

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Методы измерений в физике высоких плотностей энергии
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких плотностей энергии
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.М. Чепелев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высоких плотностей энергии 04.06.2020

## Аннотация

В рамках курса «Методы измерений в физике высоких плотностей энергии» рассматриваются физические основы функционирования различных датчиков, используемых при экспериментах в области физики высоких плотностей энергии. Уделено внимание как общим вопросам проведения физических измерений, так и особенностям устройства и функционирования конкретных датчиков (датчики температуры, давления, ионизирующего излучения и др.).

Студенты знакомятся с основными принципами измерений, связанных с зондированием исследуемого объекта электромагнитным излучением на примере радиолокации.

Часть курса посвящена вопросам обработки сигналов, поступающих от датчиков. Рассматриваются вопросы аналоговой и цифровой обработки сигналов.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- обучение студентов основным принципам измерений в физике высоких плотностей энергии и методам обработки результатов измерений, формирование культуры измерений, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области физических принципов функционирования различных датчиков;
- обучение студентов основам аналоговой и цифровой обработки сигналов;
- изучение базовых алгоритмов цифровой обработки сигналов;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения практических задач, самостоятельного анализа полученных результатов.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные характеристики датчиков (чувствительность, динамический диапазон); – виды датчиков по условной классификации (возмущающие/невозмущающие, балансные/небалансные); – скалярное, векторное, смешанное произведения; – физические принципы работы различных датчиков (температуры, давления, положения, скорости, ускорения, ионизирующего и неионизирующего излучения и др.)

уметь:

- решать простейшие задачи обработки и анализа сигналов;
- использовать методы математического анализа и теории функции комплексной переменной для построения цифровых фильтров.

владеть:

- аппаратом цифровой и аналоговой обработки сигналов.

### 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	Датчики и сигналы.	2			2
2	Датчики температуры.	2			2
3	Датчики давления.	2			2
4	Микрофоны и сенсорные датчики.	2			2
5	Измерение смещения и расстояния.	2			2
6	Датчики положения в пространстве.	2			2
7	Датчики скорости и ускорения.	2			2
8	Датчики ионизирующего излучения.	2			2
9	Фотометрия и радиометрия.	2			2
10	Измерения в СВЧ технике.	2			2
11	Аналоговые и цифровые сигналы.	2			2
12	Аналоговые фильтры.	2			2
13	АЦП и ЦАП.	2			2
14	Цифровые фильтры,	2			2
15	Цифровой спектральный анализ.	2			2
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: 2 (Весенний)

#### 1. Датчики и сигналы.

Основные термины и определения. Понятие физической величины и сигнала. Общая структурная схема проведения измерений. Основные характеристики датчиков – чувствительность и динамический диапазон.

#### 2. Датчики температуры.

Пример простого термометра с биметаллической пластиной. Преобразование температуры в электрический сигнал. Терморезисторы и термисторы. Другие датчики температуры. Общие принципы конструирования датчиков. Мостовая схема. Балансные и небалансные датчики.

#### 3. Датчики давления.

Примеры датчиков давления. Барометр атмосферного давления. Манометры, тензодатчики, вакуумметры. Прямые и косвенные измерения.

#### 4. Микрофоны и сенсорные датчики.

Микрофон – датчик волн давления. Динамический, угольный, электретный и другие типы микрофонов. Матричное соединение датчиков, сенсорные панели. Типы сенсорных датчиков.

#### 5. Измерение смещения и расстояния.

Принципы зондирования при измерении расстояния до объекта. Радиолокатор как датчик расстояния и скорости. Основы радиолокации. Активная и пассивная локация. Основы теории принятия решений.

#### 6. Датчики положения в пространстве.

Определение положения в пространстве. Триангуляция. Основные принципы спутниковой радионавигации. Система координат, измерение псевдодалности и решение навигационной задачи. Определение собственной скорости.

#### 7. Датчики скорости и ускорения.

Основные принципы измерения скорости и ускорения. Акселерометры, их основные типы. Интегрирование данных акселерометров. Инерциальная гиростабилизированная платформа. MEMS-датчики.

#### 8. Датчики ионизирующего излучения.

Виды ионизирующего излучения. Основные принципы детектирования ионизирующего излучения. Ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, сцинтилляторы. Детекторы нейтронов.

#### 9. Фотометрия и радиометрия.

Пирометры и фотометры. Приемники ИК излучения. Фотоэлектронные умножители, полупроводниковые фотодетекторы.

#### 10. Измерения в СВЧ технике.

Особенности техники СВЧ. Измерение мощности и частоты. Принципы измерения СВЧ радиосигналов. S-параметры.

#### 11. Аналоговые и цифровые сигналы.

Аналоговые и цифровые сигналы. Усиление аналоговых сигналов. Основные виды сигналов, их параметры. Отношение сигнал/шум.

#### 12. Аналоговые фильтры.

Классификация фильтров, их основные свойства. Пассивные и активные фильтры. Примеры фильтров ФНЧ, ФВЧ, ПФ, режекторные фильтры.

#### 13. АЦП и ЦАП.

Принципы преобразования аналоговых сигналов в цифровые и обратно. Квантование по времени и квантование по уровню. Выбор оптимального шага квантования. Теорема Котельникова.

#### 14. Цифровые фильтры,

Алгоритмы цифровой фильтрации. Z-преобразование. Классификация цифровых фильтров: КИХ и БИХ фильтры, их свойства.

#### 15. Цифровой спектральный анализ.

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Разрешение по частоте. Оконные функции.

### **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. Искусство схемотехники = The Art of Electronics, [монография]/П. Хоровиц, У. Хилл , -Москва, БИНОМ, 2016
2. Датчики : Устройство и применение [Текст]/Г. Виглеб , -М., Мир, 1989
3. Основы радиолокации [Текст] : учебник для вузов гражд. авиации / М. И. Финкельштейн .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Радио и связь, 1983 .— 536 с.
4. Под ред. Дж. Вебстера, Справочник по измерениям, сенсорам и приборам. (на англ.).
5. Э. Айфичер, Б.Джервис, Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание, пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.

#### Дополнительная литература

1. Размахнин М.К., Радиолокация без формул, но с картинками, М.: Советское Радио, 1971.
2. В.С. Яценков, Основы спутниковой навигации, М.: Горячая линия – Телеком, 2005.

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

1. <http://www.autex.spb.ru/wavelet/books/sensor.htm> – Справочник по измерениям, сенсорам и приборам. Под ред. Дж.Вебстера.
2. <http://www.autex.spb.ru/bibl.php> – Обработка данных. Тематическая библиотека.
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как MatLab, Mathcad и др.

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

В результате изучения дисциплины «Методы измерений в физике высоких плотностей энергии» студент должен с одной стороны, овладеть общим представлениями о физических процессах в различных датчиках, а с другой стороны, должен научиться обрабатывать и анализировать сигналы, поступающие от этих датчиков. Для понимания основных алгоритмов обработки сигналов необходимо использовать аппарат теории функции комплексного переменного и математического анализа.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, проведение численных экспериментов.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю, ведущему занятия.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Общая и прикладная физика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра физики высоких плотностей энергии  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** В.М. Чепелев, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы измерений в физике высоких плотностей энергии» обучающийся должен:

### знать:

– основные характеристики датчиков (чувствительность, динамический диапазон); – виды датчиков по условной классификации (возмущающие/невозмущающие, балансные/небалансные); – скалярное, векторное, смешанное произведения; – физические принципы работы различных датчиков (температуры, давления, положения, скорости, ускорения, ионизирующего и неионизирующего излучения и др.)

### уметь:

– решать простейшие задачи обработки и анализа сигналов;  
– использовать методы математического анализа и теории функции комплексной переменной для построения цифровых фильтров.

### владеть:



– аппаратом цифровой и аналоговой обработки сигналов.

### **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 или в конце занятия по пройденной теме.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Методы измерений в физике высоких плотностей энергии» осуществляется в форме экзамена. Экзамен проводится в устной форме.

Перечень контрольных вопросов:

1. Датчики и сигналы. Основные определения. Характеристики датчиков.
2. Датчики температуры.
3. Датчики давления.
4. Микрофоны и сенсоры.
5. Измерение смещения и расстояния. Основы радиолокации. Радиолокатор – датчик расстояния и скорости.
6. Определение положения в пространстве. Триангуляция. Основные принципы спутниковой радионавигации.
7. Измерение скорости и ускорения. Акселерометры.
8. Датчики ионизирующего излучения.
9. Принципы измерения параметров СВЧ радиосигналов.
10. Усиление аналоговых сигналов. Отношение сигнал/шум.
11. Аналоговые фильтры. Примеры ФНЧ, ФВЧ и ПФ.
12. АЦП и ЦАП. Квантование по времени и по уровню. Теорема Котельникова.
13. Цифровые фильтры. КИХ и БИХ фильтры, их свойства. Согласованный фильтр.
14. Z-преобразование, его связь со структурой фильтра.
15. Цифровой спектральный анализ, алгоритмы БПФ. Оконные функции.

Примеры экзаменационных билетов (заданий, тестов и др. материалов, используемых для проведения зачета, экзамена):

Билет №1

1. Датчики температуры.
2. АЦП и ЦАП. Квантование по времени и по уровню. Теорема Котельникова.

Билет №2

1. Определение положения в пространстве. Триангуляция. Основные принципы спутниковой радионавигации.
2. Z-преобразование, его связь со структурой фильтра.

### **Критерии оценивания**

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает неточности в ответе или делает несущественные ошибки при решении задач;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, если при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 25 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также литературой, указанной в программе.