

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Неравновесная термодинамика и фазовые переходы
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: В.Д. Бланк, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии наноструктур 29.05.2020

Аннотация

Курс: "Неравновесная термодинамика и фазовые переходы" предусматривает освещение основных законов и важнейших приложений термодинамики, статистической физики и кинетики, происходящих в макроскопических системах. Если статистическая термодинамика изучает равновесные состояния макроскопических систем, то физическая кинетика изучает неравновесные состояния и процессы, то есть процессы перехода системы из неравновесного в равновесное состояние.

Задачи дисциплины:

выработать у студентов систематические знания статистической физики вместе с термодинамикой о связях различных физических утверждений современных методах химии твердого тела, Ознакомить студентов с особенностями протекания твердофазных реакций, познакомить их с общими закономерностями, связывающими особенности кристаллического строения твердых тел с их физическими свойствами.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- основные свойства современных кристаллических материалов, физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях их обработки и эксплуатации, их взаимосвязь со свойствами;
- понятие о кристалле, кристаллической решётке и её элементах, элементы симметрии кристаллов;
- электронное строение атомов и молекул, основы теории химической связи в соединениях разных типов, основные закономерности протекания реакций и характеристики равновесного состояния.

Уметь:

- объяснять характер взаимосвязи между составом, строением и свойствами веществ;
- устанавливать взаимосвязь между получением и составом кристаллов;
- решать типовые задачи, связанные с основными разделами физики, использовать физические законы;
- использовать основные химические законы и термодинамические справочные данные.

Владеть:

- методами определения физико-химических свойств неорганических соединений;
- методами поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях, техническими и программными средствами защиты информации при работе с компьютерными системами;
- методами проведения физических измерений, методами корректной оценки погрешностей при проведении физического эксперимента;
- теоретическими методами описания свойств простых и сложных веществ на основе электронного строения их атомов, экспериментальными методами определения физико-химических неорганических соединений.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Основные принципы статистики
2. Термодинамические величины
3. Распределение Гиббса, Ферми и Бозе
4. Равновесие фаз. Растворы
5. Флуктуации
6. Фазовые переходы

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

освещение основных законов и важнейших приложений термодинамики, статистической физики и кинетики, происходящих в макроскопических системах. Если статистическая термодинамика изучает равновесные состояния макроскопических систем, то физическая кинетика изучает неравновесные состояния и процессы, то есть процессы перехода системы из неравновесного в равновесное состояние.

Задачи дисциплины

выработать у студентов систематические знания статистической физики вместе с термодинамикой о связях различных физических утверждений современных методах химии твердого тела, Ознакомить студентов с особенностями протекания твердофазных реакций, познакомить их с общими закономерностями, связывающими особенности кристаллического строения твердых тел с их физическими свойствами.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные свойства современных кристаллических материалов, физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях их обработки и эксплуатации, их взаимосвязь со свойствами;
- понятие о кристалле, кристаллической решётке и её элементах, элементы симметрии кристаллов;
- электронное строение атомов и молекул, основы теории химической связи в соединениях разных типов, основные закономерности протекания реакций и характеристики равновесного состояния.

уметь:

- объяснять характер взаимосвязи между составом, строением и свойствами веществ;
- устанавливать взаимосвязь между получением и составом кристаллов;
- решать типовые задачи, связанные с основными разделами физики, использовать физические законы;
- использовать основные химические законы и термодинамические справочные данные.

владеть:

- методами определения физико-химических свойств неорганических соединений;
- методами поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях, техническими и программными средствами защиты информации при работе с компьютерными системами;
- методами проведения физических измерений, методами корректной оценки погрешностей при проведении физического эксперимента;
- теоретическими методами описания свойств простых и сложных веществ на основе электронного строения их атомов, экспериментальными методами определения физико-химических неорганических соединений.

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	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основные принципы статистики	5			3
2	Термодинамические величины	5			3
3	Распределение Гиббса, Ферми и Бозе	5			3
4	Равновесие фаз. Растворы	5			3
5	Флуктуации	5			2
6	Фазовые переходы	5			1
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: 8 (Весенний)

1. Основные принципы статистики

Задачи и проблемы курса. Статистическое распределение. Теорема Лиувилля. Энтропия.

2. Термодинамические величины

Характеристики основных термодинамических величин.

3. Распределение Гиббса, Ферми и Бозе

Микроканоническое распределение Гиббса. Каноническое распределение Гиббса. Функция распределения, подчиняющаяся статистике Ферми и статистике Бозе.

4. Равновесие фаз. Растворы

Условия равновесия двух фаз друг с другом. Правило фаз. Соприкосновение фаз растворителя.

5. Флуктуации

Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Флуктуации в идеальном газе.

6. Фазовые переходы

Фазовые переходы. Классификация фазовых переходов.

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

При чтении лекционного курса используются таблицы, слайды, проектор. При оформлении отчета по индивидуальным заданиям проводится математическая обработка результатов с использованием микрокалькуляторов и персональных компьютеров.

При выполнении самостоятельных работ студентам необходим доступ в сеть интернет, наличие учебно-методической литературы.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

- 1) A.R. West, Anthony R. Solid state chemistry and its applications // John Wiley & Sons, Ltd, 2014, 584 pp.
- 2) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1. Изд. Наука, Москва, 2008 г.
- 3) Воробьева Т.Н., Кулак А.И. Химия твердого тела: Учеб. пособие / Мн: БГУ, 2004. –148 с.
- 4) Физическое материаловедение: Учебник для вузов / Под общей ред. Б. А. Калина. Т. 1. Физика твердого тела. –М.: МИФИ, 2007. –636 с.

Дополнительная литература

- 1) Кнотько А.В. Химия твердого тела: учебное пособие для студентов ВУЗов // М.: Издательский центр «Академия», 2006, 304 с.
- 2) Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела // М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001, 331 с.

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

При выполнении самостоятельных работ студентам необходим доступ в сеть интернет

- 1) Alloy Phase Diagram Database
(<http://www1.asminternational.org/asmenterprise/apd/AdvancedSearchAPD.aspx>)
- 2) WebElements: the periodic table on the web (<http://www.webelements.com/>)

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

не предусмотрены.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

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 к преподавателю.

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

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	В.Д. Бланк, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Неравновесная термодинамика и фазовые переходы» обучающийся должен:

знать:

- основные свойства современных кристаллических материалов, физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях их обработки и эксплуатации, их взаимосвязь со свойствами;
- понятие о кристалле, кристаллической решётке и её элементах, элементы симметрии кристаллов;
- электронное строение атомов и молекул, основы теории химической связи в соединениях разных типов, основные закономерности протекания реакций и характеристики равновесного состояния.

уметь:

- объяснять характер взаимосвязи между составом, строением и свойствами веществ;
- устанавливать взаимосвязь между получением и составом кристаллов;
- решать типовые задачи, связанные с основными разделами физики, использовать физические законы;
- использовать основные химические законы и термодинамические справочные данные.

владеть:

- методами определения физико-химических свойств неорганических соединений;
- методами поиска и обмена информацией в глобальных и локальных компьютерных сетях, техническими и программными средствами защиты информации при работе с компьютерными системами;
- методами проведения физических измерений, методами корректной оценки погрешностей при проведении физического эксперимента;
- теоретическими методами описания свойств простых и сложных веществ на основе электронного строения их атомов, экспериментальными методами определения физико-химических неорганических соединений.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Определение химической связи, с помощью каких параметров ее характеризуют?

2. Как меняется энергия системы при сближении двух атомов, имеющих неспаренные электроны с параллельными спинами? с антипараллельными спинами? Почему в последнем случае возрастание сил притяжения не компенсируется возрастанием сил отталкивания?
3. Что такое длина связи? Одинакова ли длина и прочность связи О – Н в молекуле пара, воды и во льду? Почему?
4. Что общего и в чем различие между связями: ионной и ковалентной? ионной и металлической? ковалентной и металлической? ковалентной и водородной? водородной и межмолекулярной? межмолекулярной и ионной?
5. Типы кристаллических решеток. Как объяснить хрупкость веществ с ковалентной и ионной решеткой и пластичность. С металлической?
6. Чем определяется энергия ориентационных, индукционных и дисперсионных взаимодействий? Почему в энергию межмолекулярных взаимодействий в случае воды больше вклад ориентационных взаимодействий, а в случае хлорида водорода дисперсионных? Можно ли идеальный газ использовать как рабочее вещество холодильника? Обосновать ответ.
7. Объясните, почему реакции между твердыми телами в большинстве случаев проходят медленно. Каким образом можно увеличить скорость таких реакций?
8. Какие факторы следует учитывать при постановке кинетического исследования твердофазной реакции, например, между порошкообразными MgO и Al_2O_3 , образующими шпинель $MgAl_2O_4$? Какие выводы можно сделать на основании результатов этого эксперимента?
9. Твердофазные реакции, лимитируемые диффузией. Реакции типа $АТВ + ВТВ = АВТВ$. Таблеточный метод Вагнера (теория Вагнера) при изучении механизма образования Ag_2HgI_4 .
10. Полагая, что протекание некоторой твердофазной реакции лимитируется диффузионными процессами, оцените энергию активации диффузии, если уменьшение размера частиц в 10 раз при $500^{\circ}C$ приводит к ускорению его эквивалентному увеличению температуры до $600^{\circ}C$.
11. Основные проблемы при синтезе твердых материалов.
12. Методы синтеза поликристаллических материалов.
13. Методы получения монокристаллов (рост кристаллов из газовой фазы, рост кристаллов из расплава).
14. Получение эпитаксиальных пленок полупроводников.
15. Химическая гомогенизация поверхности твердых тел.
16. Почему с понижением температуры расплава, начиная с какого-то момента, кристаллизация может замедляться?
17. Какое влияние на структуру пленок, получаемых из паровой фазы, оказывает температура подложки?
18. Как обеспечить постоянство состава монокристалла при его выращивании методом Чохральского?
19. Как очистить от примеси германия кремний?
20. Основываясь на диаграмме состояния углерода, опишите условия, необходимые для синтеза алмазов.
21. Каковы условия очистки металлов методом газотранспортных реакций?
22. Постройте фазовую диаграмму системы $Al_2O_3-SiO_2$ по следующим данным: Al_2O_3 и SiO_2 плавятся при 2060 и $1720^{\circ}C$; эти компоненты образуют одно соединение $Al_6Si_2O_{13}$, конгруэнтно плавящееся при $1850^{\circ}C$; в системе имеются эвтектики при 1595 и $1840^{\circ}C$ (при 5 и 67 мол.% Al_2O_3). Сравните полученную диаграмму с литературными данными.
23. Поясните на примерах различие между понятиями «фаза» и «компонент». При каких условиях компонент может рассматриваться как фаза?
24. На основании фазовой диаграммы системы $MgO - Al_2O_3$ опишите превращения, которые должны происходить при охлаждении жидкости, содержащей 40 мол.% MgO , 60 мол.% Al_2O_3 . Могут ли быть получены другие продукты, если использовать высокие скорости охлаждения?
25. В тройной системе $A-B-C$ имеется одно тройное соединение X , бинарные соединения отсутствуют, а) Выполните триангуляцию субсолидусного изотермического сечения диаграммы, б) Предполагая, что X плавится конгруэнтно, постройте изотермическую проекцию диаграммы плавкости и покажите на ней три тройные эвтектики, три температурных максимума и шесть пограничных моновариантных кривых.

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 дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.