БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям
_____ Ю.Г. Прохоренко
«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД – 1508/м.

EXPERIMENTAL METHODS IN MICRO- AND NANOMECHANICS

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

7-06-0533-06 Mechanics and Mathematical modeling
Profiling: Theoretical and applied mechanics

2023

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 7-06-0533-06-2023, примерного учебного плана, регистрационный номер 7-06-05-017/пр. от 18.01.2023 г. и учебного плана № М54а-5.4-114/уч. от 11.04.2023 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:
Богданович А.В., профессор кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор технических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТ:
Еловой О.М., заместитель генерального директора ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» по научной работе и инновационной деятельности, кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:
Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета БГУ
(протокол №12 от 17.05.2023);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 29.06.2023)

Зав. кафедрой _____М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины «Experimental methods in micro- and nanomechanics» является повышение общепрофессионального уровня подготовки магистрантов, получение новых знаний по специальным разделам современной механики, в том числе методам экспериментального определения физико-механических и иных свойств материалов и изделий на микро- и наноуровне.

Задачами дисциплины «Experimental methods in micro- and nanomechanics» являются:

- формирование установки на творческую профессиональную деятельность;
- знакомство с экспериментальными методами микро- и наномеханики как разделом механики;
- развитие профессионального мышления в области экспериментальных методов микро- и наномеханики, которое обеспечит будущему специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, видеть проблемы и пути их решения в самостоятельной практической деятельности, выбирать оптимальные пути их решения и методу осуществления решений;
- воспитание активной профессиональной позиции, умения вырабатывать и обосновывать свой подход в решении задач.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с углубленным высшим образованием учебная дисциплина относится **к модулю** «Special problems of modern mechanics» компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения образования, дисциплины специализации и др.

Данная дисциплина опирается и использует знания ранее изучаемых дисциплин: «Mechanics of nonelastic and nonlinear solid body», «Mechanics of advanced materials».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Experimental methods in micro- and nanomechanics» должно обеспечить формирование **специализированной компетенции:**

SC-9. Apply modern methods of mechanics, mathematical modeling, experimental methods to the study of mechanical processes and states of micro- and nanosystems.

В результате изучения учебной дисциплины магистрант должен:

знать:

- экспериментальные методы микро- и наномеханики исследования современных конструкционных материалов, включая наноструктурированные и с тонкими покрытиями,

- современные подходы и методы к построению механико-математических моделей экспериментальной механики на микро- и наноуровне;
- структуру, физико-механические свойства, области применения современных конструкционных наноматериалов;

уметь:

- применять полученные знания для обоснованного выбора современных конструкционных материалов, включая наноструктурированные и с тонкими покрытиями, а также расчета элементов машин и конструкций из таких материалов, работающих в условиях переменных нагрузок, трения, комбинированных воздействий;

владеть:

- методами экспериментального исследования свойств материалов тонкими методами на микро- и наноуровне.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 1 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Experimental methods in micro- and nanomechanics» отведено:

– для очной формы получения углубленного высшего образования – 90 часов, в том числе 36 аудиторных часов, из них: лекции (в том числе дистанционно) –16 часов, лабораторные занятия (в том числе дистанционно) – 16 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

CONTENT OF TRAINING MATERIAL

Topic 1. Introduction. Nanomaterials science. Nanoclusters and nanostructures

Introduction to experimental micro- and nanomechanics. Nanoscale factor in materials science. Specifics of nanomaterials and nanotechnologies. Nanoclusters: synthesis methods, structure and properties, theoretical model. Nanostructures: classification, materials of one-dimensional nanostructures. Carbon nanotubes and fullerenes. 2D and 3D nanostructures.

Topic 2. Structural nanomaterials

Nanoparticles and nanopowders. Thin film structures. Nanocrystalline materials. Nanocomposite materials. Functional nanomaterials. Physico-mechanical properties of nanomaterials.

Topic 3. Microhardness and nanoindentation

Methods and equipment for microhardness testing. Nanoindentation methods and problems solved. Equipment for nanoindentation. Information capabilities of nanointelligence.

Topic 4. Methods for measuring the mechanical properties of nanostructured objects

Measuring the mechanical properties of nanotubes. Application of discrete-continuum models in prototypes of metrological systems.

Topic 5. Scanning probe microscopy

Scanning tunneling microscopy. Atomic force microscopy. Peculiarities of mechanical behavior of cantilevers of atomic force microscopes. Mechanical model of contact interaction of the measuring element of an atomic force microscope with the surface under study.

Topic 6. Field ion and electron microscopy

Field ion microscopy. Methods and capabilities of electron microscopy. Basic design of a scanning electron microscope and electron sources. Electron beam interactions: secondary electrons, backscattered electrons, X-rays.

Topic 7. Spectroscopic methods

Nuclear magnetic resonance. Electron paramagnetic resonance. IR and Raman spectroscopy. X-ray and photoelectron spectroscopy. Mössbauer spectroscopy. Diffraction research methods.

Topic 8. Optical microscopy

Basics of the method. Components of an optical microscope. Observation under a microscope. Preparation of samples. Some typical microstructures of the studied structural materials. Modern optical microscopes, digital video cameras and software.

Topic 9. Experimental methods in micro- and nanoelectronics and nanotribology

Features of the design, production and mechanical testing of microcircuits and other semiconductor devices. Prospects for quantum and molecular microelectronics. Production of micro- and nanodevices, machines, apparatus and materials for them. Nanostructured materials in nuclear energy and aerospace, features of their testing.

Nanotribology: basic concepts, research methods, instruments, applications.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения углубленного высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Introduction. Nanomaterials science. Nanoclusters and nanostructures	2						Собеседование
2	Structural nanomaterials	2			2			Собеседование, отчет по лабораторной работе
3	Microhardness and nanoindentation	2			4			Собеседование, отчет по лабораторной работе
4	Methods for measuring the mechanical properties of nanostructured objects	2			2			Собеседование
5	Scanning probe microscopy	2					2	Контрольная работа по темам 1-4
6	Field ion and electron microscopy	1						Собеседование

7	Spectroscopic methods	1			2			Собеседование, отчет по лабораторной работе
8	Optical microscopy	2			4		2	Собеседование, отчет по лабораторной работе
9	Experimental methods in micro- and nanoelectronics and nanotribology	2			2			Собеседование, отчет по лабораторной работе
	Итого	**16**			**16**		**4**	

ИНФОРМАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Miklashevich, I. Micromechanics of Fracture in Generalized Spaces / I. Miklashevich. - Amsterdam [etc.] : Elsevier : Academic Press, 2008. - 258 p.
2. Axelrad, D. R. Micromechanics of Solids / D. R. Axelrad. - Warszawa : PWN–Polish Scientific Publishers, 1978 ; Amsterdam ; Oxford ; New York : Elsevier Scientific Publishing Company. - 227 p.
3. *C. Suryanarayana*. Experimental Techniques in Materials and Mechanics. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. – 430 p.

Перечень дополнительной литературы

1. *Витязь, П.А.* Наноматериаловедение : учеб. пособие / *П.А. Витязь, Н.А. Свидунович, Д.В. Куис.* – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 511 с.
2. Экспериментальная механика: В 2 кн. Пер. с англ. под ред. *А. Кобаяси*. – М. : Мир, 1990. – Книга 1. – 616 с. – Книга 2. – 552 с.
3. *Гольдштейн, Р.В.* Механика микро- и наноструктур. Наноиндентирование: учеб. пособие / *Р.В. Гольдштейн*. – М. : МФТИ, 2011. – 160 с.
4. *Кривцов, А.М*. Деформирование и разрушение твердых тел с микроструктурой / *А.М. Кривцов*. – М.: Физматлит, 2007. – 304с.
5. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Серия: Мир электроники. Сб-к статей. Ред. *П.П. Мальцев*. – М. : ТЕХНОСФЕРА, 2005., – 592 с.
6. *Попов, В.Л*. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений / *В.Л. Попов*. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 352 с.
7. *Богданович, А.В.* Лабораторный практикум по экспериментальной механике: Учеб.-методич. пособие для магистрантов ММФ / *А.В. Богданович, С.С. Щербаков, Д.Е. Мармыш*. –Минск : БГУ, 2017. – 107 с.
8. *Кривцов, А.М*. О механических характеристиках наноразмерных объектов / *А.М. Кривцов, Н.Ф. Морозов* // Физика твердого тела, 2002, Т.44, В.12. – С.2158-2163.
9. *Калмыков, К.Б.* Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ неорганических материалов: методическое пособие / *К.Б. Калмыков, Н.Е. Дмитриева*. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2017. – 59 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Experimental methods in micro- and nanomechanics» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- проверка отчетов по лабораторным работам;
- собеседование на аудиторных занятиях;
- контрольная работа.

Отметка за ответы на лекциях (собеседование) и выполнение отчетов по лабораторным работам включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Контрольная работа выполняется по темам 1-4. Перечень вопросов и заданий для подготовки к контрольной работе преподаватель размещает заранее на образовательном портале факультета в Moodle.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Experimental methods in micro- and nanomechanics» учебным планом предусмотрен **зачет.**

Для магистрантов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную отметку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с положением о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- отчеты по лабораторным работам – 50 %;
- контрольная работа – 50%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы магистрантов

По темам 1-4 (Topic 1. Introduction. Nanomaterials science. Nanoclusters and nanostructures. Topic 2. Structural nanomaterials. Topic 3. Microhardness and nanoindentation. Topic 4. Methods for measuring the mechanical properties of nanostructured objects) магистранты выполняют контрольную работу. (2 h)

С Перечнем заданий можно ознакомиться на образовательном портале факультета в Moodle.

Форма контроля - контрольная работа.

Topic 8. Optical microscopy. (2 h)

С Перечнем заданий можно ознакомиться на образовательном портале факультета в Moodle.

Форма контроля - собеседование.

Примерная тематика лабораторных занятий

Лабораторная работа №1. Structural nanomaterials.

Лабораторная работа №2. Preparation of samples for microhardness testing.

Лабораторная работа №3. Study of surface microhardness of samples made of different materials.

Лабораторная работа №4. Study of materials using X-ray spectroscopy.

Лабораторная работа №5. Preparation of samples for examination under an optical microscope.

Лабораторная работа №6. Experimental study of the microstructure of samples using an optical microscope.

Лабораторная работа №7. Study of materials using nanotribology methods.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется ***практико-ориентированный подход***, который предполагает:

– освоение содержание образования через решения практических задач;

– приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;

– использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении дисциплины организация самостоятельной работы магистрантов должна представлять единство трех взаимосвязанных форм:

1) внеаудиторная самостоятельная работа;

2) аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;

3) творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

На лабораторных занятиях по дисциплине «Experimental methods in micro- and nanomechanics» рекомендуется применять вариативные индивидуальные, в том числе исследовательские, задания для приобретения навыков самостоятельного решения практических задач.

В силу различного уровня готовности магистрантов к восприятию новых понятий на лабораторных занятиях по дисциплине рекомендуется проводить регулярные самостоятельные работы и при необходимости проводить дополнительные консультации для объяснения и закрепления сложного материала.

Условия для самостоятельной работы студентов магистратуры, в частности, для развития навыков самоконтроля, способствующих интенсификации учебного процесса, обеспечиваются наличием и полной доступностью электронных (и бумажных) вариантов курсов лекций, учебно-методических пособий и сборников задач по основным разделам дисциплины.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Introduction to experimental micro- and nanomechanics. Nanoscale factor in materials science. Specifics of nanomaterials and nanotechnologies.
2. Nanostructures: classification, materials of one-dimensional nanostructures.
3. Carbon nanotubes and fullerenes. 2D and 3D nanostructures.
4. Nanoparticles and nanopowders. Thin film structures. Nanocrystalline materials.
5. Nanocomposite materials. Functional nanomaterials. Physico-mechanical properties of nanomaterials.
6. Methods and equipment for microhardness testing.
7. Nanoindentation methods and problems solved. Equipment for nanoindentation. Information capabilities of nanointelligence.
8. Measuring the mechanical properties of nanotubes. Application of discrete-continuum models in prototypes of metrological systems.
9. Scanning tunneling microscopy.
10. Atomic force microscopy. Peculiarities of mechanical behavior of cantilevers of atomic force microscopes.
11. Mechanical model of contact interaction of the measuring element of an atomic force microscope with the surface under study.
12. Field ion microscopy. Methods and capabilities of electron microscopy.
13. Basic design of a scanning electron microscope and electron sources. Electron beam interactions: secondary electrons, backscattered electrons, X-rays.
14. Nuclear magnetic resonance. Electron paramagnetic resonance.
15. IR and Raman spectroscopy. X-ray and photoelectron spectroscopy.
16. Mössbauer spectroscopy. Diffraction research methods.
17. Basics of the method. Components of an optical microscope. Observation under a microscope. Preparation of samples.
18. Some typical microstructures of the studied structural materials. Modern optical microscopes, digital video cameras and software.
19. Features of the design, production and mechanical testing of microcircuits and other semiconductor devices.
20. Prospects for quantum and molecular microelectronics. Production of micro- and nanodevices, machines, apparatus and materials for them.
21. Nanostructured materials in nuclear energy and aerospace, features of their testing.
22. Nanotribology: basic concepts, research methods, instruments, applications.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Modern experimental mechanics	Теоретической и прикладной механики	нет	Вносить изменения не требуется (протокол № 12 от 17.05.2023)

Заведующий кафедрой
д-р физ.-мат. наук, профессор _____ М.А. Журавков

17.05.2023

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ

на _____/_____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
Теоретической и прикладной механики (протокол № ___ от _____ 202__г.)
«Special problems in modern mechanics»

Заведующий кафедрой

д-р физ.-мат. наук, профессор _____ М.А. Журавков
(ученая степень, ученое звание) (подпись) (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

д-р. физ.-мат. наук, профессор _____ С.М. Босяков
(ученая степень, ученое звание) (подпись) (И.О.Фамилия)