

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
Институт математики, физики и информационных технологий
Кафедра теоретической и экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института математики, физики
и информационных технологий
Королева Н.Л.
«11» марта 2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«Физические принципы метода наноиндентирования в физике твердого тела»

Научная специальность:

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования

подготовка кадров высшей квалификации
по программам подготовки научных и
научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения

очная

Год набора

2022

Тамбов 2022

Автор программы: Шибков А.А., доктор физико-математических наук, профессор

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (приказ Минобрнауки России от 20 октября 2021 г. № 951).

Рабочая программа принята на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики «2» марта 2022 года Протокол № 6

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи дисциплины
2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры
3. Объем и содержание дисциплины
4. Контроль знаний обучающихся
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Цели и задачи дисциплины

1.1 Цель дисциплины - заключается в формировании современных представлений о физических принципах тестирования микромеханических свойств материалов и наноматериалов методами наноиндентирования, а также об особенностях поведения материалов на наноуровне.

1.2 Задачи дисциплины:

- развитие теоретических представлений и навыков научно-исследовательской деятельности в области физики конденсированного состояния на различных масштабных уровнях;
- освоение методов научных исследований; освоение теорий и моделей; участие в проведении физических исследований по выбранной тематике с использованием методов исследования нанообъектов, участие в обработке полученных результатов научных исследований на современном уровне, работа с научной литературой;
- освоение методов применения результатов научных исследований в инновационной деятельности.

1.3 Требования к результатам освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- общие принципы и приемы метода наноиндентирования в физике твердого тела;
- статистические и динамические методы определения твердости.

Уметь:

- учитывать размерные эффекты при измерении механических свойств твердых тел;
- определять влияние различных факторов в инициировании начальной пластичности под индентором.

Владеть:

- основами техники наноиндентирования и методами анализа p-H диаграмм;
- методами определения внутренних напряжений и времязависимых свойств при индентировании.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры:

Дисциплина «Физические принципы метода наноиндентирования в физике твердого тела» относится к образовательному компоненту «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Дисциплина является элективной.

Дисциплина «Физические принципы метода наноиндентирования в физике твердого тела» изучается во 2 семестре.

3. Объём и содержание дисциплины

3.1 Объём дисциплины

Очная форма обучения: 2 з.е.

Вид учебной работы	Очная форма обучения (всего часов)
Общая трудоёмкость дисциплины	72
<i>Контактная работа (по учебным занятиям)</i>	22
Лекции (Л)	10
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	12
Лабораторные занятия (ЛЗ)	-
<i>Самостоятельная работа (СР)</i>	50

Вид учебной работы	Очная форма обучения (всего часов)
<i>Зачет</i>	

3.2 Содержание дисциплины:

№ те мы	Название раздела/темы	Вид учебной работы, час. (очная форма)				Формы текущего контроля
		Л	ПЗ	ЛЗ	СР	
1.	Тема 1. Методы определения твердости	2	2	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа
2.	Тема 2. Принципы и техника наноиндентирования	2	3	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа
3.	Тема 3. Механическое поведение материала в нано- и субмикрообъемах при индентировании	2	2	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа
4.	Тема 4. Упругопластическая деформация при индентировании	2	3	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа
5.	Тема 5. Разрушение при индентировании	2	2	-	10	собеседование, письменная самостоятельная работа

Тема 1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Лекция. Статистические методы определения твердости. Твердость по Бринеллю. Твердость по Виккерсу. Микротвердость. Твердость по Роквеллу. Соотношение значений твердости, полученных различными статистическими методами, между собой и с механическими свойствами материалов. Динамические методы определения твердости. Твердость по Шору (метод упругого отскока бойка). Проба на твердость царапанием. Динамическая наноиндентерометрия.

Практическое занятие. Сообщения и доклады по следующим вопросам: Статистические методы определения твердости. Твердость по Бринеллю. Твердость по Виккерсу. Микротвердость. Твердость по Роквеллу. Соотношение значений твердости, полученных различными статистическими методами, между собой и с механическими свойствами материалов. Динамические методы определения твердости. Твердость по Шору (метод упругого отскока бойка). Проба на твердость царапанием. Динамическая наноиндентерометрия.

Задания для самостоятельной работы: Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 2. ПРИНЦИПЫ И ТЕХНИКА НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ

Лекция. Основы техники наноиндентирования. Информационные возможности наноиндентирования. Методы анализа Р-*h*-диаграмм. Склерометрия. Перспективы развития техники наноиндентирования.

Практическое занятие. Сообщения и доклады по следующим вопросам: Основы техники наноиндентирования. Информационные возможности наноиндентирования. Методы анализа Р-*h*-диаграмм. Склерометрия. Перспективы развития техники наноиндентирования.

Задания для самостоятельной работы: Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 3 АТОМНАЯ МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МАТЕРИАЛА В НАНО- И СУБМИКРООБЕМАХ ПРИ ИНДЕНТИРОВАНИИ

Лекция. Упругий контакт. Контактная жесткость и модуль Юнга. Феноменология упругопластического перехода в наноконтакте. Гомогенное зарождение дислокаций под индентором. Роль различных факторов в инициировании начальной пластичности (состояние поверхности, примесные атомы, границы зерен, точечные дефекты).

Практическое занятие. Сообщения и доклады по следующим вопросам: Упругий контакт. Контактная жесткость и модуль Юнга. Феноменология упругопластического перехода в наноконтакте. Гомогенное зарождение дислокаций под индентором. Роль различных факторов в инициировании начальной пластичности (состояние поверхности, примесные атомы, границы зерен, точечные дефекты).

Задания для самостоятельной работы: Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 4 УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ ИНДЕНТИРОВАНИИ.

Лекция. Определение внутренних напряжений. Времязависимые свойства (ползучесть, скоростная чувствительность твердости, скачкообразная деформация).

Практическое занятие. Сообщения и доклады по следующим вопросам: Определение внутренних напряжений. Времязависимые свойства (ползучесть, скоростная чувствительность твердости, скачкообразная деформация).

Задания для самостоятельной работы: Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

Тема 5 . РАЗРУШЕНИЕ ПРИ ИНДЕНТИРОВАНИИ

Лекция. Фазовые переходы при локальном деформировании. Разрушение в окрестности отпечатка. Размерные эффекты. Механические свойства и адгезия тонких пленок и многослойных покрытий.

Практическое занятие. Фазовые переходы при локальном деформировании. Разрушение в окрестности отпечатка. Размерные эффекты. Механические свойства и адгезия тонких пленок и многослойных покрытий.

Задания для самостоятельной работы: Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы; подготовка к контрольной работе.

4. Контроль знаний обучающихся

4.1 Формы текущего контроля работы аспирантов: собеседование, письменная самостоятельная работа

4.2 Задания текущего контроля

Вопросы для собеседования

1. Общие принципы статистических методов определения твердости.
2. Определение твердости по Бринеллю, по Виккерсу, по Роквеллу.
3. Соотношение значений твердости, полученных различными статистическими методами, между собой и с механическими свойствами материалов.
4. Общие принципы динамических методов определения твердости.
5. Перспективы развития техники наноиндентирования.
6. Контактная жесткость и модуль Юнга.
7. Определение внутренних напряжений.
8. Фазовые переходы при локальном деформировании.
9. Разрушение в окрестности отпечатка.
10. Вреязависимые свойства (ползучесть, скоростная чувствительность твердости, скачкообразная деформация)

Тематика письменных самостоятельных работ

1. Упругий контакт.
2. Контактная жесткость и модуль Юнга.
3. Феноменология упругопластического перехода в наноконтакте.
4. Гомогенное зарождение дислокаций под индентором.
5. Роль различных факторов в инициировании начальной пластичности (состояние поверхности, примесные атомы, границы зерен, точечные дефекты).
6. Механические свойства и адгезия тонких пленок и многослойных покрытий.

4.3 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета.

Вопросы зачета

1. Статистические методы определения твердости.
2. Твердость по Бринеллю. Твердость по Виккерсу. Микротвердость. Твердость по Роквеллу.
3. Соотношение значений твердости, полученных различными статистическими методами, между собой и с механическими свойствами материалов.
4. Динамические методы определения твердости. Твердость по Шору (метод упругого отскока бойка).
5. Проба на твердость царапанием.
6. Динамическая нано- и микротвердость.
7. Основы техники наноиндентирования. Информационные возможности наноиндентирования.
8. Методы анализа P-h-диаграмм.
9. Склерометрия.
10. Перспективы развития техники наноиндентирования.
11. Феноменология упругопластического перехода в наноконтакте.
12. Гомогенное зарождение дислокаций под индентором.
13. Фазовые переходы при локальном деформировании.
14. Разрушение в окрестности отпечатка. Размерные эффекты.
15. Механические свойства и адгезия тонких пленок и многослойных покрытий.

Задания для зачета

1. Определить микротвердость по Виккерсу. Масса груза 100 гр. Диагональ отпечатка 120 мкм.
2. Найти твердость методом Бринелля. Нагрузка 4 Н. Диаметр отпечатка 1,3 мм, диаметр шарика 1 мм

4.4 Шкала оценивания промежуточной аттестации

Оценка	Основные показатели достижения результата
«зачтено»	Знает общие принципы и приемы метода наноиндентирования в физике твердого тела, статистические и динамические методы определения твердости
	Умеет определять влияние различных факторов в инициировании начальной пластичности под индентором и учитывать размерные эффекты при измерении механических свойств твердых тел
	Владеет основами техники наноиндентирования и методами анализа р-Н диаграмм, а также методами определения внутренних напряжений и времязависимых свойств при индентировании
«не зачтено»	Демонстрирует незнание общих принципов и приемов метода наноиндентирования в физике твердого тела, статистические и динамические методы определения твердости
	Не умеет определять влияние различных факторов в инициировании начальной пластичности под индентором и учитывать размерные эффекты при измерении механических свойств твердых тел
	Не владеет техникой наноиндентирования и методами анализа р-Н диаграмм, методами определения внутренних напряжений и времязависимых свойств при индентировании

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература:

1. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. 312 с.
2. Головин, Ю.И. Введение в нанотехнологию: Учеб. пособие. М. : Машиностроение-1, 2003. 110 с.
3. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии: учеб. пособ. для студ.; пер. с англ. под ред. Ю.И. Головина. М. : Техносфера, 2004. 327 с.

5.2 Дополнительная литература:

1. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с.
2. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // J. Mater. Res. 2004. Vol. 19. № 1. P. 3–20.
3. Domnich V., Gogotsi Yu. Phase Transformations in Silicon under Contact Loading // Rev. Adv. Mater. Sci. 2002. V. 3. P. 1–36.
4. Булычев С.И., Алехин В.П. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. – М.: Машиностроение, 1990.
5. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М. Механическое изнашивание сталей и сплавов: Учебник для ВУЗов. М.: Недра, 1996, 364 с.
6. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. Изд. 2-е, испр. Москва: Техносфера, 2014. 174 с.
7. Springer Handbook of Nanotechnology / ed. by B. Bushan. Berlin: Springer, 2004. 1222 p.

5.3 Иные источники:

К рекомендуемым Интернет-ресурсам по данной дисциплине относятся Интернет-ресурсы ведущих российских и зарубежных журналов, а также образовательные порталы и сайты ведущих российских университетов.

Интернет-ресурсы ведущих российских журналов по данной тематике:

www.journals.ioffe.ru / ftt – «Физика твёрдого тела»

www.journals.ioffe.ru / ftp – «Физика и техника полупроводников»
www.journals.ioffe.ru / pjtf – «Письма в журнал технической физики»
www.iournals.ioffe.ru / itf – «Журнал технической физики»
www.ietp.ac.ru – ЖЭТФ
www.ietpletters.ac.ru – «Письма в ЖЭТФ»
www.ufn.ru – «Успехи физических наук»
www.nanom.ru – «Российские нанотехнологии»
www.quant-electron.ru – «Квантовая электроника»
<http://impo.imp.uran.ru/fmm/> – «Физика металлов и металловедение»
 Интернет-ресурсы иностранных журналов
www.aps.org
www.springeropen.com
 Интернет-порталы: <http://window.edu.ni.>: <https://elibrarv.ru>

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для проведения занятий по дисциплине необходимо следующее материально-техническое обеспечение: помещения для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для самостоятельной работы.

Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа используются наборы демонстрационного оборудования, обеспечивающие тематические иллюстрации (проектор, ноутбук, экран/ интерактивная доска).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Электронная информационно-образовательная среда

<http://moodle.tsutmb.ru>

Взаимодействие преподавателя и аспиранта в процессе освоения дисциплины осуществляется посредством мультимедийных, гипертекстовых, сетевых, телекоммуникационных технологий, используемых в электронной информационно-образовательной среде университета.

Лицензионное программное обеспечение:

Операционная система «Альт Образование»

Операционная система Microsoft Windows 10 Home

Операционная система Microsoft Windows Vista Business Russian

Microsoft Office Профессиональный плюс 2007

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 1500-2499

Node 1 year Educational Renewal Licence

Adobe Photoshop CS3

Информационные справочные системы и профессиональные базы данных:

ЭБС «Университетская библиотека онлайн»	http://www.biblioclub.ru
ЭБС «Консультант студента»: Медицина. Здравоохранение, Комплект Гуманитарные науки	http://www.studentlibrary.ru
ЭБС «IPRSMART» (старое название « IPR books»)	http://iprbookshop.ru
ЭБС «Юрайт»	http://www.urait.ru

Сетевая электронная библиотека педагогических вузов	https://e.lanbook.com/
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru
Государственная информационная система «Национальная электронная библиотека»	https://нэб.пф
Президентская библиотека имени Б.Н. Ельцина	http://www.prilib.ru
Электронный справочник «Информио»	www.informio.ru
Справочная правовая система «Консультант Плюс»	http://www.consultant.ru
Архив научных журналов зарубежных издательств	https://arch.neicon.ru