

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики плазмы**



Рабочая программа дисциплины

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАЗМЫ 1

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования плазмы 1» представляет собой курс о явлениях в плазме, обусловленных коллективной динамикой частиц в самосогласованных электромагнитных полях. Дисциплина предназначена для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области физики плазмы.

Цель курса – дать учащимся набор базовых сведений по диагностике плазмы, информацию об основных экспериментальных методах исследования плазмы, устройстве и принципах работы наиболее распространенных диагностических систем и устройств.

Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институтах, в котором студенты планируют проходить научную практику. Необходимой предпосылкой для изучения дисциплины является успешное освоение курса «Электродинамика». Материал курса увязывается с теоретическим спецкурсом кафедры физики плазмы - «Основы физики плазмы».

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p>	<p>Знать учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для вычисления параметров плазмы или оценки требуемых параметров диагностической системы.</p> <p>Уметь решать прикладные задачи по определению параметров плазмы на основе полученных экспериментальных данных; уметь проводить научные изыскания в области физики плазмы; оценивать и анализировать результат, полученный в ходе проведения экспериментов.</p> <p>Владеть необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по методам диагностики плазмы; навыками решения усложненных задач по экспериментальным методам на основе приобретенных знаний, умений, навыков.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования плазмы 1» реализуется в осеннем семестре 4-го курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики плазмы. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика и основы физики плазмы.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контрольные работы, задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования плазмы 1» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 7 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Электрические и магнитные зонды	1-3	9	4	2	3	
2.	Приемники потоков частиц и излучения	4	4	2		2	
3.	Корпускулярная диагностика плазмы	5-7	11	4	4	3	
4.	Диагностика нейтронов и продуктов т/я реакций.	8-9	6	2	2	2	
5.	Измерения в плазменном эксперименте	10-11	6	2	2	2	
6.	Методы обработки и интерпретации экспериментальных данных	12-13	6	2	2	2	
7.	Итоговый коллоквиум по курсу	14-16	8		4	4	
8.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
9.	Консультации перед экзаменом		2				2
10.	Экзамен		2				2
Всего			72	16	16	18	2

План лекций по курсу (16 часов)

I. Электрические и магнитные зонды (4 часа)

Лекция 1 Одиночный электростатический зонд (Зонд Ленгмюра). Важнейшие характеристики зонда. Определение параметров плазмы по вольт-амперной характеристике одиночного зонда. Методы измерений зондовых характеристик и их производных. Формула Дрювестейна.

Лекция 2 Распределение потенциала вблизи зонда. Формула Бома. Плавающий и эмиссионный зонды. Электростатический зонд в магнитном поле. Специальные виды зондов: двойной зонд,

тройной зонд, многоэлектродные зонды, зонды типа ball-pen. Рекомендации по применению ленгмюровских зондов. Высокочастотный зонд. Измерение шумов и колебаний в плазме.

Лекция 3. Магнитный зонд. Измерение токов и магнитных полей. Применение магнитных зондов для измерений характеристик колебаний в плазме. Диамагнитные петли. Факторы, влияющие на измерения.

II. Приемники потоков частиц и излучения (2 часа)

Лекция 4 Калориметры. Болометры. Пироэлектрические приемники. Цилиндр Фарадея, особенности работы в магнитном поле. Вторично-электронные умножители. КЭУ. Микроканальные усилители. Полупроводниковые детекторы. Статистические и импульсные параметры ВЭУ и МКП. Темновой ток и шумы. Особенности измерений корпускулярных потоков.

III. Корпускулярная диагностика плазмы (4 часа)

Лекция 5 Пассивные методы. Аппаратура для корпускулярной диагностики: обдирочная камера, анализаторы энергий и импульсов частиц. Фокусировка пучков заряженных частиц.

Лекция 6 Активные методы. Взаимодействие диагностического пучка частиц с плазмой. Элементарные процессы. Источники диагностических и атомарных пучков. Многохордовое ослабление пучка. Измерение локальных характеристик плазмы. Метод искусственной мишени. Резерфордовское рассеяние быстрых атомов.

Лекция 7 Измерение электрических и магнитных полей в плазме. Зондирование пучками тяжелых ионов. Пучково-спектроскопические диагностики. Диагностика, основанная на изучении профиля интенсивности свечения пучка в плазме. Локальные измерения магнитного поля по динамическому эффекту Штарка (MSE). «Перезарядно-рекомбинационная» спектроскопия (CHERS).

IV. Диагностика нейтронов и продуктов т/я реакций (2 часа)

Лекция 8 Реакции синтеза как инструмент диагностики. Регистрация нейтронов. Активационные методы. Пузырьковые камеры. Счетчики, основанные на пороговых реакциях. Методы, основанные на регистрации протонов отдачи: ионизационные камеры, сцинтилляционные детекторы. Разделение нейтронов и гамма-излучения.

Лекция 9 Полупроводниковые детекторы с конвертором. Алмазные детекторы. Нейтронные спектрометры. Регистрация нейтронов и других продуктов реакций синтеза на крупных термоядерных установках (ИТЭР, JET, JT-60, ГОЛ-3, ГДЛ).

V. Измерения в плазменном эксперименте (2 часа)

Лекция 10 Типы источников и приемников сигнала. Электрические наводки и их классификация. Способы подавления наводок: экранированные комнаты, трансформаторные и оптронные гальванические развязки, оптические линии связи. Измерения в условиях современного термоядерного эксперимента.

Лекция 11 Электроника для систем автоматизации эксперимента. Цифровые измерения, следствия теоремы Котельникова. Характеристики аналоговых трактов АЦП. Проблемы оцифровки сигнала. Возможности потоковой обработки данных. Интерфейсы данных. Построение систем автоматизации управления и сбора данных на современных плазменных установках.

VI. Методы обработки и интерпретации экспериментальных данных (2 часа)

Лекция 12 Шумы в экспериментальных данных. Источники сигнала. Восстановление временных и пространственных зависимостей измеряемых величин. Фурье-анализ. Оконное Фурье-преобразование. Вейвлет-анализ. Разложение по собственным модам.

Лекция 13 Корреляционные измерения. Сингулярное разложение. Определение локальных характеристик плазмы из интегральных соотношений. Преобразование Абеля. Способы абелизации. Использование математических моделей плазмы для интерпретации результатов эксперимента. Задачи томографии.

План практических занятий по курсу (16 часов)

1. (1 час) Определение параметров плазмы по вольт-амперной характеристике одиночного зонда. Вывод формулы Дрювестейна.
2. (1 час) Расчёт вольт-амперной характеристики двойного зонда. Определение параметров плазмы по данным тройного зонда.
3. (1 час) Вычисление параметров плазмы по резерфордскому рассеянию быстрых атомов.
4. (1 час) Расчёт многохордового ослабления диагностического пучка при заданном радиальном распределении параметров плазмы.
5. (2 часа) Принципы построения систем диагностики нейтронов и других продуктов реакций синтеза на крупных термоядерных установках (ИТЭР, JET, JT-60, ГОЛ-3, ГДЛ).
6. (2 часа) Задача разделения нейтронов и гамма-излучения. Определение ионной температуры плазмы по нейтронному спектру.
7. (2 часа) Измерения в условиях современного термоядерного эксперимента. Построение систем автоматизации управления и сбора данных на современных плазменных установках
8. (2 часа) Фурье-анализ и оконное Фурье-преобразование для обработки экспериментальных сигналов. Определение локальных характеристик плазмы из интегральных соотношений.
9. (4 часа) Итоговый коллоквиум по курсу. Применение различных методов исследования плазмы в плазменном эксперименте, связанном с научно-исследовательской работой студентов.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	11
Подготовка к контрольным работам	9
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Диагностика плазмы. / Под ред. Р. Хаддлстоуна, С. Леонарда. М.: Мир, 1967.(9 экз.)
2. Давыденко В.И., Иванов А.А., Вайсен Г. Экспериментальные методы исследования плазмы. Часть I. Новосибирский государственный университет, Новосибирск 1999.

<http://www.inp.nsk.su/students/plasma/sk/kyp.pdf>)

3. Кузнецов Э.И., Щеглов Д.А. Методы диагностики высокотемпературной плазмы. М.:Атомиздат, 1974.(2 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Давыденко В.И., Иванов А.А., Вайсен Г. Экспериментальные методы исследования плазмы. Часть I. Новосибирский государственный университет, Новосибирск 1999. <http://www.inp.nsk.su/students/plasma/sk/kyp.pdf>)
2. Бутслов М.М., Степанов Б.М., Фанченко С.Д. Электронно-оптические преобразователи и их применение в научных исследованиях. М.: Наука, 1978
3. Эклз М.; и др. Детекторы слабого излучения в астрономии. М. :Мир, 1986.
4. Микроканальные пластины в экспериментальной физике. ПТЭ, N 2, 1982.
5. Кисляков А.И., Крупник Л.И.. // Физика плазмы. 1981, Т.7, С.866.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

1. <http://www-amdis.iaea.org/ALADDIN/> - база данных элементарных процессов в плазме
2. www.nist.gov – физические базы данных

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Экспериментальные методы исследования плазмы 1» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции. Студентам необходимо пройти итоговый коллоквиум по курсу, оценка за который учитывается при выставлении итоговой оценки на экзамене. Итоговый коллоквиум проверяет сформировавшиеся компетенции у студентов.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области коллективных плазменных процессов в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Полученные баллы на экзамене прибавляются к баллам, полученным на коллоквиуме. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для вычисления параметров плазмы или оценки требуемых параметров диагностической системы. Уметь решать прикладные задачи по определению параметров плазмы на основе полученных экспериментальных данных; уметь проводить научные изыскания в области физики плазмы; оценивать и анализировать результат, полученный в ходе проведения экспериментов.	Проведение контрольных работ, экзамен.
ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	Владеть необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по методам диагностики плазмы; навыками решения усложненных задач по экспериментальным методам на основе приобретенных знаний, умений, навыков.	Проведение контрольных работ, экзамен

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Экспериментальные методы исследования плазмы 1».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.

			негрубых ошибок.	несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Типичные задания:

Задача №1

Составить (нарисовать и объяснить) реальную схему включения двойного зонда для определения температуры плазмы. *Примечание: Обратить внимание на тип измерителя (дифференциальный или одиночный вход)!*

Задача №2

Найти ограничения на параметры плазмы при зондовых измерениях, принимая, что в стационарных условиях максимальная температура зонда не должна превышать 1000 °С. *Примечание: зонд считать плоским и «идеально черным».*

Задача №3.

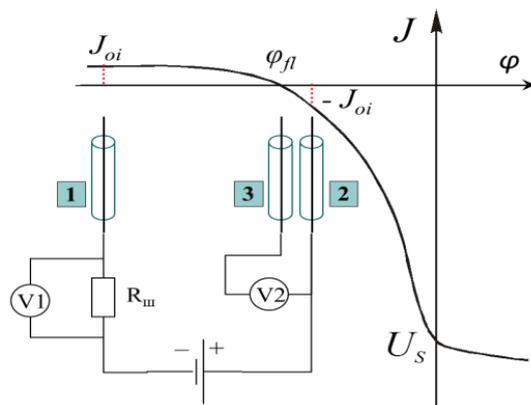
Плазма, удерживаемая в ловушке, имеет плотность $n \approx 10^{13} \text{ см}^{-3}$. И температуру $T_e = T_i \approx 10 \text{ эВ}$. Предложить зондовый метод определения потенциала плазмы (пространства). Нарисовать схему измерений.

Задача №4.

Предложить параметры водородного диагностического пучка (энергия, ток, и так далее) для создания искусственной мишени в схеме исследования ионов (протонов) плазмы по анализу нейтралов перезарядки. Параметры плазмы: плотность $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$, температура электронов $\sim 1 \text{ кэВ}$, температура исследуемых ионов 5 кэВ, радиус 10 см. Обоснуйте свой выбор.

Задача № 5

На рисунке приведена схема включения тройного зонда. Значения измеряемых напряжений V_1 и V_2 равны 1 В и 7 В соответственно. Определить по этим показаниям плотность и температуру равновесной ($T_e=T_i$) плазмы. Площадь поверхности всех зондов одинаковая и равна 1 мм^2 . $R_{\text{ш}}=100 \text{ Ом}$.



Задача №6

Составить (нарисовать и объяснить) реальную схему включения вторично-эмиссионного датчика для измерения тока нейтрального пучка на плазменной установке.

Задача №7

Предложить параметры диагностического пучка для измерения профиля плотности плазмы по многохордовому ослаблению. Параметры исследуемой плазмы: температура $\sim 1 \text{ кэВ}$, максимальная плотность 10^{14} см^{-3} , Радиус по уровню $1/e \sim 10 \text{ см}$. Обоснуйте свой выбор.

Задача №8

В центре плазменного шнура радиусом $\sim 1 \text{ метр}$ ионная температура составляет $T_i \approx 1 \text{ кэВ}$, электронная температура $T_e \approx 500 \text{ эВ}$, плотность плазмы в шнуре $n \approx 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Оценить нижнюю границу спектра атомов перезарядки, вылетающих из центра плазменного шнура.

Задача №9

Оцените плотность нейтральных атомов в центре плазменного шнура радиусом $\sim 1 \text{ метр}$. Температуру $T_e = T_i = 100 \text{ эВ}$ и плотность плазмы в шнуре $n = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ считать постоянной.

Задача №10

Для максвелловской функции распределения атомов по энергии получить выражение зависимости выходного сигнала времяпролетного анализатора от времени, предполагая линейную зависимость коэффициента вторичной эмиссии коллектора от энергии падающих частиц.

Задача №11

Оценить какой магнитный поток, связанный с диамагнетизмом плазмы, будет измерять диамагнитный зонд (диамагнитная петля) радиусом $R=10 \text{ см}$. Плазму считать бесконечным цилиндром сечением $d=10 \text{ см}$ с плотностью 10^{14} см^{-3} и температурой 1 кэВ . Плазма удерживается в поле 1 Тл (10 кГс).

Задача №12

В длинном соленоиде ($L \gg r$) с магнитным полем 6 кГс удерживается равновесная плазма радиуса $r=10 \text{ см}$ с параметрами: плотность 10^{14} см^{-3} , температура 100 эВ . Время удержания $\sim 10 \text{ мс}$. Оцените диамагнетизм плазмы. Какое количество витков должен иметь диамагнитный зонд (диамагнитная петля) для измерения диамагнетизма такой плазмы, чтобы сигнал на измерителе был $\sim 1 \text{ В}$. Предложите схему диамагнитных измерений.

Задача №13.

Дейтериевая плазма объемом 10 литров удерживается в магнитной ловушке. Плотность плазмы 10^{14} см^{-3} , температура 1 кэВ. Оценить полное количество нейтронов за время эксперимента 100 мс. Плотность и температуру можно считать постоянной.

Для справки: $\langle \sigma v \rangle_{DD \text{ полное}} \approx 1.5 \times 10^{-22} \text{ см}^3/\text{с}$.

Задача №14.

Имеется выборка из 20 чисел (значений некой измеряемой величины):

1 2 2 2 3 4 1 3 1 4 3 2 1 2 2 3 1 2 2 3

Построить гистограмму и произвести статистическую обработку данной выборки. Ответ представить в виде $X \pm \Delta x$ с вероятностью 95%

Пример контрольной работы

1. Найти ограничения на параметры плазмы при зондовых измерениях, принимая, что в стационарных условиях максимальная температура зонда не должна превышать $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.
Примечание: зонд считать плоским и «идеально черным».
2. Оцените плотность нейтральных атомов в центре плазменного шнура радиусом ~ 1 метр. Температуру $T_e = T_i = 100 \text{ эВ}$ и плотность плазмы в шнуре $n = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ считать постоянной.
3. Оценить какой магнитный поток, связанный с диамагнетизмом плазмы, будет измерять диамагнитный зонд (диамагнитная петля) радиусом $R=10 \text{ см}$. Плазму считать бесконечным цилиндром сечением $d=10 \text{ см}$ с плотностью 10^{14} см^{-3} и температурой 1 кэВ. Плазма удерживается в поле 1 Тл (10 кГс).
4. Имеется выборка из 20 чисел (значений некой измеряемой величины):

1 2 2 2 3 4 1 3 1 4 3 2 1 2 2 3 1 2 2 3

Построить гистограмму и произвести статистическую обработку данной выборки. Ответ представить в виде $X \pm \Delta x$ с вероятностью 95%.

Примерные вопросы на экзамен

1. Одиночные зонды. Характеристики зондов. Распределение потенциалов вблизи одиночного зонда.
2. Формула Дрювестейна. Определение параметров плазмы одиночным зондом. Зонд в магнитном поле.
3. Многоэлектродные зонды. Принципы работы и измерение физических величин. Зонды специальной геометрии.
4. Магнитные измерения. Методы измерения магнитного поля. Интегральные магнитные измерения.
5. Локальные магнитные измерения. Математические методы обработки данных многоканальных локальных диагностик.
6. Многосеточные зонды. Регистраторы потоков заряженных частиц. Подавление вторичной эмиссии.
7. Регистраторы потоков энергии. Калориметры, болометры.
8. Регистраторы потоков нейтральных атомов. Вторично-эмиссионные датчики. Вторично-электронные умножители, микроканальные пластины.
9. Пассивные методы корпускулярной диагностики. Образование нейтральных атомов в плазме. Метод искусственной мишени.
10. Обдирочные мишени. Анализаторы заряженных частиц по импульсам и энергиям. Электронная/ионная оптика.
11. Многохордовое ослабление диагностических пучков нейтральных атомов. Восстановление пространственных распределений по данным хордовых измерений.

12. Взаимодействие плазмы с пучком нейтральных атомов. Элементарные процессы. Резерфордское рассеяние быстрых атомов.

1. Принцип работы и основные параметры диагностических инжекторов нейтральных атомов. Регистрация вторичных ионов. Диагностики на основе пучков тяжелых ионов.
2. Пучково-спектроскопические диагностики. Динамический эффект Штарка.
3. Пучково-спектроскопические диагностики. Перезарядно-рекомбинационная спектроскопия.
4. Термоядерные реакции в горячей плазме как инструмент диагностики. Измерение нейтронного флюенса.
5. Сцинтилляционные детекторы. Проблема разделения нейтронов и гамма-квантов.
6. Полупроводниковые и алмазные детекторы. Прочие методы определения спектра нейтронов. Диагностика термоядерных протонов.
7. Наводки и методы борьбы с ними.
8. Цифровые измерения. Теорема Котельникова в цифровых измерениях. Особенности аналогового тракта АЦП. Интерфейсы данных.
9. АЦП. Проблема оцифровки сигналов. Стробоскопические АЦП. Первичная обработка данных.
10. Обработка сигналов, зависящих от времени. Корреляционные измерения. Сингулярное разложение.
11. Регистрация мгновенного потока нейтронов. Камеры деления. Пропорциональные счетчики.
12. Обработка сигналов, зависящих от времени. Фурье-анализ. Вейвлет-анализ.

Пример экзаменационного билета

1. Одиночные зонды. Характеристики зондов. Распределение потенциалов вблизи одиночного зонда.
2. Обработка сигналов, зависящих от времени. Фурье-анализ. Вейвлет-анализ.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Экспериментальные методы исследования плазмы 1»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного