

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований Российской академии наук  
(ИКИ РАН)**

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

кандидатского экзамена по специальности

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

по физико-математическим и техническим наукам

## Введение

В основу данной программы положены следующие дисциплины: методы измерения основных физических величин, основы метрологии, методы анализа физических измерений, моделирование физических процессов, автоматизация эксперимента. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Научно-исследовательского института ядерной физики и Физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, а также Алтайского государственного университета.

### I. Методы измерения основных физических величин

1. Методы измерения времени, погрешности измерений, эталоны. Учет эффектов общей теории относительности (зависимость хода часов от ускорения и гравитации)
2. Измерение частот в радиодиапазоне. Стандарты частоты.
3. Методы и погрешности измерений координат, углов, длин. Мировые стандарты. и эталоны.
4. Методы измерения термодинамических величин
5. Радиоспектроскопия (эффект Зеемана, ядерный магнитный резонанс, томография).
6. Электромагнитные измерения (способы регистрации радиоизлучения, методы регистрации в оптическом диапазоне: фотодиоды, фотоумножители, черенковские детекторы).
7. 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).

8. Шумы и помехи при измерении электрических, акустических и оптических величин
9. Дифференциальные, интерферометрические и др. методы измерений
10. Нанотехнологии в измерительной технике
11. Дозиметрические измерения и дозиметрические единицы; коэффициенты, учитывающие влияние радиации на живые организмы, эквивалентная доза.

## **II. Измерения**

12. Системы единиц. Единая система единиц (СИ). Универсальные постоянные и естественные системы единиц. Производные единицы и стандарты.
13. 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).
14. Методы измерений физических величин в исследуемой области физики\*.
15. Основные принципы построения приборов для измерений физических величин в заданной области физики\*.
16. Фундаментальные шумы в измерительных устройствах  
Тепловой шум. Формула Найквиста. Теорема Каллена-Вельтона.  
Дробовой шум в электронных и оптических приборах. Шумы  $1/f$ .
17. 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.

### III. Критерии точности измерений

18. Случайные события. Понятие вероятности. Условные вероятности.  
Распределение вероятности. Плотность вероятности. Моменты.
19. Специальные распределения вероятностей и их использование в физике.  
Биномиальное распределение, распределение Пуассона (дробовой шум), экспоненциальное распределение. Нормальное распределение и центральная предельная теорема.
20. Многомерные распределения вероятностей. Корреляции случайных величин.
21. Случайные процессы. Эргодичность. Корреляционная функция случайного процесса. Стационарные случайные процессы. Спектральная плотность. Теорема Винера-Хинчина.
22. Оценка параметров случайных величин. Выборочные средние и дисперсии. Выборочные распределения.  $t$  - распределение Стьюдента,  $\chi_2$  - распределение
23. Определение средних значений измеряемых параметров и их погрешностей в прямых и косвенных измерениях.
24. 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.

#### **IV. Методы анализа физических измерений**

25. Аналитическая аппроксимация результатов и измерений.  
Интерполяция (линейная, квадратичная, кубическая и т.д.)
26. Фурье- анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вэйвлетный анализ.
27. Статистическая проверка гипотез. Критерии согласия и методы их использования. Критерий  $\chi_2$ , Смирнова- Колмогорова, Колмогорова.
28. Прямые и обратные задачи. Некорректные задачи. Обратные задачи при анализе результатов измерений и методы их решения.
29. Метод максимального правдоподобия и его применение.
30. Метод наименьших квадратов.

#### **V. Моделирование физических процессов**

31. Аналитическое описание физических процессов.
32. Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств, методы оценки ожидаемых результатов и их погрешностей.
33. Метод статистических испытаний методика его применения.
34. Использование моделей физических процессов.\*
35. Учет влияния прибора на результаты измерений. Моделирование с учетом особенностей используемых детекторов.

#### **VI. Автоматизация эксперимента**

36. Создание комплексных установок. Общие требования.  
Обработка информации «в линию» (on-line)
37. Способы преобразования измерений для передачи на значительные расстояния.
38. Контроль процессов измерений в реальном времени

39. Способы вывода информации в реальном времени. Накопление экспериментальных данных, создание банков данных.

**Примечание:** Разделы, помеченные звездочкой (\*), детализируются в соответствии с темой диссертации

### Литература

1. Большев Л.Н. и Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., 1983
2. Кендал М. и Стюарт А. Статистические выводы и связи., пер. с англ., М., Мир, 1976.
3. Боровков А.А. Математическая статистика, М., 1984.
4. Бароне А., Патерио Д. Эффект Джозефсона: физика и применения. Пер. с англ., М., 1984.
5. Физическая энциклопедия. т. 1-5. Изд. « Советская энциклопедия», М., 1988-1998.
6. В.Б. Брагинский, «Физические эксперименты с пробными телами», М., - Наука, 1970.
7. Ю.И. Воронцов, «Теория и методы макроскопических измерений», М., - Наука, 1989.