

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор УР

 / Жданова Е.А.

«\_\_» 20\_\_ г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

по дисциплине

**Приборы и методы экспериментальной физики**

**Область науки**

1. Естественные науки

**Группа научных специальностей**

1.3. Физические науки

**Научная специальность**

1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

**Отрасль науки**

Физико-технические

Технические

Барнаул 2023

Составитель(и):

д.ф.-м.н., проф.

Лагутин

А. А. Лагутин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
радиофизики и теоретической физики  
протокол № от «\_\_» 2023 г.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании  
Учёного совета Института цифровых технологий, электроники и физики  
протокол № от «\_\_» 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Зав. отделом аспирантуры

Зам. первого проректора по УР – начальник УМУ

М. Е. Сергачева

О. М. Крайник

## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1.1. Программа кандидатского экзамена по дисциплине «Приборы и методы экспериментальной физики» (далее программа кандидатского экзамена) разработана в соответствии с:

- Федеральным законом от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021 г. № 2122 «Об утверждении положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре);
- Приказом Минобрнауки России от 20.10.2021 № 951 утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учётом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (Зарегистрировано в Минюсте России 23.11.2021 № 65943);
- Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 февраля 2021 г. № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утверждённое приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093»;
- Приказом Минобрнауки России от 28.03.2014 № 247 (в ред. Приказа Минобрнауки России от 05.08.2021 № 712) «Об утверждении порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня»;
- Уставом ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»;
- Локальными нормативными актами АлтГУ в сфере образовательной и научной деятельности.

1.2. Программа кандидатского экзамена регламентирует цель, задачи, содержание, организацию кандидатского экзамена, критерии оценки сформированности компетенций соискателя учёной степени кандидата наук, включает перечень вопросов, выносимых на кандидатский экзамен, рекомендации по подготовке к кандидатскому экзамену, в том числе перечень литературы и ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для подготовки к кандидатскому экзамену.

## **2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

2.1. Целью проведения кандидатского экзамена является определение уровня сформированности знаний, умений, навыков по дисциплине «Приборы и методы экспериментальной физики», контроль и оценка компетентности аспиранта в области проведения научных исследований, готовности к самостоятельной исследовательской деятельности по проблемам приборов и методов экспериментальной физики.

2.2. Задача кандидатского экзамена: проверить умение аспиранта критически анализировать и оценивать современные научные достижения, генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных дисциплинах; способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Наименование раздела	Содержание раздела
Раздел 1. Измерения	<p>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. Принципиальные ограничения на точность измерений (физические пределы).</p> <p>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.</p> <p>Тепловой шум. Формула Найквиста. Теорема Каллена–Вельтона. Дробовой шум в электронных и оптических приборах. Шумы <math>1/f</math>.</p> <p>Квантовые эффекты в физических измерениях. Условия, когда классический подход становится неприменим. Соотношения неопределенности. Роль обратного флюктуационного влияния прибора. Стандартные квантовые пределы. Квантовые невозмущающие измерения. Квантовые эталоны единиц физических величин (примеры). Эффект Джозефсона и сверхпроводящие квантовые интерферометры.</p>
Раздел 2. Методы измерения основных физических величин	<p>Методы измерения времени, погрешности измерений, эталоны. Учет эффектов общей теории относительности (зависимость хода часов от ускорения и гравитации)</p> <p>Измерение частот в радиодиапазоне. Стандарты частоты.</p> <p>Методы и погрешности измерений координат, углов, длин.</p> <p>Мировые стандарты и эталоны. Методы измерения термодинамических величин</p> <p>Радиоспектроскопия (эффект Зеемана, ядерный магнитный резонанс, томография). Электромагнитные измерения (способы регистрации радиоизлучения, методы регистрации в оптическом диапазоне: фотодиоды, фотоумножители, черенковские детекторы).</p> <p>Регистрация частиц и радиоактивных излучений (ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, пропорциональные счетчики, стриммерные и искровые камеры, полупроводниковые детекторы, сцинтиляционные счетчики, пузырьковые камеры, черенковские счетчики, ядерные фотоэмulsionии). Шумы и помехи при измерении электрических, акустических и оптических величин. Дифференциальные, интерферометрические и другие методы измерений.</p> <p>Нанотехнологии в измерительной технике. Дозиметрические измерения и дозиметрические единицы; коэффициенты, учитывающие влияние радиации на живые организмы, эквивалентная доза.</p>
Раздел 3. Критерии точности измерений	<p>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</p>

	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.
Раздел 4. Методы анализа физических измерений	Аналитическая аппроксимация результатов и измерений. Интерполяция (линейная, квадратичная, кубическая и т.п.) Фурье-анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вейвлетный 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.
Раздел 5. 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.
Раздел 6. 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.

#### 4. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ (ВОПРОСОВ), ВЫНЕСЕННЫХ НА КАНДИДАТСКИЙ ЭКЗАМЕН

- 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. 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  $1/f$ .

6. Квантовые эффекты в физических измерениях. Условия, когда классический подход становится неприменим.
7. 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.
8. Методы измерения времени, погрешности измерений, эталоны. Учет эффектов общей теории относительности (зависимость хода часов от ускорения и гравитации). Измерение частот в радиодиапазоне. Стандарты частоты.
9. Методы и погрешности измерений координат, углов, длин. Мировые стандарты и эталоны.
10. Методы измерения термодинамических величин
11. Радиоспектроскопия (эффект Зеемана, ядерный магнитный резонанс, томография).
12. Электромагнитные измерения (способы регистрации радиоизлучения, методы регистрации в оптическом диапазоне: фотодиоды, фотоумножители, черенковские детекторы).
13. Регистрация частиц и радиоактивных излучений (ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, пропорциональные счетчики, стриммерные и искровые камеры, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, пузырьковые камеры, черенковские счетчики, ядерные фотоэмulsionии).
14. Шумы и помехи при измерении электрических, акустических и оптических величин
15. Дифференциальные, интерферометрические и другие методы измерений.
16. Нанотехнологии в измерительной технике
17. Дозиметрические измерения и дозиметрические единицы; коэффициенты, учитывающие влияние радиации на живые организмы, эквивалентная доза.
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.
20. Нормальное распределение и центральная предельная теорема.
21. Многомерные распределения вероятностей. Корреляции случайных величин.
22. Случайные процессы. Эргодичность. Корреляционная функция случайного процесса. Стационарные случайные процессы. Спектральная плотность. Теорема Винера—Хинчина.
23. Оценка параметров случайных величин. Выборочные средние и дисперсии. Выборочные распределения. t-распределение Стьюдента,  $\chi^2$ -распределение
24. Определение средних значений измеряемых параметров и их погрешностей в прямых и косвенных измерениях.
25. 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.
26. Аналитическая аппроксимация результатов и измерений. Интерполяция (линейная, квадратичная, кубическая и т.п.)
27. Фурье-анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вэйвлетный анализ.

28. Статистическая проверка гипотез. Критерии согласия и методы их использования. Критерий  $\chi^2$ , Смирнова-Колмогорова, Колмогорова.
29. Прямые и обратные задачи. Некорректные задачи. Обратные задачи при анализе результатов измерений и методы их решения.
30. Метод максимального правдоподобия и его применение.
31. Метод наименьших квадратов.
32. Аналитическое описание физических процессов.
33. Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств, методы оценки ожидаемых результатов и их погрешностей.
34. Метод статистических испытаний, методика его применения.
35. Использование моделей физических процессов\*.
36. Учет влияния прибора на результаты измерений. Моделирование с учетом особенностей используемых детекторов.
37. Создание комплексных установок. Общие требования. Обработка информации «в линию» (on-line).
38. Способы преобразования измерений для передачи на значительные расстояния.
39. Контроль процессов измерений в реальном времени.
40. Способы вывода информации в реальном времени. Накопление экспериментальных данных, создание банков данных.

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

## 5. ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТОВ И МАТЕРИАЛОВ, КОТОРЫМИ РАЗРЕШАЕТСЯ ПОЛЬЗОВАТЬСЯ НА КАНДИДАТСКОМ ЭКЗАМЕНЕ

Программа кандидатского экзамена, справочники

## 6. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Уровень знаний сдающегося оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

4-балльная шкала (уровень освоения)	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Полнота ответов на вопросы, уровень теоретических знаний.</li> <li>2. Уровень профессиональных умений и навыков.</li> <li>3. Правильность и последовательность изложения ответа.</li> <li>4. Правильность и полнота ответов на вопросы членов комиссии.</li> <li>5. Изложение ответа грамотным, профессиональным языком.</li> </ol>	Аспирантом дан полный, в логической последовательности развёрнутый ответ на вопросы в билете, продемонстрированы знания, умения, опыт профессиональной деятельности в полном объёме. Аспирант достаточно глубоко осмысливает и объясняет закономерности, самостоятельно и исчерпывающе отвечает на дополнительные вопросы, приводит примеры по проблематике поставленного вопроса.
Хорошо (базовый уровень)		Аспирантом дан полный, в логической последовательности развёрнутый ответ на вопросы в билете, продемонстрированы знания, умения, опыт профессиональной деятельности в полном объёме. Аспирант достаточно глубоко

		ко осмысливает и объясняет закономерности, самостоятельно и исчерпывающе отвечает на дополнительные вопросы, приводит примеры по проблематике поставленного вопроса, однако допускает неточности в ответе.
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Аспирантом дан ответ, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия поставленных вопросов, знанием основных вопросов теории, слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры, недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа, допускает ошибки в содержании ответов на вопросы.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		Аспирантом дан ответ, содержащий ряд серьёзных неточностей, обусловленных неизнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов, неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности, выводы поверхностны или отсутствуют.

Итоговая оценка формируется в соответствии с критериями оценивания ответа аспиранта, приведёнными выше. За ответы на вопросы может быть получено максимум 100 баллов, полученные баллы переводятся в оценку.

4-бальная шкала (уровень освоения)	Отлично (повышенный уровень)	Хорошо (базовый уровень)	Удовлетворительно (пороговый уровень)	Неудовлетворительно (уровень не сформирован)
100-бальная шкала	85 - 100	70 - 84	50 - 69	0 - 49

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

### 7.1. Основная литература:

1. Боровков А.А. Математическая статистика. М.: Наука, 2004.
2. Брагинский В.Б. Физические эксперименты с пробными телами. М.: Наука, 2003.
3. Воронцов Ю.И. Теория и методы макроскопических измерений. М.: Наука, 2002.
4. Кудасов Ю.Б. Электрофизические измерения. М.: Физматлит, 2010.
5. Солонина А., Улахович Д., Яковлев Л. Алгоритмы и процессы цифровой обработки сигналов. СПб: «БХВ Петербург», 2002.
6. Шутов В.И. Сухов В.Г. Подлесный Д.В. Эксперимент в физике. М.: Физматлит, 2005.
7. Зайдель А.Н. Ошибки измерений физических величин. СПб.: Изд-во "Лань", 2009.
8. Чемезов О. В. Теория эксперимента. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022.
9. Бекряев В. И. Основы теории эксперимента СПб.: Изд. РГТМУ, 2001. - 266 с.

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Физматлит, 1983.
2. Кендал М., Стюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Мир, 1976.
3. Физическая энциклопедия. Т. 1-5. М.: Сов. энциклопедия, 1988-1998.

### 7.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. Научная и учебно-методическая литература [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.intuit.ru>.
2. Федеральный портал по научной и инновационной деятельности [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.sci-innov.ru/>.
3. Научный журнал «Приборы и техника эксперимента» [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://sciencejournals.ru/journal/pribory/>.
4. Научный журнал «Журнал экспериментальной и теоретической физики» [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://sciencejournals.ru/journal/jetf/>.
5. Научный журнал «Радиотехника и электроника» [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://sciencejournals.ru/journal/radel/>.
6. Научно-технический и производственный журнал «Датчики и системы» [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://sensors-and-systems.ru/>.
7. Электронная библиотечная система Алтайского государственного университета (<http://elibrary.asu.ru/>);
8. Научная электронная библиотека elibrary (<http://elibrary.ru>)
9. Электронно-библиотечная система Университетская библиотека on-line (<http://www.biblioclub.ru>)
10. Электронно-библиотечная система издательства Лань (<http://e.lanbook.com>)
11. Электронно-библиотечная система Юрайт (<http://www.biblio-online.ru>)

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К СДАЧЕ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

При подготовке к экзамену необходимо развивать логическое мышление, иметь навыки создания научных трудов и ведения научных дискуссий. Работа с разноплановыми научными материалами предполагает осуществление эффективного поиска информации и критики источников; получение, обработку и сохранение информации; умение пользоваться интернет-ресурсами. В результате к экзамену должна сформироваться собственная позиция по различным проблемам, существующим в области науки, которую аспирант будет аргументированно отстаивать на экзамене.

Для решения указанных задач предлагаются к изучению учебники, учебные пособия, а также научные монографии, статьи, базы данных, информационно-справочные и поисковые системы. Ответ на каждый вопрос следует хорошо продумать и логически структурировать. Отвечая на вопрос, аспирант должен продемонстрировать знание предмета, теоретические и практические аспекты сути вопроса.

При подготовке ответов на вопросы и во время ответов аспирант должен продемонстрировать: умение сформулировать проблему в рамках поставленного вопроса; знание основных фактов, понятий, теорий, концепций; умение обобщать изложенный материал; способность излагать ответ грамотным русским языком.

Аспирант должен зафиксировать ответы на поставленные вопросы в письменном виде. В связи с этим необходимо продемонстрировать навыки грамотно структурировать текст ответов на поставленные вопросы.

Образец экзаменационного билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»  
2023 – 2024 учебный год

Институт: ИЦТЭФ

Форма обучения: очная

Научная специальность: 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

Курс: второй

Дисциплина: Приборы и методы экспериментальной физики

**Экзаменационный билет № 1**

1. Прямые, косвенные, статистические и динамические измерения. Оценки погрешностей косвенных измерений. Принципиальные ограничения на точность измерений (физические пределы).
2. Случайные процессы. Эргодичность. Корреляционная функция случайного процесса. Стационарные случайные процессы. Спектральная плотность. Теорема Винера—Хинчина.
3. Фурье-анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вейвлетный анализ.

Утверждён на заседании кафедры радиофизики и теоретической физики, протокол № 4 от 01.12.2023 г.

Заведующий кафедрой,  
д.ф.-м.н., профессор А.А. Лагутин А.А. Лагутин