

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр  
Сибирского отделения Российской академии наук»  
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ФИЦ КНЦ СО РАН

  
\_\_\_\_\_ А.А. Шпедт

« 25 »  \_\_\_\_\_ 2022г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Приборы и методы экспериментальной физики»**

Научная специальность:

**1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики»**

Отрасль наук:

физико-математические, технические науки

Красноярск 2022

## 1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена разработана на кафедре фундаментальных дисциплин и методологии науки факультета подготовки кадров ФИЦ КНЦ СО РАН в соответствии со следующими документами:

- Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;
- Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН;
- Порядком сдачи кандидатских экзаменов и прикрепления лиц к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов;
- Паспортом научной специальности.

Цель проведения экзамена: оценить уровень знаний, умений и навыков в области приборов и методов экспериментальной физики.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки экзаменуемого, знание общих концепций и методологических вопросов данной науки, истории ее формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

К кандидатскому экзамену допускаются лица, прикрепленные к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, и аспиранты, обучающиеся в ФИЦ КНЦ СО РАН по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – экзаменуемые).

Кандидатский экзамен по дисциплине «Приборы и методы экспериментальной физики» проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя три теоретических вопроса по данной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

## 2 Содержание программы кандидатского экзамена

### Методы измерения основных физических величин

Методы измерения времени, погрешности измерений, эталоны. Учет эффектов общей теории относительности (зависимость хода часов от ускорения и гравитации). Измерение частот в радиодиапазоне. Стандарты частоты.

Методы и погрешности измерений координат, углов, длин. Мировые стандарты. и эталоны. Методы измерения термодинамических величин Радиоспектроскопия (эффект Зеемана, ядерный магнитный резонанс, томография).

Электромагнитные измерения (способы регистрации радиоизлучения, методы регистрации в оптическом диапазоне: фотодиоды, фотоумножители, черенковские детекторы).

Регистрация частиц и радиоактивных излучений (ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, пропорциональные счетчики, стриммерные и искровые камеры, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, пузырьковые камеры, черенковские счетчики, ядерные фотоэмульсии). Шумы и помехи при измерении электрических, акустических и оптических величин

Дифференциальные, интерферометрические и др. методы измерений Нанотехнологии в измерительной технике. Дозиметрические измерения и дозиметрические единицы; коэффициенты, учитывающие влияние радиации на живые организмы, эквивалентная доза.

### Измерения

Системы единиц. Единая система единиц (СИ). Универсальные постоянные и естественные системы единиц. Производные единицы и стандарты.

Прямые, косвенные, статистические и динамические измерения. Оценки погрешностей косвенных измерений. Условные измерения. Проблема корреляций и уравнивание условных измерений. Принципиальные ограничения на точность измерений (физические пределы).

Методы измерений физических величин в исследуемой области физики. Основные принципы построения приборов для измерений физических величин в заданной области физики. Фундаментальные шумы в измерительных устройствах. Тепловой шум. Формула Найквиста. Теорема Каллена-Вельтона. Дробовой шум в электронных и оптических приборах. Шумы  $1/f$ .

### Квантовые эффекты в физических измерениях.

Условия, когда классический подход становится неприменим.

Соотношения неопределенности. Роль обратного флуктуационного влияния прибора. Стандартные квантовые пределы. Квантовые невозмущающие измерения. Квантовые эталоны единиц физических величин (примеры). Эффект Джозефсона и сверхпроводящие квантовые интерферометры.

### **Критерии точности измерений**

Случайные события. Понятие вероятности. Условные вероятности. Распределение вероятности. Плотность вероятности. Моменты. Специальные распределения вероятностей и их использование в физике. Биномиальное распределение, распределение Пуассона (дробовой шум), экспоненциальное распределение. Нормальное распределение и центральная предельная теорема.

Многомерные распределения вероятностей. Корреляции случайных величин. Случайные процессы. Эргодичность. Корреляционная функция случайного процесса. Стационарные случайные процессы. Спектральная плотность. Теорема Винера-Хинчина.

Оценка параметров случайных величин. Выборочные средние и дисперсии. Выборочные распределения.  $t$  - распределение Стьюдента,  $\chi^2$  - распределение. Определение средних значений измеряемых параметров и их погрешностей в прямых и косвенных измерениях.

Техника оценки параметров при разных распределениях погрешностей измерений. Средние и вероятные значения переменных. Техника оценки параметров при асимметричных распределениях погрешностей. Суммирование результатов различных измерений. Робастные оценки. Параметрические и непараметрические оценки. Методы анализа физических измерений

Аналитическая аппроксимация результатов и измерений. Интерполяция (линейная, квадратичная, кубическая и т.д.)

Фурье- анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вэйвлетный анализ.

Статистическая проверка гипотез. Критерии согласия и методы их использования. Критерий  $\chi^2$ , Смирнова- Колмогорова, Колмогорова.

Прямые и обратные задачи. Некорректные задачи. Обратные задачи при анализе результатов измерений и методы их решения.

Метод максимального правдоподобия и его применение.

Метод наименьших квадратов.

### **Моделирование физических процессов**

Аналитическое описание физических процессов. Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств, методы оценки ожидаемых результатов и их погрешностей.

Метод статистических испытаний методика его применения.

Использование моделей физических процессов. Учет влияния прибора на результаты измерений. Моделирование с учетом особенностей используемых детекторов.

### **Автоматизация эксперимента**

Создание комплексных установок. Общие требования. Обработка информации в режиме реального времени. Способы преобразования измерений для передачи на значительные расстояния. Контроль процессов измерений в реальном времени. Способы вывода информации в реальном времени. Накопление экспериментальных данных, создание банков данных.

### **Программное обеспечение систем физических исследований**

Принципы организации программного обеспечения, основные языки программирования, специализированные операционные системы реального времени, пакеты специализированных программ.

Основные алгоритмы обработки экспериментальных данных. Накопление и методы цифровой фильтрации данных. Постановка задачи, моделирование, сглаживание, фильтрация выбросов. Критерии отбраковки аномальных результатов. Программная и аппаратная реализация фильтрации результатов измерений.

### **Экспериментальная техника радиоспектроскопии. Непрерывная ЯМР спектроскопия. Фурье-спектроскопия ЯМР**

Принципы построения непрерывного ЯМР спектрометра. Датчики ЯМР. Магниты (электро- и сверхпроводящие), способы повышения однородности поля. Основные устройства спектрометра: усилитель ВЧ, узкополосный усилитель, фазовый детектор. Источники ошибок при регистрации сигнала ЯМР.

Импульсный спектрометр ЯМР: принципы построения, блок-схема. Систематические ошибки в импульсных ЯМР спектрометрах. Одно- и двумерная ЯМР спектроскопия. Сравнение чувствительности непрерывного и Фурье методов.

### **Экспериментальная техника радиоспектроскопии. Техника ЭПР спектроскопии**

Техника ЭПР спектроскопии. Принципы построения схем спектрометра ЭПР, СВЧ - схемы. Магнитная модуляция. Схемы усиления и регистрации сигнала. Чувствительность спектрометра. Причины искажения формы линии.

## **Теплофизические исследования**

Калориметрия. Определение температуры и теплоты фазовых переходов, теплоемкости. Дифференциальный термический анализ (ДТА), дифференциальная сканирующая калориметрия, адиабатическая калориметрия, релаксационная калориметрия.

Дилатометрия. Микроскопические и макроскопические методы исследования линейного и объемного теплового расширения.

## **Техника оптического и спектрального эксперимента**

Основные элементы оптических систем. Призмы, их типы, элементы и оптические материалы; дифракционные решетки, устройство и основные свойства и параметры; светофильтры. Некогерентные источники света. Приемники излучения.

Устройства управления характеристиками оптического излучения. Модуляторы света. Дефлекторы с изотропной дифракцией света на ультразвуке. Акустооптические модуляторы с бегущей акустической волной. Акустооптические фильтры.

Типы интерферометров, системы измерения сдвига интерференционных полос, трехмерные карты интерферометрии поверхностей. Виды интерферометрии.

Основные параметры спектрального прибора. Типы спектральных приборов. Конструктивные элементы основных типов спектральных приборов. Освещение и фокусировка спектральных приборов. Приборы высокой разрешающей силы; интерферометр Фабри-Перо. Спектральные приборы с временным разрешением. Спектральные приборы с селективной модуляцией. Оптическая фурье-спектроскопия. Лазерная спектроскопия - аналитические приложения, методы нелинейной лазерной спектроскопии высокого разрешения.

## **Техника лазерного эксперимента**

Непрерывные и импульсные газовые лазеры. Основные рабочие среды, способы накачки, характеристики излучения, области применения. Способы селекции мод. Твердотельные лазеры нано- и микросекундного диапазонов. Режим модулированной добротности. Методы перестройки частоты генерации. Лазеры на красителях. Лазеры с синхронизацией мод. Формирование и регистрация нано- и пикосекундных импульсов. Пространственная фильтрация излучения, электронное и оптическое стробирование, техника бокс-кар интегрирования, техника задержанных импульсов. Усилители лазерного излучения. Удвоители частоты и генераторы гармоник. Материалы и типы синхронизма.

## **Технология получения тонких пленок и структур**

Основные методы создания пленок: химическое осаждение, электрофорез, гальванопокрытия, жидкий пиролиз, электростатическое тонирование, распылительный пиролиз, механическое нанесение, эпитаксия из жидкой фазы, молекулярно-лучевая эпитаксия, распыление в пламени, лазерное напыление, ионная имплантация, молекулярно-органический синтез, пленки Ленгмюра – Блуджетт. Характеристики процесса осаждения. Типы подложек, способы очистки подложек.

## **Методы и аппаратура исследований физических свойств атмосферы, ионосферы и земных покровов с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС)**

Основные принципы построения спутниковых радионавигационных систем: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Бэйдоу. Орбитальные характеристики группировок. Аппаратура потребителей и методы пространственно-временных измерений характеристик объектов. Энергетические, спектральные, поляризационные и пространственно-временные характеристики сигналов ГНСС. Рефлектометрия и радиоскопия земных покровов с использованием сигналов ГНСС. Методы получения практически значимых физических характеристик в исследованиях атмосферы, ионосферы, земных покровов. Примеры реализации.

### **3 Перечень вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине «приборы и методы экспериментальной физики»**

1. Принципы и типы организации автоматизированных систем физических исследований. Конструктивное оформление. Организация аппаратуры.
2. Функциональные блоки систем физических исследований: счетчики импульсов, параллельные цифровые блоки ввода-вывода, интерфейсы периферийного оборудования и измерительных приборов, аналоговые блоки, тестовое оборудование каналов передачи данных и функциональных узлов.
3. Программное обеспечение систем физических исследований. Общие принципы организации программного обеспечения, основные языки программирования, специализированные операционные системы реального времени, пакеты специализированных программ.
4. Основные алгоритмы обработки экспериментальных данных. Методы цифровой фильтрации данных. Программная и аппаратная реализация фильтрации результатов измерений.
5. Непрерывная ЯМР спектроскопия. Основные устройства спектрометра: усилитель ВЧ, узкополосный усилитель, фазовый детектор. Источники ошибок при регистрации сигнала ЯМР.
6. Техника ЭПР спектроскопии. Принципы построения схем спектрометра ЭПР, СВЧ-схемы. Магнитная модуляция. Схемы усиления и регистрации

- сигнала. Чувствительность спектрометра. Причины искажения формы линии.
7. Фурье-спектроскопия ЯМР. Импульсный спектрометр ЯМР, принципы построения, блок-схема. Систематические ошибки в импульсных ЯМР спектрометрах. Одно- и двумерная ЯМР спектроскопия.
  8. Основные элементы оптических систем, их характеристики. Призмы, их типы, элементы и оптические материалы. Дифракционные решетки, устройство и основные свойства и параметры, понятие инструментального контура. Светофильтры, некогерентные источники света, приемники излучения, линейные и матричные системы регистрации оптического излучения.
  9. Оптические интерферометры. Типы интерферометров, системы измерения сдвига интерференционных полос, трехмерные карты интерферометрии поверхностей. Фазово-сдвиговая интерферометрия. Модуляционная интерферометрия. Многоволновая интерферометрия.
  10. Техника лазерного эксперимента. Непрерывные и импульсные газовые лазеры. Способы селекции мод. Твердотельные лазеры нано- и пикосекундного диапазонов. Режим модулированной добротности. Методы перестройки частоты генерации. Лазеры на красителях. Лазеры с синхронизацией мод. Экспериментальная техника формирования и регистрации нано- и пикосекундных импульсов.
  11. Спектральные приборы. Основные параметры спектрального прибора, типы спектральных приборов: монохроматор, спектрограф, спектрометр, квантометр, полихроматор. Конструктивные элементы основных типов спектральных приборов. Спектральные приборы с временным разрешением, приборы с селективной модуляцией. Оптическая фурье-спектроскопия. Лазерная спектроскопия – аналитические приложения, методы нелинейной лазерной спектроскопии высокого разрешения.
  12. Технология получения тонких пленок. Основные методы создания пленок. Характеристики процесса осаждения. Нанесение тонких пленок в вакууме. Типы подложек. Способы очистки подложек.
  13. Методы анализа тонких пленок. Масс-спектрометрия. Дифракционные методы. Дифракция медленных электронов. Дифракция быстрых электронов. Дифрактометры. Рентгеноспектральный анализ. Эллипсометрия. Оже-спектроскопия. Возможности методов исследования пленок и пленочных структур *in situ* и после получения.
  14. Основные принципы построения спутниковых радионавигационных систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Бэйдоу. Орбитальные характеристики группировок.
  15. Приемники сигналов навигационных спутников. Форматы экспериментальных данных. Измерения пространственно-временных координат объектов.
  16. ГНСС-рефлектометрия и радиоскопия сред земных покровов. Алгоритмы обработки данных измерений.



17. Методы мониторинга состояния ионосферы и атмосферы с использованием сигналов навигационных спутников.
18. Методы мониторинга физических характеристик земных покровов: вода, лед, суша, растительность.
19. Методы для рентгеновских исследований молекулярных пленок на поверхности жидкости: рентгеновская рефлектометрия (XR); стоячие рентгеновские волны (XSW); дифракция в скользящей геометрии (GID); рентгеновская флуоресценция в полном внешнем отражении (TXRF).
20. Исследование структуры биологических объектов в статике и динамике методами дифракции и рассеяния в области малых и больших углов (SAXS/WAXS).
21. Рентгеноструктурный анализ макромолекулярных кристаллов и монокристаллических неорганических объектов: пространственная структура с атомным разрешением; порошковая дифракция с двумерным сканирующим детектором; фазовый состав; определение размеров кристаллитов, текстуры, микронапряжений. Монокристалльная и порошковая дифрактометрия.
22. Методы исследования химического состояния поглощающего атома и его локального окружения (EXAFS/XANES)
23. Методы исследования магнитных материалов методами синхротронного излучения. Поляризация рентгеновского излучения. Поляризационная спектроскопия рентгеновского поглощения.

#### 4. Критерии оценивания ответа

Отлично	Полно раскрыто содержание вопросов; материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, правильно используется терминология; показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, ответ прозвучал самостоятельно, без наводящих вопросов.
Хорошо	Ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом может иметь следующие недостатки: в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание ответа допущены один -два недочета при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию; допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые легко исправляются по замечанию
Удовлетворительно	Неполно или непоследовательно раскрыто

	содержание материала, но показано общее понимание вопроса. Имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопросов.
Неудовлетворительно	Имели место существенные упущения при ответах на все вопросы билета или полное несоответствие по более чем 50% материала вопросов билета

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение

### 5.1 Основная литература

1. Парфенов П.С., Литвин А.П., Онищук Д.А. Приборы и методы экспериментальной физики. Учебное пособие. – СПб: Изд-во ИТМО, 2017.
2. Пергамент М. Методы исследований в экспериментальной физике. – М.: Интеллект, 2010.
3. Воронцов Ю. И. Теория и методы макроскопических измерений. – М.: Наука, 1989.
4. Магда Ю. С. LabVIEW. Практический курс для инженеров и разработчиков – Изд-во ДМК пресс, 2014.
5. Белиовская Л. Программирование на LabVIEW для разработчиков – Изд-во ДМК пресс, 2014.
6. Кирилловский В. К. Современные оптические исследования и измерения: Учебное пособие. 1-е изд. — СПб.: Издательство «Лань», 2010 г. — 304 с.
7. Шалаев А. А. Основы физического материаловедения: учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГУ, 2013.
8. Головицкий А.П., Обратные задачи экспериментальной физики. – С.-Петербург: СПбГТУ, 2001.
9. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. М: Техносфера, 2006 г. 336 с.
10. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. — Издательство «Физматлит», 2007 г. — 672 с.
11. Willmott P. An introduction to synchrotron radiation: techniques and applications. – John Wiley & Sons, 2019.

### 5.2 Дополнительная литература

1. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология: Учебник для вузов. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010 г.
2. Мамонова М. В., Прудников В. В., Прудникова И. А.. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы /— Москва: Физматлит, 2011.

3. Жигулёв В. Н., Папков С. Б. Математическое моделирование и физический эксперимент. М.: МФТИ, 2001.
4. Старовиков М.И. Введение в экспериментальную физику: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2008.
5. Бутырин П. А., Выськовская Т. А., Каратаев В. В., Материкин С. В. Автоматизация физических исследований и эксперимента. Компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 – Издательство: ДМК пресс, 2011.
6. Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. LabVIEW в научных исследованиях. –Издательство: ДМК пресс, 2012.
7. Бутырина П. А. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW7. — М.: ДМК-Пресс, 2010 г. — 265 с.
8. Глазков В. Н. Методы изучения структуры и колебаний кристаллов. – М.: Изд-во МФТИ, 2015.
9. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под общ.ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд.4-е, перераб. И доп.-М.: Радиотехника, 2010. 800 с., ил.
10. Jin S., Cardellach E., Xie F. GNSS Remote Sensing - Springer Dordrecht Heidelberg, New York, London. - 2014 Общая теория радиолокации и радионавигации. - 286 с
11. Распространение радиоволн: учебник / А.Н.Фролов, А.Ф.Копылов, А.А. Филонов, А.В. Андронов; под общ ред А.Н. Фомина.-Красноярск: Сиб. федер. Ун-т, 2017.- 318 с.

### 5.3 Интернет ресурсы

1. Scopus, база данных рефератов и цитирования, <http://www.scopus.com>.
2. ScienceDirect (Elsevier), база данных научного цитирования, естественные науки, техника, медицина и общественные науки, <http://www.sciencedirect.com>.
3. Web of Science Core Collection – международная междисциплинарная база данных научного цитирования, <http://www.webofknowledge.com>.
4. Электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ», <http://e.lanbook.com>.
5. Университетская библиотека ONLINE, электронно-библиотечная система, <http://biblioclub.ru/>.
6. Образовательная платформа - электронно-библиотечная система издательства «Юрайт», <https://urait.ru/>.
7. Электронно-библиотечная система Znanium.com, <http://www.znanium.com>.
8. Центральная Научная Библиотека имени Н.И. Железнова, <http://www.library.timacad.ru>.
9. United Nations Environment Program: [www.unep.org](http://www.unep.org).
10. eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека, <http://elibrary.ru/>.
11. Национальная электронная библиотека, <https://rusneb.ru/>.

12. Электронная библиотека IOP Science дома научного контента от IOP Publishing, <http://iopscience.iop.org/>.
13. Электронная библиотека SPIE. Digital library, <http://spiedigitallibrary.org/>.
14. Архив научных журналов Министерства образования и науки Российской Федерации, <http://archive.neicon.ru/xmlui/>.
15. Библиотека издательства Annual Reviews, библиотека журналов <http://www.annualreviews.org>.
16. Библиотека Российского фонда фундаментальных исследований, <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>.
17. Центральная научная библиотека ФИЦ КНЦ СО РАН, <http://cnb.krasn.ru>.
18. Электронная библиотека Nature, <http://www.nature.com>.
19. Электронная библиотека Science, <http://www.sciencemag.org>.
20. База данных научного цитирования издательства Taylor&Francis Group, <http://www.tandfonline.com/>.
21. Онлайн-библиотека Wiley Online Library, <http://onlinelibrary.wiley.com>.
22. Электронная библиотека журналов открытого доступа ACS Publications, <http://pubs.acs.org/>.
23. Электронная библиотека журналов Американского физического общества APS physics, <http://publish.aps.org>.
24. Электронно-библиотечная система Scitation, издательство AIP Publishing Books, <http://scitation.aip.org/>.
25. Цифровой образовательный ресурс – электронная библиотечная система IPR SMART, <http://www.iprbookshop.ru/>.
26. Библиотека издательства Oxford Academic, <http://www.oxfordjournals.org>.
27. Справочная библиотека издательства Oxford University Press, цифровая платформа Oxford Reference, <http://www.oxfordreference.com>.
28. Электронная система исследовательских журналов мирового уровня открытого доступа SAGE journals, <http://online.sagepub.com/>.

Согласовано:

Заведующий кафедрой фундаментальных  
дисциплин и методологии науки



В.В. Минеев

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин