

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор, проректор по  
УР

\_\_\_\_\_ А.Е. Рудин

«04» \_\_\_\_ 04 \_\_\_\_ 2023 года

## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.02**

Физические основы измерений и эталоны

Учебный план: 2023-2024 27.03.01 ИИТА Станд и серт ОЗО №1-2-156.plx

Кафедра: **52** Физики

Направление подготовки:  
(специальность) 27.03.01 Стандартизация и метрология

Профиль подготовки: Стандартизация и сертификация  
(специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очно-заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоём- кость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
	Лекции	Практ. занятия				
4	УП	34	17	56,75	0,25	Зачет
	РПД	34	17	56,75	0,25	
Итого	УП	34	17	56,75	0,25	
	РПД	34	17	56,75	0,25	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология, утвержденным приказом Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 901

Составитель (и):

кандидат физико-математических наук, Доцент

\_\_\_\_\_

Буркова Л.А.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой физики

\_\_\_\_\_

Иванов Константин  
Георгиевич

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

Цобкалло Екатерина  
Сергеевна

Методический отдел:

\_\_\_\_\_

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области применения физических методов измерений, анализа полученных результатов и корректной оценки их погрешностей

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Рассмотреть основные методы измерения физических величин.
- Раскрыть причины возникновения погрешностей измерения и способы их оценки.
- Показать особенности физических методов измерения на разных уровнях организации материки.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Теория вероятностей и математическая статистика

Математика

Физика

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>ПК-3: Способен выполнять измерения для определения и подтверждения соответствия действительных значений контролируемых параметров и технических характеристик продукции (технологии оказания услуги) заданным (требуемым) на этапах разработки, производства и испытаний продукции, технологии оказания услуг</b>
<b>Знать:</b> общие принципы и методы измерений физических величин; методики определения погрешностей и неопределённостей измеренных физических величин; устройство эталонов основных физических величин
<b>Уметь:</b> использовать современные методы измерений; оптимизировать измерительный процесс с использованием методов моделирования
<b>Владеть:</b> навыками анализа современных разработок в области квантовой метрологии

## 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)			
Раздел 1. Классические измерительные системы	4					К
Тема 1. Теория подобия, преобразования подобия, критерии подобия, подобные системы Практическое занятие: Применение метода теории подобия к различным физическим системам. Числа Рейнольдса, Ньютона, Фруда		4	2	7,75	ГД	
Тема 2. Теория размерностей. Определение числа независимых критериев подобия для n размерных величин. П теорема – основная теорема теории подобия Практическое занятие: Получение аналитических зависимостей с помощью анализа размерностей. Приведение зависимостей между размерными величинами к зависимостям между безразмерными критериями подобия		4	2	7	ГД	
Тема 3. Теория флуктуаций. Флуктуации основных макропараметров состояния. Флуктуации и шумы в измерительных системах. Основные виды шумов: тепловой и дробовой шум Практическое занятие: Вычисление средне - квадратичных флуктуаций основных макропараметров состояния: температуры, давления, объема, внутренней энергии, концентрации. Вычисление величин флуктуация в электрических цепях для напряжения, тока, сопротивления		3	2	7		

Раздел 2. Макроскопические квантовые эффекты					
Тема 4. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Спектроскопия. Причины уширения спектральных линий Практическое занятие: Вычисление ширины спектральных линий на основе соотношения неопределенностей. Вычисление величины теплового уширения спектральных линий.	2	2	6	ГД	О
Тема 5. Эффект Зеемана. Электронный парамагнитный резонанс, Ядерный магнитный резонанс Практическое занятие: Вычисление величины расщепления спектральных линий в магнитном поле на основе эффекта Зеемана	4	2	6		

Тема 6. Сверхпроводимость. Сверхсильные магнитные поля Практическое занятие: Оценка величины связи электронов в куперовской паре. Квантование магнитного потока. Вычисление величины кванта магнитного потока	3	2	6	ГД	
Тема 7. Квантовый эффект Холла. Эффект Джозефсона Практическое занятие: Квантование сопротивления. Вычисление величины кванта сопротивления. Связь между напряжением на контакте Джозефсона и частотой излучения	4	2	6		
Раздел 3. Квантовая Метрология					Т
Тема 8. Эталон секунды. Квантовые часы. Измерение времени Практическое занятие: Эталон секунды. Оценка точности измерения времени квантовыми часами. Принцип действия системы ГЛОНАС	3	1	4	ГД	
Тема 9. Эталон метра. Измерение длины Практическое занятие: Измерение расстояний и размеров тел интерференционным методом. Оценка точности измерения	3	1	4	ГД	
Тема 10. Квантовые эталоны электрических величин Практическое занятие: Новая система электрических единиц. Выражение кванта сопротивления и через фундаментальные постоянные	4	1	3		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	34	17	56,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)	0,25				
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>	51,25		56,75		

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

##### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
-----------------	--	----------------------------------

ПК-3	<p>Формулирует методы теории подобия и моделирования; объясняет теорию флуктуаций и виды шумов в измерительных системах, макроскопические квантовые эффекты, лежащие в основе современной эталонной базы, квантовые эталоны основных единиц системы СИ</p> <p>Решает типовые задачи моделирования, оценивает величины шумовых эффектов в различных измерительных системах</p> <p>Может объяснить квантовый эффект и основные принципы работы, основанного на нем эталона</p>	<p>Вопросы для устного собеседования</p> <p>Практико-ориентированные задания</p>
------	--	--

### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание физических принципов, лежащих в	

	основе измерений различных физических величин; свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; показывает навыки творческого применения полученных знаний к решению конкретных задач, связанных с последующей профессиональной деятельностью.	
Не зачтено	Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может установить связь между методом измерения и физическим законом, лежащим в его основе, плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой, допускает существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя	

### 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

#### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 4	
1	Подобные преобразования. Критерии подобия. Индикаторы подобия
2	Основные кинематические и динамические подобия
3	Центробежное моделирование. Изменение масштаба времени
4	Моделирование движения в вязкой среде. Число Рейнольдса
5	Теория размерностей. Единицы измерения физических величин в системе СИ
6	Применение теории размерностей для получения аналитических закономерностей
7	Число независимых критериев подобия для N размерных величин
8	Основная теорема теории подобия. П теорема
9	Использование П теоремы для получения критериев подобия
10	Флуктуации. Среднеквадратичная флуктуация. Распределение Гаусса для величин флуктуаций
11	Флуктуации основных параметров состояния системы
12	Тепловой шум в механических системах
13	Тепловой шум в электрических цепях
14	Дробовой шум. Усиление и измерение слабых электрических сигналов
15	Дробовой шум. Усиление и измерение слабых световых сигналов. Фотоумножитель
16	Ионизационные камеры и счетчики
17	Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Фундаментальный предел точности измерений
18	Принцип суперпозиции. Измерения в квантовой механике
19	Классификация электронных состояний. Магнитный момент атома

20	Эффект Зеемана
21	Спектроскопия. Ширина спектральных линий
22	Виды спектроскопии. ИК-, УФ-, ЭПР, ЯМР спектроскопия
23	Сверхпроводимость
24	Квантование магнитного потока
25	Сверхсильные магнитные поля
26	Квантовый эффект Холла
27	Эффект Джозефсона
28	Измерение времени Квантовые часы. Эталон секунды
29	Измерение длины. Эталон метра
30	Эталоны электрических единиц. Измерение напряжения и сопротивления

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Моделирование центральной силы тяжести. Установить с помощью теории подобия третий закон Кеплера, то есть определить, как соотносятся радиусы орбит двух планет и периоды их обращения вокруг звезды. Применить полученное соотношение к вычислению радиуса круговой орбиты стационарного спутника Земли, который остается неподвижным относительно ее поверхности .

2. Центробежное моделирование. Пусть к натурному объекту должна быть приложена сила 2000 кН. Какую силу нужно приложить к модели, проходящей испытание в центрифуге с ускорением 100 g, для получения того же эффекта при испытании изделия на прочность.

3. Моделирование при движении зарядов в магнитном поле. Используя методы теории подобия найти, как относятся радиусы траекторий двух ионов в зависимости от их удельных зарядов.

4. Моделирование силы лобового сопротивления. Используя методы теории подобия, определить, как зависит сила лобового сопротивления от скорости движения тела и его линейных размеров.

5. Используя метод анализа размерностей найти скорость распространения волн на свободной поверхности жидкости, считая, что скорость зависит от плотности жидкости, длина волны и ускорения свободного падения.

6. Используя метод анализа размерностей найти силу вязкого трения, которая зависит от динамической вязкости жидкости, скорости движения тела и его линейных размеров.

7. С какой скоростью нужно вращать центрифугу с ускорением 100 g для того, чтобы вес космонавта увеличился в 10 раз.

8. Используя П теорему найти выражение для силы вязкого трения, действующую на тело с линейным размером L, движущимся со скоростью V в жидкости с кинематической вязкостью, составленное из безразмерных комплексов.

9. Выразить Планковские единицы длины, массы и времени через фундаментальные постоянные: постоянную Планка, универсальную гравитационную постоянную и скорость света.

10. Используя П теорему получить выражение, составленное из безразмерных комплексов, для падения давления вдоль горизонтальной цилиндрической трубы, считая что оно зависит от плотности жидкости, скорости движения, ее динамической вязкости, длины трубы и ее диаметра.

11. Найти безразмерную форму решения для подъемной силы вертолета, если она зависит от плотности жидкости, диаметра пропеллера, угловой скорости его вращения и скорости движения вертолета.

12. Упругие свойства шара можно характеризовать величиной отпечатка, который он оставляет на стенке при падении на нее. Выразить величину отпечатка через безразмерные комплексы, считая что она зависит от скорости падения шара, его диаметра, плотности материала и его модуля Юнга.

13. Используя теорему Найквиста, вычислить мощность шумового генератора, находящегося в тепловом равновесии с окружающей средой при температуре 300 К, если ширина полосы пропускания составляет 10 МГц.

14. Найти отношение полезного сигнала к шуму при измерении напряжения 100 мкВ, если при измерении используется конденсатор емкостью 30 пФ. Измерение проводится при комнатной температуре.

15. Сравнить величины дробового шума при измерении тока в 1 А за 1 с и измерении тока в 16 нА за время 1 нс.

### 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

#### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

#### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  Письменная  Компьютерное тестирование  Иная

#### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- Возможность пользоваться справочными таблицами, калькулятором.
- Время на подготовку ответа по билету 45 минут.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Паршаков, А. Н.	Квантовая физика для инженеров	Саратов: Вузовское образование	2019	<a href="http://www.iprbookshop.ru/86463.html">http://www.iprbookshop.ru/86463.html</a>
Буркова Л.А.	Физические основы измерений и эталоны	СПб.: СПбГУПТД	2015	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=20153">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=20153</a>
Андреев, Л. А., Новикова, Е. А.	Статистические расчеты равновесий. Элементы статистической физики и флуктуации термодинамических величин	Москва: Издательский Дом МИСиС	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/78525.html">http://www.iprbookshop.ru/78525.html</a>
Ярьско, С. И.	Эталоны	Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ	2018	<a href="https://www.iprbookshop.ru/111667.html">https://www.iprbookshop.ru/111667.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Семенов, И. В.	Метрология, стандартизация и сертификация	Москва: Российский университет транспорта (МИИТ)	2021	<a href="https://www.iprbookshop.ru/115857.html">https://www.iprbookshop.ru/115857.html</a>
Ярьско, С. И.	Физические основы измерений. Метод анализа размерностей	Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/91136.html">http://www.iprbookshop.ru/91136.html</a>
Ярьско, С. И.	Эталоны основных единиц СИ. Состав и метрологические характеристики	Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ	2018	<a href="http://www.iprbookshop.ru/91172.html">http://www.iprbookshop.ru/91172.html</a>

## 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

- 1.Единый портал интернет тестирования в сфере образования [Электронный ресурс]. URL:<http://www.i-exam.ru/>.
- 2.Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. URL:<http://window.edu.ru/>.
- 3.Учебно-образовательная физико-математическая библиотека [Электронный ресурс]. URL:<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library.htm/>
- 4.Физический информационный портал. [Электронный ресурс]. URL:<http://phys-portal.ru/>
- 5.Вся физика. Познавательный портал. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.all-fizika.com/>
- 6.Материалы Информационно-образовательной среды заочной формы обучения СПбГУПТД [Электронный ресурс].URL:[http://sutd.ru/studentam/extramural\\_student/](http://sutd.ru/studentam/extramural_student/).
7. Электронно-библиотечная система IPRbooks. URL:<http://iprbookshop.ru/>.
- 8.Электронная библиотека учебных изданий СПбГУПТД. URL:<http://publish.sutd.ru/>.

## 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Microsoft Windows

MicrosoftOfficeProfessional

## 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска