

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

Институт прикладной математики физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

Хорьков К.С.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ПРИЁМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**направление подготовки / специальность**

**12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии»**

(код и наименование направления подготовки (специальности))

**направленность (профиль) подготовки**

**Лазерные и квантовые технологии**

(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир  
2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Приемники оптического излучения» является освоение обучающимися теоретических и практических основ фотометрии и физических принципов работы приемников излучения, используемых в лазерном эксперименте.

Задачи:

- знакомство с современными приёмниками оптического излучения;
- практическое освоение методики проведения измерений.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Приемники оптического излучения» относится к обязательным дисциплинам учебного плана.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций).

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
<p>ОПК-3. Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учётом специфики методов и средств лазерных исследований и измерений</p>	<p>ОПК-3.1. Знает физические основы и принципы функционирования оптических квантовых генераторов, методы и средства лазерных измерений, принципы организации и проведения экспериментальных исследований.</p> <p>ОПК-3.2. Умеет проводить расчет лазерных резонаторов, систем фокусировки и согласования лазерного излучения, оценивать параметры выходного излучения, использовать лазерные контрольно-измерительные приборы для решения задач лазерной техники и лазерных технологий, анализировать функциональные и принципиальные схемы оптических контрольно-измерительных устройств, работать на основных измерительных оптических приборах, составлять схемы для проведения экспериментальных исследований, обрабатывать, анализировать, представлять и оформлять результаты экспериментальных исследований.</p> <p>ОПК-3.3. Владеет навыками работы со средствами лазерных измерений, типовыми методиками выполнения лазерных измерений, обработки данных наблюдений и оценки погрешностей, методами и средствами измерения, поверки и контроля с использованием информационных систем.</p>	<p>Знает физические основы и принципы функционирования оптических квантовых генераторов; методы и средства лазерных измерений; принципы организации и проведения экспериментальных исследований; предельные условия при постановке физического эксперимента; числовые характеристики и распределения случайных величин;</p> <p>Умеет использовать лазерные контрольно-измерительные приборы для решения задач лазерной техники и лазерных технологий; анализировать функциональные и принципиальные схемы оптических контрольно-измерительных устройств; составлять схемы для проведения экспериментальных исследований; обрабатывать, анализировать, представлять и оформлять результаты экспериментальных исследований;</p> <p>Владеет навыками работы со средствами лазерных измерений; типовыми методиками выполнения лазерных</p>	<p>Рейтинг-контроль №1</p>

		измерений различных величин и характеристик; навыками выполнения измерений, обработки данных измерительных наблюдений, получения результатов измерений и оценки погрешностей; современными методами и средствами измерения, поверки и контроля с использованием информационных систем;	
ПК-1. Способен анализировать задачи по проектированию типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем	<p>ПК-1.1. Знает принципы генерации излучения лазерами, элементную базу лазерной техники, основные типы и характеристики оптических систем лазерных оптико-электронных приборов и оборудования, принципы конструирования лазерных оптико-электронных приборов, их узлов и элементов, опасные и вредные эксплуатационные факторы, их предельно-допустимые уровни воздействия на человека, технику и окружающую среду при эксплуатации лазерных систем и технологий.</p> <p>ПК-1.2. Умеет определять параметры и характеристики элементов лазерных систем и технологий для заданных условий и режимов эксплуатации, анализировать взаимодействие лазерного излучения с материалами и средами, применять информационные ресурсы и технологии, представлять информацию в систематизированном виде, работать с научно-технической литературой и информацией.</p> <p>ПК-1.3. Владеет навыками работы со средствами компьютерного проектирования, используемыми при конструировании узлов и блоков лазерных комплексов, навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем.</p>	<p>Знает основные типы и характеристики оптических систем лазерных оптико-электронных приборов и оборудования; принципы конструирования лазерных оптико-электронных приборов, их узлов и элементов; методы работы с научно-технической литературой и информацией;. Умеет анализировать взаимодействие лазерного излучения с материалами и средами; применять информационные ресурсы и технологии; Представлять информацию в систематизированном виде; работать с научно-технической литературой и информацией; Владеет навыками работы со средствами компьютерного проектирования, использующимися при конструировании узлов и блоков лазерных комплексов;</p>	Рейтинг-контроль №2 Отчет по лабораторной работе №2
ПК-2. Способен участвовать в разработке технических требований и заданий на проектирование типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники,	<p>ПК-2.1. Знает основные области применения лазерной техники и лазерных технологий, состав и принципы конструирования лазерных приборов и систем, оптические материалы и технологии.</p> <p>ПК-2.2. Умеет анализировать, формулировать и обосновывать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым оптическим узлам и элементам</p>	<p>Знает основные области применения лазерной техники и лазерных технологий; принципы построения и состав лазерных приборов и систем; оптические материалы и технологии; методы работы с научно-технической литературой и информацией; Умеет</p>	Рейтинг-контроль №2 Отчет по лабораторной работе №3

<p>лазерных оптико-электронных приборов и систем</p>	<p>лазерных приборов и систем, обосновывать предлагаемые технические решения, применять информационные ресурсы и технологии; ПК-2.3. Владеет навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем;</p>	<p>анализировать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым оптическим узлам и элементам лазерных приборов и систем; определять, формулировать и обосновывать требования к разрабатываемым узлам и элементам лазерных приборов и систем; применять информационные ресурсы и технологии; Владеет навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем;</p>	
<p>ПК-3. Способен рассчитывать, проектировать и конструировать типовые системы, приборы, узлы и детали лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем</p>	<p>ПК-3.1. Знает принципы конструирования лазерных оптико-электронных приборов, их узлов и элементов, элементную базу, используемую в изделиях лазерной техники. ПК-3.2. Умеет выбирать метод(ы) расчёта при разработке лазерных приборов и систем, рассчитывать параметры и характеристики оптического узла лазерных приборов и систем, конструировать типовые детали и узлы лазерной техники, подбирать по заданным параметрам и характеристикам элементную базу лазерных приборов и систем. ПК-3.3. Владеет прикладными программами расчёта лазерных оптико-электронных приборов, компьютерными технологиями расчёта и конструирования лазерных оптико-электронных приборов;</p>	<p>Знает основные типы и характеристики оптических систем лазерных оптико-электронных приборов, оборудования и технологий; принципы конструирования лазерных оптико-электронных приборов, их узлов и элементов; элементную базу, используемую в изделиях лазерной техники; методы работы с научно-технической литературой и информацией; Умеет выбирать метод(ы) расчёта при разработке лазерных приборов и систем; конструировать типовые детали и узлы лазерной техники; подбирать по заданным параметрам и характеристикам элементную базу лазерных приборов и систем; применять информационные ресурсы и технологии; анализировать, представлять и оформлять результаты проектно-конструкторской деятельности при разработке лазерных приборов, систем и технологий; Владеет прикладными программами расчёта лазерных оптико-электронных приборов; компьютерными технологиями расчёта и конструирования лазерных оптико-электронных приборов;</p>	<p>Рейтинг-контроль №3 Отчет по лабораторной работе №4</p>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	практические	лабораторные	в форме практической подготовки		
1	Характеристики светового потока.	7	1-4	4	-	2	2	16	Рейтинг-контроль №1
2	Физические принципы работы ПИП.	7	5-6	2		4	2	17	
3	Калориметры, болометры	7	7-10	4	-	8	4	16	Рейтинг-контроль №2
4	Пирозлектрические приемники	7	11-12	2		4	2	17	
5	Фотонные приемники излучения	7	13-16	4	-	10	4	17	Рейтинг-контроль №3
6	Многоэлементные приборы с зарядовой связью	7	17-18	2		8	4	16	
Всего за 7 семестр		-	-	18	-	36	18	99	Экзамен, 27
Наличие в дисциплине КП/КР									
Итого по дисциплине		-	-	18	-	36	18	99	Экзамен, 27

##### Содержание лекционных занятий по дисциплине

1. Характеристики светового потока.
2. Физические величины, характеризующие излучение. Поток излучения, светимость, яркость, освещенность поверхности. Энергетические и световые единицы измерений. Относительная спектральная чувствительность среднего человеческого глаза.
3. Приемники излучения.
4. Структурная схема средств измерений. Первичные измерительные преобразователи, приемный элемент, чувствительный элемент. Физические принципы работы первичных измерительных преобразователей.
5. Тепловые приемники излучения. Калориметры. Болометры. Пироприемники. Назначение, принципы работы, технические характеристики.
6. Физические принципы работы и основные технические характеристики фотоэлектрических приемников излучения.
7. Фотоэлементы, фотоэлектронные умножители. Фотодиоды, фоторезисторы.
8. Физические принципы работы приборов с зарядовой связью. МОП - емкость, зарядовая связь, сдвиговый регистр. Основные технические характеристики.

##### Содержание лабораторных занятий по дисциплине

1. Измерение освещенности поверхности.
2. Измерение светимости источников излучения.
3. Измерение чувствительности и постоянной времени калориметров.
4. Измерение чувствительности и постоянной времени болометров
5. Измерение чувствительности и постоянной времени фотоэлементов.
6. Измерение чувствительности и постоянной времени фотодиодов, фоторезисторов.

#### 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

## И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### а) Вопросы рейтинг-контроля:

#### Рейтинг-контроль 1

1. Стандартная кривая относительной спектральной чувствительности глаза.
2. Относительная спектральная световая эффективность.
3. Энергетические и световые величины, характеризующие излучение.
4. Ламбертовские источники излучения.
5. Найти с помощью кривой относительной спектральной чувствительности глаза:
  - а) поток энергии, соответствующий световому потоку 1,0 лм и длиной волны 0,45 мкм;
  - б) световой поток, приходящийся на интервал длин волн от 0,45 до 0,48 мкм если соответствующий поток энергии равен 5 мВт, причем последний распределен равномерно по всем длинам волн этого интервала. Считать, что в данном спектральном интервале функция  $V(\lambda)$  линейная.
6. Найти с помощью кривой относительной спектральной чувствительности глаза:
  - а) поток энергии, соответствующий световому потоку 1,0 лм и длиной волны 0,65 мкм;
  - б) световой поток, приходящийся на интервал длин волн от 0,62 до 0,65 мкм если соответствующий поток энергии равен 5 мВт, причем последний распределен равномерно по всем длинам волн этого интервала. Считать, что в данном спектральном интервале функция  $V(\lambda)$  линейная.

#### Рейтинг-контроль 2

1. Найти светимость поверхности, яркость которой зависит от направления как  $B = B_0 \cos(\nu)$ , где  $\nu$  – угол между направлением излучения и нормалью к поверхности.
2. Равномерно светящийся купол, имеющий вид полусферы, опирается на горизонтальную поверхность. Определить освещенность в центре этой поверхности, если яркость купола равна  $B$  и не зависит от направления.
3. Ламбертовский источник имеет вид бесконечной плоскости. Его яркость равна  $B$ . Найти освещенность площадки, расположенной параллельно данному источнику.
4. Небольшой светильник, имеющий вид равномерно светящейся сферы радиуса  $R = 6,0$  см, находится на расстоянии  $h = 3,0$  м от пола. Яркость светильника  $B = 2 \cdot 10^4$  кд/м<sup>2</sup> и не зависит от направления. Найти освещенность пола непосредственно под светильником.

#### Рейтинг-контроль 3

1. Для измерения энергии импульсов излучения используется калориметр, приемным элементом (ПЭ) которого служит медный конус массой 6 г, покрытый закисью меди. Удельная теплоемкость меди 410 Дж/(кг·К). Чувствительным элементом калориметра является батарея из 2000 медь-константановых термопар, дифференциальная термо-ЭДС одной термопары 50 мкВ/К. Холодные спаи термопар имеют температуру, равную температуре окружающей среды. Диаметр проволочек 100 мкм, длина 5 мм. Считая, что основным механизмом теплообмена ПЭ является теплоотвод путем теплопроводности через батарею термопар (коэффициент теплопроводности 390 Вт/(м·К)), определите:
  1. постоянную времени калориметра;
  2. чувствительность калориметра;
  3. нижний предел измерений энергии при шуме 10 мкВ.
2. Для измерения мощности непрерывного излучения используется болометр, приемным элементом (ПЭ) которого служит никелевая пленка размером 1 см×1 см толщиной 0,2 мкм, нанесенная на стеклянную подложку толщиной 1 мм. Удельная теплоемкость никеля 410 Дж/(кг·К), плотность никеля 8,9 г/см<sup>3</sup>, коэффициент поглощения излучения 0,6, коэффициент теплопроводности стекла 0,74 Вт/(м·К), удельное

сопротивление никеля  $10^{-7}$  Ом·м, температурный коэффициент сопротивления  $0,005 \text{ K}^{-1}$ . Тыльная сторона подложки поддерживается при температуре 300 К. Считая, что основным механизмом теплообмена ПЭ является теплоотвод путем теплопроводности через стеклянную подложку, и не учитывая электротепловую связь, определите:

1. постоянную времени болометра;
  2. омическую  $[\text{Ом}/\text{Вт}]$  чувствительность болометра;
  3. максимальное изменение температуры пленки при измерении излучения мощностью 1 Вт.
3. Для измерения энергии импульсов и средней мощности излучения импульсно-периодических лазеров используется тепловой приемник излучения, приемный элемент которого имеет теплоемкость  $2 \cdot 10^{-5}$  Дж/К и эффективный коэффициент теплообмена  $0,7 \cdot 10^{-2}$  Вт/К. Определите минимальную температуру приемного элемента при измерении параметров

1. лазера на парах меди (энергия импульса 0,1 мДж, длительность импульса 10 нс, частота повторения импульсов 10 кГц);
2. неодимового лазера (кристалл ИАГ с Nd) с модулированной добротностью (энергия импульса 100 мДж, длительность импульса 15 нс, частота повторения импульсов 25 Гц).

Температура окружающей среды  $T_0 = 300 \text{ K}$ . Коэффициент поглощения излучения приемным элементом в видимой области спектра 0,6, в ближней инфракрасной - 0,7.

#### **б) Вопросы для экзамена:**

1. Основные характеристики тепловых приемников излучения.
2. Физические принципы работы и основные характеристики калориметров.
3. Физические принципы работы и основные характеристики болометров.
4. Физические принципы работы и основные характеристики пирометров.
5. Физические принципы работы термоэлементов.
6. Метод электрического замещения.
7. Электротепловая связь.
8. Фотоэлектрические приемники излучения. Основные характеристики.
9. Физические принципы работы и основные характеристики фотоэлементов.
10. Физические принципы работы и основные характеристики ФЭУ.
11. Физические принципы работы и основные характеристики фоторезисторов и фотодиодов.
12. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью.
13. МОП – емкость.
14. Зарядовая связь. Сдвиговый регистр.

#### **в) Вопросы для проверки самостоятельной работы:**

1. Чем определяется быстродействие фотоэлементов?
2. Чем определяется чувствительность фотоэлементов?
3. Какие из фотоэлектрических приемников обладают наибольшей чувствительностью в инфракрасной области спектра?
4. Расположите фотоэлектрические приемники (фотоэлементы, ФЭУ, фотодиоды, фоторезисторы) в порядке возрастания быстродействия.
5. Что означает термин «неэффективность переноса» для фоточувствительных приборов с зарядовой связью?

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
Основная литература		
1 Г.Г.Ишанин, В.П.Челибанов «Приемники оптического излучения. учебник». Издательство Лань-304 с.	2021	<a href="https://e.lanbook.com/book/168713">https://e.lanbook.com/book/168713</a>
2. Андреев А. Н., Гаврилов Е. В., Ишанин Г. Г. и др. Оптические измерения: учебное пособие. М.: Университетская книга: Логос Логос - 416 с. - ISBN 978-5-98704-173-2.	2020	<a href="https://znanium.com/catalog/product/1213072">https://znanium.com/catalog/product/1213072</a>
3. Заякин А.А. Источники и приемники излучения [Электронный ресурс] : конспект лекций / Кафедра ФиПМ . ВлГУ,	2005	
Дополнительная литература		
1 Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Двух- и многодиапазонные системы с матричными приемниками излучения. – М.: Логос- 192 с. - ISBN 978-5-98704-198-8.	2020	<a href="https://znanium.com/catalog/product/1211620">https://znanium.com/catalog/product/1211620</a>
2 Аверин А.П. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Лазерные технологии" / А. П. Аверин, Е. Л. Шаманская ; (ВлГУ),	2007	<a href="http://e.lib.vlsu.ru/handle/123456789/1160">http://e.lib.vlsu.ru/handle/123456789/1160</a>
3 Ишанин, Г.Г. Приемники оптического излучения на внешнем фотоэффекте [Электронный ресурс] : учебное пособие /. — Электрон. дан. — Спб. : НИУ ИТМО,	2013	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=43464">http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=43464</a>

### 6.2. Интернет-ресурсы

1. <http://www.quantum-electron.ru>
2. <http://ufn.ru>
3. <http://journals.ioffe.ru/pjtf>
4. <http://www.laser.ru>
5. <http://www.cislaser.com>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, оборудованных мультимедийным оборудованием (ауд. 420-3, ауд. 430-3). Практические/лабораторные работы проводятся в компьютерных классах кафедры ФиПМ (лаб. 511-3, лаб. 100-3). Используется лицензионное программное обеспечение *MATLAB*.

Для обеспечения проведения лабораторных работ имеются специализированные учебно-научные лаборатории, оборудованные современным оборудованием (лаб. 107-3, 107а-3, 419-3, 123-3).

Рабочую программу составил \_\_\_\_\_

(ФИО, должность, подпись)

Заякин А.А.

Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех» \_\_\_\_\_

А.В. Осипов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ  
Протокол № 1 от 30.08.2021 года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_



(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
на заседании учебно-методической комиссии направления 1203.05

Протокол № 1 от 30.08.2021 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ С.М. Аракелян

(ФИО, должность, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2022 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_