

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

## «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

2023 год

---

Институт физики

Направление 03.04.02 «Физика»

Магистерская программа «Биофотоника», «Физика оптических и лазерных явлений», «Моделирование и мониторинг физических процессов и систем», «Медицинская физика», «Квантовые технологии»

### Вопросы для собеседования

#### Механика

1. Кинематика материальной точки
2. Динамика материальной точки. Законы Ньютона.
3. Динамика системы материальных точек. Законы сохранения.
4. Движение в центрально-симметричном поле. Законы Кеплера.
5. Функция Лагранжа и уравнения Лагранжа системы материальных точек. Интегралы движения.
6. Динамика абсолютно твердого тела. Тензор инерции. Уравнения Эйлера.
7. Движение относительно неинерциальных систем отсчета.
8. Вариационный принцип Гамильтона.
9. Колебания систем с одной и многими степенями свободы. Свободные и вынужденные колебания.
10. Канонические уравнения Гамильтона. Скобки Пуассона.
11. Уравнения Гамильтона - Якоби.
12. Деформации и напряжения в твердых телах. Модули Юнга, сдвига. Коэффициент Пуассона.
13. Механика жидкостей и газов. Течение идеальной жидкости. Уравнение Эйлера.
14. Течение вязкой жидкости. Уравнение Навье - Стокса. Число Рейнольдса.
15. Волны в сплошной среде. Характеристики акустических волн. Эффект Доплера.
16. Основы специальной теории относительности и преобразования Лоренца.

## **Молекулярная физика и статистическая механика**

1. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Температура.
2. Первое начало термодинамики и его приложения
3. Второе начало термодинамики. Энтропия как мера необратимости.
4. Цикл Карно. Метод циклов.
5. Метод термодинамических потенциалов.
6. Взаимодействие молекул. Идеальный газ. Основные газовые законы.
7. Распределение молекул газа по скоростям. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле.
8. Канонические распределения.
9. Идеальные бозе- и ферми - газы. Равновесное излучение.
10. Теплоемкость твердых тел. Модели Дебая и Эйнштейна, фононная теория теплоемкости твердого тела.
11. Теория флуктуаций. Броуновское движение.
12. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
13. Жидкости. Поверхностные явления.
14. Твердые тела. Кристаллы. Симметрия кристаллов.
15. Фазовые переходы первого и второго рода. Условия устойчивости и равновесия.
16. Явления переноса.
17. Кинетическое уравнение Больцмана. Понятие об H-теореме.
18. Плазменное состояние вещества. Уравнение Власова. Понятие о самосогласованном поле.

## **Электродинамика и оптика**

1. Электростатическое поле. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Мультипольное разложение потенциала.
2. Статическое магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Электромагнитная индукция.
3. Уравнение Максвелла в вакууме. Скалярный и векторный потенциалы. Калибровочная инвариантность.
4. Энергия электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга.
5. Излучение электромагнитных волн в электрическом дипольном приближении. Радиационное трение.
6. Уравнения Максвелла в среде. Материальные уравнения. Комплексная диэлектрическая проницаемость и показатель преломления, их пространственная и временная дисперсия.
7. Диэлектрики, магнетики, проводники, сверхпроводники и их электромагнитные свойства.
8. Квазистационарное приближение. Скин-эффект.
9. Эффект Черенкова. Циклотронное и синхротронное излучение. Рассеяние электромагнитных волн на свободных электронах. Лазеры на свободных электронах.

10. Плоские и сферические волны. Квазимонохроматические волны. Поляризация электромагнитных волн. Линейная, круговая, эллиптическая и хаотическая поляризация света. Способы получения различных состояний поляризации света.

11. Отражение и преломление света на границе раздела сред. Физический смысл формул Френеля. Изменение состояния поляризации света при отражении и преломлении. Анизотропные среды. Поляризационные призмы и поляроиды. Искусственная анизотропия.

12. Интерференция света. Временная и пространственная когерентность. Интерферометры.

13. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Дифракционная расходимость пучков света. Дифракционный предел разрешения изображающих оптических систем. Амплитудные и фазовые дифракционные решетки. Спектральные приборы на дифракционных решетках. Физические основы голографии.

14. Дисперсия. Поглощение света и аномальная дисперсия. Вращение плоскости поляризации света в веществе. Эффект Фарадея (вращение плоскости поляризации в магнитном поле). Рассеяние света. Формула Рэля. Поляризация рассеянного света.

15. Оптика движущихся сред. Опыт Майкельсона. Опыт Физо. Эффект Саньяка. Эффект Доплера.

16. Нелинейные оптические явления. Генерация гармоник, самофокусировка света.

### **Атомная физика и квантовая механика**

1. Экспериментальные факты, лежащие в основе квантовой теории. Волновые и корпускулярные свойства материи.

2. Атом водорода по Бору.

3. Принцип неопределенности.

4. Основные постулаты квантовой механики. Волновая функция.

5. Описание эволюции квантовомеханических систем. Уравнения Шредингера и Гейзенберга. Стационарные состояния.

6. Линейный квантовый гармонический осциллятор. Энергии и волновые функции стационарных состояний.

7. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.

8. Движение в центральном поле. Угловой момент. Атом водорода: волновые функции и уровни энергии.

9. Стационарная теория возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Ангармонический осциллятор. Эффект Штарка.

10. Нестационарная теория возмущений. Золотое правило Ферми.

11. Теория упругого рассеяния. Борновское приближение.

12. Уравнение Дирака. Тонкая структура спектра атома водорода.

13. Системы тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.

14. Многоэлектронный атом. Приближение самосогласованного поля. Электронная конфигурация. Периодическая система элементов Менделеева.

15. Основы физики молекул. Типы химической связи. Движение электронов и ядер в адиабатическом приближении.

### **Физика атомного ядра и частиц**

1. Основные характеристики атомных ядер. Квантовые характеристики ядерных состояний.
2. Ядерные силы и их свойства.
3. Модели атомных ядер.
4. Механизмы ядерных реакций.
5. Радиоактивность. Альфа- и бета-распад ядер Радиоактивные ряды
6. Гамма-излучение ядер. Эффект Мессбауэра. Ядерная изомерия.
7. Деление ядер. Ядерная энергия. Цепная реакция. Ядерные реакторы.
8. Синтез ядер. Термоядерные реакции как источник энергии звезд. Проблема управляемого термоядерного синтеза
9. Частицы и взаимодействия. Взаимодействие как обмен квантами калибровочного поля. Фундаментальные частицы - лептоны и кварки. Античастицы.
10. Симметрии и законы сохранения. Объединение взаимодействий.
11. Космические лучи и их основные характеристики.
12. Взаимодействие частиц и излучений с веществом.
13. Принципы и методы ускорения заряженных частиц.
14. Методы детектирования частиц.

### **Медицинская физика и Квантовые технологии**

#### **Раздел 1. Численные методы и цифровые устройства в медицинской физике**

1. Преобразование Фурье. Дискретное преобразование Фурье. Преобразования Фурье эталонных сигналов. Вычислительная сложность дискретного преобразования Фурье.
2. Вычисление спектра мощности. Разделение сигналов в частотной области.
3. Понятие численного решения алгебраического уравнения. Преимущества и ограничения численных методов. Метод половинного деления. Метод Ньютона.
4. Решение систем линейных уравнений. Постановка задачи в матричном виде. Метод последовательного исключения неизвестных (Гаусса). Алгоритм преобразования матрицы к треугольному виду. Расчёт неизвестных по треугольной матрице.
5. Постановка задачи численного дифференцирования. Дифференцирование в простейшем случае. Дифференцирование со сглаживанием прямою.
6. Численное интегрирование: взятие определённого интеграла, аппроксимация интеграла суммой. Методы первого порядка точности: метод прямоугольников и метод трапеций.
7. Численное решение дифференциальных уравнений. Метод Эйлера.
8. Позиционные системы счисления. Понятие базиса и основания

- системы счисления. Двоичная и десятичная системы счисления. Перевод чисел из двоичной системы счисления в десятичную и обратно.
9. Понятие дополнительного кода числа. Перевод чисел в дополнительный код. Представление целых чисел в компьютере. Различные форматы целых чисел.
  10. Логические функции. Построение логических функций по таблице истинности. Совершенная дизъюнктивная нормальная форма и совершенная конъюнктивная нормальная форма представления логических функций.
  11. Простейшие логические элементы. Построение логической схемы в базисе И-НЕ, ИЛИ-НЕ.
  12. Функциональные узлы комбинационного типа. Двоичные дешифраторы. Приоритетные и двоичные шифраторы. Мультиплексоры. Компараторы кодов. Каскадирование компараторов.
  13. Функциональные узлы последовательного типа (автоматы с памятью). Классификация триггеров. Логическое функционирование триггеров.
  14. Счетчики. Асинхронные счетчики. Делители частоты на счетчиках. Синхронные счетчики с асинхронным переносом. Увеличение разрядности.
  15. ЦАП и АЦП. Микросхемы ЦАП и АЦП. Схемы построения АЦП с параллельным интерфейсом ввода/вывода. АЦП последовательного приближения. АЦП с промежуточным преобразованием.
  16. Запоминающие устройства. Основные типы ЗУ. Микросхемы памяти. Типы информационных выводов. ПЗУ как универсальная комбинационная микросхема.
  17. Шины микропроцессорной системы. Циклы обмена информацией: Циклы программного обмена. Циклы обмена по прерываниям. Циклы обмена в режиме ПДП.
  18. Функции устройств магистрали. Функции процессора. Функции памяти. Функции устройств ввода/вывода.
  19. Архитектура микропроцессорных систем. Основные особенности микроконтроллеров серии PIC. Структурная схема МК подгруппы PIC16F8X.

## **Раздел 2. Биофизические основы живых систем**

20. Механизмы генерации потенциала действия. Ионные токи в аксоне. Модель Ходжкина-Хаксли. Ионные каналы клеточных мембран. Механизм генерации потенциала действия кардиомиоцита. Биофизика клеток и органов.
21. Электрическая активность органов. Внешние электрические поля органов. Принцип эквивалентного генератора. Физические основы электрокардиографии. Метод исследования электрической активности головного мозга – электроэнцефалография.
22. Автоволновые процессы в активных средах. Автоколебания и автоволны в органах и тканях. Распространение автоволн в

однородных средах. Циркуляция волн возбуждения в кольце. Ревербератор в среде с отверстием. Трансформация ритма в неоднородной активной среде. Ревербераторы в неоднородных средах.

23. Биофизика мышечного сокращения. Структура поперечно-полосатой мышцы. Модель скользящих нитей. Биомеханика мышцы. Уравнение Хилла. Мощность одиночного сокращения. Моделирование мышечного сокращения. Электромеханическое сопряжение в мышцах.
24. Моделирование биофизических процессов. Основные этапы моделирования. Математические модели роста численности популяции. Модель “хищник-жертва”. Фармакокинетическая модель.
25. Биофизика системы кровообращения. Реологические свойства крови. Основные законы гемодинамики. Биофизические функции элементов сердечно-сосудистой системы. Кинетика кровотока в эластичных сосудах. Пульсовая волна. Модель Франка. Динамика движения крови в капиллярах. Фильтрационно-реабсорбционные процессы. Особенности кровотока при локальном сужении сосудов. Резистивная модель

### **Раздел 3. Биомедицинские нанотехнологии.**

26. Молекулярные основы биоинженерии. Молекулы ДНК, РНК. Генетическая роль нуклеиновых кислот. Структура нуклеиновых кислот. Структура ДНК и РНК. Репликация ДНК. Синтез белков в клетке. Транскрипция ДНК и РНК, тРНК. Генетический код. Трансляция генетического кода. Методы генной инженерии.
27. Синтез гормонов, моноклонарных антител, изменение качественного и количественного состава белков, жиров, углеводов, устойчивости к стрессовым факторам, растительные вакцины. Липосомы, молекулярные двигатели, биочипы, матрицы для ЭВМ.
28. Сканирующая зондовая микроскопия. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Сканирующие элементы (сканеры) зондовых микроскопов. Конструкции пьезосканеров. Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца.
29. Сканирующая туннельная микроскопия. Принципы сканирующей туннельной микроскопии. Туннельный ток. Зонды для туннельных микроскопов. Измерение локальной работы выхода. Измерение ВАХ туннельного контакта. Туннельная спектроскопия. ВАХ контакта металл–металл. ВАХ контакта металл–полупроводник. ВАХ контакта металл–сверхпроводник.
30. Сканирующая атомно-силовая микроскопия. Принципы сканирующей атомно-силовой микроскопии. Зондовые датчики атомно-силовых микроскопов. Контактная атомно-силовая микроскопия. Зависимость силы от расстояния между зондовым датчиком и образцом. Колебательные методики атомно-силовой микроскопии. Вынужденные колебания кантилеверов. Бесконтактный режим колебаний кантилеверов. «Полуконтактный» режим колебаний кантилеверов.
31. Сканирующая электросиловая микроскопия. Принципы

- электросиловой микроскопии.
32. Сканирующая магнито-силовая микроскопия. Принципы магнито-силовой микроскопии. Квазистатические методики. Колебательные методики.
  33. Сканирующая ближнеполевая оптическая микроскопия. Ближнеполевая оптическая микроскопия. Зонды на основе оптического волокна. Метод контроля расстояния зонд-поверхность в ближнеполевом оптическом микроскопе. Конфигурация ближнеполевого оптического микроскопа.
  34. Методы исследования биологических и органических объектов и структур. Основные методы исследования биологических и органических объектов и структур (достоинства и недостатки): Дифракционные методы. Электронная микроскопия. Оптические методы. Лазерные технологии.
  35. Биотехнология. Основные понятия, объекты, методы. Генная инженерия в биомедицинской технологии. Строение и структура ДНК. Физико-химические свойства ДНК.

#### **Раздел 4. Биофизика неионизирующих излучений.**

36. Классификация электромагнитного излучения. Электромагнитные поля - важный фактор среды, влияющий на живые организмы различного уровня организации. Классификация электромагнитного излучения по частотам. Деление электромагнитных волн на неионизирующее и ионизирующее излучение с точки зрения их взаимодействия с тканью. Общие аспекты применения различных частотных участков электромагнитного излучения в соответствии с рассмотренной классификацией (с основным акцентом на медицину). Электромагнитное излучение человека.
37. Биофизические аспекты взаимодействия электромагнитного излучения с биологическими объектами. Общие сведения об аппаратуре медицинского назначения. Нормирование электромагнитного излучения. Информационное взаимодействие в живых объектах, подвергнутых воздействию электромагнитных КВЧ колебаний.
38. Неионизирующее излучение в окружающей среде и их опасность. Гигиеническое нормирование электромагнитного излучения. Взаимодействие фотонов с биологически важными соединениями. Характеристики светового излучения. Электронные переходы в молекулах. Поглощение монохроматического света растворами. Спектры пропускания и спектры поглощения. Спектры поглощения и химическая структура биологически важных соединений. Спектрофотометры. Качественный и количественный спектрофотометрический анализ. Разностная спектрофотометрия. Искажение спектров в биологических объектах.
39. Фотолюминесценция биологических систем. Явление люминесценции. Электронные переходы в возбужденной молекуле и основные законы люминесценции. Электронные переходы и колебание ядер. Связь интенсивности люминесценции с концентрацией вещества. Люминесцентный анализ.

40. Приборы для регистрации люминесценции. Флуориметр со светофильтрами. Влияние микроокружения на спектры и квантовые выходы люминесценции. Флуоресцентные зонды. Спектры возбуждения люминесценции. Эффект экранировки люминесценции. Явление реабсорбции люминесценции.
41. Время жизни возбужденного состояния молекул. Связь квантового выхода со временем жизни возбужденного состояния молекул. Статическое и динамическое тушение флуоресценции. Флуоресценция димеров и эксимеров. Поляризация люминесценции. Триpletное состояние биомолекул. Фосфоресценция. Измерение спектра,  $\tau$  фосфоресценции и поглощение молекул в триpletном состоянии. Замедленная флуоресценция. Фотохимическое повреждение нуклеиновых кислот, белков и липидов биомембран.
42. Действие УФ-излучения на нуклеиновые кислоты. УФ-повреждение белков и аминокислот. Природа первичных фотопродуктов ароматических аминокислот. Действие ультрафиолета на биологические мембраны.
43. Механизм фотосенсибилизированных реакций в биологических системах. Фотосенсибилизированные реакции, не нуждающиеся в кислороде. Фотодинамические эффекты с участием синглетного кислорода. Другие механизмы фотосенсибилизированного окисления. Фотобиологические процессы в коже.

## **Раздел 5. Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы**

44. Понятие сенсора (датчика). Основные характеристики сенсоров. Классификация сенсоров по принципу действия (физические, химические, биосенсоры). Требования к современным датчикам.
45. Химиосенсорика и биосенсорика. Химические сенсоры и биосенсоры. Основные сведения. Функциональная схема химических (био-)сенсоров. Основные типы физических преобразователей (трансдюсеров). Распознающие элементы. Аналитические характеристики. Области применения.
46. Электрохимические сенсоры и биосенсоры. Основные типы. Потенциометрические газовые сенсоры и биосенсоры.
47. Амперометрические сенсоры.
48. Кондуктометрические сенсоры и биосенсоры. Сенсоры и биосенсоры на основе полупроводниковых полевых транзисторов.
49. Оптические хемо- и биосенсоры. Конструкции, типы. Применение эффектов поглощения света и флуоресценции.
50. Лабораторная диагностика. Аппараты для биохимического анализа. Аппараты для гематологического анализа. Аппараты для гемостаза (коагулометрия). Аппараты для иммуноферментного анализа (ИФА).
51. Электрокардиография. Биоэлектрические основы электрокардиографии. Мембранная теория возникновения биопотенциалов. Основные функции сердца. Функции автоматизма, проводимости, возбудимости, рефрактерности. Формирование нормальной ЭКГ.



52. Респираторный мониторинг. Принципы мониторинга функции внешнего дыхания. Диагностические показатели газообмена и газов крови. Мониторинг степени насыщения гемоглобина крови кислородом: спектрофотометрическая оксиметрия, пульсовая оксиметрия.
53. Ультразвуковые доплеровские системы для медицины. Измерения скорости потока крови в аорте с помощью ультразвукового датчика. Импульсные доплеровские системы. Мультисканирующий Допплер.
54. Тепловизионные технологии в медицине. Принцип устройства тепловизора. Термограмма лица. Тепловое изображение передней поверхности брюшной стенки человека.

## **Раздел 6. Радиационная физика.**

55. Основы физики ионизирующих излучений. Виды ионизирующих излучений. Рентгеновское излучение, тормозное и характеристическое. Комpton-эффект. Рассеяние заряженных частиц, формула Резерфорда. Эффективные сечения. Размеры и форма ядер. Энергия связи ядер. Дефект массы. Устойчивость ядер.
56. Основные свойства ядерных сил. Магнитный (спиновый) момент ядер, ядерный магнитный резонанс. Ядерные реакции. Радиоактивный распад ядер. Альфа- и бета-излучение. Радиоактивные ряды. Гамма-излучение ядер. Ядерная изомерия. Реакции деления тяжелых ядер и синтеза легких ядер как источник нейтронного излучения.
57. Взаимодействие проникающих излучений с веществом. Прохождение заряженных частиц через вещество. Прохождение рентгеновских фотонов и -квантов через вещество. Прохождение нейтронов через вещество. Перенос излучения. Кинетические уравнения.
58. Источники и методы регистрации проникающих излучений. Источники и методы исследования характеристик проникающих излучений. Изотопные источники заряженных частиц и -квантов. Источники нейтронов. Ускорители заряженных частиц. Тормозное и синхротронное излучение. Методы регистрации проникающих излучений.
59. Физические основы радиобиологии и радиационной медицины. Классификация видов излучений по типу взаимодействия с биологической средой. Первичные процессы поглощения энергии ионизирующего излучения в биологической среде. Радиоллиз воды и его влияние на биохимические реакции. Основные закономерности действия ионизирующего излучения разных энергий и видов на макромолекулы, клетки, организм. Радиационные, химические и биологические эффекты излучения в диагностике и терапии.
60. Основы дозиметрии и защиты от излучения. Качество излучения. Эффективная и эквивалентная дозы. Формирование дозных полей и планирование радиационной терапии. Оптимизация условий облучения. Защита, дозиметрия и контроль при облучении.

## **Раздел 7. Основы интроскопии**

61. Рентгенодиагностические системы получения изображения. Рентгеновская установка и формирование изображения. Взаимодействие квантов. Основные физические параметры (контраст, нерезкость изображения, шум, доза). Рентгеновские трубки. Спектры рентгеновского излучения. Приемники изображения. Цифровая рентгенография. Современные радиовизиографические системы. Клиническое применение. Биологическая безопасность. Рентгеновская трансмиссионная компьютерная томография.
62. КТ-сканеры. Наборы проекций. Информация, содержащаяся в проекциях. Теорема о центральном сечении. Реконструкция методом двумерного преобразования Фурье. Метод свертки и обратного проецирования. Практическая реализация метода. Клиническое применение рентгеновской компьютерной томографии. Специализированные КТ сканеры. Доза рентгеновского облучения. Биологическая безопасность.
63. Позитронная эмиссионная томография (ПЭТ). Принцип регистрации совпадений аннигилирующих квантов. Клинические приложения.
64. Магнитно-резонансная томография. Характеристики МР томографа. Метод получения изображения.
65. ЯМР. Физические основы. Биологическая безопасность. Противопоказания к ее проведению. Клиническое применение.

## **Раздел 8. Цифровая обработка медицинских изображений**

66. Математические модели изображений. Математические модели оптических изображений. Функция яркости. Двумерные линейные системы. Средства ввода изображений в ЭВМ. Модели помех при регистрации изображений. Прикладные задачи обработки изображений.
67. Элементарные преобразования изображений. Поэлементные преобразования изображений. Общее описание метода. Линейное контрастирование. Соляризация. Препарирование изображений. Пороговая обработка. Преобразование гистограмм, эквализация. Применение табличного метода при поэлементных преобразованиях.
68. Фильтрация изображений. Фильтрация изображений. Оптимальная линейная фильтрация. Уравнение Винера-Хопфа. Масочная фильтрация изображений при наличии аддитивного белого шума. Рекуррентная каузальная фильтрация. Применение фильтра Винера для некаузальной двумерной фильтрации. Двумерное преобразование Фурье. Циклическая свертка. Решение уравнения Винера-Хопфа в циклическом приближении. Байесовская фильтрация изображений. Сущность байесовской фильтрации. Марковская фильтрация одномерных последовательностей. Градиентный метод.
69. Улучшение изображений. Применение контраста. Видоизменение

гистограмм. Подавление шумов. Подчеркивание границ. Медианный фильтр. Ложные цвета. Псевдоцвета. Улучшение спектрально-пространственных изображений.

70. Восстановление изображений. Модели изображений и их линейных искажений. Формирование изображений. Искажения: размытие вследствие движения (смаз), расфокусировка. Алгебраические методы восстановления изображений. Методы восстановления изображений на основе пространственной фильтрации: инверсный фильтр, фильтр Винера. Теорема Шеннона - Котельникова; Фурье - синтез, свертка, обратная проекция (метод фильтрованных обратных проекций).

Председатель предметной комиссии

С.Б. Вениг