

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Приемники лазерного излучения
<b>по направлению:</b>	Электроника и нанoeлектроника
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.А. Плешков, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Приемники лазерного излучения" предусматривает овладение теоретическими и практическими принципами работы и построения различных типов приемников лазерного излучения, применяемых для решения различных физических и технологических задач в современном мире.

Задачи курса:

- освещение роли различных типов приемников лазерного излучения в современном мире;
- теоретическое изучение основ физики приемников лазерного излучения и принципов их построения;
- выполнение практических работ, направленных на закрепление полученных теоретических знаний;
- овладение базовыми знаниями в области работы с приемниками лазерного излучения различных типов.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Лазеры как основной элемент современного оптоэлектронного приборостроения.
2. Физические явления, используемые для приема оптического излучения.
3. Чувствительные элементы приемников излучения.
4. Входные каскады электронных усилителей фотосигнала.
5. Материалы для приемников лазерного излучения.
6. Шумы в приемниках лазерного излучения и входных усилительных каскадах.
7. Система характеристик первичных приемников излучения.
8. Методы приема лазерного излучения.
9. Влияние среды на распространение лазерного излучения.
10. Методы борьбы с помехами в оптическом диапазоне.
11. Оптические приемные системы.
12. Дальнометрическая аппаратура.
13. Аппаратура регистрации сверхкоротких лазерных импульсов.
14. Приборы электронного зрения.
15. Координатно-чувствительные приемники.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- овладение теоретическими и практическими принципами работы и построения различных типов приемников лазерного излучения, применяемых для решения различных физических и технологических задач в современном мире.

### Задачи дисциплины

- освещение роли различных типов приемников лазерного излучения в современном мире;
- теоретическое изучение основ физики приемников лазерного излучения и принципов их построения;
- выполнение практических работ, направленных на закрепление полученных теоретических знаний;
- овладение базовыми знаниями в области работы с приемниками лазерного излучения различных типов.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- теоретические основы работы различных типов приемников лазерного излучения и области их применения;
- основные понятия лазерной физики на русском и английском языках, что позволяет понимать профессиональную литературу.

уметь:

- применять физические и математические методы для описания работы приемников лазерного излучения различного типа;
- эксплуатировать различную исследовательскую и испытательную аппаратуру, в т.ч. специализированную;
- работать и решать поставленные задачи в небольшом исследовательском коллективе;
- представлять результаты проделанной работы.

владеть:

- методами работы со специализированным оборудованием;
- способами настройки и эксплуатации приемников лазерного излучения.

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

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Лазеры как основной элемент современного оптоэлектронного приборостроения.		2		
2	Физические явления, используемые для приема оптического излучения.		2		
3	Чувствительные элементы приемников излучения.		2		
4	Входные каскады электронных усилителей фотосигнала.		2		
5	Материалы для приемников лазерного излучения.		2		
6	Шумы в приемниках лазерного излучения и входных усилительных каскадах.		2		
7	Система характеристик первичных приемников излучения.		2		
8	Методы приема лазерного излучения.		2		
9	Влияние среды на распространение лазерного излучения.		2		

10	Методы борьбы с помехами в оптическом диапазоне.		2		5
11	Оптические приемные системы.		2		5
12	Дальнометрическая аппаратура.		2		5
13	Аппаратура регистрации сверхкоротких лазерных импульсов.		2		5
14	Приборы электронного зрения.		2		5
15	Координатно-чувствительные приемники.		2		5
Итого часов			30		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Лазеры как основной элемент современного оптоэлектронного приборостроения.

Важнейшие области применения – связь, локация и дальнометрирование, хранение и обработка информации, гироскопия, ночное и подводное видение.

##### 2. Физические явления, используемые для приема оптического излучения.

Внешний фотоэффект. Основные закономерности. Фотокатоды. Внутренний фотоэффект в полупроводниках. Фоторезисторы и фотодиоды. Пироэлектрический эффект. Болотметрические фотоприемники. Фотохимические процессы в диэлектриках. Фотоматериалы. Взаимодействие с биологическими структурами. Безопасная для зрения лазерная аппаратура.

##### 3. Чувствительные элементы приемников излучения.

Вакуумные фотоприемники – фотодиод, фотоэлектронный умножитель, диссектор, электронно-оптические преобразователи I-III поколений. Механизмы внутреннего усиления фототока (в разреженном газе, в диодных системах, в микроканальных платинах, в электронно-оптическом преобразователе).

##### 4. Входные каскады электронных усилителей фотосигнала.

Фотоприемные устройства (ФПУ). Типовые схемы. Эквивалентные схемы. Схемы стабилизации питания для лавинных фотодиодов, ФЭУ и ЭОП. Лавинное умножение в импульсном режиме. Методы охлаждения чувствительных элементов ФПУ.

##### 5. Материалы для приемников лазерного излучения.

Типы фотокатодов. Квантовый выход и спектральная чувствительность. Полупроводниковые фотокатоды. Квантовый выход и спектральная чувствительность. Полупроводниковые фотокатоды с отрицательным электронным сродством. Полупроводниковые структуры для фоторезисторов и фотодиодов. Приемники для тепловизионного диапазона. Фотоэмульсии, фоторегистрирующие среды для голографии. Трехмерные регистрирующие среды.

##### 6. Шумы в приемниках лазерного излучения и входных усилительных каскадах.

Тепловой шум. Генерационно-рекомбинационный шум. Токовый шум вида  $1/F$ . Статистический шум оптического сигнала. Методы обеспечения помехоустойчивости. Критерии достоверного приема.

#### 7. Система характеристик первичных приемников излучения.

Спектральная чувствительность, квантовый выход, внутреннее усиление, крутизна, размеры чувствительной площадки. Временное разрешение. Время нарастания, спада, полоса пропускания. Шумовые характеристики. Пороговая чувствительность, обнаружительная способность.

#### 8. Методы приема лазерного излучения.

Прямое фотодетектирование. Фотодиод в фотогальваническом и диодном режимах. Особенности приема слабых потоков. Режим счета фотонов. Гетеродинный прием в оптическом диапазоне. Применение квантовых предусилителей. Приемники с накоплением заряда. Видикон. ПЗС матрица.

#### 9. Влияние среды на распространение лазерного излучения.

Атмосферные окна прозрачности. Механизмы рассеяния. Метеорологическая дальность видимости. Естественные источники помех в оптическом диапазоне. Расчет энергетического потенциала лазерной аппаратуры локационного типа.

#### 10. Методы борьбы с помехами в оптическом диапазоне.

Пространственная фильтрация. Спектральная фильтрация в оптическом диапазоне. Технические характеристики узкополосных оптических фильтров. Оптимальная фильтрация в радиодиапазоне. Временная селекция. Временная автоматическая регулировка усиления. Режим повторных измерений в дальнометрии.

#### 11. Оптические приемные системы.

Входной зрачок, светосила, спектральный диапазон, частотно-контрастная характеристика. Аберрация. Возможности совмещения приемного и излучающего каналов. Примеры оптических схем. Адаптивная оптика.

#### 12. Дальнометрическая аппаратура.

Решаемые задачи и выходные характеристики. Структурные схемы. Основные функциональные блоки приемного канала (ФПУ, измеритель временных интервалов, устройства отображения и вывода информации).

#### 13. Аппаратура регистрации сверхкоротких лазерных импульсов.

Широкополосные ФЭУ, фотодиоды и фоторезисторы. ЭОП в кадровом и хранирующем режимах. Структурная схема электронно-оптического хронографа. Схема блока наносекундных разверток. Пример пространственно-временной и спектрально-временной динамики полупроводниковых лазеров.

#### 14. Приборы электронного зрения.

Пассивное, активное и активно-импульсное видение. Тепловидение. Приборы лазерного активно-импульсного видения. Структурная схема, особенности применения, экспериментальные результаты по ночному видению в активно-импульсном режиме.

#### 15. Координатно-чувствительные приемники.

Линейки и матрицы. Многоэлементные приемники для интерферометрии и лазерной гироскопии.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Источники и приемники излучения [Текст] : учебное пособие / Г. Г. Ишанин, Э. Д. Панков, А. Л. Андреев [и др.] .— СПб. : Политехника, 1991 .— 240 с.

### **Дополнительная литература**

1. Экспериментальная оптика : Оптические материалы. Источники, приемники, фильтрация оптического излучения. Спектральные приборы. Лазеры, лазерная спектроскопия [Текст] : учебник для вузов / В. В. Лебедева .— 3-е изд. — М. : Изд-во МГУ, 1994 .— 368 с.
2. Принципы лазеров [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / О. Звелто ; пер. с англ. Д. Н. Козлова [и др.] ; под науч. ред. Т. А. Шмаонова ; рус. пер. перераб. и доп. при участии автора книги .— 4-е изд. — СПб. : Лань, 2008 .— 720 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

на семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, прослушавший курс семинаров, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех семинаров, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении семинаров;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к докладчику на семинаре.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Электроника и нанoeлектроника
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	А.А. Плешков, канд. техн. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Приемники лазерного излучения» обучающийся должен:

### знать:

- теоретические основы работы различных типов приемников лазерного излучения и области их применения;
- основные понятия лазерной физики на русском и английском языках, что позволяет понимать профессиональную литературу.

### уметь:

- применять физические и математические методы для описания работы приемников лазерного излучения различного типа;
- эксплуатировать различную исследовательскую и испытательную аппаратуру, в т.ч. специализированную;
- работать и решать поставленные задачи в небольшом исследовательском коллективе;
- представлять результаты проделанной работы.

### владеть:

- методами работы со специализированным оборудованием;
- способами настройки и эксплуатации приемников лазерного излучения.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы: к экзамену:

1. Лазеры как основной элемент современного оптоэлектронного приборостроения.
2. Физические явления, используемые для приема оптического излучения.
3. Чувствительные элементы приемников излучения.
4. Входные каскады электронных усилителей фотосигнала.
5. Материалы для приемников лазерного излучения.
6. Шумы в приемниках лазерного излучения и входных усилительных каскадах.
7. Система характеристик первичных приемников излучения.
8. Методы приема лазерного излучения.
9. Влияние среды на распространение лазерного излучения.
10. Методы борьбы с помехами в оптическом диапазоне.
11. Оптические приемные системы.



12. Дальнометрическая аппаратура.
13. Аппаратура регистрации сверхкоротких лазерных импульсов.
14. Приборы электронного зрения.
15. Координатно-чувствительные приемники.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Входные каскады электронных усилителей фотосигнала.
2. Материалы для приемников лазерного излучения.

Пример 2.

1. Физические явления, используемые для приема оптического излучения.
2. Чувствительные элементы приемников излучения.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);

- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.