

**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 2**

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
8	108	24	12		50	18	2			2
Всего 108 часа / 3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 40 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. ....	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	9
1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	10

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

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования плазмы 2» 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 сведений об оптических методах исследования термоядерной плазмы, о их физических основах, устройстве и принципах создания оптических диагностик, их основных технических системах и элементах.

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».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>ПК-1</b> 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><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p>	<p><b>Знать</b> учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основные современные методы оптической диагностики плазмы; основные закономерности формирования результатов эксперимента; свойства и структуру физических процессов, происходящих в плазме.</p> <p><b>Уметь</b> решать прикладные задачи по определению параметров плазмы на основе полученных с помощью оптических методов экспериментальных данных; объяснять причинно-следственные связи физических процессов, происходящих в плазме.</p> <p><b>Владеть</b> необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по методам оптической диагностики плазмы; навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками применения современного математиче-</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		ского инструментария для решения задач в области физики плазмы.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования плазмы 2» реализуется в весеннем 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
8	108	24	12		50	18	2			2
Всего 108 часов / 3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 40 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 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 38 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 2» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 8 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 академических часов.

№ 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.	Общий обзор задач и методов оптических и СВЧ измерений в диагностике плазмы.	1	2	2			
2.	Оптические системы в диагностике плазмы. Аберрации оптических систем. Основные характеристики	2	9	4		5	
3.	Методы сверхскоростной фотографии.	3	6	2	1	3	
4.	Источники света. Стандарты длин волн и интенсивности излучения.	4	7	2	1	4	
5.	Спектральная и СВЧ аппаратура.	5	9	2	2	5	
6.	Спектроскопия плазмы	6	8	2	1	5	
7.	Теневые и интерферометрические методы.	7	9	2	1	6	
8.	Рассеяние света плазмой.	8	10	2	1	7	
9.	Резонансная флуоресценция	9	8	2	1	5	
10.	Спектроскопия атомных пучков. Диагностика мощных пучков заряженных частиц.	10-13	10	2	2	6	
11.	Оптические диагностические комплексы	14-16	8	2	2	4	

	современных термоядерных установок						
12.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
	Консультации перед экзаменом		2				2
13.	Экзамен		2				2
<b>Всего</b>			<b>108</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>50</b>	<b>22</b>

### План лекций по курсу (32 часа)

- I. Общий обзор задач и методов оптических и СВЧ измерений в диагностике плазмы (2 часа)**
- II. Оптические системы в диагностике плазмы. Аберрации оптических систем. Основные характеристики (4 часа)**
- III. Методы сверхскоростной фотографии (2 часа)**
- а) Применение фотоэмульсий для регистрации излучений: кривая почернения. Спектральная чувствительность. Сенсibilизация фотоматериалов.
- б) Матричные полупроводниковые приемники изображения. ПЗС линейки и матрицы. КМОП матрицы.
- в) Принципы и способы высокоскоростной съемки. Щелевая и покадровая съемка. Оптико-механические камеры. Механические и электромеханические затворы. Электро- и магнитооптические затворы (ячейки Керра, Поккельса, Фарадея). Другие типы затворов.
- г) Электронно-оптические преобразователи (ЭОП). ЭОП с прямым переносом изображения, времяанализирующие ЭОП, диссекторы. Спектральные характеристики, чувствительность, пространственное и временное разрешение. Рентгеновские ЭОП. Усилители чркости. Телевизионные приемники изображения.
- IV. Источники света. Стандарты длин волн и интенсивности излучения (2 часа)**
- Импульсные источники света. Источники в вакуумной ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра. Лазерные источники; типы лазеров, их спектральные, временные и энергетические характеристики. Лазеры в субмиллиметровом диапазоне.
- V. Спектральная и СВЧ аппаратура (2 часа)**
- а) Фильтры: поглощающие и интерференционные фильтры; интерференционно-поляризационные фильтры. Спектральные приборы с одномерной дисперсией. Разрешающая способность. Аппаратная функция. Светосила спектрального прибора. Призма и дифракционная решетка. Спектрографы и монохроматоры.
- б) Спектральные приборы большой разрешающей силы. Интерферометр Фабри-Перо. Наблюдение спектров в ИК, ВУФ и рентгеновской областях спектра. Оптические материалы, зеркала, фильтры. Вогнутая решетка. Кристалл-спектрометры.
- VI. Спектроскопия плазмы (2 часа)**
- а) Электромагнитное излучение плазмы: тормозное, рекомбинационное и линейчатое излучение; излучение примесей; циклотронное излучение. Анализ сплошного спектра. Определение Ne и Te.
- б) Методы, основанные на регистрации циклотронного излучения. Определение параметров плазмы по интенсивностям спектральных линий. Модели плазмы. Ионизационное равновесие. Запрещенные линии. Диффузия излучения в оптически толстой плазме.

в) Определение параметров плазмы по ширине спектральных линий. Доплеровское уширение. Уширение давлением: статическое и ударное уширение. Распределение Хольцмарка. Спектроскопия турбулентной плазмы.

## **VII. Теневые и интерферометрические методы (2 часа)**

а) Распространение электромагнитных волн через плазму в отсутствие магнитного поля, в продольном и поперечном магнитном полях. Критическая плотность.

б) Интерферометрия плазмы. Интерферометрия в оптическом диапазоне. Субмиллиметровые лазерные интерферометры. Голографическая интерферометрия. Резонансная интерферометрия. СВЧ интерферометрия. Интерферометрия на больших плазменных установках.

в) Распространение электромагнитной волны через неоднородную плазму. Теневые методы исследования плазмы.

## **VIII. Рассеяние света плазмой (2 часа)**

Томсоновское рассеяние света. Параметр Солпитера. Коллективное рассеяние. Границы применимости метода. Техника эксперимента.

## **IX. Резонансная флуоресценция (2 часа)**

Атомы в интенсивном световом поле. Насыщение флуоресценции. Экспериментальные методы.

## **X. Спектроскопия атомных пучков. Диагностика мощных пучков заряженных частиц (2 часа)**

Томсоновское рассеяние света. Параметр Солпитера. Коллективное рассеяние. Границы применимости метода. Техника эксперимента.

## **XI. Оптические диагностические комплексы современных термоядерных установок (2 часа)**

Томсоновское рассеяние света. Параметр Солпитера. Коллективное рассеяние. Границы применимости метода. Техника эксперимента.

## **План практических занятий по курсу (16 часов)**

### **I. Методы сверхскоростной фотографии (1 час)**

1. Как происходит считывание информации со светочувствительной области ПЗС матрицы? Чем определяется частота съемки кадров в ПЗС матрице и на сколько она отличается от экспозиции?
2. Оцените максимальную скорость вращения зеркала в системах с оптико-механической коммутацией изображения (например, камере СФР, предел текучести материала зеркала  $E \sim 3 \cdot 10^8$  Па)?

### **II. Источники света. Стандарты длин волн и интенсивности излучения (1 час)**

1. Можно ли увеличить фоточувствительность фотоаппарата совместив его с однокаскадным ЭОП, почему? Какой смысл все-таки использовать такую схему регистрации изображений?
2. Можно ли с помощью системы ЭОП + однокадровый фотоаппарат определить временную эволюцию событий? Каким образом?
3. Зачем и где в ЭОП используется оптоволоконная шайба?

### **III. Спектральная и СВЧ аппаратура (2 часа)**

1. На каком эффекте работает фильтр Вуда? Показать наглядно.
2. Каким образом достигают коэффициента отражения от поверхности 99.9%?
3. Можно ли интерференционный фильтр с  $\lambda_{\text{пропускания}} = 6573 \text{ \AA}$  с шириной  $\Delta\lambda = 5 \text{ \AA}$  использовать для регистрации  $H_{\alpha} = 6562,8 \text{ \AA}$ ? Как?

#### IV. Спектроскопия плазмы (1 час)

1. Чем определяется абсолютная мощность излучения спектральной линии иона?
2. Можно ли измерить температуру электронов в плазме, из которой излучается линейчатое излучение? Каким образом?
3. Если Вы зарегистрировали спектральную линию  $Ag^{11+}$ , а линий  $Ag^{12+}$  Вы *не увидели*, то о чем это Вам «говорит»?

#### V. Теневые и интерферометрические методы (1 час)

1. Что такое круг Роуленда?
2. Чему равна угловая дисперсия в зеленом цвете интерферометра Фабри-Перо длиной 100 мм?
3. Чему равна угловая дисперсия в зеленом цвете в автоколлимационном спектрометре на дифракционной решетке в первом порядке с частотой штрихов  $1200 \text{ мм}^{-1}$ ?

#### VI. Рассеяние света плазмой (1 час)

1. Как показатель преломления зависит от омического сопротивления плазмы? В каком случае это явление нужно учитывать при расчетах прохождения э/м волны сквозь плазму?
2. Чем отличается для э/м волны распространяющейся через плазму случаи: без магнитного поля; с магнитным полем когда вектор  $k \perp B$  и  $E \parallel B$ ?

#### VII. Резонансная флуоресценция (1 час)

1. Возможно ли по излучению определение потока атомов/молекул с поверхности плазмопримника? Каким образом?
2. Есть ли излучение из плазмы молекулярных линий? Если да, то откуда оно берется?

#### VIII. Спектроскопия атомных пучков. Диагностика мощных пучков заряженных частиц (2 часа)

1. У Вас есть диагностический атомарный пучок, пронзающий плазму. Какие параметры Вы можете определить, если у Вас есть любая наперед заданная диагностическая аппаратура?

#### IX. Оптические диагностические комплексы современных термоядерных установок (2 часа)

1. В чем заключается эффект Доплера? Какой параметр плазмы по данному эффекту можно определить?
2. Какие параметры плазмы можно определить по эффекту Штарка?
3. Каким образом можно измерить градиент плотности плазмы?

#### Самостоятельная работа студентов (68 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	20
Подготовка к контрольным работам	30
Подготовка к экзамену	18

#### 5. Перечень учебной литературы.

1. Мальшев В.И. Введение в экспериментальную спектроскопию. М.: Наука, 1979. (17 экз.)
2. Лукьянов С.Ю. Горячая плазма и управляемый ядерный синтез. М.: Наука, 1975. (11 экз.)

3. *Зайдель А.И., Шрейдер Е.Я.* Вакуумная спектроскопия и ее применение. М.: Наука, 1976. (7 экз.)
4. Диагностика плазмы. *Под ред. Р. Хаддлстоуна, С. Леонарда.* М.: Мир, 1967. (9 экз.)
5. Методы исследования плазмы. *Под ред. В. Лохте-Хольтгревена.* М.: Мир, 1971. (2 экз.)
6. *Кузнецов Э.И., Щеглов Д.А.* Методы диагностики высокотемпературной плазмы. М.: Атомиздат, 1974. (2 экз.)
7. *Грим Г.* Спектроскопия плазмы. М.: Атомиздат, 1969. (1 экз.)

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

Не используются.

## **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](http://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 2» 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 6 контрольных работ, оценка за который учитывается при выставлении итоговой оценки на экзамене. Контрольные работы проверяют сформировавшиеся компетенции у студентов.

#### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная 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**

<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
------------------	---	---------------------------

<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p><b>Знать</b> учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основные современные методы оптической диагностики плазмы; основные закономерности формирования результатов эксперимента; свойства и структуру физических процессов, происходящих в плазме.</p> <p><b>Уметь</b> решать прикладные задачи по определению параметров плазмы на основе полученных с помощью оптических методов экспериментальных данных; объяснять причинно-следственные связи физических процессов, происходящих в плазме.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>
<p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p><b>Владеть</b> необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по методам оптической диагностики плазмы; навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками применения современного математического инструментария для решения задач в области физики плазмы.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>

**Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Экспериментальные методы исследования плазмы 2».**

**Таблица 10.2**

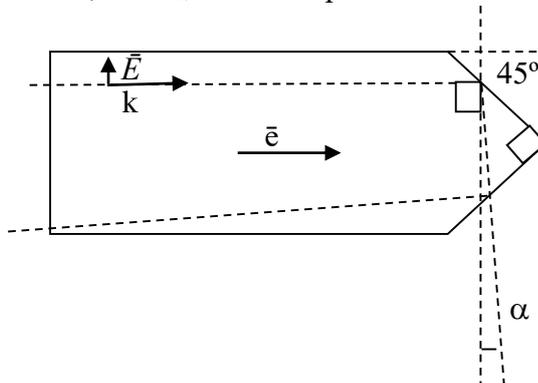
Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний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

1. Какие параметры плазмы и какими оптическими диагностиками можно измерять?
2. Напишите типы aberrаций объективов. Какая aberrация на Ваш взгляд “наиболее плохая” с точки зрения оптической диагностики, ответ обосновать?
3. У Вас есть фотоаппарат с ПЗС матрицей, у которой размер фоточувствительной единичной ячейки  $6 \times 6 \mu\text{m}^2$ . Какую минимальную диафрагму можно установить на идеальном объективе, чтобы разрешение было не хуже 1 пикселя?
4. У Вас есть фотоаппарат с ПЗС матрицей, у которой размер фоточувствительной единичной ячейки  $6 \times 6 \mu\text{m}^2$ . Какова будет глубина резко-изображаемого пространства, если вы хотите поставить диафрагму с диафрагменным числом 3 с фокусным расстоянием объектива 18 мм и сфотографировать объект на расстоянии 3 м?
5. Опишите “плюсы” и “минусы” телецентрической оптики.
6. Как происходит считывание информации со светочувствительной области ПЗС матрицы? Чем определяется частота съемки кадров в ПЗС матрице и на сколько она отличается от экспозиции?
7. Оцените максимальную скорость вращения зеркала в системах с оптико-механической коммутацией изображения (например, камере СФР, предел текучести материала зеркала  $E \sim 3 \cdot 10^8 \text{ Па}$ )?
8.  $\vec{e}$  – ось одноосного кристалла,  $n_o \neq n_e$ ,  $\vec{E}$  – электромагнитная волна, найти  $\alpha = ?$

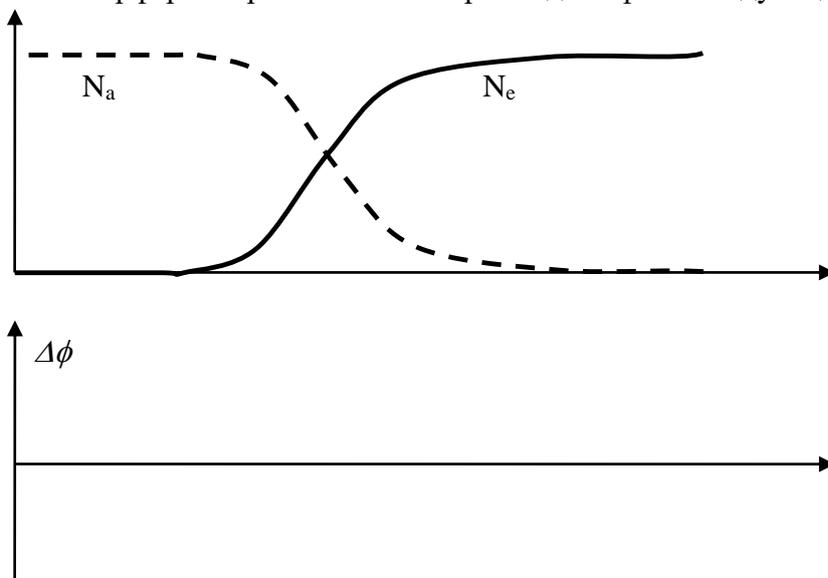


9. Можно ли увеличить фоточувствительность фотоаппарата совместив его с однокаскадным ЭОП, почему? Какой смысл все-таки использовать такую схему регистрации изображений?
10. Как работает поляризатор на основе: ( $\vec{e}$  – ось кристалла)



11. Чем определяется временное разрешение ячейки Керра? Как она работает?
12. Чем определяется временное разрешение ячейки Погкельса? Как она работает?
13. Чем определяется временное разрешение ячейки Фарадея? Как она работает?
14. Почему ЭОП с микроканальной пластиной использовать лучше, чем без нее? Как управлять экспозицией в таком ЭОП?
15. Какой коэффициент усиления можно достичь в бипланарном ЭОП с однокаскадным МКП? Обоснуйте ответ.
16. Можно ли с помощью системы ЭОП + одноканальный фотоаппарат определить временную эволюцию событий? Каким образом?
17. Зачем и где в ЭОП используется оптоволоконная шайба?
18. На каком эффекте работает фильтр Вуда? Показать наглядно.
19. Каким образом достигают коэффициента отражения от поверхности 99.9%?
20. Можно ли интерференционный фильтр с  $\lambda_{\text{пропускания}} = 6573\text{А}$  с шириной  $\Delta\lambda = 5\text{А}$  использовать для регистрации  $H_{\alpha} = 6562,8\text{ А}$ ? Как?
21. Можно ли решетку с углом блеска в 1<sup>ый</sup> порядок использовать для регистрации спектра во 2<sup>ом</sup> порядке? Какой коэффициент пропускания будет у такого прибора?
22. Можно ли увеличить чувствительность спектрометра, увеличивая ширину входной щели?
23. Какова оптимальная ширина входной щели в спектрометре при регистрации линейчатого излучения плазмы? Чему она равна для зеленого цвета для спектрометра с дифракционной решеткой с частотой штрихов  $1200\text{ мм}^{-1}$ , размером  $100 \times 100\text{ мм}^2$  и фокусным расстоянием коллиматорного объектива  $800\text{ мм}$ ?
24. Почему в качественных спектральных приборах НЕ используют линзы и призмы?
25. Что такое круг Роуанда?
26. Чему равна угловая дисперсия в зеленом цвете интерферометра Фабри-Перо длиной  $100\text{ мм}$ ?
27. Чему равна угловая дисперсия в зеленом цвете в автоколлимационном спектрометре на дифракционной решетке в первом порядке с частотой штрихов  $1200\text{ мм}^{-1}$ ?
28. Чем яркостная температура отличается от реальной температуры тела?
29. Как спектральная мощность излучения физического тела зависит от температуры.
30. Вблизи какой длины волны находится максимум излучения черного тела, нагретого до температуры  $3000\text{ К}$ ?
31. Как сделать коэффициент черноты максимально приближенный к 1?
32. Как провести абсолютную калибровку спектральной системы видимого диапазона?
33. Чем определяется абсолютная мощность излучения спектральной линии иона?

34. Можно ли измерить температуру электронов в плазме, из которой излучается линейчатое излучение? Каким образом?
35. Если Вы зарегистрировали спектральную линию  $\text{Ag}^{11+}$ , а линий  $\text{Ag}^{12+}$  Вы *не увидели*, то о чем это Вам «говорит»?
36. В чем заключается эффект Доплера? Какой параметр плазмы по данному эффекту можно определить?
37. Какие параметры плазмы можно определить по эффекту Штарка?
38. Почему в плазме с плотностью менее  $10^{14} \text{ см}^{-3}$  при измерении параметров плазмы по уширению спектральных линий *не учитывают* эффект Штарка от микрополей заряженных частиц?
39. У Вас есть диагностический атомарный пучок, пронзающий плазму. Какие параметры Вы можете определить, если у Вас есть любая наперед заданная диагностическая аппаратура?
40. Возможно ли по излучению определение потока атомов/молекул с поверхности плазмотримника? Каким образом?
41. Есть ли излучение из плазмы молекулярных линий? Если да, то откуда оно берется?
42. Какая э/м волна может пройти сквозь плазму без магнитного поля? Куда девается волна если она не проходит через плазму?
43. Как показатель преломления зависит от омического сопротивления плазмы? В каком случае это явление нужно учитывать при расчетах прохождения э/м волны сквозь плазму?
44. Чем отличается для э/м волны распространяющейся через плазму случаи: без магнитного поля; с магнитным полем когда вектор  $\mathbf{k} \perp \mathbf{B}$  и  $\mathbf{E} \parallel \mathbf{B}$ ?
45. Откуда берется эффект поворота поляризации плоскополяризованной э/м волны, распространяющейся вдоль магнитного поля через плазму? Чему равен угол поворота поляризации?
46. Может ли э/м волна с  $\omega < \omega_{pe}$  распространяться через плазму? В каком случае?
47. Каким образом можно измерить градиент плотности плазмы?
48. Вы построили интерферометр и начали измерять сдвиг фаз в следующем эксперименте:



Нарисуйте результат измерений, качественно. Объясните график.

49. Чем определяется точность измерения линейной плотности плазмы в интерферометрической схеме?
50. Как сделан дисперсионный интерферометр? Какие основные сложности в создании данного интерферометра?

1. У Вас есть фотоаппарат с ПЗС матрицей, у которой размер фоточувствительной единичной ячейки  $6 \times 6 \text{ мкм}^2$ . Какова будет глубина резко-изображаемого пространства, если вы хотите поставить диафрагму с диафрагменным числом 3 с фокусным расстоянием объектива 18 мм и сфотографировать объект на расстоянии 3 м?
2. Опишите “плюсы” и “минусы” телецентрической оптики.

### Примерные вопросы на экзамен

1. Кривая почернения фотопленок. Плотность почернения. Коэффициент контрастности.
2. Характерная величина экспозиции (в эрг/см<sup>2</sup> и фотон/см<sup>2</sup>) и спектральная чувствительность приемников изображения.
3. Эффект Керра. Ячейка Керра. Времена открытия.
4. Эффект Поккельса. Ячейка Поккельса.
5. Эффект Фарадея. Ячейка Фарадея.
5. ЭОП с прямым переносом изображения. Коэффициент усиления.
6. Фотокатоды. Спектральная чувствительность.
7. ЭОП на основе МКП. Коэффициент усиления.
8. Стандарты длин волн и интенсивности. Светимость черного тела.
9. Поглощающие фильтры. Закон поглощения.
10. Принцип работы интерференционного фильтра. Интерференционно-поляризационный фильтр. Разрешающая способность данных фильтров.
11. Аппаратная функция и разрешающая способность спектрального прибора.
12. Дифракционная решетка. Принцип действия. Разрешающая способность.
13. Эшелетт. Принцип действия. Разрешающая способность.
14. Интерферометр Фабри-Перо. Разрешающая способность.
15. Рентгеновские спектрометры: на кристаллах, многослойных зеркалах, решетки.
16. Спектральные приборы с дифракционной решеткой (типы, конструкция).
17. Призмённые спектральные приборы.
18. Приборы для сверхскоростной киносъёмки.
19. Матричные приемники изображения (ПЗС, КМОП, Foveon), их особенности.
20. Определение уровня турбулентных полей по уширению контура линии.
21. Интерферометрия плазмы (Измерения на двух длинах волн).
22. ЛТР, условие применимости.
23. Штарковское уширение спектральных линий в плазме. Определение плотности плазмы.
24. Фарадеевское вращение плоскости поляризации в плазме.
25. Критическая плотность. Отсечка Э/М излучения.
26. Прохождение электромагнитной волны через плазму без магнитного поля.
27. Циклотронное излучение плазмы.
28. Метод фильтров в рентгеновской диагностике плазмы.
29. Показатель преломления плазмы.
30. Дисперсионный интерферометр.
31. Тормозное излучение плазмы.
32. Прохождение электромагнитной волны через замагниченную плазму.
33. Отношение интенсивности спектральных линий при ЛТР.
34. Доплеровское уширение спектральной линии. Определение температуры плазмы.
35. Интерферометрия плазмы (Схемы Майкельсона и Маха-Цандера).
36. Интерферометрия плазмы (Схема Уортона).
37. Рекомбинационное излучение плазмы.
38. Корональное равновесие, условие применимости.
39. Диагностики плазмы, использующие рефракцию света в плазме.

- 
1. Измерения энергетического спектра мощных электронных пучков (магнитный анализатор).
  2. Рефлектометрия.
  3. Измерения энергетического спектра мощных электронных пучков (многофольговый анализатор).
  4. Измерение пространственного профиля энерговыведения мощных пучков.
  5. Определение углового разброса мощных ионных пучков.
  6. Измерения энергетического спектра мощных электронных пучков (обратное рассеяние лазерного импульса).
  7. Параметр Солпитера. Коллективное рассеяние.
  8. Определение профиля обратного тока (мощные пучки в плазме).
  9. Спектроскопия атомарных пучков.
  10. Диагностика электронной температуры по циклотронному излучению плазмы.
  11. Томсоновское рассеяние на малый угол.
  12. Интерферометрия с визуализацией поля.
  13. Метод внутрирезонаторной спектроскопии.
  14. Измерение массового состава мощных атомарных/ионных пучков.
  15. Вклад возбужденных состояний в показатель преломления низкотемпературной плазмы.
  16. Томсоновское рассеяние. Физические принципы. Сечение. Смещение частоты.
  17. Томсоновское рассеяние как метод диагностики плазмы. Параметр Солпитера.
  18. Лазеры для систем томсоновского рассеяния.
  19. Регистрирующая аппаратура для систем томсоновского рассеяния.
  20. Метод резонансной флюоресценции.

### **Пример экзаменационного билета**

1. Принцип работы интерференционного фильтра. Интерференционно-поляризационный фильтр. Разрешающая способность данных фильтров.
2. Дисперсионный интерферометр.
3. Томсоновское рассеяние на малый угол.

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 2»  
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