

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АСТРОНОМИИ

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
МГУ
_____ / Н.Н. Сысоев /
«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Уровень высшего образования:

Специалитет

Направление подготовки:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль) ОПОП:

Общая специальность

Квалификация «Специалитет»

Форма обучения: Очная форма обучения

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол № _____, _____)

Москва 2020

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Физика.

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. К.ф.-м.н., доцент Корнилов Виктор Геральдович, кафедра экспериментальной астрономии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор, Расторгуев Алексей Сергеевич

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Приемники оптического излучения»

В лекционном курсе содержатся углубленные знания о приемниках оптического излучения, применяемых в астрономических наблюдениях. Напоминаются базовые физические принципы и физические явления лежащие в основе функционирования фотоприемников приемников различного типа.

Практические и технические особенности приемников также затрагивается в той мере в которой это существенно для астрономических приложений. Рассматриваются структура и применение фотоэлектронного умножителя, фотодиода, фотосопротивления, лавинного фотодиода. Большое внимание уделяется ПЗС приемникам, лидирующим ныне в астрономической практике.

Особое внимание уделяется методам уменьшения внутренних шумов приемников, критически важных при регистрации слабых световых потоков.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Приемники оптического излучения» реализуется на 4-ом курсе в 8-ом семестре и является составной частью профессионального блока базовой части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Отсутствуют.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1	<p>З-1 Знать: Обобщенные характеристики приемников оптического излучения и основы описания взаимодействия поглощаемых фотонов с твердым телом.</p> <p>З-2 Знать: Типы используемых в астрономии приемников излучения и физические принципы (эффекты) лежащие в основе их функционирования</p> <p>У-1 Уметь: Определять эффективность использования данного реального детектора по данным спецификации производителя, составить требуемую спецификацию приемника для планируемого эксперимента .</p> <p>У-2 Уметь: Строить количественные модели планируемых наблюдений с оценкой эффективности использования приемной астрономической аппаратуры с заданными параметрами.</p> <p>В-1 Владеть: Навыками проектирования экспериментальных установок для тестирования тех или иных параметров оптического детектора .</p> <p>В-2 Владеть: Навыками самостоятельной работы</p>
ОПК-1	<p>З-1 Знать: Номенклатуру реально производимых астрономических приемников оптического излучения, применяемых астрономических наблюдениях.</p> <p>У-1 Уметь: Проводить аккуратную и адекватную обработку данных тестовых измерений или реальных астрономических наблюдений</p> <p>В-1 Владеть: Навыками проведения измерений или оценок тех или иных параметров оптического детектора .</p>

4. **Форма обучения:** очная.
5. **Язык обучения:** русский.
6. **Содержание дисциплины**

Введение в курс, базовые принципы и особенности поглощения света в твердом теле. Цели курса. Краткое изложение программы. Основы описания энергетической структуры твердого тела.

Фотоэмиссия. Основные законы внешнего фотоэффекта. Фотоэмиссионные материалы. Квантовый выход. Фотокатод. Основные типы фотокатодов, их особенности. Спектральные характеристики фотокатодов. Оптические методы повышения чувствительности.

Фотоумножитель. Вторичная эмиссия электронов. Коэффициент умножения. Динодная система. Схемы включения и питания ФЭУ. Анод ФЭУ. Выходной импульс. Анодная цепь, постоянная времени. Методы регистрации. Вольт-амперные и счетные характеристики ФЭУ. Связь с АРИ. Рабочая точка.

Метод счета фотонов. Усиление и дискриминация. Статистики импульсов. Точность измерения в разных условиях. Линейность в МСФ. Шумы ФЭУ и их источники. Термоэмиссия. Методы уменьшения шумов ФЭУ. Систематические эффекты, влияющие на чувствительность ФЭУ. Современные ФЭУ. Специальные ФЭУ.

Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость и Фото-ЭДС. Фотосопротивление. Чувствительность, спектральная чувствительность, шумы. Фотодиоды. Принцип работы. Режимы включения. Чувствительность, спектральная чувствительность, шумы. Лавинные фотодиоды. Ударная ионизация. Лавинный пробой. Режимы использования. Коэффициент усиления. Счет импульсов. Квантовая эффективность для счета импульсов. Накопление заряда. МДП (МОП) конденсатор (ячейка). Методы считывания двух-координатных детекторов. - приемников изображения Приборы с произвольной адресацией. Приборы с зарядовой связью. Принципы функционирования. Поверхностный и объемный канал. Эффективность переноса.

Архитектура ПЗС матриц. Выходное устройство. Считывание сигнала. Спектральная чувствительность. Способы повышения чувствительности в УФ и других диапазонах Источники шума в ПЗС матрицах. Способы уменьшения шумов. Пространственные систематические шумы (ошибки). Их определение. Необходимые калибровки и методы их выполнения.

Основы первичной обработки данных с ПЗС матрицы. Точность измерений. Фотометрическая и астрометрическая специфика. Применение ПЗС матриц в астрономии. Режим сканирования. ПЗС детекторы с ортогональным переносом, приборы с внутренним усилением.

Матрицы с активной ячейкой (CMOS сенсор, достоинства и недостатки. Приемники на эффекте Джозефсона. Измерение энергии поглощенного фотона Перспективы использования новых приемников

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Приемники оптического излучения	2	72	34	34	-	38

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Приемники оптического излучения» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса и самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. По темам, рассматриваемым на лекциях и изучаемым самостоятельно, при возникновении затруднений, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практ. занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Предмет «Приемники оптического излучения». Базовые понятия физики твердого тела.	8	4	—	—	4	Собеседование, опрос
2	Фотоэмиссия. Фотокатоды различных типов. Особенности их спектральной чувствительность.	9	4	—	—	5	
3	Структура фотоумножителя, вторичная эмиссия, усиление, Шум усиления. Методы регистрации. Метод счета фотонов.	8	4	—	—	4	
4	Статистика метода счета фотонов (событий). Мертвое время регистрации. нелинейность.	8	4	—	—	4	
5	Приемники на основе внутреннего фотоэффекта: фотосопротивление, фотодиод. Лавинный фотодиод, метод счета фотонов с ЛФД.	9	4	—	—	5	
6	Накопление заряда. Проблема считывания сигнала двумерного приемника и способы ее решения	8	4	—	—	4	
7	Прибор с зарядовой связью, его структура, особенности считывания заряда, подложка.	8	4	—	—	4	
8	Спектральная чувствительность, источники внутренних шумов. Применение для регистрации слабых световых потоков. Специальные типы детекторов	10	6	—	—	4	
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет в форме собеседования
ИТОГО:		72	34	—	----	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Приемники оптического излучения» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и беседах по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Приемники оптического излучения» проводится в 8-ом семестре в форме зачета с собеседованием по программе.

Результаты сдачи зачета оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: УК-1 З-1	Отсутствие знаний об обобщенных характеристиках приемников ОИ и основах описания взаимодействия поглощаемых фотонов с твердым телом.	В целом успешные, но не систематические знания об обобщенных характеристиках приемников ОИ и основах описания взаимодействия поглощаемых фотонов с твердым телом.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания об обобщенных характеристиках приемников ОИ и основах описания взаимодействия поглощаемых фотонов с твердым телом.	Успешные и систематические знания об обобщенных характеристиках приемников ОИ и основы описания взаимодействия поглощаемых фотонов с твердым телом.
ЗНАТЬ: УК-1 З-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание о типах используемых в астрономии приемников ОИ и физических эффектах, лежащих в их основе.	В целом успешное, но не систематическое знание о типах используемых в астрономии приемников ОИ и физических эффектах, лежащих в их основе.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание о типах используемых в астрономии приемников ОИ и физических эффектах, лежащих в их основе.	Успешное и систематическое знание о типах используемых в астрономии приемников ОИ и физических эффектах, лежащих в их основе.
УМЕТЬ: УК-1 У-1	Отсутствие умения определять эффективность использования реального детектора по спецификации производителя, составлять спецификацию приемника для планируемого эксперимента .	В целом успешное, но не систематическое умение определять эффективность использования реального детектора по спецификации производителя, составлять спецификацию приемника для планируемого эксперимента .	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы определять эффективность использования реального детектора по спецификации производителя, составлять спецификацию приемника для планируемого эксперимента .	Успешное и систематическое умение определять эффективность использования реального детектора по спецификации производителя, составлять спецификацию приемника для планируемого эксперимента .
УМЕТЬ: УК-1 У-2	Отсутствие умения строить количественные модели планируемых наблюдений с оценкой эффективности	В целом успешное, но не систематическое умение строить количественные модели планируемых наблюдений с	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить количественные модели	Успешное и систематическое умение строить количественные модели планируемых наблюдений с оценкой

		оценкой эффективности .	планируемых наблюдений с оценкой эффективности .	эффективности использования .
УМЕТЬ: ОПК-1 У-1	Отсутствие умения проводить адекватную обработку данных тестовых измерений или реальных астрономических наблюдений	В целом успешное, но не систематическое умение проводить адекватную обработку данных тестовых измерений или реальных астрономических наблюдений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы, умение проводить адекватную обработку данных тестовых измерений или реальных астрономических наблюдений	Успешное и систематическое умение проводить адекватную обработку данных тестовых измерений или реальных астрономических наблюдений
ВЛАДЕТЬ: УК-1 В-2	Отсутствие/фрагментарное владение навыками проектирования экспериментальных установок для тестирования тех или иных параметров приемника ОИ.	В целом успешное, но не систематическое владение навыками проектирования экспериментальных установок для тестирования тех или иных параметров приемника ОИ.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы, владение навыками проектирования экспериментальных установок для тестирования тех или иных параметров приемника ОИ.	Успешное и систематическое владение навыками проектирования экспериментальных установок для тестирования тех или иных параметров приемника ОИ.
ВЛАДЕТЬ: ОПК-1 В-2	Отсутствие/фрагментарное владение навыками проведения измерений параметров оптического детектора	В целом успешное, но не систематическое, владение навыками проведения измерений параметров оптического детектора	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы, владение навыками проведения измерений параметров оптического детектора	Успешное и систематическое владение навыками проведения измерений параметров оптического детектора

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу: <https://dragon.sai.msu.ru/~victor/Students/>

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену и зачету можно найти по адресу:

<https://dragon.sai.msu.ru/~victor/Students/>

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. Howell, S. Handbook of CCD astronomy, Cambridge University Press, 2006
ISBN 0521852153, 2006
2. Соммер А. Фотоэмиссионные материалы. М: Энергия, 1973
3. Ветохин С.С., Гулаков И.Р., Перцев А.Н. Одноэлектронные фотоприемники. М: Энергоатомиздат, 1986

Дополнительная литература

1. A.T.Young, Photomultipliers. In: Method of Experimental Physics. V.12, Part A. 1974, Acad.Press, NY
2. Bowen, I.S., Telescopes, Astronomical Journal, V.69, 1964

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Астрономия». Курс может быть прочитан в аудитории на 25 — 30 студентов при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.