

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.



2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (специальность) 01.04.14 Теплофизика и теоретическая  
теплотехника

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины по выбору

«Методы исследования в физике быстропротекающих процессов»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.4.1

Всего: 108 часов

Семестр 7, в том числе

6 часов – контактная работа,  
84 часа – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30.07 2014 г. № 867 и паспорта специальности 01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является изучение методов исследований быстропротекающих процессов с помощью современных средств.

**Задачами** дисциплины являются:

- освоение методов исследований быстропротекающих процессов средствами оптической визуализации;
- обучение навыкам применения методов количественного расчета характеристик систем оптической визуализации в исследованиях быстропротекающих процессов;

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность к обоснованному выбору предмета самостоятельных научных исследований в области теплофизики и теоретической теплотехники (ПК-1);
- готовность к проведению экспериментов и анализу результатов измерений в области теплофизики и теоретической теплотехники (ПК-3).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **знать:**

- основные источники научно-технической информации (монографии, справочники, журналы, сайты Интернет) по быстродействующим средствам оптической визуализации (УК-1);
- основы методов исследований быстропротекающих процессов средствами оптической визуализации (ОПК-1);
- основные методы количественного расчёта характеристик систем оптической визуализации (ОПК-1);
- основы физики фотоприёмников, ПЗС и КМОП -структур и познакомиться с их важнейшими научно-техническими применениями (ОПК-1).

### **уметь:**

- выполнять расчёт основных свойств объекта (интенсивность свечения, геометрические размеры, скорость перемещения) из анализа визуальной информации (ПК-1);
- практически применить методы количественного расчета характеристик систем оптической визуализации в исследованиях быстропротекающих процессов (ПК-3);
- использовать автоматизированные программы обработки и анализа визуальной информации (ПК-3);
- осуществлять литературный поиск, анализировать научно-техническую информацию и уметь выбирать оптимальные решения задач по оптической визуализации быстропротекающих процессов (ОПК-1);
- использовать информацию о достижениях в области скоростной оптической визуализации в практической работе (УК-1).

### **владеть:**

- навыками дискуссии по вопросам оптической визуализации быстропротекающих процессов (ОПК-1);
- терминологией в области скоростной визуализации и измерительных систем (УК-1);

- информацией о технических параметрах современных устройств скоростной визуализации (ПК-3);
- навыками применения полученной информации при проектировании и изготовлении систем скоростной визуализации (ОПК-1).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### *1. Свойства измерительных систем.*

Линейные измерительные системы. Аппаратная функция. Связь входного и выходного сигналов. Уравнение свертки. Амплитуда -частотная и фазово- частотная характеристики измерительные системы. Методы измерения параметров измерительных систем. Квантование сигнала. Измерение временных зависимостей. Быстродействующие аналого-цифровые преобразователи. Устройства передачи информации.

### *2. Фотоприемные устройства.*

Физические принципы работы фотоприемников, p-n структура, p-i-n структура. Устройство фотодиода (ФД). Чувствительность, инерционность ФД, фоновая и термогенерационная составляющая темнового тока. Зависимость характеристик ФД от температуры. Различные типы ФД. Импульсный оптический сигнал. Шумы фотоприемника, основные представления о шумовом процессе.

### *3. Физические принципы работы фотоприемников для скоростной визуализации.*

Физические принципы работы приборов с зарядовой связью (ПЗС) и КМОП ячеек. Структура построения современных ПЗС и КМОП матриц. Спектральная чувствительность. Частотно-контрастная функция матриц. Отношение сигнал/шум и динамический диапазон. Матричные фотоприемники для работы в различных спектральных диапазонах. Типы матриц и TDI устройства.

### *4. Методы скоростной визуализации.*

Высокоскоростная фотография. Оптико-механические методы. Основные параметры фотоплёнок. Электронно-оптические затворы и электронно-оптические камеры.

Скоростные ПЗС и КМОП камеры. Принципы построения. Основные параметры камер для скоростной регистрации. Частота кадров, разрешение,

чувствительность, динамический диапазон различных камер. Чувствительность и шумы УСВ. Особенности работы фотоприемных ПЗС и КМОП матриц в условиях высокой освещенности и коротких экспозиций.

Импульсная лазерная подсветка как метод получения сверхкоротких экспозиций. Основные типы импульсных лазерных источников света. Устройства синхронизации. Типы и методы применения. Особенности построения (работы) УСВ для работы в условиях импульсных электромагнитных помех.

#### *5. Основы количественных измерений УСВ.*

Задачи наблюдательной и измерительной визуализации физических процессов. Фотометрия и измерение температуры в быстропротекающих процессах. Основы фотометрии и измерение интенсивностей с помощью УСВ. Расчет чувствительности системы (камера - объектив - источник излучения - объект съемки). Расчет энергетики систем подсветки исследуемых объектов. Методы их применения.

#### *6. Методы обработки и анализа изображений.*

Цифровые изображения. Виды изображений, форматы хранения. Методы обработки изображений. Методы анализа изображений. Работа с изображениями среде LabVIEW с использованием IMAQ Vision (National Instruments Inc.). Пример алгоритма работы программы автоматического выделения и фильтрации следа быстролетающей частицы.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 7 семестр  
– дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета**

1. Линейные измерительные системы. Аппаратная функция. Амплитуда - частотная и фазово- частотная характеристики измерительные системы.
2. Методы измерения параметров измерительные систем.
3. Измерение временных зависимостей.
4. Быстродействующие аналого-цифровые преобразователи.

5. Физические принципы работы фотоприемников, p-n структура, p-i-n структура. Устройство фотодиода (ФД). Различные типы ФД.
6. Чувствительность, инерционность ФД, фоновая и термогенерационная составляющая темнового тока. Зависимость характеристик ФД от температуры.
7. Импульсный оптический сигнал. Шумы фотоприемника, основные представления о шумовом процессе.
8. Физические принципы работы приборов с зарядовой связью (ПЗС) и КМОП ячеек.
9. Структура построения современных ПЗС и КМОП матриц.
10. Спектральная чувствительность. Частотно-контрастная функция матриц. Отношение сигнал/шум и динамический диапазон.
11. Матричные фотоприемники для работы в различных спектральных диапазонах. Типы матриц и TDI устройства.
12. Высокоскоростная фотография. Основные параметры фотоплёнок.
13. Оптико-механические методы.
14. Электронно-оптические затворы и электронно-оптические камеры.
15. Скоростные ПЗС и КМОП камеры.
16. Принципы построения. Основные параметры камер для скоростной регистрации.
17. Частота кадров, разрешение, чувствительность, динамический диапазон различных камер. Чувствительность и шумы УСВ.
18. Особенности работы фотоприемных ПЗС и КМОП матриц в условиях высокой освещенности и коротких экспозиций.
19. Импульсная лазерная подсветка как метод получения сверхкоротких экспозиций.
20. Основные типы импульсных лазерных источников света.
21. Устройства синхронизации. Типы и методы применения.
22. Особенности построения (работы) УСВ для работы в условиях импульсных электромагнитных помех.

23. Фотометрия и измерение температуры в быстропротекающих процессах.
24. Основы фотометрии и измерение интенсивностей с помощью УСВ.
25. Расчет чувствительности системы (камера - объектив - источник излучения - объект съемки).
26. Расчет энергетике систем подсветки исследуемых объектов. Методы их применения.
27. Цифровые изображения. Виды изображений, форматы хранения.
28. Методы обработки изображений. Методы анализа изображений.
29. Работа с изображениями среде LabVIEW с использованием IMAQ Vision (National Instruments Inc.).
30. Пример алгоритма работы программы автоматического выделения и фильтрации следа быстролетающей частицы.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература:**

1. Методы исследований в экспериментальной физике : учебное пособие для вузов по направлению "Прикладные математика и физика" / М. И. Пергамент . – Долгопрудный : Интеллект, 2010 . – 304 с. – (Физтехковский учебник) . - ISBN 978-5-91559-026-6 .
2. Современные проблемы исследования быстропротекающих процессов и явлений катастрофического характера : к 75-летию В.П. Коробейникова / [и др.], Рос. акад. наук (РАН) ; Отв. ред. О. М. Белоцерковский . – М. : Наука, 2007 . – 223 с. – (Информатика: Неограниченные возможности и возможные ограничения) . - ISBN 5-02-033785-4 .

3. Прикладная механика сплошных сред. В 3 т. Т.3. Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов : учебник для вузов / А. В. Бабкин, и др. ; Науч. ред. В. В. Селиванов . – 2-е изд., испр . – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 . – 520 с. - ISBN 5-7038-2346-3 .
4. Запоминание и адаптивная обработка информации цифровых изображений / М. В. Харинов ; Ред. Р. М. Юсупов . – СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006 . – 138 с. - ISBN 5-288-04209-8 .
5. Основы оптики : учебное пособие для вузов по направлениям "Физика"(510400), "Прикладная математика и физика"(511600), "Опoptехника"(551900), "Приборостроение"(551500) и другим физическим и техническим направлениям / С. К. Стафеев, К. К. Боярский, Г. Л. Башнина . – 2-е изд., испр. и доп . – СПб. : Лань, 2013 . – 336 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-1495-6

#### **Дополнительная литература:**

6. Основы метрологии динамических измерений : Учебное пособие / Н. С. Пронкин . – М. : Логос, 2003 . – 256 с. - ISBN 5-940101-96-8 .
7. Твердотельная фотоэлектроника. Фоторезисторы и фотоприемные устройства : учебное пособие для вузов по направлениям 200400 "Оптоэлектроника", 200500 "Лазерная техника и лазерные технологии", 200700 "Фотоника и оптоинформатика" / А. М. Филачев, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко . – М. : Физматкнига, 2012 . – 368 с. - ISBN 978-5-89155-210-4 .

#### **ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ**

1. Реферативные базы данных научного цитирования SCOPUS (<http://www.scopus.com>), WEB OF SCIENCE (<http://webofknowledge.com>), РИНЦ (<http://elibrary.ru>).