

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН»

УТВЕРЖДАЮ
директор ИЯФ СО РАН,

академик _____ П.В.Логачев

« _____ » _____ 2018 г.

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ. КАНДИДАТСКИЙ ЭКЗАМЕН.

Рабочая программа дисциплины

Направление подготовки

03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации)

Общая трудоемкость дисциплины: 3 зачетные единицы – **108** часов.

Форма промежуточной аттестации: кандидатский экзамен

Виды деятельности:

Лекции	0	контактная работа обучающихся с преподавателем	8
Семинарские занятия	0		
Самостоятельная работа	56	занятия в активной и интерактивной форме	
Консультации	8		
Зачеты		Экзамены	36

Программа курса «Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатский экзамен» составлена в соответствии с требованиями федерального государственного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума, для аспирантов, обучающихся по направленности (профилю подготовки) 01.04.01 " Приборы и методы экспериментальной физики ".

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: самостоятельная подготовка студента по программе кандидатского экзамена, консультации с преподавателем, сдача кандидатского экзамена по специальности "Физика плазмы".

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: очные индивидуальные консультации с преподавателем

Промежуточная аттестация: кандидатский экзамен по специальности " Приборы и методы экспериментальной физики "

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, в том числе 8 часов индивидуальных консультаций.

Составитель:

к.ф.-м.н. А.В. Соколов

Рабочая программа

Содержание

1. Цели освоения дисциплины.....	4
2. Место дисциплины в структуре программы обучения.....	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины	4
4. Структура и содержание дисциплины	5
5. Образовательные технологии.....	9
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и аспирантов.....	9
7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины:	9
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	10
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	11

«Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатский экзамен»

Рабочая программа дисциплины

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатский экзамен» предназначена для закрепления и контроля знаний аспирантов, специализирующихся в области разработки аппаратуры и методов физических измерений, по следующим разделам физики: методы измерения основных физических величин, методы анализа физических измерений, моделирование физических процессов, автоматизация эксперимента.

2. Место дисциплины в структуре программы обучения

Дисциплина «Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатский экзамен» относится к вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)». Аспиранты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны пройти предусмотренные программой обучения в аспирантуре курсы и иметь детальное представление о всех представленных в программе дисциплины разделах.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов для решения научных и практических задач (в соответствии с направленностью подготовки) (ПК-1);
- Способность к получению, критическому осмыслению и реферативному изложению научных результатов в области физики (в соответствии с направленностью подготовки) (ПК-2);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** основные законы и положения включенных в программу кандидатского экзамена разделов физики
- **уметь** находить и анализировать научную информацию о теоретических моделях физических явлений.

4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатский экзамен» представляет собой полугодовой курс, читаемый в аспирантуре ИЯФ СО РАН. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Индивидуальные консультации с преподавателем (кол-во часов)		
	2	3	4	5	6	7	8
1	Методы измерения основных физических величин.	1-2	9		1	8	
2	Измерения.	3-4	9		1	8	
3	Критерий точности измерений.	5-6	9		1	8	
4	Методы анализа физических измерений.	7-8	9		1	8	
5	Моделирование физических процессов	9-10	9		1	8	
6	Автоматизация эксперимента.	11-12	9		1	8	
7	Накопление экспериментальных данных, создание банков данных.	13-14	9		1	8	
8	Вопросы дополнительной программы	15-16	9		1	8	
9	Кандидатский экзамен по специальности “ Приборы и методы экспериментальной физики ”		36				36
	Итого				8	64	
			108				36

Содержание дисциплины:

Содержание дисциплины совпадает с программой кандидатского экзамена по специальности 01.04.01 “ Приборы и методы экспериментальной физики ”. Дисциплина содержит следующие разделы:

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, χ^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 χ_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.

VII. Вопросы дополнительной программы

I. Ускорители частиц

- Принципы и методы ускорения заряженных частиц. Высоковольтное ускорение. Резонансное ускорение. Принцип автофазировки. Орбитальная устойчивость движения частиц в аксиально-симметричном магнитном поле. Принцип сильной фокусировки. Метод встречных пучков.
- Современные ускорители заряженных частиц и их особенности. Электростатические ускорители. Циклические ускорители протонов (ионов): циклотрон, изохронный циклотрон, синхроциклотрон, синхротрон. Циклические ускорители электронов: микротрон, синхротрон. Линейные резонансные ускорители ионов. Линейные резонансные ускорители электронов. Накопители частиц и коллайдеры.

- Измерение параметров пучков. Контактные датчики. Вторично-эмиссионные датчики. Ионизационные датчики. Лазерные измерители профиля пучков. Оптические датчики. Электростатические и магнитоиндукционные датчики. Обратная задача диагностики. Спектральный анализ и другие методы обработки данных.

II. Экспериментальные методы ядерной физики

- Сцинтилляционные счетчики. Классификация сцинтилляторов. Механизм сцинтилляций. ФЭУ ФЭУ в магнитном поле. Амплитудное разрешение. Временное разрешение.
- Черенковские детекторы. Основные свойства черенковского излучения. Типы черенковских детекторов. Пороговые счетчики. Дифференциальные счетчики. Детекторы черенковских колец.
- Ионизационные камеры. Пропорциональные камеры. Счетчик Гейгера-Мюллера. Интегрирующие ионизационные камеры. Импульсные ионизационные камеры. Пропорциональные счетчики. Многопроволочные пропорциональные камеры. Индукционные пропорциональные камеры. Дрейфовые камеры.
- Искровые камеры. Искровые счетчики. Полупроводниковые детекторы. Принцип работы ядерных фотоэмульсий, камер Вильсона и пузырьковых камер.
- Методы измерения энергии частиц. Измерение по пробегу. Магнитные спектрометры. Счетчики полного поглощения (калориметры).

III. Приборы и методы измерений в физике плазмы

- Системы для удержания плазмы. Пробкотрон. Токамак. Амбиполярная ловушка. Газодинамическая ловушка. Многопробочная ловушка.
- Емкостные накопители энергии. Генераторы высоковольтных импульсных напряжений. Коммутаторы больших токов. Магнитные системы открытых ловушек. Особенности вакуумных систем термоядерных установок.
- Нагрев плазмы. Нагрев плазмы током. ВЧ-нагрев. Нагрев плазмы пучками частиц.
- Диагностика плазмы. Электрические и магнитные зонды. Регистрация потоков частиц. СВЧ-диагностика. Инжекторы пучков быстрых атомов. Активная и пассивная корпускулярные диагностики.
- Оптические методы диагностики плазмы. Интерферометрия. Спектроскопия. Пучково-эмиссионная спектроскопия. Лазерное рассеяние. Рентгеновские методы диагностики. Нейтронные измерения.

IV. Источники интенсивного электромагнитного излучения на основе пучков электронов.

- Синхротронное излучение и его свойства: поляризация, спектрально-угловое распределение, интенсивности излучения. Асимптотическое поведение спектра СИ при низких и высоких частотах, практические формулы для расчета СИ. Фазовый объем пучка СИ. Яркость источника СИ, магнитные структуры современных накопителей для получения максимальной яркости источника. Конструкция каналов вывода СИ и экспериментальные станции.
- Способы монохроматизации СИ. Использование СИ для проведения прикладных исследований. Экспериментальные методы, основанные на использовании СИ. Рентгеновская дифракция на пучках СИ и определение структуры биологических макромолекул. Фазовые переходы при сверхвысоких давлениях, алмазные наковальни. Дифракционное кино, фазовые переходы в быстропротекающих процессах (детонация, взрыв), образование наноалмазов. Рентгеновская спектроскопия. XAFS-спектроскопия.

Магнитный дихроизм для изучения магнитных материалов. Рентгено-флуоресцентный элементный анализ. Микроскопия и микротомография. LIGA-технология.

- Излучение релятивистских электронов в магнитных периодических структурах. Угловые и спектральные характеристики ОИ (случай слабого и сильного поля ондулятора). Спиральные и плоские ондуляторы. Лазер на свободных электронах. Ускоритель-рекуператор. Характеристики излучения Новосибирского ЛСЭ. Детекторы и визуализаторы терагерцового излучения. Экспериментальные методы исследований в терагерцовом диапазоне.

V. Методы автоматизации сбора и обработки данных физического эксперимента

- Архитектура систем сбора данных (ССД) современных физических экспериментов. Стандарты современной электроники.
- Ступени отбора и преобразования данных. Назначение системы триггера ССД; уровни системы триггера.
- Основные устройства современных универсальных детекторов для экспериментов по физике элементарных частиц и их назначение.
- Первичные датчики для измерения – амплитуды, заряда, временных интервалов и сопутствующая электроника.
- Шумы, фильтрация шумов.
- Программируемые логические интегральные схемы. Специализированные языки программирования ПЛИС. Использование ПЛИС в экспериментах в физике высоких энергий.
- Компьютерные сети. Модель OSI. Протоколы Ethernet, IP, TCP, UDP. Принципы организации Internet.
- Парадигма объектно-ориентированного программирования. Понятие паттернов программирования. Примеры нескольких паттернов.
- Использование метода Монте-Карло для моделирования взаимодействия частиц с веществом.
- Реляционные системы управления базами данных. Язык SQL.

5. Образовательные технологии

Основным методом обучения по курсу является самостоятельная подготовка аспирантов по вопросам, изложенным в программе, с регулярным обсуждением изученных вопросов на индивидуальных консультациях с преподавателем.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов поддерживается учебниками и учебно-методическими пособиями, приведенными в списке основной и дополнительной литературы, а также обзорными статьями в научных журналах

Текущий контроль успеваемости происходит на индивидуальных консультациях.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра в рамках сдачи кандидатского экзамена по специальности 01.04.02 “Теоретическая физика”.

7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины:

Образцы вопросов для подготовки к экзамену – вопросы формулируются идентично названиям подразделов программы курса, представленной выше в п. 4. В экзаменационные

билеты включается по три вопроса из основной и дополнительной программы кандидатского экзамена.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Список основной и дополнительной литературы:

Основная 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.

Дополнительная литература

1. Смалюк В. В. Диагностика пучков заряженных частиц в ускорителях / Под ред. чл.-корр. РАН Н. С. Диканского. Новосибирск: Параллель, 2009. 294 с.
2. Коломенский А. А. Физические основы методов ускорения заряженных частиц. М. Изд. МГУ, 1980.
3. Лебедев А. Н. Шальнов А. В. Основы физики и техники ускорителей, 2-е изд. М. Энергоатомиздат, 1990.
4. Онучин А. П. Экспериментальные методы ядерной физики: учебное пособие. / Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. 220 с.
5. Клайнкнехт К. "Детекторы корпускулярных излучений". М. Мир.1990.
6. Абрамов А.И. Казанский Ю.А. Матусевич Е.С. "Основы экспериментальных методов ядерной физики", 3-у изд.М.Энергоатомиздат,1985.
7. Акимов Ю.К. Игнатъев О.В. Калинин А.И. Кушнирук В.Ф. "Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике", М. Энергоатомиздат, 1989.
8. Будкер Г. И. Термоядерные реакции в системе с магнитными пробками. К вопросу о непосредственном преобразовании ядерной энергии в электрическую // Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций, т.3, М.: Издательство АН СССР. С.3-31, 1958.
9. Рютов Д.Д. Открытые ловушки // УФН 154 565–614 (1988).
10. Димов Г. И. Амбиполярная ловушка // УФН 175 1185–1206 (2005).
11. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. М.: Мир, 1984.
12. Голдстон Р. Дж. Диагностика высокотемпературной плазмы в магнитных ловушках //Основы физики плазмы / Под ред. Р.З. Сагдеева и М. Розенблюта. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – Т. 2. – С. 583–627.
13. Давыденко В.И., Иванов А.А., Вайсен Г.. Экспериментальные методы диагностики плазмы. – Новосибирск: НГУ, 1999.
14. Стрелков В.С. Физические основы методов диагностики плазмы в токамаке. – М.: МИФИ, 2004.
15. Грин Т. Формирование и транспортировка пучков быстрых атомов / К. Барнет, М. Харрисон. Прикладная физика атомных столкновений. Плазма. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
16. Глазков А.А., Саксаганский Г.Д. Вакуум электрофизических установок и комплексов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
17. Джексон Д. Классическая электродинамика. Перев. с англ. М., "Мир", 1965.
18. Соколов А. А., Тернов И. М. Синхротронное излучение. М., "Наука" 1966.

19. Кулипанов Г. Н., Скринский А. Н.. Использование синхротронного излучения: состояние и перспективы. УФН, Т. 122, С. 369 (1977).
20. A. Hofmann, CERN LEP-DI/89-55 Characteristics of synchrotron radiation.
21. Kwan Je Kim, Berkly, Characteristics of synchrotron radiation.
22. Б. М. Болотовский, В. А. Давыдов Заряд, среда, излучение. - М.: Знание, 1989 - (Новое в жизни, науке, технике. Серия Физика, N 11, ISBN 5-07-000312-7).
23. Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ (под редакцией Л.А.Асланова). Издательство М.: Физматлит -2007 - 672 с.
24. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учебник: В 3-х томах. Т3: Физика элементарных частиц. 6-е изд. СПб.: Лань, 2008.
25. Акимов, Игнатъев, Калинин, Кушнирук. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. –Дубна: ОИЯИ, 2009.
26. Ю.А.Акимов. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. – Дубна: ОИЯИ, 2009.
27. Ю.А. Акимов. Газовые детекторы ядерных излучений. – Дубна: ОИЯИ, 2011
28. Дмитриева, Ковтюх, Кривицкий. Ядерная электроника.
29. Базиладзе С. Г. Быстродействующая ядерная электроника.
30. А.П. Цитович. Ядерная электроника. Учебн. Пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
31. К. Групен. Детекторы элементарных частиц. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999.
32. Методы анализа данных в физическом эксперименте. / Под ред. М.Реглера. М.: Мир, 1993.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Специальное материально-техническое оборудование для изучения дисциплины не требуется.