

Министерство образования Республики Беларусь

*Учреждение образования*  
«Белорусский государственный педагогический университет  
имени Максима Танка»

*С.А. Василевский, В.Н. Котло, И.А. Вабищевич*

# **МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**

*Курс лекций*

Минск 2008

УДК 539.19(075.8)

ББК 22.36я73

В19

Печатается по решению редакционно-издательского совета БГПУ,  
рекомендовано секцией физико-математических и технических наук  
(протокол № 18 от 03.06.08)

**Рецензенты:**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики БГТУ  
*К.И. Рудик*;

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической  
и экспериментальной физики БГПУ *О.А. Новицкий*

**Василевский, С.А.**

Молекулярная физика и термодинамика : курс лекций / С.А. Василевский,  
В.Н. Котло, И.А. Вабищевич. – Минск : БГПУ, 2008. – 192 с.

ISBN 978-985-501-611-4.

В пособии рассматриваются теоретические аспекты молекулярной физики и термодинамики и их практическая реализация. Материал излагается последовательно, дается подробно вывод формул и закономерностей. Предлагаются рисунки, схемы и графики.

Адресуется студентам физико-математических специальностей БГПУ, преподавателям вузов, учителям школ и гимназий. Может использоваться при подготовке к экзаменам, лабораторным и семинарским занятиям.

УДК 539.19(075.8)  
ББК 22.36я73

© Василевский С.А., Котло В.Н.,  
Вабищевич И.А., 2008  
© БГПУ, 2008

ISBN 978-985-501-611-4

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества преподавания физики как в вузах, так и в школах, колледжах, лицеях требует совершенствования педагогических и информационных технологий обучения. Таким образом, проблемы научного обоснования содержания и структуры учебной литературы по курсу общей физики, ее создания и введения в учебный процесс являются актуальными.

Настоящее пособие написано в соответствии с типовой учебной программой по физике для педагогических вузов, разработанной в соответствии со стандартом высшего образования по специальности 1-02.05.04 «Физика. Дополнительная специальность». Предлагаемый курс лекций «Молекулярная физика и введение в термодинамику» – результат многолетнего опыта преподавательской деятельности авторов в БГПУ.

Цель курса – изложить основные теоретические и экспериментальные вопросы молекулярной физики и термодинамики, предложить студентам материал, необходимый для самостоятельной работы. Уделено внимание объяснению физического смысла изучаемых явлений, применена полекционная нумерация формул и рисунков.

Разделы пособия структурированы следующим образом: теоретический материал, примеры его практического применения и обоснование рассматриваемого явления. Некоторые вопросы изложены конспективно и выносятся на самостоятельную разработку. Теория подносится корректно как с научной, так и с практической точек зрения.

Авторы выражают надежду, что данное пособие будет способствовать глубокому и осмысленному усвоению студентами основных понятий и закономерностей молекулярной физики и термодинамики, развитию их творческого мышления, выработке самостоятельно находить и использовать теоретические знания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цэдрык М.С. Курс агульнай фізікі. – Мінск, 1994.
2. Кинкоин А.К., Кикоин М.К. Молекулярная физика. – М., 1976.
3. Телесин Р.В. Молекулярная физика. – М., 1973.
4. Шебалин С.Д. Молекулярная физика. – М., 1978
5. Савельев Н.В. Курс общей физики. Т. 1. – М., 1977.
6. Яковлев Н.Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика. М., 1976.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ</b> .....	<b>4</b>
<b>Лекция 1.</b> Предмет молекулярной физики. Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ) вещества и их экспериментальное обоснование. Флуктуации и их проявления. Статистический и термодинамический подходы к изучению макроскопических систем .....	4
<b>Лекция 2.</b> Давление газа. Абсолютная температура. Молекулярно-кинетическое обоснование абсолютной температуры и давления. Измерение давления и температуры.....	11
<b>Лекция 3.</b> Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Постоянная Больцмана. Температура и давление как статистические величины.....	16
<b>Лекция 4.</b> Уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная. Основные газовые законы .....	22
<b>Лекция 5.</b> Измерение скоростей молекул. Распределение скоростей молекул по Максвеллу. Опыт Штерна. Опытная проверка распределения молекул по скоростям .....	29
<b>Лекция 6.</b> Газ в силовом поле. Барометрическая формула. Распределение Максвелла – Больцмана. Экспериментальное определение числа Авогадро .....	37
<b>РАЗДЕЛ 2. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ГАЗАХ</b> .....	<b>43</b>
<b>Лекция 7.</b> Средняя длина и среднее время свободного пробега молекул. Явления переноса в газах. Диффузия.....	43
<b>Лекция 8.</b> Внутреннее трение (вязкость газов). Теплопроводность газов.....	49
<b>Лекция 9.</b> Теплопроводность и внутреннее трение при низких давлениях. Технический вакуум. Получение и методы измерения низких давлений .....	55
<b>РАЗДЕЛ 3. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ</b> .....	<b>64</b>
<b>Лекция 10.</b> Термодинамическая система (ТДС). Параметры состояния. Термодинамическое равновесие. Внутренняя энергия. Взаимодействие ТДС. Работа и теплота как форма обмена энергиями между ТДС. Равновесные и неравновесные процессы. Функции состояния и функции процесса .....	64
<b>Лекция 11.</b> Первое начало термодинамики. Применение I начала термодинамики к изопроцессам. Адиабатный процесс. Уравнение Пуассона. Скорость звука в газах.....	69
<b>Лекция 12.</b> Политропический процесс. Теплоемкость. Принцип равномерного распределения энергии по степеням свободы и границы его применимости .....	81
<b>Лекция 13.</b> Второе начало термодинамики. Невозможность создания вечных двигателей. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы. Тепловые машины. Цикл Карно.....	89
<b>Лекция 14.</b> Теоремы Карно. Реальные циклы. Приведенная теплота. Энтропия. Закон возрастания энтропии в изолированной системе .....	97
<b>Лекция 15.</b> Статистический характер II начала термодинамики. Теорема Нернста. Недостижимость абсолютного нуля температуры .....	106
<b>РАЗДЕЛ 4. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ</b> .....	<b>112</b>

<b>Лекция 16.</b> Отступление реальных газов от законов для идеальных газов. Взаимодействие молекул. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Критическое состояние. Экспериментальные изотермы реального газа. Сопоставление изотерм Ван-дер-Ваальса с экспериментальными изотермами .....	112
<b>Лекция 17.</b> Внутренняя энергия реального газа. Эффект Джоуля – Томсона. Сжижение газов. Получение низких температур .....	120
<b>Лекция 18.</b> Фазовые переходы I рода. Равновесие жидкости и пара. Свойства насыщенного пара. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Понятие о фазовых переходах II рода. Влажность воздуха. Особенности фазовых переходов воды и их роль в природе.....	131
<b>Лекция 19.</b> Свойства жидкого состояния. Поверхностный слой. Поверхностное натяжение. Смачивание. Формула Лапласа. Капиллярные явления.....	138
<b>Лекция 20.</b> Давление насыщенного пара над мениском. Растворы. Осмос. Осмотическое давление. Закон Вант – Гоффа.....	148
<b>РАЗДЕЛ 5. ТВЕРДЫЕ ТЕЛА .....</b>	<b>155</b>
<b>Лекция 21.</b> Аморфные и кристаллические тела. Анизотропия кристаллов. Классификация кристаллов по типу связей. Дефекты в кристаллах. Жидкие кристаллы .....	155
<b>Лекция 22.</b> Тепловые свойства кристаллов. Тепловое расширение. Теплоемкость кристаллов. Закон Дюлонга и Пти. Трудности классической физики в объяснении температурной зависимости теплоемкости твердых тел .....	164
<b>Лекция 23.</b> Плавление и кристаллизация. Диаграмма равновесия твердой, жидкой и газообразной фаз. Тройная точка .....	169
<b>РАЗДЕЛ 6. ГАЗОДИНАМИКА .....</b>	<b>174</b>
<b>Лекция 24.</b> Основное уравнение газодинамики. Адиабатное течение газов. Критическая скорость .....	174
<b>Лекция 25.</b> Движение со сверхзвуковой скоростью. Скачки уплотнения. Ударные волны. Число Маха. Реактивные двигатели. Многоступенчатые ракеты .....	180
<b>Литература .....</b>	<b>188</b>