

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №6, Том 10 / 2018, No 6, Vol 10 <https://esj.today/issue-6-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/91NZVN618.pdf>

Статья поступила в редакцию 19.11.2018; опубликована 17.01.2019

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Кочетков А.В., Федотов П.В. Молекулярная аэрогидромеханическая теория газов. Часть 2. Образование тумана и сжижение газов // Вестник Евразийской науки, 2018 №6, <https://esj.today/PDF/91NZVN618.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Kochetkov A.V., Fedotov P.V. (2018). Molecular aerohydro-mechanical theory of gases. Part 2. Fog and gas liquefaction. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(10). Available at: <https://esj.today/PDF/91NZVN618.pdf> (in Russian)

УДК 533

ГРНТИ 29.17.15

**Кочетков Андрей Викторович**

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

**Федотов Петр Викторович**

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

## Молекулярная аэрогидромеханическая теория газов. Часть 2. Образование тумана и сжижение газов

**Аннотация.** Показано, что современное определение что такое «газы» – ошибочно. На самом деле, реальные газы представляют собой смешение двух фаз: отдельных молекул вещества и капель жидкой фазы того же вещества, взвешенных в «идеальной газе», состоящем из отдельных молекул.

Капли жидкости в газах образуются за счет вандерваальсовых сил между молекулами. Причем, т. к. вандерваальсовы силы – электромагнитного происхождения, то они не имеют ограничений по радиусу действия, т. е. они дальнедействующие.

Показано, что условия зарождения и роста капель жидкости в газах зависят от температуры. Поэтому для каждого газа существует индивидуальная критическая температура  $T_{кр}$ . Ниже  $T_{кр}$  условия для зарождения и роста капель благоприятные, а выше  $T_{кр}$  – неблагоприятные. При  $T < T_{кр}$  зарождаются и растут вплоть до перехода в жидкое состояние (при соответствующем давлении). А при  $T > T_{кр}$  капля жидкости в газе меньше и они не растут, а постоянно разрушаются. Поэтому при  $T > T_{кр}$  газы не сжижаются при любом давлении.

**Ключевые слова:** теория газов; молекулярно-кинетическая теория газов (МКТ); сжижение газов; критическая температура; туман; осадки; фактор сжимаемости газов; молекулярно-фотонная теория; молекулярная аэрогидромеханическая теория газов (МАГТ газов)

### Постановка задачи

В современной научной и особенно в учебной литературе слабо раскрыты физические процессы образования туманов и сжижения газов [1-13]. Обычно указывается, что при определенном давлении и температуре газ переходит в жидкое состояние либо, наоборот, испаряется из жидкости.

Против такого прямолинейного подхода говорит простой, но наглядный опыт.

«Проведем простой опыт. В жестяной стакан, закрепленный проволокой на штативе, нальем жидкий азот. На блестящей металлической поверхности почти сразу появятся струйки, и с внешних стенок стакана начнет капать прозрачная жидкость! Удивительное сходство с привычной конденсацией воды на холодном предмете!

Однако разочаруем читателей: выступившая «роса» это не кислород, а воздух! Другими словами, конденсируется смесь азота и кислорода. Однако есть и хорошая новость – содержание кислорода в ней не будет равно 21 % по объему! При атмосферном давлении в равновесии с газообразным воздухом существует жидкий воздух с температурой кипения минус 192°C, который содержит 47 % (по объему) кислорода! Такое обогащение объясняется большей легкостью сжижения кислорода» [6].

Напомним, что температура кипения кислорода минус 183°C, а температура кипения азота – минус 196°C. А при температуре жидкого азота из воздуха выпадает роса не чистого кислорода, а смеси азота и кислорода, т. е. воздуха, хотя и обогащенного кислородом. Причем эта смесь имеет промежуточную температуру сжижения.

Отсюда следует, что процессы сжижения газов не простые и требуют отдельного рассмотрения.

В монографии А.Х. Хргиана «Физика атмосферы» [11] глубоко анализируется процесс образования осадков в атмосфере и говорится, что выпадению осадков предшествует образование дымки, тумана и облаков. Все эти природные образования состоят из микрокапель воды. Осадки выпадают после коагуляции микрокапель тумана или облаков. Т. е. при понижении температуры сначала образуется туман или облако и только при дальнейшем понижении температуры выпадает роса или дождь<sup>1</sup>.

Т. о. процессам сжижения предшествует процессы туманообразования.

Недостатком прекрасной монографии является то, что глубокий анализ процессов образования и выпадения осадков ограничивается анализом термодинамических характеристик (температуры, давления, внутренней энергии, энтропии и свободной энергии Гиббса), и на основании решения термодинамических уравнений делаются выводы о процессах осаждения осадков. Физическая же картина происходящих процессов отсутствует полностью.

Поэтому проведем собственный феноменологический анализ, опуская термодинамические расчеты, хорошо освещенные в литературе [4, 5 и др.].

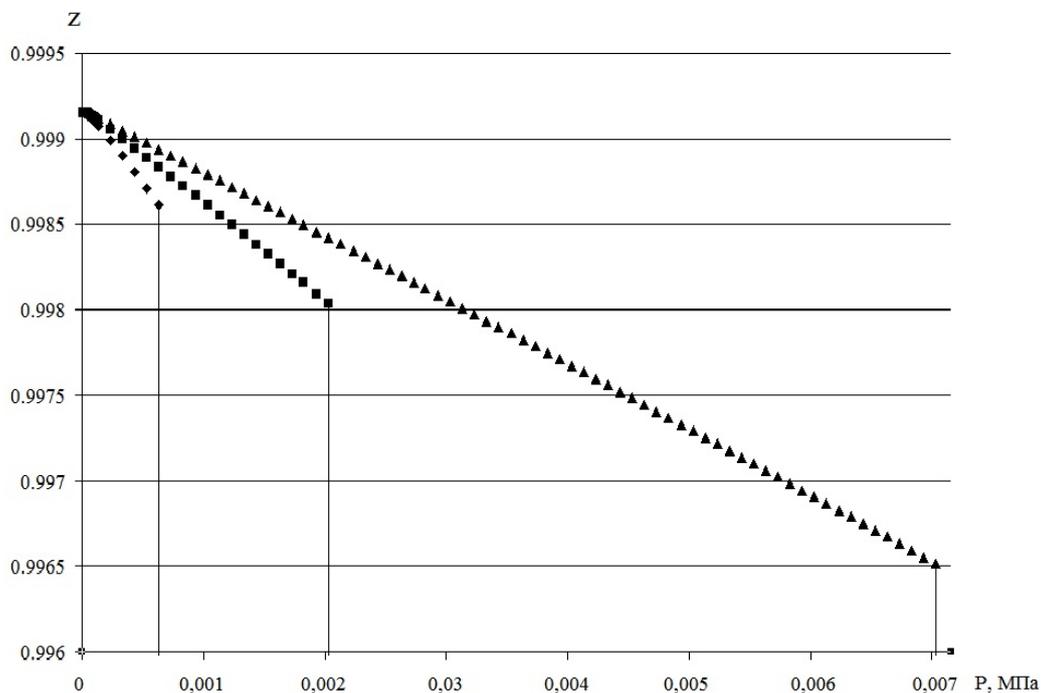
---

<sup>1</sup> Туманы и облака бывают ледяными, в них присутствуют микрочастицы льда, из таких облаков выпадает снег и град, а из ледяного тумана – зернистая изморозь [11, с. 378] (прим. авт.).

### Авторское решение задачи

Применим методику анализа функции фактора сжимаемости ( $Z$ -фактор), описанную и использованную в первой части<sup>2</sup>.

Графики  $Z$ -фактора в зависимости от давления при постоянной температуре показаны на рисунке 1.



◆ – температура 0°С, ■ – температура 20°С, ▲ – температура 40°С

**Рисунок 1.** Фактор сжимаемости ( $Z$ ) паров воды при постоянной температуре (рисунок авт. по данным [9])

На рисунке 1 вертикальные линии изображают переход паров в жидкое состояние.  $Z$ -графики не только простой, но и наглядный способ визуализации процессов образования тумана и сжижения газов.

Главный вывод, следующий из графиков на рисунке 1, состоит в том, что осаждение жидкой фазы из паров происходит за счет конденсации паров в капли, которые и осаждаются в жидкость. Капли жидкости в паре не рождаются сразу достаточно большими, чтобы под действием гравитации осесть на дно сосуда. Должен пройти процесс зарождения капли, взвешенной в газе (туман) и ее рост до размеров, необходимых для ее падения под влиянием гравитации. На графиках рисунка 1 нет разделения на области чистого пара и области тумана.

Отсюда следует вывод, что пары воды всегда находятся в туманном состоянии. Водяной пар представляет собой не просто пространство, занятое независимыми отдельными молекулами, а взвесь микрокапель в чистом (идеальном) газе<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Обычно в литературе в аналогичной ситуации анализируются графики изобарических процессов, здесь используются изотермические графики, как более подходящие в данной ситуации (прим. авт.).

<sup>3</sup> В данном случае отходим от современного определения понятия «туман» и «капли жидкости». Обычно туман определяется визуально, по состоянию видимости, а понятие капли жидкости обычно относится к ассоциации молекул размерами не менее 1 мкм. Авторы в данном случае под понятием «капли жидкости» подразумевают любое объединение молекул независимо от размеров. Т. е. даже соединение из двух-трех молекул авторы называют «каплей», чтобы не плодить новых названий (прим. авт.).

В природе не все так просто. Дело в том, что существует переохлажденный газ или перенасыщенный пар [10, с. 189] и не все просто с вопросом о существовании метастабильного состояния газа.

Процессы конденсации газа делятся на два периода: начальная конденсация (образование зародышей) и собственно конденсация.

Зародыши микрокапель, вокруг которых конденсируются влага или лед, бывают двух видов, образованные спонтанно из молекул газа (гомогенная конденсация) и посторонние включения (жидкие или твердые), внесенные в газ извне. Посторонними включениями могут быть частицы пыли или дыма, капли жидкостей и т. д. Такая конденсация называется гетерогенной.

Вообще самостоятельное зарождение микрокапель тумана в газах процесс вероятностный. Согласно МКТ молекулы газа мечутся хаотично и при этом постоянно сталкиваются, в результате столкновений возможно образование ассоциаций молекул (микрокапель). Причем вероятность образования микрокапель определяется термодинамическими характеристиками состояния по законам вероятностей [11, с. 279].

Причем термодинамические расчеты утверждают, что решающим фактором является радиус микрокапли. Чем больше радиус, тем легче протекает дальнейшее увеличение сконденсированного вещества. Поэтому существование метастабильного состояния объясняют малым давлением насыщенных паров при малом радиусе зародыша [11, с. 279]. Т. о. сложности с конденсацией могут возникнуть только на первом этапе – зарождения зародышей, на втором этапе, когда зародыши уже существуют, конденсация протекает свободно.

Как показывают расчеты и натурные эксперименты в природе вероятность гомогенной конденсации на несколько порядков слабее необходимой «и таким образом, она не может играть заметной роли» [11, с. 280]. Тем более, как показала Л. Юскеселиева из Болгарии, в облаках не могут зарождаться зародыши льда в облаках [13], которые должны зарождаться в более выгодных условиях, чем зародыши воды, за счет более низкой температуры образования льда. Кристаллы льда образуются при более низких температурах, а значит в более благоприятных условиях, чем зарождение жидких капель.

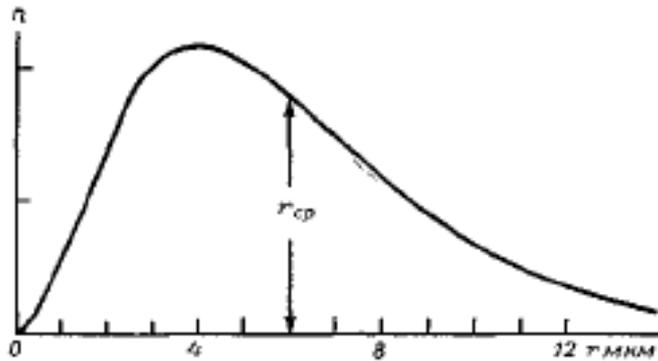
Если верить в МКТ, то получается, что в идеальных условиях, при отсутствии гетерогенной конденсации, все газы будут несжижаемыми и только при наличии примесных зародышей возможна конденсация газов, в том числе и конденсация паров воды и выпадения осадков в виде тумана, облаков, росы, дождя и снега в природе.

### **Исследование процесса коагуляции**

Чтобы разобраться в данном вопросе, рассмотрим процесс коагуляции водных капель чуть подробнее.

Все теоретические исследования и натурные эксперименты утверждают, что процессы образования и роста капель очень сложные и подчиняются теории вероятностей.

Поэтому большинство формул конденсации в той или иной форме содержат функцию ошибок Гаусса. Более того, на рисунке 2 приведена форма распределения кривой среднего радиуса капель в водяном облаке, которая явно похожа на распределение вероятностей.



**Рисунок 2.** Средняя кривая распределения радиусов капель [11, с. 292]

Причем «Водяные облака содержат обычно (по Боровикову и др.) от 100 до 600 капель в  $1 \text{ см}^3$ , так, что среднее расстояние между каплями порядка 1-2 мм» [11, с. 292].

Даже это не самое главное. Важнее то, что дает информация анализа рисунка 1. Из него следует, что процесс образования и конденсации капель не имеет ярко выраженных границ, а начинается практически от состояния вакуума и продолжается вплоть до перехода в жидкое состояние. Другими словами, водяные пары всегда (при любой температуре и давлении) содержат некоторое количество жидких капель. В разреженном состоянии, тем более при повышенной температуре, их мало по количеству и они малых размеров.

При понижении температуры и повышении давления увеличивается как их количество, так и средние размеры капель. Процесс укрупнения капель путем присоединения отдельных молекул называется конденсацией, но параллельно идут процессы коагуляции, т. е. слияние капель. В какой-то момент, количество переходит в качество, а пар переходит в жидкость.

«Как показали Ю.С Седунов и Э.Л. Александров, мелкие капли радиусом меньше  $r_{кр}$  испарятся, а большие с  $r > r_{кр}$  будут расти» [11, с. 343].

Чисто схематично это явление можно представить, так как это выглядит на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Схема существования капель в тумане (рисунок авторов)

На рисунке 3 изображена диаграмма тумана, при размерах меньше  $r_{кр}$ , капли испаряются и исчезают, но при этом будут зарождаться новые, в результате средняя влажность остается постоянной. В средней области  $r_{кр} < r < r_{пред}$ , наблюдается рост капель за счет конденсации и слияния (туман сгущается). В верхней области, когда размеры капель становятся выше

предельного  $r_{пред}$ , капли не могут оставаться во взвешенном состоянии и выпадают либо в виде росы, либо в виде дождя.

«Вопрос о том, все ли капли сливаются при столкновении или соприкосновении, и какая доля столкновений приводит к слиянию, весьма сложен. Опыты Н.П. Тверской показали, что при «лобовом ударе» (по линии центров) при относительной скорости менее 90 см/с все столкновения капель радиусом 0,05-0,15 см приводят к слиянию и коэффициент эффективности  $K_{эф}$  при этом, следовательно, равен единице. При больших скоростях капли отражаются, как упругие шарики. При косом ударе отражение происходит и при меньших скоростях. Эти опыты были сделаны при влажности окружающего воздуха 40-50 %» [11, с. 335].

По поводу механического воздействия на туманы и облака тоже имеются исследования. «Если пульсации температуры (и пресыщения) создать при помощи звукового потока, то, как показал Ю.С. Седунов и Э.Л. Александров, мелкие капли радиусом меньше  $r_{кр}$  испарятся, а большие будут расти. Теоретически, таким путем можно осаждавать облака. При частоте колебаний  $f = 10$  Гц –  $r_{кр} = 20$  мкм,  $f = 200$  Гц –  $r_{кр} = 3$  мкм» [11, с. 343]. Отметим, что чем выше ускорение колебаний, тем меньше  $r_{кр}$  выше которого капли не испаряются, а растут. Если вместо многократных колебаний применить резкий толчок, то результат будет таким же. Также заменой звуковых колебаний может служить конвекция.

Также существуют и другие методы коагуляции капель: броуновская, конвекционная, гравитационная, электростатическая и др. виды коагуляции. Причем «Появление среди мелких капель хотя бы немногих крупных капель очень важно для вступления в игру механизмов гравитационной, турбулентной и др. способов коагуляции» [11, с. 342].

Необходимо рассмотреть еще один вопрос о тепловом балансе в окружении капель. Дело в том, что при конденсации капель выделяется скрытая теплота парообразования. Соответственно, капли при присоединении отдельных молекул пара будут нагреваться, но нагрев капли относительно окружающего пространства приведет к повышенному излучению тепловых фотонов, которые будут рассеиваться в окружающем пространстве.

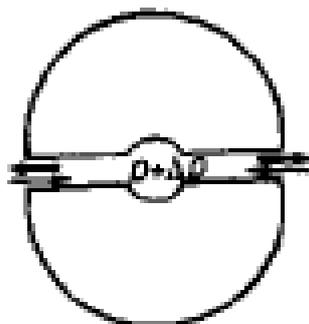
Но вблизи растущей капли будет наблюдаться повышенный фон излишних тепловых фотонов. Этот повышенный фон фотонов можно представить себе как некую ауру теплоты, разлитую в пространстве<sup>4</sup>.

Эта аналогия необходима для понимания процессов, препятствующих объединению капель даже при малых относительных скоростях капель. Как указано выше, только при больших относительных скоростях капли упруго отталкиваются от друг друга. Но наблюдения показывают, что и при малых скоростях, далеко не все капли сливаются. «Ганну удалось при помощи стробоскопического метода детально наблюдать и фотографировать взаимодействие капель. Он наблюдал упругое отражение капель и при малых относительных скоростях» [11, с. 356].

Теоретически этот процесс рассмотрен чуть далее в монографии Хргиана. «При сближении капель между ними образуется паро-воздушный зазор. В нем общее давление воздуха и пара будет больше, чем наружное давление, на малую величину  $\Delta p$ . Этот избыток давления  $\Delta p \approx 1$  мб и удерживает капли от слияния. Действительно в опытах Дерягина и Прохорова капли радиусом 0,02-0,05 см при влажности воздуха 20 % и 75 % не сливались даже при центральном ударе и малых скоростях (как и в опытах Ганна)» [11, с. 357].

Наглядно образование паровоздушного зазора представлено на рисунке 4.

<sup>4</sup> Физически это неверно, но как зрительная аналогия вполне пойдет (прим. авт.).



*Рисунок 4. Паровоздушный зазор между сближающимися каплями [11, с. 357]*

Внесем необходимые пояснения.

Рассмотрим вопрос, а по какой теории газа возможен такой феномен, как показанный на рисунке 4, притяжения двух капель через паровоздушный зазор?

Оказывается, что в рамках молекулярно-кинетической теории, такое в принципе невозможно. Т. к. согласно постулатам МКТ в газах полностью отсутствуют любые силы между молекулами. Согласно теории газа Ван-дер-Ваальса между молекулами газа существуют силы притяжения, но причем в теории Ван-дер-Ваальса учитывается притяжение между молекулами газа, но только в пределах молекулярного радиуса действия. «В связи с короткодействующим характером сил притяжения каждая молекула взаимодействует лишь с теми молекулами, которые находятся от нее на расстояниях  $r \leq r_m$ , где  $r_m$  – радиус молекулярного взаимодействия. Сфера радиуса  $r_m$  ( $r_m \sim 10^{-9}$  м), описанная из центра молекулы, называется сферой молекулярного действия» [3, с. 43].

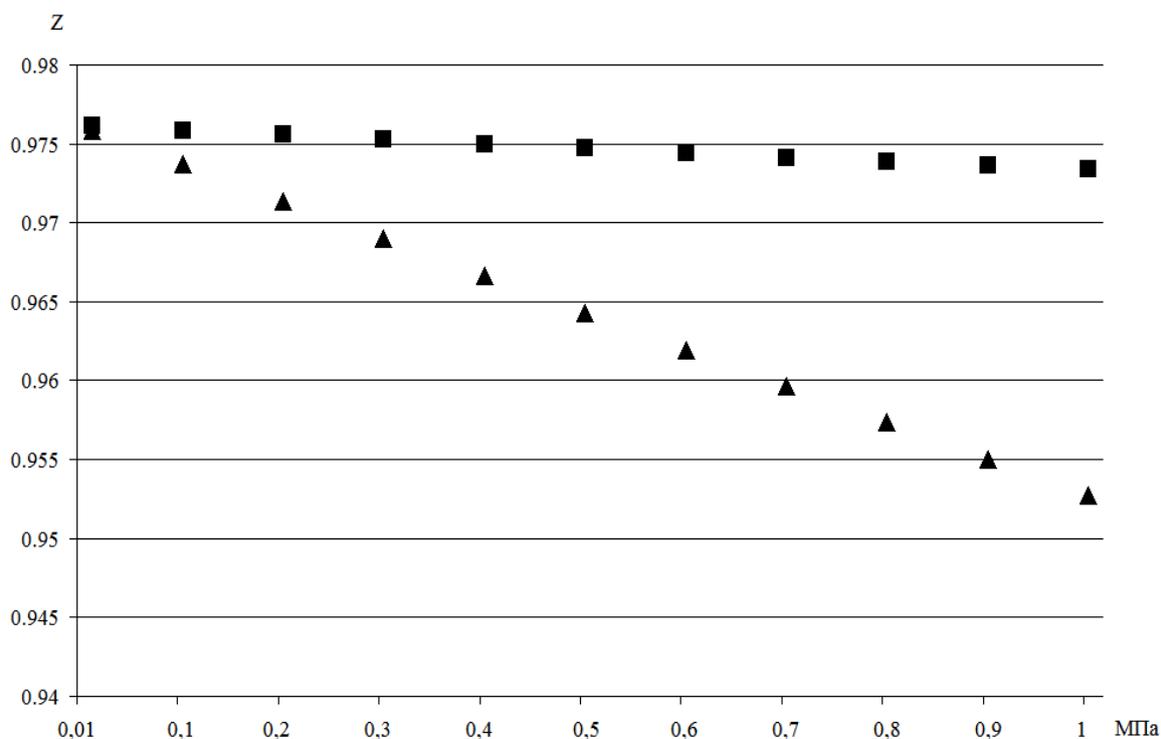
Другими словами, в теории Ван-дер-Ваальса капли жидкости могут притягиваться друг к другу, только если они подойдут друг к другу вплотную, на расстояние молекулярного радиуса действия вандерваальсовых сил ( $r_m \sim 10^{-9}$  м). Но это расстояние между молекулами в жидкости и ни о каком притяжении через зазор, даже размером в несколько микрометров (как это показано на рисунке 4) речи о действии сил притяжения в рамках современной теории Ван-дер-Ваальса быть не может.

Только МАГТ (молекулярная аэрогидромеханическая теория), предложенная авторами, может объяснить подобный феномен. Т. к. в МАГТ авторы обосновывают, что силы Ван-дер-Ваальса далекодействующие (т. е. действуют на любом расстоянии), т. к. имеют электромагнитную природу и не имеют ограничений по радиусу действия (см. часть 1 настоящего исследования).

Отметим, что давление паров и температура жестко связаны, и, если где-то повышается давление, значит, что в этом месте повышена температура. Следовательно, повышение давления в зазоре между каплями означает повышение температуры в том же зазоре. А повышенная температура, как сказано выше, наблюдается именно в окружении растущей капли.

О роли фотонов различных длин волн говорится в статье авторов [8].

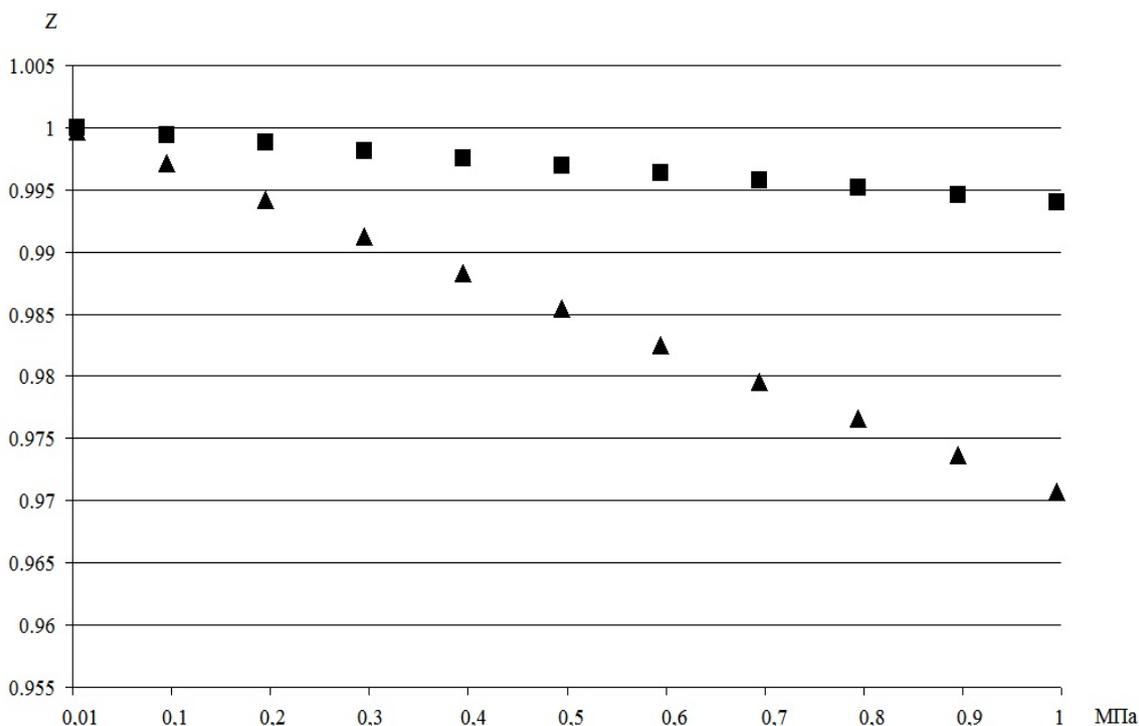
Т. к., все вышеизложенное в статье касалось исключительно паров воды, все остальные газы ведут себя совершенно аналогично. На рисунке 5 приведены графики фактора сжимаемости воздуха.



■ – температура 200 К, ▲ – температура 300 К (рисунок авт. по данным [9])

**Рисунок 5.** Фактор сжимаемости ( $Z$ ) воздуха при постоянной температуре

На рисунке 6 приведены аналогичные графики фактора сжимаемости аргона.



■ – температура 200 К, ▲ – температура 300 К (рисунок авт. по данным [9])

**Рисунок 6.** Фактор сжимаемости ( $Z$ ) аргона при постоянной температуре

На рисунке 6 явно видно, что поведение фактора сжимаемости ( $Z$ -фактора) аргона соответствует графикам для воды (рисунок 1). Принципиальное отличие, что прямые на

графиках воды обрываются в точке осаждения жидкой фазы, а на графиках аргона таких точек нет. Это связано с тем, что газы сжижаются только при температурах ниже критической  $T_{кр}$ . Для воды  $T_{кр} = 647,1 \text{ K}$  ( $374^\circ\text{C}$ ), а для аргона –  $T_{кр} = 150,86 \text{ K}$  ( $-122,29^\circ\text{C}$ ).

«Опыт показывает, что при температурах, более высоких, чем критическая, вещество может находиться только в газообразном состоянии. Если мы будем уменьшать объем, занятый паром, при температуре выше критической, то давление пара возрастает, но он не становится насыщенным и продолжает оставаться однородным: как бы не было высоко давление, мы не обнаружим двух состояний, разделенных резкой границей, как это всегда наблюдается при более низких температурах вследствие конденсации пара. Итак, если температура какого-нибудь вещества выше критической, то равновесие вещества в виде жидкости и соприкасающегося с ней пара невозможно ни при каком давлении» [12, с. 555].

Критические температуры некоторых газов лежат в области очень низких температур, поэтому их не удастся сжигать только повышением давления при нормальных температурах<sup>5</sup>.

Последним из газов удалось сжигать гелий ( $T_{кр} = 5,25 \text{ K}$ ) в 1908 г. После этого стало окончательно ясно, что абсолютно все газы можно сжигать, вопрос только в способах получения достаточно низких температур.

Но если все газы сжижаются, значит, они все имеют взаимное притяжение между молекулами (вандерваальсовы силы)<sup>6</sup>. Но вандерваальсовы силы электромагнитной природы, т. е. не зависят от температуры. Следовательно, все газы при любых температурах действие вандерваальсовых сил обеспечит существование микрокапель.

Зависимость сжижения газов от критической температуры объясняется следующим образом: хотя микрокапли образуются при любой температуре, но т. к. зависит только от случайных событий столкновения молекул. Но процесс слияния или упругого отталкивания молекул после столкновения более детерминированный, т. к. зависит от скорости сталкивающихся молекул. Чем больше скорость, тем меньше вероятность объединения молекул в каплю жидкости. Т. к. скорость молекул в газе зависит от температуры, то ясно, что чем выше температура, тем меньше вероятность слияния.

Совсем не значит, что при высоких температурах микрокапель вовсе не образуется. Скорости молекул при данной температуре определяются распределением Максвелла. Согласно этому распределению, при любой температуре существуют быстрые и медленные молекулы. Быстрые молекулы образуют микрокапли с малой вероятностью, а медленные – с большой. Тоже самое касается и размеров капель (см. рисунок 2).

Отсюда делается абсолютно логичный вывод, что не только пары воды, но и все газы всегда находятся в туманном состоянии. Газ представляет собой не просто пространство, занятое независимыми отдельными молекулами, а взвесь микрокапель в чистом (идеальном) газе<sup>7</sup>. Это определение явно противоречит современному определению термина «газы», тем не менее, анализ реального положения дел явно говорит в пользу данного утверждения.

---

<sup>5</sup> Особенно много вопросом сжижения газов занимался М. Фарадей, ему удалось сжигать ряд газов. «Однако все попытки сжигать такие газы, как кислород, азот, водород, оксид углерода и метан, оказались напрасными. Фарадею не удалось их сжигать даже при очень высоких давлениях. Эти газы стали называть «постоянными газами» [1, 190] (прим. авт.).

<sup>6</sup> Если бы силы притяжения полностью бы отсутствовали, например, для инертных газов, то тогда бы не было никакой возможности получать жидкую фазу таких газов ни при каких температурах (прим. авт.).

<sup>7</sup> См. примечание выше.

Вывод состоит в том, что при низких температурах микрокапли образуются легко, и они легко растут вплоть до образования жидкой фазы. При высоких – количество микрокапель мало, а способность капель расти падает, по мере повышения температуры.

### Обсуждение полученных результатов.

Остановимся на вопросе о природе фактора сжимаемости газа ( $Z$ -фактор). В научной и учебной литературе  $Z$ -фактор всегда упоминается при рассказах о реальных газах, т. к.  $Z$ -фактор, по определению, это численное значение отклонения реального газа от идеального. Причем в качестве объяснения причин появления приводятся вандерваальсовы силы [10].

Сообщается, что  $Z$ -фактор может быть больше, меньше или равен единице. Но не сообщается, что вандерваальсовы силы – это силы притяжения, т. е. присутствие вандерваальсовых сил может только уменьшать значения  $Z$ -фактора, а их отсутствие (в рамках существующей теории) приведет к равенству  $Z = 1$ . Газ будет себя вести как идеальный.

Но такая ситуация не соответствует действительности. Хотя бы потому, что  $Z$ -фактор может быть больше 1. Что показывает, что в реальных газах присутствует еще и фактор отталкивания.

Выше приводились аргументы в пользу того, что исходя из электромагнитной природы вандерваальсовых сил они дальнедействующие (см. также часть 1 исследования). Из этого следует, что в реальных газах существуют капли жидкости, они тоже образуются за счет вандерваальсовых сил. Но образование капель жидкости в газе снижает внутригазовое давление и не может объяснить причины увеличения  $Z$ -фактора выше единицы.

Только молекулярно-фотонное взаимодействие в рамках МФТ (предложенной авторами статьи [7]) позволяет это сделать. Другими словами, в газах существуют два механизма, снижающих  $Z$ -фактор, и один механизм, повышающий внутригазовое давление.

Математически это будет выглядеть следующим образом:

$$Z = -Z_B - Z_K + Z_\Phi,$$

где  $Z$  – комплексный фактор сжимаемости газа, показывающий отклонение реального газа от идеального;  $Z_B$  – фактор сжимаемости, зависящий от действия вандерваальсовых сил;  $Z_K$  – отклонение реального газа, вызванное образованием капель жидкости;  $Z_\Phi$  – увеличение внутригазового давления, за счет отталкивания при взаимодействии молекул и фотонов.

Зависимость от температуры у указанных механизмов различается. Вандерваальсовы силы не зависят от температуры, в силу электромагнитного происхождения. Механизмы каплеобразования зависят от температуры обратно пропорционально, т. е. при повышении температуры образование капель снижается (см. выше). Молекулярно-фотонное отталкивание, наоборот, растет по мере повышения температуры, т. к. с увеличением температуры растет энергия тепловых фотонов.

Соответственно, при низких температурах, влияние молекулярно-фотонного отталкивания мизерно, и только при высоких температурах этот вид отталкивания играет существенную роль. При низких температурах, главное влияние на отклонение от идеального газа будут иметь механизмы образования капель.

Более подробно поведение газов при высоких температурах будем рассматривать в третьей части исследования.

### Выводы

1. Любой газ состоит из капель жидкой фазы и отдельных молекул, взаимодействующих между собой посредством дальнедействующих вандерваальсовых сил (см. часть 1).
2. Капли образуются за счет вандерваальсовых сил, действующих между молекулами вещества в конденсированном состоянии. Причем, т. к., вандерваальсовы силы имеют электромагнитное происхождение, следовательно, не зависят от температуры. Другими словами, вандерваальсовы силы действуют при любой температуре. А значит образование капель жидкости в газах возможно при любых температурах.
3. Т. о. все газы всегда находятся в состоянии тумана. Это означает, что газ представляет собой взвесь капель жидкости в «идеальном газе», состоящем из отдельных молекул.
4. Т. к., процессы зарождения и роста капель зависят от температуры, то фактическое строение газа зависит от температуры. При низких температурах капель больше и условия благоприятствуют их росту. При высоких температурах образование капель менее вероятно, а условия не благоприятствуют их росту. При низких температурах капли легко зарождаются и быстро растут. При высоких – мало зарождаются и быстро разрушаются.
5. Понятия «низкая температура» и «высокая температура» индивидуально для каждого газа.
6. Своеобразным «водоразделом» понятий «низкая температура» и «высокая температура» служит критическая температура индивидуального вещества.
7. Фактор сжимаемости (Z-фактор), показывающий отклонение реальных газов от идеального – это комплексная величина. Он отражает сумму различных факторов, действующих в реальных газах, не учитываемых в идеальном газе в рамках МКТ. Эти факторы трех видов, во-первых, это вандерваальсовы силы притяжения, снижающие внутригазовое давление. Во-вторых, это механизмы образования капель жидкости в газе, также снижающие давление в газе. В-третьих, это молекулярно-фотонное отталкивание, повышающее давление внутри газа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов А. Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии. – М.: Мир. 1983. – 187 с.
2. Библиотека по физике // Интернет-источник <http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000016/st031.shtml>.
3. Богословский С.В. Физические свойства газов и жидкостей: Учеб. Пособие. – СПб.: СПбГУАП. 2001. – 73 с.
4. Бурдаков В.П. Термодинамика: учебное пособие для вузов. В 2 ч. / В.П. Бурдаков, Б.В. Дзюбенко, С.Ю. Меснянкин, Т.В. Михайлова. – М.: Дрофа. 2009. Ч. 1. Основной курс. – 479 с.
5. Глаголев К.В., Морозов А.Н. Физическая термодинамика. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. – 272 с.
6. Григорьев И.Н. Получение жидкого воздуха // Химия и Химики. № 4. 2012.
7. Кочетков А.В., Федотов П.В. Молекулярно-фотонная теория газов. – М.: Мир науки. 2018. – [Интернет-источник]: <http://izd-mn.com/PDF/09MNNPM18.pdf>.
8. Кочетков А.В., Федотов П.В. Молекулярно-фотонная теория. Механизм образования утренней росы // Вестник Евразийской науки. 2018. № 5, <https://esj.today/PDF/45NZVN518.pdf>.
9. Орлов К.А., Очков В.Ф. Проект интерактивного справочника «свойства и процессы рабочих тел и материалов атомной энергетики». – [Интернет-источник]: [http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/NPP/tab1\\_1\\_4\\_pt.xmcd](http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/NPP/tab1_1_4_pt.xmcd).
10. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука. 1990. – 591 с.
11. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 1969. – 647 с.
12. Элементарный учебник физики. В 3 т. Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика / Под ред. Г.С. Ландсберга. – М.: Физматлитгиз. 2010. – 612 с.
13. Юскеселиева Л. О механизме образования ледяных кристаллов в атмосферах. // Българска академия на науките. Comptes Rendus. Т. 16. № 3. 1963.

**Kochetkov Andrey Viktorovich**

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

**Fedotov Petr Viktorovich**

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

## **Molecular aerohydromechanical theory of gases. Part 2. Fog and gas liquefaction**

**Abstract.** It is shown that the modern definition of what “gases” is wrong. Actually, real gases are a mixture of two phases: separate molecules of a substance and drops of a liquid phase of the same substance, found in an “ideal gas” consisting of separate molecules. Liquid drops in gases are formed due to the van der Waals forces between the molecules. Moreover, since the van der Waals forces are of electromagnetic origin, they have no restrictions on the radius of action, i.e. they are long range.

It is shown that the conditions for the initiation and growth of liquid droplets in gases depend on temperature. Therefore, for each gas there is an individual critical temperature  $T_{cr}$ . Below  $T_{cr}$ , the conditions for the nucleation and growth of droplets are favorable, and above  $T_{cr}$  – not favorable. Therefore, at  $T < T_{cr}$ , they nucleate and grow, up to the transition to the liquid state (with the corresponding pressure). And at  $T > T_{cr}$  there are less liquid drops in the gas and they do not grow, but are constantly destroyed. Therefore, at  $T > T_{cr}$  gases do not liquefy at any pressure.

**Keywords:** gas theory; molecular kinetic theory of gases (MKT); gas liquefaction; critical temperature; fog; precipitation; gas compressibility factor; molecular photon theory; molecular aerohydromechanical theory of gases (MAGT of gases)