

**Минобрнауки России**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ**  
**им. В.А. КОТЕЛЬНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
**(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН)**

**ПРОГРАММА**

кандидатского экзамена по специальности

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

(физико-математические науки)

Москва, 2021

## **I. Общие положения**

Настоящая программа предназначена для аспирантов и лиц, прикрепленных для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и содержит требования к кандидатскому экзамену по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики». Программа разработана на основе типовой программы-минимум кандидатского экзамена по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации.

## **II. Содержание кандидатского экзамена**

На кандидатский экзамен выносятся следующий перечень разделов и вопросов.

### *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, стримерные 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 (в соответствии с темой диссертации).

Основные принципы построения приборов для измерений физических величин в заданной области физики (в соответствии с темой диссертации).

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 (в соответствии с темой диссертации).

Учет влияния прибора на результаты измерений. Моделирование с учетом особенностей используемых детекторов.

### ***Автоматизация эксперимента***

Создание комплексных установок. Общие требования. Обработка информации «в линию» (on-line).

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.

## **III. Список рекомендуемой литературы для подготовки к**

### **кандидатскому экзамену**

#### *Основная литература*

1. Афанасьева Н. Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента : учеб. пособие для вузов / Афанасьева Н. Ю. - М. : Кнорус, 2010. – 330 с.

2. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : учеб. пособие для вузов / Сидняев Н. И. - М. : Юрайт, 2011. – 399 с.

3. Мамонова М. В., Прудников В. В., Прудникова И. А. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы : [монография] / Мамонова М. В., Прудников В. В., Прудникова И. А. – М. : Физматлит, 2011. – 400 с.

#### *Дополнительная литература*

1. Большев Л.Н. и Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., 1983

Кендал М. и Стюарт А. Статистические выводы и связи, пер. с англ., М., Мир, 1976.

2. Боровков А.А. Математическая статистика, М., 1984.

3. Бароне А., Патерио Д. Эффект Джозефсона: физика и применения. Пер. с англ., М., 1984.

4. Физическая энциклопедия. т. 1-5. Изд. « Советская энциклопедия», М., 1988-1998.

5. В.Б. Брагинский, «Физические эксперименты с пробными телами», М., – Наука, 1970.

6. Ю.И. Воронцов, «Теория и методы макроскопических измерений», М., – Наука, 1989.

#### **IV. Критерии выставления оценок на кандидатском экзамене**

Оценка знаний производится по **пятибалльной шкале**.

Оценка **«отлично»** выставляется за обстоятельный и глубокий ответ на два вопроса из разных тематических разделов. Аспирант/экстерн грамотно использует научную терминологию, демонстрирует знание источников, выявляет основные тенденции и проблемы, свободно ориентируется в материале, относящемся к предмету.

Оценка **«хорошо»** предполагает правильные и достаточно полные ответы на два вопроса из разных тематических разделов, отсутствие грубых ошибок и упущений, если одновременно допущены отдельные ошибки и у аспиранта/экстерна возникли затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при недостаточно полном ответе на основные вопросы, при наличии пробелов в знаниях, а также если у аспиранта/экстерна возникли серьёзные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа теоретических знаний.