

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический  
университет им. Л. Н. Толстого»

**Ю. В. Бобылев,  
А. И. Грибков,  
В. А. Панин,  
Р. В. Романов**

# **Термодинамика и молекулярная физика в задачах**

*Учебное пособие*

Тула  
Издательство ТГПУ им. Л. Н. Толстого  
2017

ББК 22.317я73  
Т35

*Рецензенты:*

доктор физико-математических наук, профессор *Ю. Ф. Головнёв*  
(Тульский государственный педагогический  
университет им. Л. Н. Толстого);  
доктор технических наук, профессор *В. В. Жигунов*  
(Тульский государственный университет)

**Термодинамика** и молекулярная физика в задачах: Учеб.  
Т35 пособие / Ю. В. Бобылев, А. И. Грибков, В. А. Панин, Р. В. Романов.—  
Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2017.— 179 с.  
ISBN 978-5-9909765-5-9

Данное пособие представляет собой сборник физических задач по термодинамике и молекулярной физике и является приложением к курсу, который читается авторами на протяжении ряда лет студентам, обучающимся по направлению 050100 Педагогическое образование профили «Физика» и «Математика». Также оно может быть полезно студентам, изучающим курс физики по другим направлениям и специальностям.

Большое количество задач разной степени трудности приведены с ответами и подробными решениями и предназначены главным образом студентам, занимающимся самообразованием.

Электронная версия, размещенная на сайте Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого, позволяет использовать данное пособие для дистанционного обучения.

ISBN 978-5-9909765-5-9

© Ю. В. Бобылев, А. И. Грибков,  
В. А. Панин, Р. В. Романов, 2017  
© ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2017

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие предназначено для проведения практических занятий по дисциплине «Термодинамика и молекулярная физика» и содержит задачи по всем разделам данного курса в диапазоне от простых до достаточно сложных. Материал соответствует образовательному минимуму, указанному в Государственном образовательном стандарте высшего образования и учебном плане.

Авторы данного пособия работают на факультете математики, физики и информатики Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого более 25 лет и неоднократно читали в рамках курсов общей и теоретической физики различные дисциплины и спецкурсы, связанные с тепловыми процессами.

Первое издание данного практикума [1] вышло в 2005 году и в течение 10 лет использовалось в работе со студентами, однако оно содержало только тексты задач и ответы, и, как показал опыт, в сложившейся ситуации, когда акцент делается на самостоятельную работу студентов, такое построение пособия является недостаточным.

При работе над этим изданием использованы материалы многих популярных задачников, однако тексты ряда задач изменены, исправлены, проверены ответы и т. д. Все задачи снабжены подробными пошаговыми решениями. Авторы считают, что такая подача материала окажет серьезную помощь студентам, которые по тем или иным причинам не могут посещать или посещают нерегулярно аудиторные занятия и занимаются самостоятельно.

Имеется большое количество задач с построением и анализом графиков, чему ранее уделялось недостаточно внимания.

Количество задач превышает возможность их решения за одно занятие, так что у преподавателя есть выбор в определении необходимого материала, учитывая уровень подготовки группы и личные пожелания студентов.

Пособие структурировано по количеству практических занятий, отведенных учебным планом для изучения данной дисциплины.

Тексты контрольных работ не приводятся, однако уровень сложности задач не выходит за рамки типовых.

Все справочные данные приведены в тексте задач или в начале пособия.

Каждый раздел практикума снабжен кратким теоретическим введением.

В качестве основной использована Международная система единиц (СИ), однако в условиях задач приводится много несистемных, но широко известных единиц.

Также в решениях приведены подробные расчёты. Авторы считают крайне необходимым приучать студентов к аккуратности в вычислениях. Сначала желательно провести устный счёт, так как он практически всегда даёт верный порядок числа и первую цифру, а затем проверить себя, используя все возможности калькулятора.

Опыт издания похожего пособия «Электродинамика в задачах» [2] показал полезность такого подхода, тем более что в сети Интернет можно найти решения большинства задач, но далеко не всегда корректные.

Более ранняя версия этого пособия подготовлена в формате web-документа и размещена на сервере университета, что дает возможность использовать материал не только студентам дневного отделения, но и при дистанционном обучении. Желающие могут уточнить адрес, связавшись с авторами по электронной почте [physics@tspu.tula.ru](mailto:physics@tspu.tula.ru)

Следует также отметить, что настоящее пособие при некотором сокращении может быть полезно студентам других специальностей и направлений, в учебных планах которых есть дисциплина «Физика».

Авторы выражают благодарность выпускникам 2004 года Е. Ю. Поповой и А. А. Файзуллину за техническую помощь при подготовке оригинал-макета и электронной версии.

Будем крайне признательны за указанные устно или письменно фактические или полиграфические ошибки.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <b>Предисловие</b> .....   | 3   |
| <b>Физические константы</b> .....                                  | 5   |
| §1. Физические параметры атомов и молекул .....                    | 8   |
| <b>Законы идеального газа</b> .....                                | 13  |
| §2. Законы идеального газа .....                                   | 14  |
| §3. Законы идеального газа .....                                   | 22  |
| §4. Законы идеального газа (смеси газов) .....                     | 31  |
| §5. Контрольная работа №1 «Законы идеального газа» .....           | 39  |
| <b>Законы термодинамики</b> .....                                  | 40  |
| §6. Уравнение теплового баланса .....                              | 43  |
| §7. Первое начало термодинамики .....                              | 47  |
| §8. Процессы в газах .....   | 53  |
| §9. Процессы в газах (продолжение) .....                           | 59  |
| §10. Процессы в газах и тепловые машины .....                      | 66  |
| §11. Тепловые машины .....   | 72  |
| §12. Энтропия .....  | 78  |
| §13. Контрольная работа №2 «Законы термодинамики» .....            | 81  |
| <b>Молекулярная физика</b> .....                                   | 82  |
| §14. Основное уравнение МКТ. Квадратичная скорость .....           | 84  |
| §15. Функции распределения .....                                   | 89  |
| §16. Распределения .....   | 96  |
| §17. Молекулярно-кинетическая теория .....                         | 104 |
| §18. Барометрическая формула .....                                 | 109 |
| §19. Барометрическая формула (продолжение) .....                   | 115 |
| §20. Контрольная работа №3 «Молекулярно-кинетическая теория» ..... | 119 |
| <b>Явления переноса. Свойства реальных газов</b> .....             | 120 |
| §21. Столкновения. Явления переноса .....                          | 121 |
| §22. Столкновения. Явления переноса (продолжение) .....            | 128 |
| §23. Реальные газы. Газ Ван-дер-Ваальса .....                      | 137 |
| §24. Реальные газы. Газ Ван-дер-Ваальса (продолжение) .....        | 144 |
| <b>Агрегатные состояния вещества. Фазовые переходы</b> .....       | 151 |
| §25. Поверхностные свойства жидкости. Капилляры .....              | 152 |
| §26. Капиллярные явления .....                                     | 159 |
| §27. Твердое тело. Фазовые переходы .....                          | 166 |
| §28. Контрольная работа №4 или «Итоговая контрольная работа» ..... | 170 |
| <b>Дополнительные задачи</b> .....                                 | 171 |
| <b>Рекомендуемые сборники задач и учебники</b> .....               | 176 |
| <b>Литература</b> .....  | 176 |