

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

 О.Н. Здрок
«30» июня 2021 г.

Регистрационный № УД - 9803/уч.

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий

2021 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 07-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 №88, учебных планов G31-218/уч., G31и-219/уч. от 20.02.2018 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

В.В. Шляхтин, доцент кафедры ядерной физики Белорусского государственного университета, кандидат технических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.Г. Басов, доцент кафедры метрологии и стандартизации Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат физико-математических наук, доцент.

С.С. Ветохин, заведующий кафедрой физико-химических методов сертификации продукции Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», доцент, кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной физики физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 11 от 17 июня 2021г.);

Научно-методическим Советом БГУ

(протокол № 7 от 29 июня 2021г.)

Заведующий кафедрой
ядерной физики

Тимощенко А.И.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа дисциплины «Основы метрологии» разработана для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель изучения учебной дисциплины – сформулировать понятия и дать студентам основные положения и концепции в области измерений физических величин, методов измерений, погрешностей измерений, методов обработки результатов измерений, а также разобраться в системе технического нормирования и стандартизации.

В связи с этим, можно сформулировать следующие **задачи** изучения дисциплины «Основы метрологии».

- *Мировоззренческая и методологическая:*

необходимо сформировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину окружающего мира. Создание такой картины должно происходить путем обобщения экспериментальных данных и построения на их основе моделей наблюдаемых явлений.

- *практическая:*

в рамках единого подхода классической физики рассмотреть основные явления и процессы, происходящие в природе, установить связи между ними, вывести основные законы и получить их выражение в виде математических уравнений. Далее, необходимо научить студентов количественно решать конкретные задачи в рамках принятых приближений.

- *исследовательская:*

обучить студентов основам постановки и проведения физического эксперимента с последующим анализом и оценкой полученных результатов, включая расчет погрешностей.

В усилении проблемно-исследовательской, практико-ориентированной направленности профессиональной подготовки студентов-физиков, активизации их самостоятельной работы по разрешению ситуаций, имитирующих профессиональные проблемы в будущей научной и производственной деятельности, главная роль отводится лабораторному практикуму и практическим занятиям.

Изложение учебного материала основано на определенных знаниях и представлениях, сформированных в процессе обучения на 1 – 3 курсах обучения по данной специальности. Дисциплина «Основы метрологии» является дисциплиной, завершающей цикл подготовки специалиста на первой ступени высшего образования и не лежит в основе других дисциплин учебного плана.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится **к циклу** специальных дисциплин государственного компонента.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Основы метрологии» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.

ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- методы измерений и определения погрешностей;
- принципы построения системы метрологического обеспечения;
- организацию метрологической службы;

уметь:

- подбирать оптимальные методы и средства измерений физических величин;
- проводить испытания средств измерений;

владеть:

- методами расчета погрешностей измерений;
- общими методами поверки средств измерения;

При преподавании дисциплины рекомендуется применять активные методы обучения, основу которых составляют технологии проблемного и контекстного обучения, реализуемые на лекционных и практических занятиях, а также рейтинговая система оценки знаний. При чтении лекционного курса рекомендуется применять также мультимедийные средства обучения.

Эффективность работы студентов и изучения программы дисциплины в целом проверяется в ходе текущего и итогового контроля знаний. Текущий контроль рекомендуется проводить в форме коллоквиумов, контрольных работ, отчетов по лабораторным работам и устного опроса на практических занятиях.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 7 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Основы метрологии» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 38 часов, в том числе 20 аудиторных часов, из них: лекции – 14 часов, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1 зачетную единицу.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение.

Предмет метрология и его место среди других наук. Краткая историческая справка о развитии метрологии. Структура метрологии. Физические величины.

Предметы и явления окружающего мира как объекты познания. Их свойства. Классификация физических величин. Свойства, проявляющие себя только в отношении эквивалентности. Понятие счета. Интенсивные величины, удовлетворяющие отношениям эквивалентности и порядка. Понятие величины и контроля. Экстенсивные величины, удовлетворяющие отношениям эквивалентности, порядка и аддитивности. Понятие об единице физической величины и измерениях. Шкалы измерений. Нанотехнологии привели к необходимости зарождения и быстрого развития уникального направления в метрологии — нанометрологии, в котором отражены все теоретические и практические аспекты, связанные с правильностью измерений в нанотехнологиях, включая эталоны единиц величин, стандартные образцы состава, структуры, размера, свойств; методы и средства калибровки в нанометровом и субнанометровом диапазонах; реализацию наношкалы и многое другое, направленное в целом на обеспечение единства измерений.

Тема 2. Классификация измерений. Основные определения. Виды и методы измерений.

Понятие об измерении. Измерительное преобразование. Воспроизведение физической величины заданного размера. Сравнение физической величины с величиной, воспроизводимой мерой. Основные элементы процесса измерения. Основные постулаты теории измерений. Классификация измерений. Понятие об испытании и контроле. Предельные возможности измерений. Статические и динамические измерения. Прямые, косвенные, совокупные и совместные измерения. Измерения максимально возможной точности, контрольно-поверочные измерения, технические измерения. Основные этапы, характеризующие процедуру измерений. Методы измерений.

Тема 3. Погрешности измерений. Систематические погрешности. Истинные и действительные значения измеряемой величины. Погрешность как случайный процесс. Математические модели погрешностей. Характеристики и параметры погрешностей. Классификация погрешностей. Основные принципы оценивания погрешностей. Правила округления результатов измерений. Понятие о неопределенности результата измерений. Классификация систематических погрешностей. Способы обнаружения и устранения систематических погрешностей. Графический способ. Способ последовательных разностей. Дисперсионный анализ. Критерий Вилкок-

сона. Исключения систематических погрешностей путем введения поправок.

Тема 4. Случайные погрешности. Грубые погрешности и методы их исключения.

Вероятностное описание случайных погрешностей. Интегральный и дифференциальный законы распределения случайных погрешностей. Композиция законов распределения. Понятие центра распределения. Центральные и начальные моменты распределения. Математическое ожидание и дисперсия. Третий центральный момент. Коэффициент асимметрии. Четвертый центральный момент. Эксцесс и контрэксцесс. Энтропийное значение погрешности.

Законы распределения случайных погрешностей. Трапециидальные распределения. Уплотненные распределения. Класс экспоненциальных распределений. Распределение Гаусса. Семейство законов распределения Стьюдента. Распределение Коши. Класс двухмодальных распределений. Дискретное двузначное распределение. Арксинусоидальное распределение. Остро и кругловершинные двухмодальные распределения. Косые распределения.

Точечные оценки законов распределения. Оценки математического ожидания и дисперсии. Оценки коэффициента асимметрии, эксцесса и энтропийного коэффициента. Доверительная вероятность и доверительный интервал. Доверительный интервал для оценок дисперсии и среднеквадратического отклонения. Сравнительная эффективность различных методов определения координаты центра распределения. Критерии исключения грубых погрешностей. Критерий «трех сигм», Романовского, Шарлье. Вариационный критерий Диксона.

Тема 5. Основы метрологического обеспечения. Основные понятия.

Научная основа метрологического обеспечения. Организационная основа, техническая основа, правовая основа метрологического обеспечения.

Тема 6. Теория воспроизведения единиц физических величин и передача их размеров. (Теория единства измерений).

Система физических величин и их единиц. Принципы построения систем единиц физических величин. Международная система единиц (СИ). Воспроизведение единиц физических величин и передача их размеров. Понятие о единицах измерений. Эталоны физических величин. Поверочные схемы. Способы поверки средств измерений. Стандартные образцы. Эталоны единиц СИ.

Тема 7. Классификация эталонов. Средства измерений. Классификация средств измерений.

Классификация средств измерений. Метрологические характеристики средств измерений. Нормирование метрологических характеристик средств измерений. Классы точности.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	Количество часов УСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<i>Введение. Предмет метрология и его место среди других наук.</i> Краткая историческая справка о развитии метрологии. Структура метрологии. Физические величины. Предметы и явления окружающего мира как объекты познания. Их свойства. Классификация физических величин. Свойства, проявляющие себя только в отношении эквивалентности. Понятие счета. Интенсивные величины, удовлетворяющие отношениям эквивалентности и порядка. Понятие величины и контроля. Экстенсивные величины, удовлетворяющие отношениям эквивалентности, порядка и аддитивности. Понятие об единице физической величины и измерениях. Шкалы измерений	2				Цифровой проектор, УМК	[1] [2] [3] [4]	
2	<i>Классификация измерений. Основные определения. Виды и методы измерений.</i> Понятие об измерении. Измерительное преобразо-	2				Цифровой проектор,	[1] [2] [3]	

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и пр.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	Количество часов УСП			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	вание. Воспроизведение физической величины заданного размера. Сравнение физической величины с величиной, воспроизводимой мерой. Основные элементы процесса измерения. Основные постулаты теории измерений. Классификация измерений. Понятие об испытании и контроле. Предельные возможности измерений. Статические и динамические измерения. Прямые, косвенные, совокупные и совместные измерения. Измерения максимально возможной точности, контрольно-поверочные измерения, технические измерения. Основные этапы характеризующие процедуру измерений. Методы измерений.					УМК	[4]	
3	<i>Погрешности измерений. Систематические погрешности.</i> Истинные и действительные значения измеряемой величины. Погрешность как случайный процесс. Математические модели погрешностей. Характеристики и параметры погрешностей. Классификация погрешностей. Основные принципы оценивания погрешностей. Правила округления результатов измерений. Понятие о неопределенности результата	2			2	Цифровой проектор, УМК	[1] [3] [4]	Устный опрос. Защита рефератов

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и пр.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	Количество часов УСП			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	измерений. Классификация систематических погрешностей. Способы обнаружения и устранения систематических погрешностей. Графический способ. Способ последовательных разностей. Дисперсионный анализ. Критерий Вилкоксона. Исключения систематических погрешностей путем введения поправок.							
4	<i>Случайные погрешности. Грубые погрешности и методы их исключения.</i> Вероятностное описание случайных погрешностей. Интегральный и дифференциальный законы распределения случайных погрешностей. Композиция законов распределения. Понятие центра распределения. Центральные и начальные моменты распределения. Математическое ожидание и дисперсия. Третий центральный момент. Коэффициент асимметрии. Четвертый центральный момент. Экссесс и контрэкссесс. Энтропийное значение погрешности. Законы распределения случайных погрешностей. Трапещиидальные распределения. Уплощенные распределения. Класс экспоненциальных распределений. Распределение Гаусса. Семейство законов	2			2	Цифровой проектор, УМК	[1] [3] [4]	Устный опрос. Защита рефератов

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и пр.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	Количество часов УСП			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	распределения Стюдента. Распределение Коши. Класс двухмодальных распределений. Дискретное двузначное распределение. Арксинусоидальное распределение. Остро и кругловершинные двухмодальные распределения. Косые распределения. Точечные оценки законов распределения. Оценки математического ожидания и дисперсии. Оценки коэффициента асимметрии, эксцесса и энтропийного коэффициента. Доверительная вероятность и доверительный интервал. Доверительный интервал для оценок дисперсии и среднеквадратического отклонения. Сравнительная эффективность различных методов определения координаты центра распределения. Критерии исключения грубых погрешностей. Критерий «трех сигм», Романовского, Шарлье. Вариационный критерий Диксона.							
5	<i>Основы метрологического обеспечения. Основные понятия.</i> Научная основа метрологического обеспечения. Организационная основа, техническая основа, правовая основа метрологического обеспечения.	2				Цифровой проектор, УМК	[1] [3] [4]	
6	<i>Теория воспроизведения единиц физических величин</i>	2			2	Цифро-	[1]	Устный оп-

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и пр.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	Количество часов УСП			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	и передача их размеров. (Теория единства измерений). Система физических величин и их единиц. Принципы построения систем единиц физических величин. Международная система единиц (СИ). Воспроизведение единиц физических величин и передача их размеров. Понятие о единицах измерений. Эталоны физических величин. Поверочные схемы. Способы поверки средств измерений. Стандартные образцы. Эталоны единиц СИ.					вой проектор, УМК	[3] [4]	рос. Защита рефератов
7	Классификация эталонов. Единство измерений. Средства измерений. Классификация средств измерений. Классификация средств измерений. Метрологические характеристики средств измерений. Нормирование метрологических характеристик средств измерений. Классы точности.	2				Цифровой проектор, УМК	[1] [3] [4]	
ВСЕГО:		14			6			Зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Аристов, А.И. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник / А.И. Аристов. - М.: Academia, 2019. - 224 с.
2. Клаассен К.В. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. Пер. с англ. Е.В. Воронова и А.Л. Ларина. М.: Постмаркет, 2000г.
3. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация в 2 ч. Часть 2. Стандартизация и сертификация: Учебник и практикум / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 420 с.
4. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация в 2 ч. Часть 1. Метрология: Учебник и практикум для академического бакалавриата / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 421 с.
5. Пронкин Н.С. Основы метрологии динамических измерений. М.: Логос, 2003г.
6. Сергеев А.Г., Крохин В.В.. Метрология. Учебное пособие. М.: Логос, 2000г.
7. Лифиц И.М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации. – М.: Юрайт, 2015г.
8. Схиртладзе А. Г., Радкевич Я. М. Метрология, стандартизация и технические измерения. Старый Оскол: ТНТ, 2010г.
9. Серенков П.С. Методы менеджмента качества. М.: ИНФРА-М, 2011г.
10. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений. Спб.: Питер, 2010г.
11. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 2. Обеспечение единства измерений. Спб.: Питер, 2012г
12. Сергеев А.Г. Нанометрология. Учебное пособие. М.: Логос, 2011г.
13. Ламоткин, С.А. Основы стандартизации, сертификации, метрологии / С.А. Ламоткин, З.Е. Егорова, Н.И. Заяц – Мн.: БГТУ, 2005.
14. Гвоздев В.Д. Прикладная метрология. Метрологическое обеспечение: Учебное пособие. - М.: РУТ (МИИТ), 2018. – 72 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Загорский, Я.Т. Основы метрологического обеспечения лазерной энергетической фотометрии/ Я.Т. Загорский, А.Ф. Котюк.- М.; Из-во стандартов, 1990г-172с.
2. Брагин, А.А. Основы метрологического обеспечения аналого-цифровых преобразователей электрических сигналов/ А.А. Брагин, А.Л. Семенюк. М.: Из-во стандартов. 1989г-164с.
3. Метрологическое обеспечение измерительных информационных систем. Под ред. Е.Т. Удовиченко/ М.: Из-во стандартов. 1991г.-192с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы по пройденному материалу и защиту рефератов. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Управляемая самостоятельная работа проводится в виде устной защиты реферата. Каждая тема реферата включает в себя 1 вопрос. На защиту реферата отводится 15-20 мин. плюс время для ответа на вопросы. Оценка каждого реферата проводится по десятибалльной шкале. Оценка текущей успеваемости определяется как средняя оценка по результатам устных опросов и защиты реферата.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- устный опрос – 60%;
- подготовка реферата – 40%

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета, к зачету допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не менее 4 баллов.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки по текущей успеваемости составляет 20 %, экзаменационная оценка – 80%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В перечень заданий входят реферативные работы по темам 3,4 и 6.

Тема 3. Погрешности измерений. Систематические погрешности. (2 ч)

Форма контроля – защита реферата, устный опрос (ответы на вопросы преподавателя).

Тема 4. Случайные погрешности. Грубые погрешности и методы их исключения. (2 ч)

Форма контроля – защита реферата, устный опрос (ответы на вопросы преподавателя).

Тема 6. Теория воспроизведения единиц физических величин и передача их размеров. (Теория единства измерений). (2 ч)

Форма контроля – защита реферата, устный опрос (ответы на вопросы преподавателя).

Примерные темы рефератов

1. Состояние и тенденции развития нанотехнологии.
2. Измерительные и калибровочные возможности средств измерений нанометрового диапазона.
3. Самоорганизация и самосборки для практической реализации нанотехнологий.
4. Проблемы метрологического обеспечения измерения параметров наночастиц в технологических средах.
5. Методы и средства сертификационных испытаний аналитических приборов.
6. Геометрия формирования изображения в сканирующей зондовой микроскопии.
7. Технические измерения, взаимозаменяемость и нанометрология.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод)*, который предполагает:

- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине рекомендуется использовать современные информационные технологии; разместить в сетевом доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (программа, основной теоретический материал, методические указания к решению задач и выполнению лабораторных работ, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме для контроля и самоконтроля и т.д.) При оценивании качества усвоения студентами учебного материала рекомендуется использование накопительной рейтинговой системы.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**
на ____/____ учебный год

№ № пп	Дополнения и изменения	Основание
--------------	------------------------	-----------

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
ядерной физики
(протокол №__ от ____)

Заведующий кафедрой

ядерной физики

к.ф.-м.н., доцент

_____ А.И. Тимощенко

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета БГУ

к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов