

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре
НИЦ «Курчатовский институт»
по научной специальности
1.3.2. Приборы и методы
экспериментальной физики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Приборы и методы экспериментальной физики»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины «Приборы и методы экспериментальной физики» – ознакомить аспирантов с базовыми методами проведения измерений основных физических величин, особое внимание уделив применению современных подходов в области модернизации эталонной базы стандартов физических величин, выведения ее на новый качественный экспериментальный уровень, позволяющий кардинальным образом улучшить точность измерения эталонных величин времени, массы, длины и т.п., используя для этого фундаментальные квантовые константы.

Программа дисциплины включает изучение:

- 1) основных методов измерений пространственных, временных, частотных, электромагнитных, термодинамических, радиоактивных, спектроскопических характеристик, а также параметров элементарных частиц;
- 2) методов и приборов для регистрации элементарных частиц;
- 3) влияния систематических ошибок и внешних шумов на экспериментальный процесс и точность измерений физических величин. Особое внимание уделено измерениям наноразмерных величин, рассматриваются вопросы создания эталонных образцов и погрешностей измерений;
- 4) основных систем измерений физических величин, основных видов проведения измерений (прямые, косвенные, статистические и динамические измерения), а также точность измерений. Обсуждается влияние внешних шумов различной природы на процесс измерений и методы их уменьшения;
- 5) основных принципов построения приборов для измерений физических величин;
- 6) влияния квантовых эффектов на проведение физических измерений: соотношения неопределенности; обратного флуктуационного влияния прибора;

7) стандартных квантовых пределов, квантовых невозмущающих измерений, а также квантовых эталонов единиц физических величин;

8) стационарного и нестационарного эффектов Джозефсона, а также сверхпроводящих квантовых интерферометров. Особое внимание уделено критериям и точности проведения измерений: различным распределениям случайных величин, использованию методов теории вероятности, корреляционного анализа для обработки данных измерений. Изучается техника оценки параметров измерений при разных распределениях погрешностей измерений;

9) различных методов анализа физических измерений: аппроксимация, экстраполяция, анализ Фурье, статистическая обработка, проверка гипотез, критерии согласия и методов их использования;

10) методов решения прямых и обратных задач, методов максимального правдоподобия и метода наименьших квадратов и их применения для анализа результатов измерений;

11) методов моделирования физических процессов, планирования эксперимента и оценки ожидаемых результатов и погрешностей, а также моделирования экспериментов с учетом особенностей используемых детекторов.

Особое внимание уделяется разработке систем автоматизированных измерений на современной элементной электронной базе, способы сбора информации в режиме реального времени, накопления и архивации информации.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров

Дисциплина «Приборы и методы экспериментальной физики» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров для

научной специальности 1.3.2. «Приборы и методы экспериментальной физики».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на первом, втором году обучения (во втором, третьем, четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 396 часов (11 зачетных единиц), из которых 198 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 198 часов. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

- 1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- 2) способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;
- 3) владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;
- 4) владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;
- 5) способность самостоятельно проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния и применять полученные результаты для решения научно-исследовательских и научно-инновационных

задач.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен знать:

- 1) методы измерений физических величин;
- 2) принципы построения экспериментальных установок для проведения измерений физических величин;
- 3) методы анализа погрешностей измерений и обработки экспериментальных данных.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен уметь:

- 1) планировать проведение эксперимента для измерения физических величин;
- 2) создавать экспериментальные установки для проведения измерений физических величин;
- 3) обрабатывать данные экспериментальных измерений с учетом влияния погрешностей измерений, оценивать ошибки измерений.

В результате освоения данной дисциплины аспирант должен владеть:

- 1) основными методами планирования и моделирования эксперимента;
- 2) основными методами обработки экспериментальных результатов;
- 3) навыками оценки влияния различных факторов на результаты измерений и вычисления погрешности измерений физических величин.

4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины

4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	396
Аудиторные занятия (всего)	198
В том числе:	
Лекции (Л)	144
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	54

Самостоятельная работа (СР)	198
В том числе*:	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

* приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

4.2. Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	Общие вопросы применения ядерной энергии Методы измерения времени, погрешности измерений, эталоны	33	12	5	16
2	Радиоспектроскопия (эффект Зеемана, ядерный магнитный резонанс, томография)	33	12	5	20
3	Электромагнитные измерения	33	12	5	16
4	Дозиметрические измерения	33	12	5	16
5	Системы единиц. Единая система единиц (СИ)	33	12	5	16
6	Прямые, косвенные, статистические и динамические измерения	33	12	5	20
7	Соотношения неопределенности. Роль обратного флуктуационного влияния прибора	33	12	5	16
8	Техника оценки параметров при разных распределениях погрешностей измерений	33	12	5	16
9	Аналитическая аппроксимация результатов и измерений	33	12	5	16
10	Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств, методы оценки ожидаемых результатов и их погрешностей	33	12	5	20

11	Учет влияния прибора на результаты измерений	33	12	2	20
12	Способы вывода информации в реальном времени. Накопление экспериментальных данных, создание банков данных	33	12	2	6
Всего		396	144	54	198

5. Образовательные технологии

1. При реализации настоящей дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа, самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Текущий контроль (промежуточный) проводится на 7 и 14 неделе в форме контрольной работы с оценкой по пятибалльной системе. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Примеры контрольных вопросов:

1. Методы измерения времени. Погрешности измерений.
2. Методы измерения длины и углов. Погрешности измерений.
3. Методы измерения теплопроводности и температуропроводности.
4. Методы измерения параметров кристаллической решетки.

5. Физические модели, описывающие диффузию в твердом теле.
6. Моделирование процесса массопереноса.
7. Использование эргодической теоремы при проведении физических измерений.
8. Систематические и приборные ошибки измерений. Методы оценки погрешности измерений.

Для получения положительной оценки и для выполнения задания по самостоятельной работе аспиранту необходимо подготовить реферат по представленным или подобным темам объемом 15 – 20 страниц. Реферат должен быть написан самостоятельно и построен по типу статьи: краткая аннотация: 4 – 5 строк, введение (цели, задачи обзора, объект рассмотрения), основная часть (описание объекта или способа), заключение, литература. Обязательно предоставляется информация (ссылки на статьи и патенты) об авторах, институтах, лабораториях, которые разрабатывали представленную тематику. Перспективы и прогноз дальнейших исследований. Возможное применение данных разработок. Можно предоставить данные по фирмам и рекламную литературу по их деятельности, которые занимаются данными разработками. В реферате должны быть отражены методы формирования объекта, способы измерения его характеристик и свойств, применения.

Примеры тем предлагаемых докладов, рефератов:

1. Использование квантовых характеристик объектов для создания эталонов физических величин.
2. Методы измерения теплофизических свойств металлов и построение диаграмм состояния двухкомпонентных систем.
3. Методы измерения плазмонных колебаний в кристалле.
4. Методы измерения сопротивления металлов и полупроводников.
5. Методы измерения концентрации свободных электронов на уровне Ферми.
6. Компьютерное моделирование физических процессов.

7. Методы измерения диффузионных параметров в твердых телах.
8. Методы передачи сигнала на большие расстояния для систем космической связи.

Итоговый контроль – экзамен (КЭ).

Примеры вопросов к экзамену:

1. Квантовые эффекты в физических измерениях.
2. Прямые, косвенные, статистические и динамические измерения.
3. Квантовые эталоны единиц физических величин.
4. Регистрация частиц и радиоактивных излучений.
5. Электромагнитные измерения.
6. Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

I. Основная литература:

1. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – 336 с. – ISBN 978-5-9221-1931-3.
2. Степин, В.С., Теоретическое знание: Структура, ист. эволюция / В.С. Степин. - М.: Прогресс-Традиция, 2003 (Люберцы (Моск. обл.): ПИК ВИНТИ). - 743 с.: ил.; 21 см.; ISBN 5-89826-053-6.
3. Гринштейн, Дж. Зайонц, А. Квантовый вызов: современные исследования оснований квантовой механики / Дж. Гринштейн, А. Зайонц; пер. второго изд. под ред.: В. В. Аристова, А. В. Никулова. - Долгопрудный: Интеллект, 2008. - 399 с.: ил.; 24 см.; ISBN 978-5-91559-013-6.

II. Дополнительная литература:

1. Калинин, Б.А. Физическое материаловедение: Учеб. пособие для студентов вузов / Б.А. Калинин, М.И. Солонин, В.В. Осипов; М-во образования Рос. Федерации, М-во по атом. энергии Рос. Федерации. Моск. инженер.-физ.

ин-т (гос. ун-т). Фак. физики и экономики высок. технологий. - М.: МИФИ, 2002.

2. Щеголев, И.Ф., Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. - 2-е изд., испр. - Долгопрудный: Интеллект, 2008. - [209] с.; ISBN 978-5-91559-006-8.

III. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

IV. Доступ к электронным библиотекам:

1. Электронная библиотека Платонанет: [сайт]. – URL: https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/2 (дата обращения: 28.06.2022).

2. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

4. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

5. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

6. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.sci-lib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

7. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

8. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

9. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата обращения: 12.08.2022).

10. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

11. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

V. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. – URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. – URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect. Коллекция журналов Complete Freedom Collection: [сайт]. – URL: <http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm> (дата обращения: 12.09.2022).

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer_Nature: [сайт]. – URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементарноорганических соединений (800 000 структур, онлайн и оффлайн версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

VI. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).

8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).
9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).
10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).
11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).
12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).
13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).
14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и свободный доступ к библиотеке периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).

2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.