные методы и устройства для биомедицинской диагностики и томографии. Фотон-корреляционная спектроскопия прозрачных биотканей и потоков клеток. Диффузионно-волновая спектроскопия и интерферометрия — измерение скорости микроциркуляции крови в биотканях. Оптическая спекл-топография и томография биотканей. Методы когерентной микроскопии (конфокальная микроскопия). Интерферометрия и томография с использованием частично-когерентных источников света. Принцип лазера как оптического усилителя

с обратной связью. Порог генерации. Теория Лэмба. Режимы лазерной генерации. Непрерывный и импульсный режим. Модовый состав излучения. Конкуренция мод. Типы лазеров. Твердотельные лазеры. Газовые лазеры: лазеры на нейтральных атомах, ионные лазеры, молекулярные лазеры, лазеры на самоограниченных переходах. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на центрах окраски. Режимы работы лазеров. Непрерывные и импульсный режимы. Пичковый режим. Модуляция добротности. Синхронизация мод. Генерация сверхкоротких импульсов. Принципы адаптивной оптики; коррекция волнового фронта лазерных пучков. Полупроводниковые лазеры. Выходная оптическая мощность в полупроводниковом лазере, зависимость от параметра насыщения и усиления. Оптимальные условия генерации. Спектральные и динамические характеристики излучения инжекционных полупроводниковых лазеров. Релаксационные колебания и динамический хаос в полупроводниковых лазерах. Прямая модуляция интенсивности и частоты лазерных диодов и светодиодов. Внешняя электрооптическая модуляция. Позиционно-импульсная и двоичная модуляция. Внутренний и внешний фотоэффект. Фотодиоды, фоторезисторы. Быстродействующие лавинно-пролетные и рп диоды. Шумы и чувствительность. Комбинационные и солитонные лазеры, на основе оптических волноводов. Волоконные лазеры сверхкоротких импульсов. Синхронизация мод. Керровская синхронизация мод. Аддитивная синхронизация мод. Лазеры с насыщающимся поглотителем. Волоконно-оптические системы связи. Оптические соединения и переходы. Возбуждение световодов лазерами и светодиодами. Волоконно-оптические гироскопы. Волоконно-оптические низкокогерентные томографы. Методы линейной лазерной спектроскопии: внутрирезонаторные, оптико-акустический, оптико-гальванический, модуляционные и др. Способы получения узких нелинейных резонансов в поглощающих средах. Применение узких резонансов в метрологии и спектроскопии высокого разрешения. Активная спектроскопия. Спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС). Спектроскопия быстропротекающих процессов. Эффекты лазерного излучения (нагрев, плавление, испарение). Эмиссия частиц под действием лазерного излучения. Пробой газов. Повреждение прозрачных материалов. Принципы создания и типы мощных технологических лазеров. Применение мощных лазеров. Обработка металлов. Обработка неметаллических материалов. Обработка пленочных элементов. Лазеры экстремально больших энергий в фундаментальных экспериментах (термоядерный синтез, рождение частиц из вакуума). Методы лазерной диагностики

биообъектов. Лазерная флуориметрия, абсорбционно-трансмиссионная спектроскопия, фототермическая и фотоакустическая спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, доплеровская спектроскопия, спекл-интерферометрия, голография. Лазерная микроскопия и цифровая голография биологических клеток. Нелинейная спектроскопия и визуализация клеток и тканей. Фототермическая и фотоакустическая визуализация клеток и тканей. Лазерная оптопорация и трансфекция живых клеток. Лазерный микроспектральный анализ. Оптическая диффузионная и когерентная томография. Лазерные диагностические устройства и волоконно-оптические биомедицинские датчики. Фотонно-кристаллические световоды. Оптические биосенсоры.

Литература:

1. Бутиков Е.И. Оптика. - С.-Петербург: Невский Диалект: БХВ-Петербург. 2003. - 480 с.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. Издание 6-е. - М.: Наука, 2006. - 928 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 792 с.
4. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики. Издательство: С.-П. Изд-во «Питер», 2006. – 336 с.
5. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика: Учебник. - М.: Изд-во Моск. ун-та. 2004. 654 с.
6. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. 3-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 656 с.
7. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1973. - 720 с.
8. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М.: Наука. Физматлит, 2000.
9. Федосов И.В. Геометрическая оптика (учебное пособие). - Саратов: Сателлит. – 2008. – 92 с.
10. Оптическая биомедицинская диагностика. Т.1, 2 / Под ред. Тучина В.В. Пер. с англ. М., Физматлит, 2007.
11. Тучин В.В., Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях, 2-е издание, Физматлит, 2010.

4. Биоптика.

Строение и оптические свойства прозрачных биотканей. Спектры пропускания и рассеяния тканей глаза. Оптические свойства тканей с сильным (многократным) рассеянием. Распространение света в биотканях, основные принципы распространения света и наиболее важные поглотители. Метод Монте Карло. Методы измерения оптических параметров биотканей, основные принципы, методы и результаты. Прямые измерения фазовой функции рассеяния. Измерения показателя преломления. Методы управления оптическими параметрами биотканей. Распространение коротких импульсов в биотканях. Основные принципы и теоретический подход. Принципы спектроскопии и томографии с временным разрешением. Диффузионные волны фотонной плотности. Основные принципы и теоретический подход. Принципы модуляционной спектроскопии и томографии биотканей. Распространение поляризованного света в биотканях. Эффекты когерентности света при взаимодействии лазерного излучения с биотканями и потоками клеток. Распространение пространственно-модулированных лазерных пучков в рассеивающих средах. Динамическое рассеяние света. Конфокальная микроскопия. Оптическая когерентная томография. Спектроскопия рассеяния света эпителиальными тканями: принципы и приложения. Отражательная и флуоресцентная спектроскопия биотканей *in vivo*. Основные принципы. Спектроскопия инфракрасного поглощения и комбинационного рассеяния биотканей *in vivo*. Основные принципы. Флуоресцентные технологии в биомедицинской диагностике. Спектроскопия и томография биотканей с временным разрешением. Импульсные системы. Когерентные методы и устройства для биомедицинской диагностики и томографии. Фотон-корреляционная спектроскопия прозрачных биотканей и потоков клеток. Диффузионно-волновая спектроскопия и интерферометрия – измерение скорости микроциркуляции крови в биотканях. Оптическая спекл-томография и томография биотканей. Интерферометрия и томография с использованием частично-когерентных источников света. Оптотермические, оптоакустические и акустооптические методы диагностики биотканей. Основные принципы и классификация. Систематизация фотобиологических процессов с энергетической и биологической точек зрения. Стадии фотобиологических процессов. Внутримолекулярные фотофизические процессы. Люминесценция, ее основные закономерности. Миграция энергии. Механизмы миграции. Основные закономерности протекания фотохимических процессов.

Действие ультрафиолетового излучения на нуклеиновые кислоты. Методы анализа биомедицинских сигналов. Математическое моделирование процессов в биологии, физиологии и экологии. Биологические триггеры, силовое и параметрическое переключение биологического триггера. Автоколебания в биологических системах. Математические модели кинетики ферментативных реакций. Математические модели электрической активности живой клетки. Математические модели в системной физиологии.

Литература:

1. В.В. Тучин. Оптика биологических тканей. Меторды рассеяния света в медицинской диагностике. / Перевод с англ. Под ред. В.В. Тучина. – М.: Физматлит, 2012.
2. В.В. Тучин, Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях, 2-е издание, Физматлит, 2010.
3. Оптическая биомедицинская диагностика. Т. 1, 2 / Под ред. Тучина В.В. Пер. с англ. М., Физматлит, 2007; Handbook on Optical Biomedical Diagnostics. V. PM107 / Ed. by Tuchin V.V. Bellingham, SPIE Press, 2002.
4. Владимиров Ю.А., Потапенко А.Я. Физико-химические основы фотобиологических процессов: учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2006.
5. Рубин А.Б. Биофизика: В 2 т.: Учеб. для студентов биол. спец. Вузов. - 3-е изд. Т. 2: Биофизика клеточных процессов. М.: Изд. Московского университета, 2004. (ЭБС «Библиотех»).
6. Волькенштейн М.В. Биофизика: учеб. пособие. -3-е изд., стер. СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008.
7. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е. Лекции по нелинейной динамике. Саратов, Изд-во Сарат. Ун-та, 2010.
8. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.Ю. Нелинейные колебания: Учеб. пособие для вузов. – М.: Физматлит., 2002.
9. Павлов А.Н. Методы анализа сложных сигналов, учебное пособие, Саратов, Изд-во Научная книга, 2008 (электронная версия доступна на сайте <http://chaos.sgu.ru>).
10. Хованова Н.А., Хованов И.А. Методы анализа временных рядов. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2001 (электронная версия доступна на сайте <http://chaos.sgu.ru>).

Срок действия программы вступительного испытания 3 года.

Программа утверждена Ученым советом физического факультета (протокол № 7/1 от 10.04.2019 г.) и согласована с Отделом по организации приема на основные образовательные программы СГУ.

Начальник отдела по организации приема
на основные образовательные программы,
ответственный секретарь Центральной
приемной комиссии СГУ

 С.С. Хмелев