

Белорусский государственный университет



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.И. Чуприс

«16» апреля 201 9 г.

Регистрационный № УД-7445 уч.

ТЕРМОДИНАМИКА СИСТЕМ ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

направление специальности:

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

2019 г. _____

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 01-2013, учебного плана № G31-163/уч., № G31и-174/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Колесов Е.А. – старший преподаватель кафедры энергофизики физического факультета Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Гринчук Павел Семенович – заведующий отделением теплофизики Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор физико-математических наук,

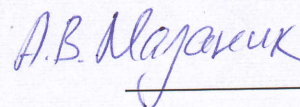
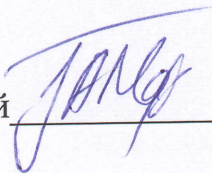
Соловей Дмитрий Владимирович – старший научный сотрудник лаборатории радиационно-конвективного теплообмена Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики
(протокол № 12 от 23.05.2019);

Советом физического факультета
(протокол № 12 от 27.06.2019)

Заведующий кафедрой



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Термодинамика систем пониженной размерности» разработана для специальности 1-31 04 01 Физика, направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность), специализации 1-31 04 01-01 07 «Энергофизика».

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – ознакомление студентов с основами применения термодинамики к описанию свойств систем пониженной размерности и наноструктур, а также с физико-химическими процессами, протекающими в системах пониженной размерности.

Задачи учебной дисциплины:

1. Овладение понятийно-терминологическими определениями термодинамики малых систем.
2. Формирование представлений об ограничениях классической термодинамики и методах термодинамического описания систем пониженной размерности.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования.

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

Данная учебная дисциплина основывается на дисциплине «Термодинамика и статистическая физика».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Термодинамика систем пониженной размерности» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
- ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.
- ПК-15. Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- ограничения классической термодинамики;
- основные подходы термодинамики малых систем;
- особенности теплофизики систем пониженной размерности.

уметь:

- выбирать подход термодинамики малых систем для анализа конкретной системы;
- решать задачи, связанные с определением термодинамических свойств наноматериалов;
- разрабатывать математические модели тепловых процессов, протекающих в системах пониженной размерности.

владеть:

- навыками применения подходов термодинамики систем пониженной размерности к решению теоретических и прикладных задач;
- навыками математического моделирования термодинамических свойств наноматериалов.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 8 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Термодинамика систем пониженной размерности» отведено 46 часов, в том числе 20 аудиторных часов, из них: лекции – 16 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1,5 зачетных единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Типы систем пониженной размерности. Ограничения классической термодинамики.

Тема 1.1. Трех-, двух-, одно- и нульмерные нанообъекты. Кластеры и кластерные кристаллы. Углеродные наноструктуры.

Тема 1.2. Ограничения классической термодинамики. Отмена термодинамического предела. Нарушение концепции о фазовых состояниях.

Раздел 2. Термодинамика наночастиц, наноматериалов и наноструктур.

Тема 2.1. Сравнение подходов термодинамики малых систем. Учет вклада поверхностной энергии.

Тема 2.2. Нанотермодинамика Хилла.

Тема 2.3. Химический подход к описанию систем пониженной размерности.

Тема 2.4. Статистическая термодинамика систем пониженной размерности.

Раздел 3. Термодинамика неэкстенсивных и квантовых систем.

Тема 3.1. Неэкстенсивная статистическая термодинамика. Неравновесная термодинамика с учетом флуктуационных теорем и динамических уравнений.

Тема 3.2. Основные понятия квантовой термодинамики.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Типы систем пониженной размерности. Ограничения классической термодинамики.	4							
1.1	Трех-, двух-, одно- и нульмерные нанообъекты. Кластеры и кластерные кристаллы. Углеродные наноструктуры.	2						[1-2]	
1.2	Ограничения классической термодинамики. Отмена термодинамического предела. Нарушение концепции о фазовых состояниях.	2						[3-4], [1д-5д]	
2	Термодинамика наночастиц, наноматериалов и наноструктур.	8					2		
2.1	Подходы термодинамики малых систем. Учет вклада поверхностной энергии.	2						[1-3], [6-7]	
2.2	Нанотермодинамика Хилла.	2						[4], [1д]	
2.3	Химический подход к описанию систем пониженной размерности.	2						[1-2, 5, 8]	
2.4	Статистическая термодинамика систем пониженной размерности.	2					2	[7], [1д-2д]	Защита рефератов
3	Термодинамика неэкстенсивных и квантовых систем.	4					2		
3.1	Неэкстенсивная статистическая термодинамика. Неравновесная термодинамика с учетом флуктуационных теорем и динамических уравнений.	2						[7], [3д-5д]	
3.2	Основные понятия квантовой термодинамики.	2					2	[9-10], [6д]	Защита рефератов

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Барыбин А. А. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур. / А. А. Барыбин, В. А. Бахтина, В. И. Томилин, Н. П. Томилина. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011. — 236 с.
2. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006. – 592 с.
3. Родунер Э. Размерные эффекты в наноматериалах. М.: Техносфера, 2010. – 352 с.
4. Павлов, В. А. Отличия нанотермодинамики от классической термодинамики / В. А. Павлов // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2010. – Сер. 4. – Вып. 1. – С. 24-28.
5. Зимон А. Д., Павлов А. Н. Коллоидная химия наночастиц. М.: Научный мир, 2012. – 224 с.
6. Ролдугин В. И. Физикохимия поверхности. 2-е изд., испр. – Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2011. – 564 с.
7. Булер П. Нанотермодинамика. СПб: Янус, 2004. – 155 с.
8. Русанов, А. И. Нанотермодинамика: химический подход / А. И. Русанов // Рос. Хим. Ж. – 2006. – Т. 1(2). – С. 145-151.
9. Рудаков Е. С. Молекулярная, квантовая и эволюционная термодинамика (развитие и специализация метода Гиббса). Донецк: Донецкий госуниверситет, 1998. – 140 с.
10. Байков В. И., Павлюкевич Н. В. Теплофизика. Термодинамика и статистическая физика. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 448 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Hill T.L. Thermodynamics of Small Systems. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1965 (ed. 2013) – 210 p.
2. Rowlinson, J. S. Statistical thermodynamics of small systems and interfaces / J. S. Rowlinson // Pure & Appl. Chem. – 1987. – Vol. 59. – P. 15-24.
3. Tsallis, C. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics / C. Tsallis // J. Stat. Phys. – 1988. – Vol. 52. – P. 479-487.
4. Fluctuation Theorems / E.M. Sevick, R. Prabhakar, S. R. Williams, D. J. Searles // Annu. Rev. Phys. Chem. – 2008. – Vol. 59. – P. 633-603.
5. Rubí, J. M. Non-equilibrium thermodynamics of small-scale systems / J. M. Rubí // Energy. – 2007. – Vol. 32. – P. 297-300.
6. Gemmer, J. Quantum Thermodynamics. Emergence of Thermodynamic Behavior Within Composite Quantum Systems (2nd ed.) / J. Gemmer, M. Michel, G. Mahler. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004 (ed. 2009). – 346 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для диагностики и контроля знаний рекомендуется использовать следующие средства:

1. Выборочный устный контроль на лекциях;
2. Проверка конспектов лекций обучающихся;
3. Написание и защита реферативных работ.

Оценка за ответы на лекциях включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, приведение конкретных примеров существующих систем пониженной размерности и процессов, протекающих в них.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций длительностью до 20 минут с последующей дискуссией. При оценивании реферата (доклада) обращается внимание на: содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию, самостоятельно найденные студентом источники помимо рекомендуемой литературы, уровень подготовки студентом устного доклада и презентации, ответы на дополнительные вопросы аудитории и преподавателя по реферату. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

При допуске студента к зачету используется оценка за текущую успеваемость, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Формирование оценки за текущую успеваемость:

- ответы на лекциях и семинарских занятиях – 50 %;
- подготовка реферата – 50 %.

При оценке текущей успеваемости 4 балла и более студенты допускаются к зачету. При оценке ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к зачету, и им назначается срок выполнения и защиты реферативных работ.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 2. Термодинамика наночастиц, наноматериалов и наноструктур.

Подготовить реферат на свободную или предложенную тему.
(Форма контроля – защита реферата с электронной презентацией).

Тема 3. Термодинамика неэкстенсивных и квантовых систем.

Подготовить реферат на свободную или предложенную тему.
(Форма контроля – защита реферата с электронной презентацией).

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются следующие подходы:

эвристический подход, который предполагает демонстрацию многообразия решений большинства научных задач, творческую самореализацию обучающихся в процессе анализа проблем и индивидуализацию обучения через возможность осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности;

практико-ориентированный подход, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач, ориентацию на генерирование идей, а также использование процедур, обеспечивающих формирование профессиональных компетенций;

метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в контролируемом целенаправленном обмене идеями для коллективного решения научных проблем.

Использование данных методов обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Темы реферативных работ могут быть выбраны из предложенного списка, либо сформулированы самостоятельно после консультации с преподавателем. Для наиболее плодотворной организации самостоятельной работы студентов по написанию реферативных работ рекомендуется использование не только предложенных, но и самостоятельно найденных литературных источников. При написании работы обучающимся следует провести поиск и систематизацию новейших исследований по термодинамическим свойствам систем пониженной размерности в рамках выбранной тематики. Для наивысшей оценки реферативной работы обобщение материала и выводы на его основе должны быть выполнены с использованием междисциплинарного подхода; кроме того, для стимуляции творческих способностей обучающимся также следует сделать заключение о перспективах развития выбранной тематики в ближайшие годы.

Темы реферативных работ

1. Термодинамические свойства нанопроводов.
2. Термодинамические свойства нанотрубок.
3. Термодинамические свойства тонких пленок.
4. Термодинамика наножидкостей.
5. Термодинамика двумерных материалов: «объемная» двумерная фаза.

6. Термодинамика двумерных материалов: края и границы.
7. Термодинамика двумерных материалов: молекулярные силы на интерфейсе.
8. Термодинамические свойства бинарных нанодисперсных растворов.
9. Термодинамические свойства коллоидно-дисперсных систем.
10. Равновесие химической реакции с участием нанодисперсных веществ.
11. Термодинамика заряженных коллоидных растворов.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Трех-, двух-, одно- и нульмерные нанообъекты. Кластеры и кластерные кристаллы. Углеродные наноструктуры.
2. Ограничения классической термодинамики.
3. Сравнение подходов термодинамики малых систем.
4. Учет вклада поверхностной энергии.
5. Нанотермодинамика Хилла.
6. Химический подход к описанию систем пониженной размерности.
7. Статистическая термодинамика систем пониженной размерности.
8. Неэкстенсивная статистическая термодинамика.
9. Неравновесная термодинамика с учетом флуктуационных теорем и динамических уравнений.
10. Основные понятия квантовой термодинамики.
11. Физическая и химическая адсорбция. Двумерная конденсация.
12. Термодинамика зародышеобразования.
13. Кинетика зародышеобразования. Механизмы формирования новой фазы.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

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)
Тепло- и массообмен в сплошных средах	Кафедра энергофизики	Нет	Оставить содержание без изменения протокол № 12 от 23.05.2019

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

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

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета
