



Московский педагогический
государственный университет

Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития

**Материалы V Международной
научно-методической конференции**

г. Москва, 4-7 марта 2019 г.

Электронное издание сетевого распространения

**Москва
2020**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский педагогический государственный университет»**



**Физико-математическое
и технологическое образование:
проблемы и перспективы развития**

**Материалы V Международной
научно-методической конференции**

г. Москва, 4-7 марта 2019 г.

Электронное издание сетевого распространения

МПГУ
Москва • 2020

УДК 372.8:50+372.8:62
ББК 74.262.2я431+74.263.0я431+2р30я431+3р30я431
Ф503

Программный комитет:

Болотова Е.Л. – доктор педагогических наук, проректор по учебной работе
Исаев Д.А. – доктор педагогических наук, директор Института физики, технологии и информационных систем
Пурешева Н. С. — доктор педагогических наук, профессор
Шаронова Н.В. — доктор педагогических наук, профессор
Чулкова Г.М. – доктор физико-математических наук, профессор
Разумовская И.В. — доктор химических наук, профессор
Королев М.Ю. — доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор
Субочева М.Л. — доктор педагогических наук, профессор
Харичева Д.Л. — доктор технических наук, профессор
Хотунцев Ю.Л. — доктор физико-математических наук, профессор

Ф503 **Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития** : материалы V Международной научно-методической конференции, г. Москва, 4-7 марта 2019 г. / отв. ред. С. В. Лозовенко [Электронное издание сетевого распространения]. – Москва : МПГУ, 2020. – 524 с.

ISBN 978-5-4263-0863-3

В сборник включены материалы V Международной научно-методической конференции «Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития», состоявшейся 4-7 марта 2019 г. в Институте физики, технологии и информационных систем Московского педагогического государственного университета. Статьи тематически разделены по секциям: «Профессионально-методическая подготовка учителей физики, технологии и астрономии», «Преподавание физики, математики, технологии и астрономии в высшей школе», «Естествознание в школе и в вузе», «Актуальные проблемы школьного физического образования», «Актуальные проблемы школьного технологического образования».

УДК 372.8:50+372.8:62
ББК 74.262.2я431+74.263.0я431+2р30я431+3р30я431

ISBN 978-5-4263-0863-3

© МПГУ, 2020
© Коллектив авторов, 2020

**Изучение адиабатного расширения газа в курсе общей
физики**
**Studying adiabatic expansion of gas in the course of general
physics**

Ревинская О.Г.

Кандидат педагогических наук, доцент,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
заведующая лабораторией
ogr@tpu.ru

Revinskaya O.G.

Candidate of Pedagogical Sciences, docent,
National Research Tomsk Polytechnic University,
laboratory manager

Кравченко Н.С.

Кандидат физико-математических наук, доцент,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
kravchenkons@tpu.ru

Kravchenko N.S.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent,
National Research Tomsk Polytechnic University

Аннотация. Проанализированы трудности, препятствующие экспериментальному изучению адиабатного расширения реальных газов в лабораторном практикуме курса общей физики. Недостаточное экспериментальное сопровождение этой темы предлагается компенсировать авторской методикой изучения модели газа Ван-дер-Ваальса на компьютере. В основу методики положено использование авторской программы, воспроизводящей модель реального газа в широком диапазоне температур и давлений и его адиабатное расширение тремя способами.

Ключевые слова: реальные газы; идеальные газы; газ Ван-дер-Ваальса; теплоемкость газа; компьютерная лабораторная работа; методика обучения.

Abstract. The difficulties interfering experimental studying of adiabatic expansion of real gases in a laboratory practical work of a course of the general physics are analyzed. Insufficient experimental maintenance of this subject is offered to be compensated by an author's technique of studying of model of gas of Van der Waals on the computer. Use of the author's program reproducing model of real gas in the wide temperature range and pressure and its adiabatic expansion in three ways is the basis for a technique.

Keywords: real gases; ideal gases; Van der Waals gas; heat capacity of gas; computer laboratory work; teaching methods.

Реальным газам, их адиабатному расширению и сжатию посвящена значительная часть теоретического материала раздела «Термодинамика» в курсе общей физики [1; 6]. Но в лабораторном практикуме работы по изучению расширения реальных газов, как правило, отсутствуют [2; 3]. Это связано с объективными условиями проведения лабораторных занятий по общей физике. Традиционно они проводятся при нормальных условиях, при которых практически все газы ведут себя как идеальные. При высокой температуре и высоком давлении поведение газов начинает отличаться от поведения идеального газа. Чтобы создать такие условия в лаборатории требуется специальное оборудование и меры по обеспечению безопасности. Поэтому в большинстве вузов натурные работы по изучению расширения реальных газов в курсе общей физики не могут быть поставлены.

С другой стороны, физиками (особенно теплофизиками) предложено большое количество моделей, описывающих поведение реального газа в тех или иных условиях. Учитывая современные возможности программирования, некоторые из этих моделей можно использовать для изучения расширения реальных газов на компьютере. Более того, выбор модели для изучения в курсе общей физики на первый взгляд кажется очевидным – газ Ван-дер-Ваальса. Эта модель описывает малые отклонения поведения газа от поведения идеального газа, что выражается простым физически понятным уравнением $p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$ (где p , T , V – давление, температура и молярный объем газа соответственно) и многократно используется при изложении теоретического материала, чтобы проиллюстрировать принципиальные отличия между реальными и идеальными газами при их адиабатном расширении [6]. Уравнение Ван-дер-Ваальса отличается от уравнения идеального газа $p = \frac{RT}{V}$ всего двумя параметрами a и b . Однако эти параметры зависят от температуры газа (T) и от его плотности ($\rho \sim 1/V$). Наличие этих зависимостей всегда констатируется, но ни в учебниках по общей физике, ни в справочниках не приводится их пояснение, так как это сложные зависимости, разные для различных газов. Поиск этих зависимостей привел к появлению более сложных, чем модель Ван-дер-Ваальса, уравнений реального газа. Им посвящено большое количество научных монографий и статей, а в учебниках по общей физике и физических справочниках приводятся только значения коэффициентов уравнения Ван-дер-Ваальса в критической точке. Эти же значения, как правило, используются и при решении задач в курсе общей физике. В общем, в процессе

традиционного изучения курса общей физики утверждение, что коэффициенты уравнения Ван-дер-Ваальса не являются константами, а зависят хотя бы от температуры, так и не находит ни теоретического, ни экспериментального подтверждения. Таким образом, в результате изучения курса общей физики, несмотря на все усилия преподавателей, у студентов формируется ошибочное представление о поведении газа Ван-дер-Ваальса и о границах применимости этой модели, в том числе, при адиабатном расширении.

Изучение физических моделей на компьютере зарекомендовало себя как надежное средство преодоления подобных дидактических трудностей [5]. Оно позволяет студентам детально исследовать определенную теоретическую модель. Для применения этого средства необходимо не только воспроизвести на компьютере модель реального газа, но и показать, как, зная давление p , температуру T и молярный объем V газа, можно вычислить параметры уравнения Ван-дер-Ваальса (a и b), проанализировать характер изменения состояния газа при его адиабатном расширении.

В связи с выявленной невозможностью корректного воспроизведения модели Ван-дер-Ваальса при разных температурах и давлениях, для постановки такого исследования вместо модели Ван-дер-Ваальса приходится воспроизводить другую модель. Анализ научных публикаций показал, что из всех существующих моделей реального газа самый широкий диапазон температур и давлений описывает модель, использующая вириальные коэффициенты $p = \frac{RT}{V} \left(1 + \frac{B_2}{V} + \frac{B_3}{V^2} + \dots \right)$. Зависимости от температуры вириальных коэффициентов B_2, B_3, \dots для разных газов в этой модели получены и стандартизированы ГОСТом [4; 7–10 и др.]. Эта модель и была использована нами для воспроизведения поведения реального газа на компьютере в лабораторной работе «Адиабатное расширение газов». Учитывая дидактическое значение модели Ван-дер-Ваальса в курсе общей физики, в этой работе студенты, регистрируя состояния газа, адиабатно расширяющегося разными способами (в пустоту, под поршнем, через дроссель), анализируют характер изменения температуры газа, вычисляют параметры уравнения Ван-дер-Ваальса (a и b) и молярные теплоемкости (C_p и C_V) газа при различных температурах T . Для каждого газа «рабочий» диапазон температур и давлений подобран так, чтобы в этом диапазоне можно было корректно использовать и модель Ван-дер-Ваальса, и модель, содержащую вириальные коэффициенты.

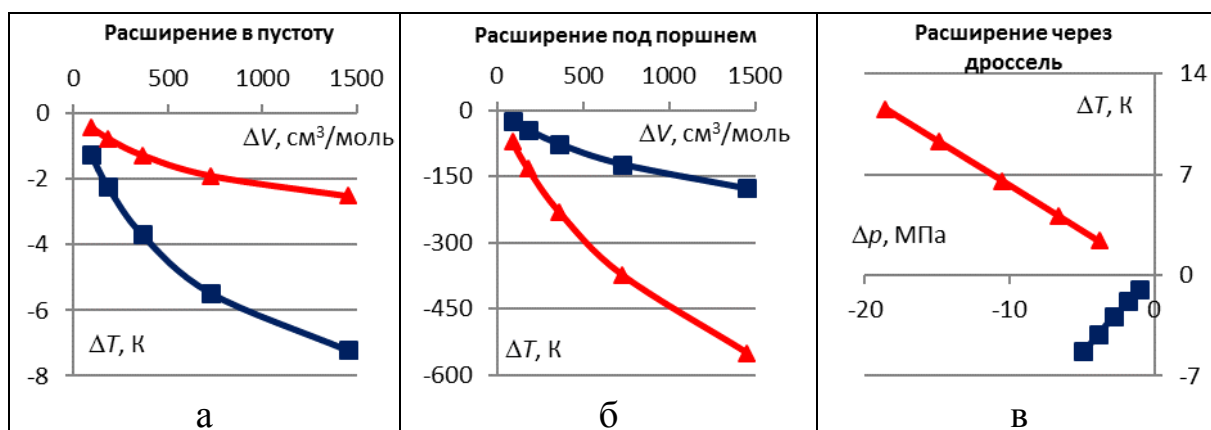


Рис. 1. Зависимость изменения температуры оксида азота от изменения объема (при адиабатном расширении: а – в пустоту; б – под поршнем) и от изменения давления (при расширении: в – через дроссель) для начальной температуры газа: ■ – 480 К; ▲ – 1820 К

Учитывая, что с изменением температуры параметры уравнения Ван-дер-Ваальса изменяются монотонно и медленно, для выявления искомой зависимости их от температуры необходимо, чтобы «рабочий» диапазон температур был достаточно велик: как правило, 1500–2500 К. Следует отметить, что далеко не для всех газов, для которых построена модель, использующая вириальные коэффициенты, диапазон температур, в котором газ можно считать Ван-дер-Ваальсовским, настолько широк. Поэтому в лабораторной работе «Адиабатное расширение газов» используются только 13 газов, наилучшим образом иллюстрирующих задачи исследования. На рис. 1 приведен пример полученных в работе зависимостей изменения температуры при адиабатном расширении в пустоту (а), под поршнем (б), через дроссель (в) для оксида азота при 480 К и 1820 К. Из полученных данных видно, что в этих условиях оксид азота ведет себя как реальный газ: при расширении в пустоту остывает под поршнем, а при расширении через дроссель может, как остывать, так и нагреваться.

В процессе постановки этой лабораторной работы было показано, что точность регистрации состояний газа должна быть достаточно высокой, чтобы изменения изучаемых параметров оставались очевидными в сравнении с ошибками округления значений давления, температуры и объема газа. Это также обусловлено медленным изменением физических параметров газа от температуры. Тогда при малых изменениях давления, температуры и молярного объема газа параметры уравнения Ван-дер-Ваальса и молярные теплоемкости можно считать константами. Это позволяет получить достаточно простые формулы для расчета этих величин. Так, например, для получения

входящего в уравнение Ван-дер-Ваальса параметра $b = V - R \frac{(T_1 - T_2)}{(p_1 - p_2)}$ достаточно зарегистрировать давления p_1 и p_2 газа при двух близких температурах T_1 и T_2 , но в одном и том же молярном объеме V . Для вычисления молярных теплоемкостей в работе студенты регистрируют состояния газа до и после адиабатного расширения. Например, молярную теплоемкость $C_V = -R \frac{\ln(V_1 - b) - \ln(V_2 - b)}{\ln(T_1/T_2)}$ можно вычислить, если зарегистрировать параметры состояний газа при адиабатном расширении газа под поршнем: значения молярного объема V_1 , температуры T_1 и значения молярного объема V_2 , температуры T_2 . Такие вычисления вполне понятны и доступны студентам 1–2 курса, изучающим курс общей физики. Однако они должны понимать, что для корректности вычислений соответствующие значения температуры T_1, T_2 , давления p_1, p_2 , молярного объема V_1, V_2 должны не сильно отличаться друг от друга.

В результате, проведя рекомендованные им исследования и расчеты, студенты получают достоверную информацию о том, что молярные теплоемкости реального газа и коэффициенты уравнения Ван-дер-Ваальса действительно зависят от температуры, если для описания состояния газа использовать модель Ван-дер-Ваальса. Работа «Адиабатное расширение газов» пополнила Комплекс лабораторных работ по изучению моделей физических явлений и процессов на компьютере Laboratory Simulations, разрабатываемый нами в Томском политехническом университете с 2002 г.

Список литературы

1. Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спирин Г.Г. Курс общей физики. В 3 кн. Кн. 3. Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества: учеб. пособие. 2-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2005. 366 с.
2. Гринкруг М.С., Вакулук А.А. Лабораторный практикум по физике: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2012. 480 с.
3. Лабораторный практикум по физике / под ред. А.С. Ахматова. М.: Высшая школа, 1980. 360 с.
4. Рабинович В.А., Недоступ В.И., Векслер Л.С. Теплофизические свойства неона, аргона, криптона и ксенона. М.: Издательство стандартов, 1976. 636 с.
5. Ревинская О.Г., Кравченко Н.С. Концепция развития лабораторного практикума по общей физике на основе дидактической модели научных экспериментальных исследований // Инновации в образовании. 2014. № 1. С. 93-106.

6. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие: для вузов в 5 т. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. 5-е изд., испр. М.: Физматлит, 2005. 544 с.
7. Зубарев В.Н. Теплофизические свойства технически важных газов при высоких температурах и давлениях. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.
8. Сычев В.В. Термодинамические свойства азота. М.: Издательство стандартов, 1977. 352 с.
9. Сычев В.В. Термодинамические свойства воздуха. М.: Издательство стандартов, 1978. 276 с.
10. Сычев В.В. Термодинамические свойства кислорода. М.: Издательство стандартов, 1981. 304 с.

Научное издание

**Физико-математическое
и технологическое образование:
проблемы и перспективы развития**

**Материалы V Международной
научно-методической конференции**
г. Москва, 4-7 марта 2019 г.

Электронное издание сетевого распространения

*Статьи публикуются в авторской редакции
Компьютерная верстка: Лозовенко С. В.*

Авторы несут ответственность за достоверность приведенных фактических материалов, корректность цитирования и правильность указания источников

Московский педагогический государственный университет (МПГУ).

119991, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1.

Управление издательской деятельности
и инновационного проектирования (УИД и ИП) МПГУ.

119571, Москва, пр-т Вернадского, д. 88, оф. 446,

тел. +7 (499) 730-38-61, e-mail: izdat@mpgu.su.

Подписано к публикации: 29.01.2020.

Объем 32,75 п. л. Заказ № 1048.

ISBN 978-5-4263-0863-3



9 785426 308633