

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(государственный университет)»



«УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
и экономическому развитию

Д.А. Зубцов

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**по дисциплине:** Физические основы прочности сверхсильных материалов  
**по направлению:** Прикладные математика и физика (магистратура)  
**профиль подготовки:** Химическая физика  
Факультет молекулярной и химической физики  
кафедра физики и химии наноструктур  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2(Весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

практические и семинарские занятия: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

**Программу составил:** М.Ю. Попов, доктор наук

**Программа обсуждена на заседании кафедры**

16 февраля 2016 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой

В.Д. Бланк

Начальник учебного управления

И.Р. Гарайшина

Декан факультета

В.М. Некипелов

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Целью курса является ознакомление студентов с физическими основами прочности сверхтвердых материалов, в частности, современные концепции прочности, влияние напряженных состояний на механические свойства твердых тел, а также экспериментальные методы исследования механических свойств сверхтвердых материалов.

### Задачи дисциплины

- Формирование базовых знаний в области исследования сверхтвердых материалов на стыке физики твердого тела, механики деформируемого твердого тела и химической физики;
- Формирование представления об особенностях механических свойств сверхтвердых материалов с учетом их структуры, типа связей, устойчивости структуры, механизмов пластической деформации;
- Приобретение практических умений и навыков в организации экспериментальных и теоретических исследований механических свойств сверхтвердых материалов.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Курс "Физические основы прочности сверхтвердых материалов" является дисциплиной, формирующей у обучающегося профессиональные навыки и компетенции.

Для освоения данной дисциплины обучающийся должен:

- знать фундаментальные законы молекулярной физики, термодинамики и оптики;
- знать фундаментальные понятия и законы общей, неорганической и органической химии;
- владеть номенклатурой органических и неорганических веществ;
- владеть порядком численных величин, характерных для различных разделов физики;
- владеть знаниями математического естественнонаучного блока по дисциплинам: введение в математический анализ; многомерный анализ, интегралы и ряды; линейная алгебра; дифференциальные уравнения; аналитическая геометрия.

Данная дисциплина относится к вариативной части образовательной программы.

Дисциплина «Физические основы прочности сверхтвердых материалов» базируется на дисциплинах:

- Общая и неорганическая химия;
- Дифференциальные уравнения;
- Общая физика: лабораторный практикум;
- Общая физика: термодинамика и молекулярная физика;
- Общая физика: оптика;
- Кратные интегралы и теория поля;
- Общая физика: механика;
- Общая физика: электричество и магнетизм;
- Общая физика: квантовая физика.

Дисциплина «Физические основы прочности сверхтвердых материалов» предшествует изучению дисциплин:

- Научно-исследовательская работа.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций:

способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);  
 способность выбирать цели своей деятельности и пути их достижения, прогнозировать последствия научной, производственной и социальной деятельности (ОПК-4);  
 способность самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств (ПК-1);  
 способность ставить, формализовать и решать задачи, уметь системно анализировать научные проблемы, генерировать новые идеи и создавать новое знание (ПК-2).

## В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

### знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

### уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

### владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

## 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу				
		Лекции	Практические и семинарские занятия	Лаборат. работы	Задания, курсовые работы	Самост. работа
1	Влияние высоких давлений на механические свойства твердых тел		10			
2	Некоторые задачи неупругости и механики разрушения		6			15
3	Основы экспериментальных методов исследования механических свойств сверхтвердых материалов		4			
4	Пластичность и упругость		10			

Итого часов		30		15
Подготовка к экзамену	0 час.			
Общая трудоёмкость	45 час., 1 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Влияние высоких давлений на механические свойства твердых тел

Зависимости модулей упругости от давления и объема. Коэффициент и тензор Грюнайзена. Различие динамического и статического нагружений. Термодинамические свойства твердых тел при высоких давлениях и температурах. Сжатие холодного вещества. Тепловое движение атомов. Ударная адиабата конденсированного вещества. Аналитические представления ударной адиабаты. Выход ударной волны на свободную поверхность тела. Извлечение кривой холодного сжатия из результатов опытов по ударному сжатию. Влияние напряжений на фононы в центре зоны Бриллюэна кубических кристаллов. Пьезоспектроскопия.

##### 2. Некоторые задачи неупругости и механики разрушения

Напряженно-деформированное состояние при упругом контактировании твердых тел. Неупругое контактирование инденторов с полупространством. Упругопластическое индентирование. Модель твердости в механике твердого деформируемого тела (соотношение между твердостью и пределом текучести). Основные понятия механики разрушения: концентрация напряжений; поля напряжений и перемещений у вершины трещины в упругой среде; коэффициенты интенсивности напряжений; энергетический критерий хрупкого разрушения Гриффитса. Силовой критерий Ирвина и эквивалентность критериев разрушения. Трещиностойкость. Износостойкость. Соотношение между трещиностойкостью, твердостью и износостойкостью. Представления о масштабных эффектах прочности и твердости.

##### 3. Основы экспериментальных методов исследования механических свойств сверхтвердых материалов

Твердость. Принцип относительной твердости и шкала Мооса. Различные типы инденторов (инденторы Виккерса, Кнуппа, Берковича) и вопросы эквивалентности величин твердости, измеренных разными инденторами. Измерения методом склерометрии. Анизотропия твердости. Твердость сверхтвердых материалов. Особенности наноиндентирования. Прочность и упругие модули: условия испытаний, требования к образцам; определение упругих модулей при наноиндентировании. Износостойкость. Трещиностойкость: стандартные методы испытаний и методики измерения трещиностойкости при индентировании.

##### 4. Пластичность и упругость

Основные понятия динамики решетки: динамическая задача, адиабатическое приближение; равновесие; колебания атомов - линейное и общее решение; свойства нормальных колебаний; упругие постоянные и силовые константы. Тензор деформации. Тензор напряжений. Термодинамика деформирования: фундаментальные определения упругих констант. Закон Гука. Одноосная деформация. Одноосное напряжение. Всестороннее сжатие. Чистый сдвиг. Прочность и теоретическая прочность: понятие прочности с точки зрения механики твердого деформируемого тела; предельно достижимая прочность. Механизмы пластической деформации. Модели, описывающие соотношение между прочностью и упругими модулями. Концепция Холла-Пэтча и ее ограничения: строение границ зерен, предел текучести поликристаллов; механическое двойникование; эволюция дислокационной структуры при пластической деформации. Достижимость теоретического предела прочности в наноструктурированных материалах. Сверхтвердые материалы: особенности прочности ковалентных кристаллов; прочностные свойства материалов, образованных ковалентно связанными атомами углерода; особенности движения дислокаций при разных температурах в алмазе и кремнии; потеря устойчивости решетки и фазовые переходы как механизмы пластической деформации сверхтвердых материалов; ковалентные материалы с упругими модулями, превышающими алмаз.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, персональные компьютеры и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

## **6. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### Основная литература

1. Grimvall G. Thermophysical Properties of Materials. Elsevier, 1999.
2. Tinder R.F. Tensor Properties of Solids. Morgan & Claypool, 2008
3. Работнов Ю.Н. Механика твердого деформируемого тела. —М.: Наука, 1988.
4. Gilman J. J. CHEMISTRY AND PHYSICS OF MECHANICAL HARDNESS. John Wiley & Sons, Inc. 2009.
5. Морозов Е.М., Зернин М.В.. Контактные задачи механики разрушения. М.: Машиностроение, 1999.

### Дополнительная литература

1. Григорович В.К. «Твердость и микротвердость металлов - М.: Наука, 1976. - 230 с
2. Richard F. Tinder. Tensor Properties of Solids: Phenomenological Development of the Tensor Properties of Crystals. Morgan & Claypool, 2008
3. Sirdeshmukh D.B., Sirdeshmukh L., Subhadra K.G. Micro- and Macro-Properties of Solids. Springer, 2006
4. Журналы по физике твердого тела (Физика твердого тела, Кристаллография, ЖТФ, Письма в ЖТФ, Physical Review B, Journal of Applied Physics, Diamond and Related Materials и др.).

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Доступные через Internet научные и научно-технические журналы, электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса. Обеспечение самостоятельной работы - базы данных по журналам Physical Review B, Journal of Applied Physics, Diamond and Related Materials

## **8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

## **9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по итогам обучения**

Приложение

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**по направлению:** Прикладные математика и физика (магистратура)  
**профиль подготовки:** Химическая физика  
Факультет молекулярной и химической физики  
кафедра физики и химии наноструктур  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2(Весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** М.Ю. Попов, доктор наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Освоение дисциплины направлено на формирование у обучающегося следующих общекультурных (ОК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций:

способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);

способность выбирать цели своей деятельности и пути их достижения, прогнозировать последствия научной, производственной и социальной деятельности (ОПК-4);

способность самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств (ПК-1);

способность ставить, формализовать и решать задачи, уметь системно анализировать научные проблемы, генерировать новые идеи и создавать новое знание (ПК-2).

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физические основы прочности сверхтвердых материалов» обучающийся должен:

### знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

### уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

### владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

## 3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Пластичность и упругость

1. основные понятия динамики решетки - силовые константы и соотношение для модуля объемного сжатия
2. прочность и теоретическая прочность - определения и основные модели
3. механизмы пластической деформации
4. модели, описывающие соотношение между прочностью и упругими модулями
5. концепция Холла-Пэтча и ее ограничения



6. достижимость теоретического предела прочности в наноструктурированных материалах
7. сверхтвердые материалы - параметры, по которым определяется этот класс материалов

Влияние высоких давлений на механические свойства твердых тел

8. давление и напряжения
9. коэффициент и тензор Грюнайзена - определение понятия
10. различие динамического и статического нагружений
11. зависимость упругих модулей от давления
12. пьезоспектроскопия - основные понятия и соотношения

Некоторые задачи неупругости и механики разрушения

13. модель твердости в механике твердого деформируемого тела (соотношение между твердостью и пределом текучести)
14. трещиностойкость - определение понятия
15. износостойкость - определение понятия
16. соотношение между трещиностойкостью, твердостью и износостойкостью

Основы экспериментальных методов исследования механических свойств сверхтвердых материалов

17. твердость
18. прочность и упругие модули
19. износостойкость
20. трещиностойкость

#### 4. Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного дифференциального зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференциальном зачете не должен превышать одного астрономического часа.