

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе и  
образовательным инновациям  
О.И. Чуприс  
« 9 » \_\_\_\_\_ 2018 г.  
Регистрационный № УД- 5435 /уч.

## МЕХАНИКА НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности второй ступени высшего  
образования (магистратуры) с углубленной подготовкой специалиста

1-31 80 04 Механика

Минск, 2018

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 04-2012 (26.05.2017г.) и учебного плана № G31-267/уч. (26.05.2017 г.) для специальности 1-31 80 04 Механика

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**Михасев Геннадий Иванович** – заведующий кафедрой био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой био- и наномеханики  
(протокол № 10 от 28.05.18)

Научно-методическим Советом Белорусского государственного университета  
(протокол № 6 от 16.06.2018 \_\_\_\_\_)



*Г. И. Михасев*



## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Механика наноразмерных структур» относится к циклу дисциплин специальной подготовки компонента учреждения высшего образования (дисциплины по выбору) и адресована магистрантам 2-го года обучения по специальности 1-31 80 04 Механика механико-математического факультета Белорусского государственного университета.

**Целью** дисциплины является изучение механических свойств наноразмерных структур (наноразмерные тела, включая нанобалки и нанотрубки, консолидированные наноматериалы, нанопленки) с позиций континуальной механики.

**Задачами** дисциплины «Механика наноразмерных структур» являются:

- ✓ Формирование у студентов основных понятий по математическому моделированию механического поведения наноразмерных структур с использованием законов механики деформируемого твердого тела
- ✓ Знакомство с различными вариантами неклассической теории упругости, основанной на нелокальных законах физического состояния среды.
- ✓ Знакомство с основными механическими свойствами наноразмерных структур
- ✓ Знакомство с классификацией наноматериалов и изучение их основных свойств

**Связь с другими дисциплинами.** Программа дисциплины «Механика наноразмерных структур» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях дисциплин «Механика сплошной среды» и «Физика».

В результате изучения дисциплины обучаемый должен

**знать:**

- предмет механики наноразмерных структур;
- строение углеродных нанотрубок и фуллеренов;
- законы физического состояния нелокальной теории упругости;
- методы моделирования механического поведения наноразмерных объектов и систем;
- основные механические характеристики наноструктур;
- классификацию консолидированных наноматериалов и области их применения;
- механизмы релаксации напряжений в нанопленках;
- методы расчета напряжений в наноразмерных телах (стержнях, проволоках, балках) и структурах с включениями;
- роль поверхностных напряжений при деформировании наноразмерных тел;
- характерные структурные особенности нанокристаллических материалов.

**уметь:**

- рассчитывать напряжения в наностержнях с учетом поверхностных напряжений;
- рассчитывать напряжения в наностержнях с использованием двухфазного нелокального закона упругости Эрингена;

- рассчитывать напряжения в консольной балке с использованием двухфазного нелокального закона упругости Эрингена;
- находить собственные частоты продольных колебаний наностержней при различных вариантах граничных условий с учетом поверхностных напряжений и на основе нелокального закона физического состояния;
- находить собственные частоты изгибных колебаний нанобалок при различных вариантах граничных условий с учетом поверхностных напряжений и на основе нелокального закона физического состояния;
- рассчитывать упругие поля включений в нанокompозитах методом функций Грина.

**владеть:**

- навыками работы с современными программными средствами численного решения математических и прикладных задач механики деформирования наноразмерных структур.

Преподавание данной дисциплины должно строиться таким образом, чтобы обучающийся приобретал следующие академические и профессиональные компетенции:

- АК-1. Осуществлять самостоятельную научно-исследовательскую деятельность;
- АК-2. Использовать междисциплинарный подход при решении поставленных проблем;
- АК-3. Применять технические устройства и компьютеры, пакеты прикладных программ и средства компьютерной графики для решения профессиональных задач;
- ПК-1. Квалифицированно проводить научные исследования в области механики наноразмерных тел и структур;
- ПК-2. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

Также подлежат развитию социально-личностные компетенции:

- СЛК-1. К сотрудничеству и работе в команде;
- СЛК-2. Владению коммуникативными способностями для работы в междисциплинарной и международной научной среде;
- СЛК-3. Проявлять инициативу и креативность, в том числе в нестандартных ситуациях, возникающих при решении поставленных задач;
- СЛК-4. Адаптироваться к новым ситуациям социально-профессиональной деятельности, реализовывать накопленный опыт, свои профессиональные возможности.

Дисциплина «Механика наноразмерных структур» изучается магистрантами в 3 семестре 2-го года очной формы обучения.

В соответствии с учебным планом специальности на изучение дисциплины всего отводится 160 часов, в том числе 58 часов аудиторных занятий; из них 26 часов – лекции, 20 часов – практические занятия, 2 часа – УСР; Текущая аттестация – экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Тема 1. Общие сведения о наноразмерных телах, структурах, и наноматериалах**

Строение аллотропных углеродных структур (нанотрубки, фуллерены). Хиральность углеродных нанотрубок. Наноразмерные объекты, моделируемые телами. Нанопленки. История развития наноматериалов. Классификация наноматериалов. Основные области применения наноматериалов.

### **Тема 2. Нелокальная теория упругости**

Однофазный нелокальный закон Эрингена. Двухфазная нелокальная модель физического состояния деформируемого твердого тела. Эквивалентные дифференциальные модели нелокального закона физического состояния, условия и ограничения их применения.

### **Тема 3. Расчет напряжений в наноразмерных телах с использованием закона нелокальной теории упругости**

Деформирование наноразмерного стержня (НС) при осевой нагрузке. Напряженно-деформированное состояние наноразмерной балки (НБ). Консольная наноразмерная балка. Деформированное состояние наноразмерной оболочки при внешнем давлении и осевом сжатии. Напряженно-деформированное состояние многостенной углеродной нанотрубки, внедренной в упругую среду, под действием внешнего давления.

### **Тема 4. Моделирование собственных колебаний простейших наноразмерных тел с учетом нелокальных эффектов**

Моделирование продольных колебаний наноразмерного стержня (НС) с использованием двухфазной нелокальной теории упругости (ДНТУ). Эквивалентное дифференциальное уравнение продольных колебаний НС, дополнительные краевые условия. Краевые эффекты. Влияние граничных условий и краевых условий на собственные частоты колебаний НС. Собственные колебания НБ.

### **Тема 5. Механизмы релаксации напряжений в нанопленках**

Нанопленки на подложках. Геометрия и внутренние напряжения. Дислокации несоответствия в нанопленках. Островковые нанопленки.

### **Тема 6. Упругие поля включений в нанокompозитах**

Включения и неоднородности в нанокompозитах. Собственные деформации, порождаемые несоответствием параметров кристаллических решеток включения и матрицы. Метод функций Грина расчета упругих полей в нанокompозитах, порождаемых собственными деформациями внутри

включений. Напряжения несоответствия в двухслойной цилиндрической нанопроволоке.

#### **Тема 7. Роль поверхности при деформировании наноразмерных тел**

Поверхностные напряжения. Влияние поверхностных напряжений на механические свойства наноразмерных тел. Модули поверхностной упругости. Эффект поверхностных напряжений на одноосное растяжение изотропного наноразмерного стержня квадратного сечения. Эффект поверхностных напряжений на изгиб наноразмерной балки Бернулли.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное	Количество часов по СР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Тема 1. Общие сведения о наноразмерных телах, структурах, и наноматериалах.</b>	2						
1.1	Строение аллотропных углеродных структур (нанотрубки, фуллерены). Хиральность углеродных нанотрубок.							
1.2	Наноразмерные объекты, моделируемые телами. Нанопленки.							
1.3	История развития наноматериалов. Классификация наноматериалов. Основные области применения наноматериалов.							
2	<b>Тема 2. Нелокальная теория упругости.</b>	2	2					
2.1	Однофазный нелокальный закон Эрингена. Двухфазная нелокальная модель физического состояния деформируемого твердого тела.							
2.2	Эквивалентные дифференциальные модели нелокального закона физического состояния, условия и ограничения их применения.							







## ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАНИЙ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Определение прогиба консольной наноразмерной балки Эйлера-Бернулли при действии сосредоточенной нагрузки при различных соотношениях объемных коэффициентов локальной и нелокальной составляющих в двухфазном законе нелокальной теории упругости.
2. Исследование на собственные продольные колебания наноразмерного стержня при различных граничных условиях и соотношениях объемных коэффициентов локальной и нелокальной составляющих в двухфазном законе нелокальной теории упругости.
3. Вывод эквивалентных дифференциальных уравнений, описывающих динамику тонких 2D наноразмерных тел (пластин/оболочек) исходя из двухфазной нелокальной теории упругости.
4. Рассчитать напряжения в нанокompозите, порождаемые собственными деформациями включений.
5. Рассчитать напряжения в наноразмерном стержне квадратного/круглого сечения при одноосном растяжении с учетом поверхностных напряжений

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Овидько И.А., Семенов Б.Н., Шейнерман А.Г. Механика деформируемых наноматериалов. Учебное пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2013. - 142с.
2. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Уч. Пособие. М. Изд. центр «Академия», 2005. -92 с.
3. Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки // УФН. 1997. Т. 167, № 5. С. 945-972.
4. Анищик В.М., Борисенко В.Е., Жданок С.А., Толочко Н.К., Федосюк В.М. Наноматериалы и нанотехнологии. Минск: Изд. центр БГУ, 2008.-375 с.

### Дополнительная литература

5. Mikhasev, G., Avdeichik, E., Prikazchikov, D. Free vibrations of nonlocally elastic rods. *Mathematics and Mechanics of Solids*. -2018. - DOI: 10.1177/1081286518785942.
6. Овидько И.А., Шейнерман А.Г.. Механика нанопроволок и наноструктурных пленок. СПб. Эклипсир-Норд, 2011.–184с.
7. Хирт Дж, Лоте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1974. -600с.
8. Mueller P., Saul A. Elastic effects on surface physics. // *Surf. Sci. Rep.* 2004. Vol. 54. – P. 157-258.
9. Mikhasev G., Botogova M. Asymptotic estimates of buckling radial pressure for multi-walled carbon nanotubes at different variants of boundary conditions. - *ZAMM* – 2016, Vol. 96 (11). –P. 1356–1373.

## ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Механика наноразмерных структур» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой;
- отчеты по домашним практическим упражнениям с их устной защитой;
- собеседования;
- контрольная работа.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

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

### МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ

Полученные студентом количественные результаты учитываются как составная часть итоговой оценки по дисциплине в рамках рейтинговой системы.

Итоговая оценка формируется на основе трех документов:

- 1) Постановления министерства образования республики Беларусь от 29 мая 2012г. № 53 об утверждении Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования;
- 2) Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете № 382-ОД от 18.08.2015г.;
- 3) Письма министерства образования ректорам высших учебных заведений Республики Беларусь № 21-04-1/105 от 22.12.2003 о критерии оценки знаний и компетенции студентов по 10-бальной шкале.



ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201 г.)

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор

(степень, звание)

\_\_\_\_\_ (подпись)

Г.И. Михасев

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

К.ф.-м.н., доцент

(степень, звание)

\_\_\_\_\_ (подпись)

Д.Г. Медведев

(И.О.Фамилия)