

**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**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Метрология в нанотехнологиях
<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 нанометрологии и наноматериалов
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: М.Н. Филиппов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры нанометрологии и наноматериалов 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Метрология в нанотехнологиях" предусматривает изучение базовых основ метрологического обеспечения нанотехнологий.

Задачи курса:

- знакомство с базовыми понятиями общей метрологии и метрологическим обеспечением нанотехнологий.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- теоретические основы метрологии, обработки результатов измерений и оценивания погрешностей и неопределенностей результатов измерений.

Уметь:

- разрабатывать основные документы: методики измерений, методики поверки и калибровки, программы испытаний средств измерений для целей утверждения типа.

Владеть:

- основными теоретическими моделями обработки данных, способами проверки правильности результатов измерений.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Основные понятия и термины метрологии. Нормативная база метрологии.
2. Погрешность результатов и средств измерений.
3. Неопределенность измерений.
4. Правильность и прецизионность результатов измерений.
5. Методики (методы) измерений.
6. Средства измерений и стандартные образцы.
7. Измерения в нанотехнологиях.
8. Обеспечение единства измерений в нанотехнологиях.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение базовых основ метрологического обеспечения нанотехнологий.

### Задачи дисциплины

- знакомство с базовыми понятиями общей метрологии и метрологическим обеспечением нанотехнологий.

## 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

ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей
--------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- теоретические основы метрологии, обработки результатов измерений и оценивания погрешностей и неопределенностей результатов измерений.

уметь:

- разрабатывать основные документы: методики измерений, методики поверки и калибровки, программы испытаний средств измерений для целей утверждения типа.

владеть:

- основными теоретическими моделями обработки данных, способами проверки правильности результатов измерений.

### 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	Основные понятия и термины метрологии. Нормативная база метрологии.	4			10
2	Погрешность результатов и средств измерений.	4			10
3	Неопределенность измерений.	4			10
4	Правильность и прецизионность результатов измерений.	4			6
5	Методики (методы) измерений.	4			4
6	Средства измерений и стандартные образцы.	4			6
7	Измерения в нанотехнологиях.	4			8
8	Обеспечение единства измерений в нанотехнологиях.	2			6
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Основные понятия и термины метрологии. Нормативная база метрологии.

1.1. Теоретическая, прикладная и законодательная метрология.

1.2. Измерение. Единство измерений. Величины и шкалы. Международная система единиц величин.

1.3. Воспроизведение единиц физических величин. Эталоны. Государственные эталоны РФ. Рабочие средства измерений.

1.4. Нормативные документы в области метрологии и метрологического обеспечения. Законы РФ «О техническом регулировании» и «Об обеспечении единства измерений». Метрологическая терминология. Государственное регулирование обеспечения единства измерений.

## 2. Погрешность результатов и средств измерений.

2.1. Классификация погрешностей. Случайные и систематические погрешности. Основные способы оценивания погрешностей.

2.2. Нормирование погрешностей и формы их представления. Основные и дополнительные погрешности. Классы точности средств измерений.

## 3. Неопределенность измерений.

3.1. «Руководство по выражению неопределенности измерения» ИСО/МЭК. Стандартная суммарная и расширенная неопределенности. Вычисление стандартных неопределенностей по типу А и по типу В. Бюджет неопределенности.

3.2. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения».

## 4. Правильность и прецизионность результатов измерений.

4.1. Точность метода измерений. Правильность и прецизионность. Система стандартов ГОСТ Р ИСО - 5725 –1-6 – 2002.

4.2. Повторяемость и воспроизводимость. Пределы повторяемости и воспроизводимости. Контроль стабильности результатов. Межлабораторный эксперимент.

## 5. Методики (методы) измерений.

5.1. Разработка методик измерений. Исходные данные для разработки. Требования к точности измерений. Организация и проведение теоретических и экспериментальных исследований по оценке показателей точности разработанной методики измерений.

5.2. Аттестация методик измерения. Содержание работ при проведении аттестации методик измерений. Порядок аттестации методик измерений, комплект документов, представляемых на аттестацию. Порядок применения аттестованных методик измерений. Стандартизация методик измерений.

## 6. Средства измерений и стандартные образцы.

6.1 Классификация средств измерений. Классификация стандартных образцов. Рабочие средства измерений и эталоны. Прослеживаемость эталонов и средств измерений. Поверочные схемы. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

6.2. Поверка и калибровка средств измерений. Разработка методик поверки и калибровки средств измерений. Межповерочные интервалы.

6.3. Тип средств измерений и тип стандартных образцов. Порядок проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа. Установление межповерочного интервала. Свидетельство об утверждении типа. Знак утверждения типа. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

## 7. Измерения в нанотехнологиях.

7.1 Выделенная роль измерений линейных размеров. Реализация линейной шкалы в нанодиапазоне. Прослеживаемость результатов линейных измерений. Оптико-рентгеновская интерферометрия.

7.2 . Вещественные носители единицы длины в нанодиапазоне. Рельефные меры с программируемым рельефом поверхности. Аттестация мер.

8. Обеспечение единства измерений в нанотехнологиях.

8.1 Методы измерений отдельных нанообъектов – микроскопия. Поверка и калибровка электронных микроскопов и сканирующих зондовых микроскопов. Российские национальные и международные стандарты этой области.

8.2. Интегральные методы измерений в нанотехнологиях (рентгеновская дифрактометрия, малоугловое рассеяние рентгеновских лучей, динамическое рассеяние света).

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, экраном и микрофоном.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Лич Р. Инженерные основы измерений нанометровой точности, - Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2012.
2. Сергеев А. Г. Нанометрология. - М.: Логос, 2012.
3. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Ч. 1 и 2. - СПб.: Питер, 2012.
4. Тодуа П. А. Метрология в нанотехнологии // Российские нанотехнологии. - М.: Ростехрегулирование, 2007. - Т.2. № 1,2. С. 61-69.

Дополнительная литература

1. РМГ 29-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений".
2. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений".

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

1. <http://www.gost.ru>
2. <http://www.nicpv.ru>
3. <http://www.iso.org>

## **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, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций;
- 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.

**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 нанометрологии и наноматериалов
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	М.Н. Филиппов, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 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
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Метрология в нанотехнологиях» обучающийся должен:

### знать:

- теоретические основы метрологии, обработки результатов измерений и оценивания погрешностей и неопределенностей результатов измерений.

### уметь:

- разрабатывать основные документы: методики измерений, методики поверки и калибровки, программы испытаний средств измерений для целей утверждения типа.

### владеть:

- основными теоретическими моделями обработки данных, способами проверки правильности результатов измерений.

## 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

Вопросы для подготовки к дифференцированному зачету:

1. Основные понятия и термины метрологии. Нормативная база метрологии
2. Погрешность результатов и средств измерений
3. Неопределенность измерений
4. Правильность и прецизионность результатов измерений.
5. Методики (методы) измерений
6. Средства измерений и стандартные образцы
7. Измерения в нанотехнологиях
8. Обеспечение единства измерений в нанотехнологиях

### 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 зачёта обучающемуся предоставляется до 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.