

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-4.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN417.pdf>

Статья опубликована 31.07.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Кочетков А.В., Федотов П.В. Расширение понятия «идеальный газ» // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

## УДК 533

### Кочетков Андрей Викторович<sup>1</sup>

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь  
Профессор  
Доктор технических наук  
E-mail: [soni.81@mail.ru](mailto:soni.81@mail.ru)

### Федотов Петр Викторович

ООО «Научно-исследовательский центр технического регулирования», Россия, Саратов  
Инженер  
E-mail: [klk50@mail.ru](mailto:klk50@mail.ru)

## Расширение понятия «идеальный газ»

**Аннотация.** Современное трактование термина «идеальный газ» является не идеальным. Недостатки этой трактовки состоят в том, что в качестве свойств «идеального газа» принимаются только наличие у молекул газа кинетической энергии, при полном отсутствии размеров молекул. Такие постулаты приводят к тому, что один и тот же газ при одних условиях подчиняется уравнениям «идеального газа», т. е. является *идеальным*, а при других условиях подчиняется законам «реального газа», и как бы становится *неидеальным*.

В статье предлагается расширить аксиоматику «идеального газа» дополнением и заменой постулатов «идеального газа», на постулаты наличия у молекул идеального газа собственных размеров и потенциальных сил взаимодействия молекул. Такой подход позволит строить теорию газов плавно, без скачков от теории «идеального газа» к теориям «реальных газов».

Существующая ныне молекулярно-кинетическая теория (МКТ) не отрицается, а становится составной частью общей теории «идеального газа» при определенных условиях, в случае разреженных газов и высоких температурах, когда влияние собственных размеров молекул и потенциальных сил взаимодействия молекул становится малым и может быть проигнорировано.

**Ключевые слова:** идеальный газ; реальные газы; молекулярно-кинетическая теория (МКТ); уравнения идеального газа; уравнения реального газа; уравнение Клайперона-Менделеева; уравнение Ван-дер-Ваальса

В 1738 г. Даниил Бернулли издал фундаментальный труд «Гидродинамика, или записки о силах и движениях жидкостей» [3]. В десятой части «О свойствах и движениях упругих

---

<sup>1</sup> 410022, г. Саратов, ул. Азина, д. 38 «В», кв. 4

жидкостей, в особенности же воздуха» [3, с. 282-341] Д. Бернулли заложил основы кинетической теории газов и жидкостей. В своем труде он «...приводит вывод газовых законов из модели бильярдных шаров, выводит закон Бойля-Мариотта и использует закон сохранения механической энергии, чтобы показать, что при изменении температуры давление меняется пропорционально квадрату скорости частиц. Эта работа впервые дает верное, статистическое обоснование кинетической теории. Значительно переработанное издание этой работы вышло затем в 1738 году. Работа была забыта до 1859 года» [8].

В 1816 г. Джордж Герапат написал статью «О физических свойствах газов» [2]. В этой статье Герапат независимо от Бернулли обосновывает кинетическую модель газов. Причем, если Бернулли, в соответствии с уровнем развития науки своего времени, предполагал, что воздух (единственно известный газ того времени) – это единая субстанция, на момент написания статьи Герапатом уже было известно, что воздух – это смесь газов<sup>2</sup>. Поэтому Герапат упоминает азот, водород и кислород [2]. При этом он делает выводы, что физические свойства различных (химически) газов подчиняются единообразным законам. Тем самым Герапат, хотя и неявно, но четко различает физические и химические свойства газов. Признавая различия химических свойств газов, он указывает, что физические свойства газов аналогичны и могут быть объяснены в рамках единой модели.

Венцом развития кинетической модели газов (МКТ) можно считать фундаментальный труд Рудольфа Клаузиуса [1]. В этой работе Клаузиус вводит понятия «длина свободного пробега» и «идеальный газ». Причем, весь труд Клаузиуса посвящен исключительно кинетической модели газов. Именно после этой основополагающей работы было внесено понятие «идеальный газ – такой газ, который одновременно подчиняется закону Бойля – Мариотта и Гей-Люссака» [10, с. 24].

В 1834 г. Клайперон опубликовал свое уравнение на основе комбинации законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака, при этом можно сказать, что упомянутые законы являются частными случаями закона Клайперона. Отсюда следует эквивалентное определение: «идеальный газ – газ, который подчиняется уравнению Клайперона». Д. И. Менделеев в период 1872-1874 гг. провел многочисленные эксперименты по проверке и уточнению закона Клайперона, также было проведено теоретическое усовершенствование упомянутого уравнения<sup>3</sup>. В результате в 1874 г. Д. И. Менделеев предложил свою формулировку уравнения идеального газа, которая используется до настоящего времени [4]. Поэтому уравнение называется уравнением Клайперона-Менделеева.

В итоге можно сказать, что согласно современным воззрениям идеальный газ – это газ, подчиняющийся уравнению Клайперона-Менделеева.

Клаузиус в своей фундаментальной работе не упоминает, почему он назвал газ, который подчиняется отдельным законам, «идеальным». Единственно, почему он мог это делать, это потому, что эти законы (Бойля-Мариотта и Гей-Люссака) «идеально» ложатся в канву единственно известной в то время кинетической модели газа. Никаких других аргументов у Клаузиуса очевидно не было.

---

<sup>2</sup> Шведский химик Карл Шееле в 1771 г. открыл, что воздух состоит минимум из двух газов, Шееле назвал их «огневой воздух», поддерживающий горение, по современной терминологии это кислород, его содержание согласно Шееле – 1/5 часть. И остальное, это азот, названный Шееле «испорченный воздух» [12, с. 84].

<sup>3</sup> В частности, Д.И. Менделеев дополнил уравнение комбинацией с законом Авогадро [4].

Тем не менее, с тех пор в научной и учебной литературе образовался императив, что «идеальный газ – это газ, который подчиняется законам идеального газа», а «законы идеального газа – это законы, которым подчиняется идеальный газ».

На это можно было бы не обращать внимание, если бы не она любопытная коллизия. Любые газы подчиняются «законам идеального газа» в очень узких диапазонах внешних условий (давление и температура), в остальных случаях газы этим законам не подчиняются. Т. е. один и тот же газ, при одних давлениях (и температурах) является *идеальным газом*, а при всех остальных условиях (давлении и температуре) – является *неидеальным (реальным) газом*.

О подобном писал еще Ломоносов [7, с. 106] в 1849 г. Как известно, дальнейшие опыты с газами полностью подтвердили правоту Ломоносова: «Пользуясь своей теорией, Ломоносов дал точный математический вывод закона Бойля-Мариотта. Это одно уже было огромным достижением: этого не удалось сделать самим авторам закона англичанину Бойлю и французу Мариотту. Но Ломоносов сделал нечто гораздо большее. Он предсказал неизбежность отклонений от закона Бойля-Мариотта при очень большом сжатии газа.

И это предсказание Ломоносова полностью оправдалось» [12, с. 60].

В 1873 г. Ва дер Ваальс практически полностью повторил рассуждения Ломоносова и вывел свое знаменитое уравнение [11, с. 374].

В современной литературе любые уравнения, отличающиеся от уравнения Клайперона-Менделеева, называют *уравнениями реальных газов*<sup>4</sup>. Фактическая «реальность» в уравнениях *реальных газов* только в том, что они не совпадают с уравнением Клайперона-Менделеева, которое, чисто административно, признано называть «уравнением идеального газа».

Есть еще один парадокс современной аксиоматики. Касается он уравнения Больцмана. Чтобы рассмотреть его подробнее, приведем аксиомы «идеального газа» в современном изложении:

1. Каждая частица обладает кинетической энергией и находится в состоянии постоянного движения.
2. Между частицами нет дальнедействующих сил притяжения или отталкивания, соударения частиц между собой и со стенками сосуда абсолютно упруги.
3. Потенциальной энергией взаимодействия частиц, составляющих газ, можно пренебречь.
4. Суммарный объём частиц газа пренебрежимо мал по сравнению с объёмом сосуда [13, с. 74].

Время взаимодействия между частицами пренебрежимо мало по сравнению со средним временем между столкновениями.

«При таких допущениях молекулы газа должны считаться совершенно свободными. Это значит, что движутся они прямолинейно и равномерно, как всегда движутся тела, не подверженные действию каких-либо сил» [5, с. 19].

В тоже время уравнения Больцмана касается движения частиц газа в потенциальном поле, т. е. когда на частицы газа действуют потенциальные силы. Другими словами, уравнение Больцмана действует тогда, когда аксиомы «идеального газа» неприменимы. Тем не менее, данное уравнение применяется в рамках МКТ, в основу которой положены аксиомы

---

<sup>4</sup> Уравнение Ван-дер-Ваальса является первым в истории, но не единственным уравнением состояния газов, отличающееся от уравнения Клайперона-Менделеева (прим. авт.)

«идеального газа». А каким образом разъясняется данный парадокс, как соединить несовместимое, никто не объясняет.

По мнению авторов статьи, такое положение вещей не может быть признано удовлетворительным.

Начнем, с рассмотрения «реальных газов Ван-дер-Ваальса». Начнем с него потому, что «Из большого числа уравнений, предложенных для описания поведения реальных газов, самым простым и вместе с тем дающим достаточно хорошие результаты оказалось уравнение Ван дер Ваальса» [9, с. 403].

Дополнения, которые ввел Ван дер Ваальс при выводе своего уравнения в 1873 г. в уравнение Клайперона состояли в добавлении в уравнение «идеального газа» двух параметров  $a$  и  $b$ . Которые называются константами Ван дер Ваальса. Причем «константа  $b$  определяет ту часть объема, которая недоступна для движения молекул вследствие их конечных размеров. Поправка  $a/V^2$  дает внутреннее давление  $p_i$ , обусловленное взаимным притяжением молекул друг к другу» [9, с. 404]. Другими словами, теория Ван дер Ваальса добавляет к современным аксиомам «идеального газа» два свойства: конечные размеры молекул газа и силы взаимного притяжения. Но, такими свойствами обладают все без исключения газы, значит, наличие этих свойств не зависят от конкретных химических свойств тех или иных газов, а значит, свободно могут быть внесены в аксиомы «обобщенного идеального газа». Если отказаться от парадигмы, что идеальным газом может быть назван только газ, у которого полностью отсутствуют взаимодействие молекул, и состоящим из молекул, не имеющих размеров.

Эти и другие парадоксы современной аксиоматики молекулярной физики газов легко снимаются, если за аксиомы «идеального газа» брать идеи Ломоносова, который определял газы, как объект исследования следующим образом:

«Частицы воздуха – именно те, которые производят упругость, стремясь отойти друг от друга, – лишены всякого физического сложения и организованного строения» [6, с. 93].

Выражаясь современным языком, «идеальным газом» стоит называть газ, состоящий из «идеальных» атомов, имеющие все физические свойства атомов газа, но не имеющие химических свойств. Такое различие химических и физических свойств газов, существенно только потому, что именно химические свойства газов и позволяют различать один реальный газ от другого. В тоже время физические свойства газов, которые и позволяют выделять «газ» как фазовое состояние вещества, являются общими, независимо от химического состава.

Подобное расширительное понимание термина «идеальный газ» позволяет строить молекулярную физику газов без парадоксов, присущих современной аксиоматике.

Так, например, в силу того, что межмолекулярное взаимодействие присуще всем без исключения газам, то в аксиомы «идеального газа» в новой трактовке следует включать и потенциальные силы взаимодействия. Тем более не вызывает никаких сомнений, что молекулы любого газа имеют собственный объем.

Т. е. суть предложений авторов в том, что предлагается внести в аксиомы «идеального газа» пункт о собственных размерах молекул газа и заменить пункты о наличии у молекул газа исключительно кинетической энергии и полном отсутствии потенциальной энергии, пунктом о наличии у молекул газ *полной механической энергии*. Преимущества подобной аксиоматики в том, что свойства газов будут меняться не скачком от «идеального газа» к «реальному», с применение различных уравнений, а плавно, с учетом различного влияния различных параметров.

В сильно разреженных газах (при низких давлениях) влияние собственных размеров молекул будет стремиться к нулю, и в определенных случаях может не учитываться. При

низких температурах кинетическая энергия молекул снижается, соответственно возрастает роль потенциальной энергии взаимодействия молекул, а при высокой температуре будет наоборот. Причем при низких давлениях и высокой температуре основную роль будет играть кинетическая энергия, а при низких температурах и высоких давлениях – потенциальная. Т. о. признание наличия у молекул газов не только кинетической, но и потенциальной энергии взаимодействия позволяет выстроить уравнения непрерывных свойств газов при любых внешних условиях.

Последнее, что стоит рассмотреть, это общее определение терминологии идеального газа.

Предлагаемая в данной статье теория «идеального газа» с полным правом может быть названа «молекулярно-механической теорией», потому, что в отличие от молекулярно-кинетической теории (МКТ) определяет наличие у молекул полной механической энергии.

Но, молекулы газа могут взаимодействовать между собой не только механически, но с другими видами взаимодействия. Поэтому наиболее общее определение (а значит и аксиоматика) «идеального газа» должна включать (хотя бы гипотетически) возможность наличия между молекулами не только механических взаимодействий.

Такими свойствами обладает теория газов, построенная на идеях Ломоносова, что газ состоит из частиц, определяющих все физические свойства газов, но не имеющих различий, следующих из конкретных химических свойств молекул, составляющих реальные газы.

### **Выводы**

1. Современное определение термина «идеальный газ» является неполным, т. к. не отражает всех физических свойств газов, как фазового состояния вещества.
2. Признание наличия у молекул газа исключительно кинетической энергии и полное отрицание наличия взаимодействия молекул между собой, приводит к парадоксальным ситуациям, когда один и тот же газ при одних условиях является «идеальным», а при изменении внешних условий (температуры и давления) тот же газ уже становится «реальным».
3. Признание наличия у молекул газа полной механической энергии (кинетической и потенциальной) приведет к отсутствию парадоксальных скачков от свойств «идеального газа» к свойствам «реального газа» с соответствующей необходимостью замены уравнений.
4. В случае введения в постулаты «идеального газа» наличие у молекул газа полной механической энергии свойства идеального газа можно описывать плавными переходами от превалирующего значения кинетической энергии при высокой температуре и низком давлении до решающего значения потенциальной энергии при низкой температуре и высоком давлении.
5. Внесение в постулаты «идеального газа» собственного объема молекул газа необходимо для описания поведения газов при высоких давлениях, когда собственный объем молекул газа становится сравнимым с объемом сосуда занимаемого газом.
6. Т. о. молекулярно-кинетическая теория, принятая на сегодняшний день, как единственная теория «идеального газа» не отрицается, а становится составной частью обобщенной теории «идеального газа», реализуемой при определенных условиях (низких давлениях и высокой температуре).

7. Наиболее расширенное определение «идеального газа» может быть сформулировано следующим образом: «идеальный газ» – это газ, имеющий обобщенные свойства, присущие всем газам как фазовое состояние вещества, но не имеющее различий, присущих реальным газам вследствие различных химических свойств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Clausius, R. The Mechanical Theory of Heat – with its Applications to the Steam Engine and to Physical Properties of Bodies. London, 1867.
2. Herapath, J. On the physical properties of gases // Annals of Philosophy, vol. VIII, (1816), pp. 56-60.
3. Бернулли, Д. Гидродинамика, или записки о силах и движениях жидкостей. – М.: АН СССР, 1959. 552 с.
4. Голоушкин, В.Н. Уравнение состояния идеального газа Д.И. Менделеева // УФН, № 45 616-621 (1951).
5. Кикоин, А.К., Кикоин, И.К. Молекулярная физика. – М.: Наука. 1976. 480 с.
6. Ломоносов М.В. Размышления об упругости воздуха // Ломоносов М.В. Избранные произведения в двух томах. Т. 1. – М.: Наука. 1986.
7. Ломоносов, М.В. Прибавление к размышлениям об упругости воздуха // Ломоносов М.В. Избранные произведения в двух томах. Т. 1. – М.: Наука. 1986.
8. Очерк по истории статистической механики и термодинамики (С 1575 по 1980 г.) // Интернет-источник: <http://stat.phys.spbu.ru/History/statmech.html>
9. Савельев, И.В. Курс общей физики. Том I Механика, колебания и волны, молекулярная физика. – М.: Наука, 1970. 511 с.
10. Савельев, И.В. Курс общей физики: Молекулярная физика и термодинамика. – М.: Астрель, 2001. Т. 3. 208 с.
11. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1990. 591 с.
12. Степанов, Б. История великого закона. – М.: Молодая гвардия. 1949. 271 с.
13. Трофимова, Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1990. 478 с.

**Kochetkov Andrey Viktorovich**

Perm national research polytechnical university, Russia, Perm  
E-mail: [soni.81@mail.ru](mailto:soni.81@mail.ru)

**Fedotov Petr Viktorovich**

JSC Research Center of Technical Regulation, Russia, Saratov  
E-mail: [klk50@mail.ru](mailto:klk50@mail.ru)

## Expansion of the concept of "ideal gas"

**Abstract.** The modern interpretation of the term "ideal gas" is not ideal. The drawbacks of this interpretation are that as properties of "ideal gas" only the presence of kinetic energy of molecules of the gas is accepted, with the complete absence of the dimensions of the molecules. Such postulates lead to fact that under the same conditions the same gas obeys the equations of the "ideal gas", i. e. Is ideal, and under other conditions obeys the laws of "real gas", and as it becomes imperfect.

In the article it is proposed to extend the axiomatics of "ideal gas" by supplementing and replacing postulates of the "ideal gas", with postulates of the presence of molecules of an ideal gas of intrinsic sizes and potential forces of interaction of molecules. Such an approach will allow theory of gases to be constructed smoothly, without jumps from the theory of "ideal gas" to the theories of "real gases".

The present Kinetic theory of gases is not denied, but becomes an integral part of general theory of "ideal gas" under certain conditions, in the case of rarefied gases and high temperatures, when influence of the intrinsic molecular sizes and potential forces of interaction of molecules becomes small and can be ignored.

**Keywords:** ideal gas; real gases; molecular kinetic theory; ideal gas equations; real gas equations; the Cliperon-Mendeleev equation; the van der Waals equation