

**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>	Физические основы работы формирователя сигналов изображений
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической электроники
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.Н. Соляков, д-р техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры физической электроники 29.05.2020

## **Аннотация**

Курс "Физические основы работы формирователя сигналов изображений" предусматривает изучение физических основ работы формирователей сигналов изображения.

Задачи курса:

- знакомство с основными физическими принципами формирования изображений;
- изучение процессов распространения и регистрации излучения в различных спектральных диапазонах;
- изучение основных физических процессов, используемых в процессе формирования изображений различных спектральных диапазонов.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- основные физические явления, обеспечивающие распространение и регистрацию электромагнитного излучения и формирование изображений.

Уметь:

- вычислять параметры физических процессов при формировании сигналов изображения.

Владеть:

- теоретическими моделями оптических элементов, устройств регистрации излучения, обработки сигналов изображения.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Формирование оптических изображений
2. Излучение абсолютно черного тела. Основы фотометрии.
3. Оптические системы формирования изображений, их параметры
4. Регистрация изображений
5. Типы формирователей сигналов изображения ИК диапазона
6. Сканирующие системы
7. Фоточувствительные элементы формирователей сигналов изображения
8. Охлаждение фоточувствительных элементов
9. Схемы считывания в формирователях сигналов изображения
10. Режимы работы схем считывания матричных ФПУ
11. Режим временной задержки и накопления
12. Коррекция неоднородности матричных фотоприемных устройств
13. Основы цифровой обработки сигналов для формирователей сигналов изображения на основе матричных и многорядных фотоприемных устройств
14. Критерии пространственного разрешения при формировании изображений
15. Критерии чувствительности формирователей сигналов изображения
16. Измерения основных параметров формирователей сигналов изображения

## **1. Цели и задачи**

### **Цель дисциплины**

- изучение физических основ работы формирователей сигналов изображения.

### **Задачи дисциплины**

- знакомство с основными физическими принципами формирования изображений;
- изучение процессов распространения и регистрации излучения в различных спектральных диапазонах;
- изучение основных физических процессов, используемых в процессе формирования изображений различных спектральных диапазонов.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные физические явления, обеспечивающие распространение и регистрацию электромагнитного излучения и формирование изображений.

уметь:

- вычислять параметры физических процессов при формировании сигналов изображения.

владеть:

- теоретическими моделями оптических элементов, устройств регистрации излучения, обработки сигналов изображения.

## 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	Формирование оптических изображений.	2	2		2
2	Излучение абсолютно черного тела. Основы фотометрии.	2	2		2
3	Оптические системы формирования изображений, их параметры.	2	2		1
4	Регистрация изображений.	2	2		1
5	Типы формирователей сигналов изображения ИК диапазона.	2	2		2
6	Сканирующие системы.	2	2		1
7	Фоточувствительные элементы формирователей сигналов изображения.	2	2		2
8	Охлаждение фоточувствительных элементов.	2	2		1
9	Схемы считывания в формирователях сигналов изображения.	2	2		3
10	Режимы работы схем считывания матричных ФПУ.	2	2		1

11	Режим временной задержки и накопления.	2	2		4
12	Коррекция неоднородности матричных фотоприемных устройств.	2	2		2
13	Основы цифровой обработки сигналов для формирователей сигналов изображения на основе матричных и многорядных фотоприемных устройств.	2	2		2
14	Критерии пространственного разрешения при формировании изображений.	2	2		2
15	Критерии чувствительности формирователей сигналов изображения.	1	1		2
16	Измерения основных параметров формирователей сигналов изображения.	1	1		2
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 8 (Весенний)

##### 1. Формирование оптических изображений.

Глаз как оптический прибор. Основные характеристики зрительного аппарата человека.  
Распространение оптических лучей. Диапазоны спектра для формирователей изображения.  
Пропускание излучения атмосферой.

##### 2. Излучение абсолютно черного тела. Основы фотометрии.

Излучение абсолютно черного тела. Тепловой контраст. Основные фотометрические понятия.

##### 3. Оптические системы формирования изображений, их параметры.

Элементы оптических систем. Основные законы геометрической оптики. Искажения изображения в оптических системах. Оптические материалы для тепловизионных систем.  
Тепловые эффекты в оптических системах. Пассивная оптическая компенсация температурных изменений. Отражения от холодных поверхностей. Основные характеристики качества оптических систем.

##### 4. Регистрация изображений.

Одиночный фотоприемник, линейка, матрица. Квантование и дискретизация. Мгновенное и общее поле зрения, дифракционный предел. Освещенность в фокальной плоскости. Регистрация точечных источников излучения.

##### 5. Типы формирователей сигналов изображения ИК диапазона.

Последовательное и параллельное разложение картины. Обработка сигнала. Сканирующие системы. Системы без сканирования. Инфракрасные полупроводниковые видиконы.

Пирозлектрические видиконы. Электронно-оптические преобразователи. Использование ПЗС в формирователях сигналов изображения.

#### 6. Сканирующие системы.

Плоское качающееся зеркало. Вращающийся зеркальный барабан. Вращающиеся преломляющие призмы. Вращающиеся преломляющие клинья. Другие системы сканирования. Эффекты затемнения.

#### 7. Фоточувствительные элементы формирователей сигналов изображения.

Типы фоточувствительных элементов. Основные характеристики фоточувствительных элементов. Характеристики шума фотоприемника и фотоприемного устройства. Пространственно-частотная характеристика. Показатель качества фотоприемных устройств.

#### 8. Охлаждение фоточувствительных элементов.

Требования на рабочую температуру. Охлаждение жидкими газами. Микротеплообменники на основе эффекта Джоуля-Томсона. Газовые криогенные машины. Термоэлектрические охладители.

#### 9. Схемы считывания в формирователях сигналов изображения.

Требования к схемам считывания. Основные виды схем считывания. Схема прямой инжекции тока.

Схема с трансимпедансным усилителем. Приборы с переносом заряда. Схемы мультиплексирования. Передаточные и шумовые характеристики схем считывания.

Гибридизация схем считывания и матриц фоточувствительных элементов.

#### 10. Режимы работы схем считывания матричных ФПУ.

Поэлементный опрос. Считывание линеек матричного ФПУ. Полнокадровое интегрирование фототока. Режим Snap-Shot.

#### 11. Режим временной задержки и накопления.

Принцип работы. Основные характеристики. Структура схем считывания для работы в режиме ВЗН.

#### 12. Коррекция неоднородности матричных фотоприемных устройств.

Физические причины неоднородности. Требования на разрядность АЦП. Долговременная стабильность параметров и корректируемость МФПУ. Методы коррекции неоднородности с использованием опорных источников излучения. Адаптивные методы калибровки по сигналам сцены.

#### 13. Основы цифровой обработки сигналов для формирователей сигналов изображения на основе матричных и многорядных фотоприемных устройств.

Структура блоков. Модуль синхронизации с блоком оптико-механической развертки. Модуль АЦП. Модуль коррекции геометрического шума. Модуль регулировки яркости и контрастности.

Модуль формирования видеосигнала.

#### 14. Критерии пространственного разрешения при формировании изображений.

Интеграл свертки. Преобразование Фурье. Теорема свертки и оптическая передаточная функция. Применение операций свертки к процессам воспроизведения изображения. Оптические передаточные функции типичных элементов. Влияние электрических систем обработки сигнала на оптические передаточные функции. Ухудшение модуляционной передаточной функции вследствие движения и неопределенности положения изображения.

15. Критерии чувствительности формирователей сигналов изображения.

Эквивалентная шуму разность температур. Минимальная разрешаемая разность температур. Минимальная обнаруживаемая разность температур. Температурно-частотная характеристика. Эквивалентная шуму излучательная способность. Характеристики приемного устройства. Выбор спектрального диапазона. Факторы, характеризующие коэффициент полезного действия собирающей инфракрасной оптической системы. Параметры эффективности работы.

16. Измерения основных параметров формирователей сигналов изображения.

Измерение показателей пространственного разрешения. Измерение показателей чувствительности. Измерение интегральных характеристик.

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

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).  
Обеспечение самостоятельной работы: доступ в сеть Интернет, доступ к рекомендованной литературе.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Ллойд Дж. Системы тепловидения. Пер. с англ., – М., Мир, 1978.
2. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения. Под ред. П.Йесперса, Ф.Ван де Виле и м. Уайта. Пер. с англ под ред. Р.А. Суриса, М., «Мир», 1979
3. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. Пер с франц. – М., Мир, 1988 г.
4. Справочник по инфракрасной технике. В 4-х т. Ред. У Волф, г. Цисис. М., Мир, 1995.

Дополнительная литература

1. Филачев А.М., Таубкин И.И. Тришенков М.А. Современное состояние и магистральные направления развития современной фотоэлектроники. – М.: Физматкнига, 2010 г.
2. Акимов В.М. и др. Матричные фотоэлектронные модули среднего и дальнего ИК-диапазонов спектра на основе фотодиодов из CdX<sub>2</sub>Hg<sub>1-X</sub>Te для инфракрасной аппаратуры нового поколения.- «Прикладная физика», 2005 г. вып.2, с. 7-15.

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

1. <http://www.elsevier.com>
2. <http://www.elibrary.ru>
3. <http://www.books.google.ru>

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

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической электроники
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.Н. Соляков, д-р техн. наук, доцент



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физические основы работы формирователя сигналов изображений» обучающийся должен:

### знать:

- основные физические явления, обеспечивающие распространение и регистрацию электромагнитного излучения и формирование изображений.

### уметь:

- вычислять параметры физических процессов при формировании сигналов изображения.

### владеть:

- теоретическими моделями оптических элементов, устройств регистрации излучения, обработки сигналов изображения.

## 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 по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

1. Формирование оптических изображений
2. Излучение абсолютно черного тела. Основы фотометрии.
3. Оптические системы формирования изображений, их параметры
4. Регистрация изображений
5. Типы формирователей сигналов изображения ИК диапазона
6. Сканирующие системы
7. Фоточувствительные элементы формирователей сигналов изображения
8. Охлаждение фоточувствительных элементов
9. Схемы считывания в формирователях сигналов изображения
10. Режимы работы схем считывания матричных ФПУ
11. Режим временной задержки и накопления
12. Коррекция неоднородности матричных фотоприемных устройств
13. Основы цифровой обработки сигналов для формирователей сигналов изображения на основе матричных и многорядных фотоприемных устройств
14. Критерии пространственного разрешения при формировании изображений
15. Критерии чувствительности формирователей сигналов изображения
16. Измерения основных параметров формирователей сигналов изображения

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