

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-5.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/01TVN517.pdf>

Статья опубликована 08.09.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Кочетков А.В., Федотов П.В. Полная классификация моделей идеального газа // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/01TVN517.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

## УДК 533

### **Кочетков Андрей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: soni.81@mail.ru

### **Федотов Петр Викторович**

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

## **Полная классификация моделей идеального газа**

**Аннотация.** Это вторая статья о расширении понятия «идеальный газ». В первой статье рассматривались искусственные ограничения понятия, сложившиеся исторически. Исходя из того факта, что для воздуха и газов, входящих в воздух (кислород, азот, углекислый газ, водород и т. д.), влияние потенциальных взаимодействий между частицами газа минимально, расчеты газовых законов исходя только из наличия у частиц газа кинетической энергии оказались самыми простыми с приемлемой точностью. Причем, при атмосферном давлении плотность газов настолько низка, что размеры частиц газа, оказываются также несущественными. На основании этих и других фактов, Клаузиусом была построена кинетическая теория газов (МКТ).

На недостатки МКТ указывал еще М. В. Ломоносов, которые должны проявляться при высокой плотности газов (больших давлениях и низких температурах), дальнейшие исследования полностью подтвердили выводы русского ученого.

В статье «Интерпретация опытных данных по сжимаемости газов при различных условиях. Атомно-фотонный газ» авторы, анализируя сжимаемость газов при высоких температурах, выдвигали гипотезу о высоком влиянии фотонов на поведение газов.

В данной статье, на основе выводов предыдущей статьи «Расширение понятия «идеальный газ»» делается попытка определить количество возможных моделей «идеального газа».

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

## Введение

В предыдущих статьях авторы заявляли, что модель идеального газа, выдвинутая Даниилом Бернулли [3, с. 282] в 1738 г. и Джоном Герапатом [2] в 1816 г., является не единственной возможной. Более того, предложенная Герапатом модель является искусственно ограниченной из числа возможных моделей [6].

Закономерен вопрос, а какие вообще возможны модели «идеального газа»?

Прежде чем ответить на этот вопрос, необходимо прояснить, что такое «идеальный газ» и чем он отличается от других газов?

Этот вопрос до сих пор не поднимался, т. к. априори считалось, что моделей идеального газа только одна, соответственно, современное понятие идеального газа по умолчанию связано с единственной моделью. Если же говорить, что моделей идеального газа может быть несколько, то необходимо четко оговорить, какие модели могут быть отнесены к моделям идеального газа, а какие выходят за рамки понятия «идеального газа».

## История проблемы.

Для ответа на этот вопрос придется обратиться к истории.

В 1754 г. Джозеф Блэк открыл углекислый газ и доказал, что воздух представляет собой смесь газов, а не единую субстанцию, как до этого полагали ученые [1, с. 246]. В 1774 г. Джозеф Пристли<sup>1</sup> получил кислород. В 1772 г. Генри Кавендиш получил азот, а в 1781 г. Генри Кавендиш открыл водород [11].

Роберт Пристли в 18 веке открыл «веселящий газ», аммиак, хлороводород, диоксид серы.

Открытие Джозефа Блэка послужило началом развития пневматической химии<sup>2</sup> (химии газов). Однако, несмотря в названии слова «химия», исследования газов не ограничивалось изучением только химических свойств газов. Именно в рамках пневматической химии Гей-Люссак и Дальтон проводили свои эксперименты по исследованию физических свойств газов.

К началу 19 века было известно достаточно много различных газов, поэтому для сторонников атомистической теории встал вопрос разработки атомно-молекулярной теории газов. Но у газов существуют физические и химические свойства. Причем, если физические свойства у всех газов примерно одинаковые, но только в первом приближении<sup>3</sup>, то химические свойства разнятся еще сильнее. Построить модель газов, учитывающую их разнообразные химические свойства, не представлялось возможным.

Поэтому в 1847 г. Герапат выдвинул кинетически-молекулярную модель газа. Основная идея «идеального газа» Герапата состояла в том, что идеальный газ – это гипотетический газ, который состоит из гипотетических атомов, не имеющих размеров и физических свойств, кроме

---

<sup>1</sup> Впервые кислород получил шведский химик Карл Шееле в 1771 г., но опубликовал свое открытие только в 1775 г., поэтому первооткрывателем кислорода считается Пристли (прим. авт.).

<sup>2</sup> Устаревшее название, в настоящее время используется только в историческом смысле (прим. авт.).

<sup>3</sup> Именно общие физические свойства газов (расширяемость, сжимаемость, отсутствие линии раздела фаз) и позволяют отделять газы как отдельную фазу вещества, в отличие от жидкостей и твердых тел. Но для различных газов различаются, например, молекулярные веса, поэтому газы разделяются на тяжелые газы, которые тяжелее воздуха и легкие газы, которые легче воздуха, различаются и температуры испарения (возгонки), так что при одних и тех же температурах, одни газы остаются газами, а другие осаждаются и т. д. (прим. авт.).

наличия у них кинетической теории. Склонение к чисто кинетической модели в ущерб остальным свойствам газов имеет несколько причин, в том числе и исторические.

Например, до начала 19 века ученые работали в основном с воздухом и близкими по физическим свойствам газами, для которых комнатная температура и атмосферное давление очень близки к условиям идеального исполнения эмпирических законов Шарля, Гей-Люссака и Бойля – Мариотта, которые в настоящее время называются «законами идеального газа». Свойства имеющихся в распоряжении ученых газов, а также несовершенство техники, в частности, невозможность создавать высокие давления и низкие температуры, приводили ученых к мысли, что воздух и составляющие его газы – это особые вещества, которые существуют только в газообразном состоянии.

Так Даниил Бернулли писал: «Важнейшие свойства упругих жидкостей заключаются в том, что 1) они являются весомыми, 2) распространяются во все стороны, если их не ограничивают, и 3) дают себя все больше и больше сжать при возрастании сил сжатия. Таково строение воздуха, к которому преимущественно относятся настоящие наши соображения» [3, с. 282]. И только в начале 20 века работами Камерлинг-Оннеса было доказано, что абсолютно все газы можно перевести в жидкое и даже твердое состояние, а газообразное состояние – это только одна из фаз состояния любого вещества.

Ограничение частиц газа исключительно кинетическими свойствами является хотя и исторически оправданными, но явно искусственными. Тем не менее, подход Герапата позволил углубленно изучать физику газов. Т. к. он позволил теоретически обосновать известные эмпирические законы газов.

Тем не менее, некоторые ученые считали, что ограничение исключительно кинетической моделью газов не позволяет полностью описать поведение газов. Наиболее явно по этому поводу высказывался М. В. Ломоносов, который в работе «Опыт теории упругости воздуха» в 1748 г. писал: «...частицы воздуха – именно те, которые производят упругость, стремясь отойти друг от друга, – лишены всякого физического сложения и организованного строения» [6, с. 93].

Согласно современным воззрениям, именно внутреннее строение атомов и ответственно за химические свойства атомов. Следуя такому определению, приходим к выводу, что под термином «модели идеального газа» стоит понимать, что это модели, описывающие **общие** (физические) свойства газов, опуская химические свойства отдельных реальных газов.

Модель идеального газа Бернулли-Герапата с полным правом может называться «кинетической» моделью, т. к. в ней предполагается, что молекулы газа имеют исключительно кинетическую энергию и взаимодействуют только путем столкновения. Несколько иная модель была выдвинута М. В. Ломоносовым, который также склонялся к кинетической модели тепла, он писал: «...очевидно, что достаточная причина теплоты заключается во внутреннем движении связанной материи тел<sup>4</sup>» [7, с. 75]. При этом он сформулировал модель газа как собрание частиц, не имеющих внутреннего строения, но обладающих всеми физическими свойствами газов: «...нисколько не сомневаемся, что *частицы воздуха – именно те, которые производят упругость, стремясь отойти друг от друга, – лишены всякого физического сложения и организованного строения* и, чтобы быть способными переносить такие испытания и производить столь поразительные действия, должны быть крайне прочными и не подверженными каким-либо изменениям; поэтому их по справедливости следует называть

---

<sup>4</sup> Курсив М. В. Ломоносова.

атомами. А так как они физически действуют на вещественные тела, то сами они должны быть телесными и иметь *протяжение*<sup>5</sup> [7, с. 93].

В предыдущей статье [6] авторы показали, что понятие «идеального газа» должно быть расширено не только на кинетическую модель газа<sup>6</sup>, но и на потенциальную, а также на комбинации кинетической и потенциальной энергии частиц газа (механическая модель).

В статье [10] была предложена кинетически-потенциальная (механическая) модель идеального газа, предполагающая, что у молекул газа имеется не только кинетическая, но еще и потенциальная энергии. Соответственно, взаимодействие между молекулами происходит не только при непосредственном контакте, но и удаленно (потенциально).

Необходимо пояснить, что модель, предложенная в [10], отличается от модели, хорошо подтвержденной опытами Перрена, хотя и разработанной на основании работ Больцмана. Тем не менее, модель Больцмана-Перрена не является потенциальной моделью идеального газа, а является кинетической моделью идеального газа во внешнем потенциальном поле. Именно поведение идеального газа во внешнем потенциальном поле (гравитационном поле Земли) и было прекрасно подтверждено в опытах Перрена.

Любопытно, что Больцман, разрабатывая основы статистической физики, разрабатывал именно потенциальную модель идеального газа. «Пусть в пространстве дано  $n$  материальных точек с массами  $m_1, m_2, \dots, m_n$ . Действие каждой двух точек друг на друга – произвольная функция расстояния между ними. Силы, действию которых подвергаются точки, подчинены, следовательно, тому единственному условию, что они являются функциями положения всех точек и имеет потенциальную функцию» [4, с. 63].

Тот факт, что формула распределения Больцмана прекрасно работает и в случае применения кинетической модели газа во внешнем поле, связано с тем, что в основе метода Больцмана лежит допущение, что каждая частица газа имеет потенциальную энергию не зависимо от природы возникновения потенциальных сил. Это могут быть силы потенциального взаимодействия между молекулами газа, а могут быть силы потенциального взаимодействия с внешним потенциальным полем. Поэтому статистические формулы, выведенные из статистики Больцмана, прекрасно работают в обоих случаях, в том числе и в случае потенциальных взаимодействий между молекулами газа, и в случае движения частиц во внешнем потенциальном поле при отсутствии межмолекулярных взаимодействий (кинетическая модель во внешнем поле).

Необходимо пояснить, почему мы называем кинетическую и кинетически потенциальную (механическую) модели **разными** моделями идеального газа. В первую очередь потому, что различия закладываются на уровне постулатов.

Аксиомы идеального газа (кинетическая модель Герапата):

1. Каждая частица обладает кинетической энергией и находится в состоянии постоянного движения.
2. Между частицами нет дальнодействующих сил притяжения или отталкивания, соударения частиц между собой и со стенками сосуда абсолютно упруги.
3. Потенциальной энергией взаимодействия частиц, составляющих газ, можно пренебречь.

---

<sup>5</sup> Курсив М. В. Ломоносова.

<sup>6</sup> Которая, в научной и учебной литературе, в настоящее время считается единственной моделью идеального газа (прим. авт.).

4. Суммарный объем частиц газа пренебрежимо мал по сравнению с объемом сосуда.
5. Время взаимодействия между частицами пренебрежимо мало по сравнению со средним временем между столкновениями [9, с. 74].

Т. о. понятие «идеальный газ» предполагает, что атомы не взаимодействуют друг с другом и вся внутренняя энергия газа состоит исключительно из кинетической энергии атомов [12, с. 78].

Аксиомы идеального газа (кинетически-потенциальная модель авторов):

1. Каждая частица обладает кинетической энергией и находится в состоянии постоянного движения.
2. Между частицами есть далекодействующие силы притяжения. Т. е., кроме кинетической энергии у каждой молекулы газа имеется еще и потенциальная энергия взаимодействия.
3. Соударения частиц между собой и со стенками сосуда абсолютно упруги.
4. Суммарный объем частиц газа пренебрежимо мал.

Из сравнения видно, что постулаты сильно различаются и путать модели, построенные на принципиально различающихся постулатах, нельзя. Но при внимательном рассмотрении оказывается, что различия моделей не столько в постулатах, сколько в признании видов энергии, присущих частицам газа.

Так в модели Герапата частицы газа обладают исключительно кинетической энергией, соответственно признаются только взаимодействия путем соударений между частицами. Т. к. наличие никаких других видов энергии у частиц газа не признается, соответственно никаких других видов взаимодействия между частицами газа быть не может, по определению.

В модели, предложенной авторами, частицы газа обладают и кинетической и потенциальной энергиями. Соответственно предполагается, что частицы газа взаимодействуют не только путем соударений, но и путем далекодействующих (потенциальных) сил.

Но этим количество возможных моделей идеального газа не ограничивается. Некоторые альтернативные авторы выдвигают еще одну модель идеального газа: потенциальную. Сущность этой модели в том, что частицы газа неподвижны, т. е. не обладают кинетической энергией<sup>7</sup>. Иногда такую модель газа называют «кристаллической»<sup>8</sup>, т. к. предполагается, что частицы газа располагаются на определенных расстояниях друг от друга по типу кристаллов. Но расстояния между частицами предполагается намного больше, чем в обычных кристаллах. При этом частицы газа взаимодействуют между собой исключительно за счет потенциальных (далекодействующих) сил. Авторы считают такую модель неадекватной физической реальности, т. к. при этой модели очень трудно объяснить некоторые свойства газов, например, свободное расширение, взаимную диффузию и т. д. Тем не менее, отметим, что такая модель существует.

---

<sup>7</sup> В принципе, такая модель может быть описана решеточной моделью с взаимодействием, если принять, что количество частиц газа  $n$  равно количеству ячеек разбиения  $N$  пространства, занимаемого газом [8].

<sup>8</sup> Не стоит путать эту модель газа с моделью Изинга, хотя у них много общего. Отличия же состоят в том, что модель Изинга разработана для магнетиков (прим. авт.).

Можно отметить существование, как минимум, трех моделей идеального газа: кинетическая (Герпата), потенциальная (других авторов) и кинетически-потенциальная (механическая) (авторов статьи).

### Аналитическая часть

Закономерен вопрос, а сколько вообще возможно построить моделей идеального газа?

Из вышеизложенного следует, что моделей, возможно столько, сколько существует независимых видов энергии у частиц газа, плюс их комбинации. Можно подумать, что внесение любого известного вида энергии порождает еще одну (а с учетом комбинаций, намного больше) модель идеального газа. Например, можно ввести модель, учитывающую внутреннюю энергию взаимодействия электронов, ядерную энергию и т. д.

Казалось бы, что это породит все новые и новые модели идеального газа. Однако это не так. Для того, чтобы ответить на вопрос, сколько моделей идеального газа можно построить, не выходя за рамки реальности и здравого смысла, необходимо ответить на вопрос, сколько видов энергии можно внести в модель идеального газа, чтобы модель это оставалась моделью «идеального газа», а не какой-то другой формации.

В связи с вышеизложенным, авторы заявляют, что *различия моделей газа происходят из признания наличия различных видов энергии, присущих частицам газа*. Причем, в модели газов стоит включать только те виды энергии, которые влияют на взаимодействие между частицами газа. Ядерную энергию, хотя она и присуща всем газам без исключения, не стоит включать в модели газа, т. к. ни величина<sup>9</sup>, ни даже отсутствие этой энергии<sup>10</sup> никак не влияет на взаимодействие между частицами газа. Соответственно, для моделей идеального газа допустимы только те виды энергии, которые участвуют во взаимодействии между частицами газа и безразличны к конкретным химическим свойствам реальных газов.

Если принять данное определение термина «идеальный газ», то понятно, что все три модели, озвученные выше, полностью подходят под определение «моделей идеального газа». Стоит только определить иерархию моделей. Сделать это легко, учитывая, что и кинетическая и потенциальная энергии являются частными случаями полной механической энергии. Т. о. и кинетическая (Герпата) и потенциальная (кристаллическая) являются частными случаями общей механической (потенциально-кинетической) модели, заявленной авторами статьи в [10].

### Обсуждение результатов

На основе кинетической модели идеального газа Герпата была разработана и внедрена в научную практику молекулярно-кинетическая теория (МКТ). Из вышеизложенного прямо следует, что МКТ является частным случаем молекулярно-механической теории газов, предлагаемой авторами статьи.

Кинетическая модель (МКТ) прекрасно работает при средних температурах и небольших давлениях. При сверхнизких температурах в области сжижения газов, когда кинетическая энергия частиц снижается до минимума, вступают механизмы ассоциации частиц

---

<sup>9</sup> Ядерные силы очень мощные, но при этом короткодействующие. Фактически, радиус действия ядерных сил не выходит за пределы ядра, именно поэтому они не участвуют в межмолекулярном взаимодействии (прим. авт.).

<sup>10</sup> За исключением случаев радиоактивных газов, в ядрах которых происходят спонтанные ядерные реакции, которые влияют на физические свойства газов (прим. авт.).

газа в жидкое (или твердое) состояние и МКТ перестает работать адекватно. То же самое наступает при высоких давлениях, когда частицы газа сближаются до такой степени, что на первый план выступает потенциальное взаимодействие частиц между собой.

Как подтверждается многочисленными опытами, область хорошего согласия МКТ и экспериментальных данных – это невысокие температуры (около комнатной) и слабо разряженные газы.

Область преобладающей работы потенциальных сил – низкая температура и большое давление.

Т. к. механическая модель идеального газа объединяет и кинетическую и потенциальную модели, то область удовлетворительного согласия с экспериментами будет и область низких и высоких давлений, в тоже время области низких и средних температур.

Но картина не настолько благостная, как хотелось бы. Насколько механическая модель (кинетически-потенциальная) хорошо работает в пределах низких давлений и средних температур, настолько же она плохо работает в области высоких давлений и высоких температур. Несмотря на определенные успехи в этой области наблюдаются явные противоречия с опытными данными. Так в области высоких давлений и высоких температур существует область, характеризующаяся такими особыми свойствами, что иногда это состояние выделяется в особое фазовое состояние вещества, называемое флюидом<sup>11</sup>. Объяснить поведение и свойства флюида очень тяжело в рамках не только МКТ, но даже в рамках общей механической модели газов.

В области средних давлений и средних температур, также существует несколько «загадок» для науки. В частности, ограниченная область существования жидкостей. Известно, что любое вещество имеет две критические точки. Первая критическая точка олицетворяет собой нижний предел существования вещества в жидком виде. Ниже критической температуры  $T_{кр1}$  и критического давления  $P_{кр1}$ , вещество не существует в жидком виде. Вещество напрямую переходит из твердого состояния в газ и обратно. Принято говорить, что вещество не испаряется из жидкости, а сублимирует (возгоняется) из твердого состояния.

Вторая критическая точка характеризуется тем, что при температуре и давлении выше критических ( $T_{кр2}$  и  $P_{кр2}$ ), не существует жидкости в обычном виде<sup>12</sup>. Существование флюида также невозможно объяснить с точки зрения не только МКТ, но и с точки зрения обобщенной механической модели газов.

Все эти вопросы подробно освещены и разбираются в статье [5]. Там же предложена фотонно-механическая модель идеальных газов в смысле понятия «идеальный газ», описанного выше в данной статье. В той же статье приведены доказательства, что введение в молекулярную теорию газов и жидкостей фотонных взаимодействий не является несовместимыми с механическими моделями идеальных газов, в том числе и МКТ, а, наоборот, являются необходимыми дополнениями к механическим моделям идеальных газов. Другими словами, только объединенная механически-фотонная модель идеальных газов является самой удачной

---

<sup>11</sup> В России это же состояние часто называют «перегретым паром» или «сверхкритической жидкостью» (прим. авт.).

<sup>12</sup> Для фазового состояния вещества в области выше  $T_{кр2}$  и  $P_{кр2}$  придуманы особые названия, в России преобладает название «сверхкритическая жидкость», за рубежом чаще используется термин «флюид», по сути это одно и то же. Состояние вещества, при котором оно имеет плотность, соответствующую плотности жидкости, но не имеет главного признака жидкости – явно выраженной линии фазового раздела. Т. е. сверхкритическая жидкость или флюид занимает любой выделенный объем, т. о., фактически, является газом, а не жидкостью (прим. авт.).

комбинацией, объясняющей максимум свойств известных в настоящее время газов и жидкостей. Причем во всех достигнутых в настоящее время диапазонах температур и давлений.

Суммируя вышесказанное можно сказать, что ответ на вопрос, поставленный в заголовке статьи, будет учет всех возможных вариантов различных моделей идеальных газов, составленных на различных видах энергий частиц газов, влияющих на различные виды взаимодействия частиц газа и жидкостей. Исходя из предыдущих работ авторов данной статьи, можно констатировать, что общее количество моделей идеального газа равно семи ( $3! + 1 = 7$ ). Седьмая модель фотонно-механическая, объединяющая кинетические (МКТ) плюс потенциальные взаимодействия между частицами газа и взаимодействия частиц газа с фотонами излучаемыми частицами газа.

### Выводы

1. Молекулы газа, кроме кинетической энергии, также имеют и потенциальную энергию. Этот факт подтверждается и теоретически, и экспериментально. Т. е. они обладают полной механической энергией.

2. Определение «идеального газа» как газа, состоящего из гипотетических частиц, имеющих исключительно кинетическую энергию при полном отсутствии потенциальной энергии, при этом еще и не имеющих размеров, является избыточной идеализацией. Т. к. сильно сужает область применения данной модели в узких рамках внешних условий, при высокой температуре и малых давлениях, т. е. при условиях, когда размеры молекул не играют роли, а потенциальные взаимодействия между молекулами исчезающе малы и поэтому могут быть приняты равными нулю. Во всех остальных случаях подобная модель «идеального газа» будет неработоспособна.

3. Признание наличия у молекул «идеального газа» конечных размеров и наличие *полной* механической энергии позволит расширить рамки применимости моделей «идеального газа» на области низких температур либо высоких давлений.

4. Наиболее полная модель «идеального газа» должна включать в себя, кроме механических взаимодействий между молекулами газа (кинетических и потенциальных), еще и взаимодействия с фотонами, которые излучают и поглощают молекулы газа. Кроме этого, при высоких давлениях нельзя игнорировать реальные размеры молекул газа.

5. Обобщая все виды взаимодействия, которые могут испытывать молекулы газа, можно сформулировать следующее определение: «идеальный газ» – это газ, состоящий из гипотетических молекул, имеющих конечные размеры, обладающих полной механической энергией (кинетической и потенциальной), взаимодействующих с фотонами (другими словами, излучающих и поглощающих фотоны), но не имеющих химических свойств реальных молекул газов.

6. При области отдельных внешних условий (давления и температуры), когда влияние отдельных взаимодействий становится исчезающе малым, возможна дополнительная идеализация модели газа, например:

- При высокой температуре и низком давлении расстояния между молекулами большие, поэтому размеры молекул несущественны и потенциальные взаимодействия между молекулами крайне малы. Если прозрачность газа высокая, значит взаимодействиями с фотонами можно пренебречь. В этих условиях кинетическая модель (МКТ) будет вполне работоспособна, что и подтверждают эксперименты.



- При низкой температуре и высоком давлении можно пренебречь кинетической энергией молекул, но потенциальные взаимодействия и размеры молекул будут иметь решающее значение. При этом, хотя плотность газа будет высокой, а значит, будет низкой прозрачность газа, но энергия излучаемых фотонов будет низкой (из-за низкой температуры), значит и взаимодействием с фотонами (в первом приближении) можно пренебречь. В этих условиях вполне работоспособной будет потенциальная (решеточная) модель идеального газа.
- При высокой температуре и высоком давлении невозможно игнорировать взаимодействие молекул газа с тепловыми фотонами. При высокой температуре молекулы газа излучают высокоэнергетические тепловые фотоны, а высокая плотность заставляет интенсивно поглощать фотоны (низкая прозрачность), соответственно, необходимо строить молекулярно-фотонную модель газа.

7. Расширенная модель «идеального газа» приведенная в п. 6, позволяет охватить практически весь диапазон внешних условий, при которых вещество существует в виде газа: от самых низких до самых высоких температур и давлений. При этом не понадобится, как это происходит в современной литературе, один и тот же газ при одних условиях (высокой температуре и низком давлении) называть газ «идеальным», а при всех остальных внешних условиях тот же самый газ называть «реальным».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gribbin, John. Science. A History (1543-2001). – L.: Penguin Books, 2003. – 648 с.
2. Herapath I. On the Physical Properties of Gases // Annals of Philosophy, vol. VIII, 1816. pp. 56-60.
3. Даниил Бернулли. Гидродинамика, или записки о силах и движениях жидкостей. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. 552 с.
4. Больцман Л. Избранные труды. Молекулярно-кинетическая теория газов. Термодинамика. Статистическая механика. Теория излучения. Общие вопросы физики. – М.: Наука. 1984. 590 с.
5. Кочетков А. В., Федотов П. В. Интерпретация опытных данных по сжимаемости газов при различных условиях. Атомно-фотонный газ // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, № 2 (2016).
6. Кочетков А. В., Федотов П. В. Расширение понятия «идеальный газ» // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». Том 9, № 4 (2017).
7. Ломоносов М. В. Избранные произведения в двух томах. Т. 1. – М.: Наука, 1986. 536 с.
8. Модельные представления о реальных газах // Еремин В. В., Каргов С. И., Кузменко Н. Е. Реальные газы. Интернет-ресурс: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/realgases/chap2%283%29.html>.
9. Трофимова Т. И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1990. 478 с.
10. Федотов П. В., Кочетков А. В. Молекулярная кинетически-потенциальная модель идеального газа // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/63TVN317.pdf>.
11. Фигуровский Н. А. Открытие элементов и происхождение их названий. – М.: Наука. 1970. 208 с.
12. Физическая энциклопедия, т. 2: Добротность – Магнитооптика. – М.: Сов. энцикл. 1990. 703 с.

**Kochetkov Andrey Viktorovich**

Perm national research polytechnical university, Russia, Perm  
E-mail: soni.81@mail.ru

**Fedotov Petr Viktorovich**

JSC research center of technical regulation, Russia, Saratov  
E-mail: klk50@mail.ru

## **Full classification of models of ideal gas**

**Abstract.** It is the second article about expansion of the concept "ideal gas". In the first article the artificial restrictions of concept which developed historically were considered. Proceeding from that fact that for the air and gases entering air (oxygen, nitrogen, carbon dioxide, hydrogen, etc.), influence of potential interactions between particles of gas are minimum, calculations of gas laws proceeding only from existence at particles of gas of kinetic energy appeared the simplest with the acceptable accuracy. And, with an atmospheric pressure density of gases is so low that the sizes of particles of gas, are also insignificant. On the basis of these and other facts, Klauzius constructed the kinetic theory of gases (MKT).

The defects of MKT were pointed out still by M. V. Lomonosov which have to be shown at the high density of gases (big pressure and low temperatures), further researches completely confirmed conclusions of the Russian scientist.

In article "Interpretation of skilled data on compressibility of gases under various conditions. Nuclear and photon gas" authors, analyzing compressibility of gases at high temperatures, made a hypothesis of high influence of photons on behavior of gases.

In this article, on the basis of conclusions of the previous article "Expansion of the Concept "Ideal Gas" attempt to define quantity of possible models of "ideal gas" becomes.

**Keywords:** ideal gas; real gases; mathematical model; big pressure; low temperatures; molecular and kinetic theory (MKT); equations of ideal gas; equation of real gas; Clapeyron-Mendeleyev's equation; Van der Waals's equation