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/92NZVN618.pdf

Статья поступила в редакцию 19.11.2018; опубликована 17.01.2019

Ссылка для цитирования этой статьи:
Федотов П.В., Кочетков А.В. Молекулярная аэрогидромеханическая теория газов. Часть 3. Переохлажденный пар и сверхкритическая жидкость // Вестник Евразийской науки, 2018 №6, https://esj.today/PDF/92NZVN618.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:
Fedotov P.V., Kochetkov A.V. (2018). Molecular aerohydromechanical theory of gases. Part 3. Supercooled steam and supercritical fluid. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(10). Available at: https://esj.today/PDF/92NZVN618.pdf (in Russian)

УДК 533.1, 533.7

ГРНТИ 29.17.15

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

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

Молекулярная аэрогидромеханическая теория газов. Часть 3. Переохлажденный пар и сверхкритическая жидкость

Аннотация. Показано, что в современной учебной литературе вопросы моделей строения метастабильного состояния переохлажденного пара и стабильной сверхкритической жидкости обходят глухим молчанием. Это вызвано тем, что объяснить свойства этих состояний газа, основываясь исключительно на принятых в современной науке теориях газа, молекулярно-кинетической теории и теории Ван-дер-Ваальса, практически невозможно.

Показано, что перечисленные состояния легко описываются при помощи новых теорий: молекулярно-фотонной теории (МФТ), предложенной авторами ранее и молекулярной аэрогидромеханической теории (МАГТ), предлагаемой авторами в данном исследовании.

Согласно этим теориям, переохлажденный пар и сверхкритическая жидкость представляют собой мелкодисперсные капли жидкости, взвешенные в газовой фазе (туман). Другими словами, капли жидкости в тумане окружены фотонно-газовыми прослойками. Малые размеры капель термодинамически неустойчивы и не склонны к неудержному росту с переходом к конденсации жидкой фазы. Дополнительную устойчивость от роста обеспечивают окружающие капли фотонно-паровые оболочки.

При сравнительно низких температурах фотонно-газовые паровые оболочки слабые и неустойчивые, поэтому переохлажденный пар – неустойчив (метастабилен). При высоких температурах (выше критической) оболочки, составленные из молекул пара и излучаемых

каплей фотонов, плотные и устойчивые, поэтому сверхкритическая жидкость является устойчивой при любых давлениях и любых других внешних воздействиях.

Ключевые слова: теория газов; переохлажденный пар; перегретая жидкость; сверхкритическая жидкость; критическая температура; молекулярно-фотонная теория; молекулярно-кинетическая теория газов (МКТ); молекулярная аэрогидромеханическая теория газов (МАГТ газов)

Введение

Рассмотрим процессы слияния взвешенных в газе капель жидкости (туман). Эти процессы подробно разбирались во второй части, но остались еще некоторые принципиальные для теории вопросы.

Например, во второй части не достаточно полно рассматривался вопрос о влиянии температуры на процессы конденсации паров и осаждение жидкости. Как показывает анализ, эти вопросы слабо или полностью не отражены в учебной и научной литературе.

Совершенно не освещено влияние тепловых фотонов на свойства и поведение газов и жидкостей. Тем не менее, понимание этих зависимостей дает единственную возможность полностью проанализировать такие сложные процессы, как переохлаждение газов и перегрев жидкостей.

При переходе температуры кипения пар должен превращаться в жидкость. Естественно, точка кипения зависит от давления, чем ниже давление, тем ниже точка кипения [10].

Но для каждого набора внешних факторов (температуры и давления) существует вполне определенная стабильная фаза: газовая или жидкая. Но из этого правила существуют два исключения. Если пар очень чистый и не соприкасается с жидкой фазой, то можно получить метастабильное состояние, т. е. сохранение газовой фазы вещества при внешних условиях, соответствующих переходу в жидкое состояние.

Т. е. кроме стабильных состояний существуют метастабильные состояния. «Метастабильным называется равновесное состояние с ограниченной устойчивостью. При отклонении от этого состояния вещество не стремится к нему обратно, а легко переходит в другое, устойчивое состояние» [1, с. 319]. К метастабильным состояниям относят переохлажденный пар и перегретую жидкость.

Вроде бы все ясно. Но, есть одно но. Далее автор пишет «Метастабильные состояния существуют ограниченное время» [1]. На той же странице автор сообщает: «Конденсация может начаться только при наличии в газе инородных и притом смачиваемых включений» и «Если же газ является абсолютно чистым, то положение существенно меняется. В таком газе с самого начала отсутствуют зародыши жидкой фазы, а самопроизвольно они образоваться не могут» [1]. Но тут уж одно из двух, или зародыши самопроизвольно «в чистом газе зародиться не могут», или «метастабильные состояние существует ограниченное время».

Этот парадокс мы уже разбирали во второй части и выяснили, что самозарождение зародышей процесс вероятный, и зародыши, вокруг которых происходит дальнейшая конденсация пара, могут зародиться в самом чистом газе по законам вероятностей [14]. И по законам вероятностей в любой момент может произойти конденсация пара и осаждение жидкой фазы. То же самое касается и метастабильной перегретой жидкости. Поэтому выражение «метастабильное состояние существует ограниченное время» более правильное, т. к. чем дольше держится метастабильное состояние, тем выше вероятность, что зародыши стабильной

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

фазы не только зародятся самопроизвольно, но вырастут до размеров, гарантирующих переход в устойчивую фазу.

Но подобные мелкие недочеты не самое страшное. Главное, что в учебной литературе, либо вовсе обходится молчанием существование метастабильных состояний [13, 15, 16 и др.], либо метастабильные состояния упоминаются, но без анализа причин появления и механизмов существования метастабильных состояний [4, 5, 11 и др.].

Кроме метастабильных состояний есть еще одно состояние, недостаточно раскрытое в литературе, это сверхкритическая жидкость. Это состояние характеризуется тем, что при температурах выше критической пар не сжижается при любом давлении.

Проблема переохлажденного пара и сверхкритической жидкости

Переохлажденный пар. Обсуждаемое метастабильное состояние называется переохлажденным или пересыщенным паром. Двойное название существует потому, что данное метастабильное состояние можно получить двумя путями.

Пересыщенный или переохлажденный пар получается не только при понижении температуры при постоянном давлении (изобарный процесс), но и изотермически, т. е. при постоянной температуре и повышении давления.

Но простой механизм образования капель реализуется в так называемом стабильном состоянии. В метастабильном состоянии этот механизм нарушается. И анализируя условия и механизмы роста капель можно понять, что именно происходит.

Для начала перечислим известные условия получения переохлажденного пара.

В первую очередь повторим вывод, сделанный во второй части нашего исследования, что процесс конденсации и осаждения пара в жидкое состояние – процесс, управляемый законами вероятностей.

Известно, что для образования пересыщенного пара необходима особая чистота пара (отсутствие твердых и жидких включений). Т. е. первым условием достижения метастабильного состояния должно быть полное отсутствие гетерогенной конденсации[1]. Во второй части мы уже обсуждали условия конденсации пара и выяснили, что для конденсации пара в жидкость необходимо существование капель жидкой фазы радиусом более критического $r_{кр}$.

Т. к. натурные эксперименты и термодинамические расчеты утверждают, что частицы при $r < r_{кр}$ не растут, а испаряются[2], растут только капли при $r > r_{кр}$ [14].

Отсюда понятно требование отсутствия инородных включений, типа пыли дыма и т. д. Дело в том, что инородные частицы уже имеют размеры больше критического и на них активно идет конденсация пара.

Тем же самым объясняется требование отсутствие крупных капель жидкости. Т. к. иногда хватает внести несколько капель жидкости в переохлажденный пар и тут же начинается взрывная конденсация пара.

[1] Гетерогенная конденсация – конденсация на инородных включениях: частички пыли, дыма, крупные капли жидкости и т. д. (прим. авт.).

[2] На самом деле процессы роста и испарения капель – случайные, поэтому мелкие капли тоже иногда растут, но вероятность их роста меньше, чем вероятность их испарения (прим. авт.).

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Кроме процессов конденсации, т. е. осаждения отдельных молекул пара на уже сформированные зародыши (капли жидкости), капли растут за счет слияния капель. Отсюда следует требование снижения вероятности слияния капель жидкой фазы в паре. Во-первых, это размеры капель, чем меньше размеры капель, тем больше скорость броуновского движения таких капель. В свою очередь, чем больше скорость капель, тем меньше вероятность их слияния. Исследования показывают, что капли, сталкивающиеся с низкой скоростью, сливаются, а при высокой скорости столкновения – упруго отталкиваются [14].

Слиянию капель также способствует конвекция, резкие перепады температур, механические толчки и вибрация, в том числе вызванная звуковыми волнами [14].

Т. е., для создания переохлажденного пара необходимо выполнение следующих условий:

1. Отсутствие инородных включений (пыли, дыма и т. д.).
2. Изначальное отсутствие крупных капель жидкости.
3. Медленное охлаждение или сжатие.
4. Отсутствие конвекции, вибрации, толчков, и т. д.

Приведем сравнительные данные паров в стабильном и метастабильном состояниях. В таблице 1 показаны температуры конденсации пара в стабильном и метастабильном состоянии при постоянном давлении (в изобарическом процессе).

Таблица 1

Температура конденсации водяных паров в стабильном и метастабильном состояниях (по данным [9])

Давление, МПа	Температура конденсации, ^{0}C		Разница температур, $\Delta T_{кип}$, ^{0}C
	метастабильного состояния	стабильного состояния	
0,015	0	53,97	53,97
0,034	20	72	52
0,06	40	85,93	45,93
0,12	60	104,78	44,78
0,22	80	123,25	43,25
0,36	100	139,85	39,85

Но метастабильное состояние переохлажденного пара можно получить не только путем осторожного охлаждения при постоянном давлении (изобарный процесс), но и при постоянной температуре осторожным сжатием (повышением давления). Такой процесс называется изотермическим (таблица 2). Именно поэтому это метастабильное состояние носит два названия: переохлажденный или пересыщенный пар.

Таблица 2

Давление конденсации водяных паров в стабильном и метастабильном состояниях (по данным [9])

Температура, ^{0}C	Давление конденсации, МПа		Разница давлений, $\Delta P_{кип}$, МПа
	метастабильного состояния	стабильного состояния	
0	0,015	0,0006	0,0154
20	0,034	0,0023	0,031
40	0,06	0,007	0,053
60	0,12	0,02	0,1
80	0,22	0,05	0,18
100	0,36	0,11	0,25

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Теперь приступим к анализу попыток объяснения существования метастабильного состояния переохлажденного пара.

Во-первых, отметим, что в рамках молекулярно-кинетической теории (МКТ), невозможно объяснить не только переохлажденный пар, но и вообще процесс конденсации пара в жидкость.

Во второй части мы показали, что процесс перехода из газа в жидкость процесс постепенный и непрерывный. Сначала образуются микроскопические капли жидкой фазы (зародыши), взвешенные в газе, т. е. туман. Постепенно мелкие капли растут путем конденсации отдельных молекул на зародышах, а также слияния мелких капель в более крупные. При благоприятных внешних условиях (температура и давление) рост капель приводит к их осаждению и образованию жидкой фазы с явно видимой границей раздела фаз.

В рамках МКТ этот процесс объяснить невозможно именно потому, что по определению газ в рамках МКТ – это собрание независимых молекул [6, с. 19] и никаких взвешенных капель в виде тумана в рамках МКТ существовать не может.

В другой признанной современной наукой теории газа, теории Ван-дер-Ваальса, ситуация схожая, хотя и не такая безнадежная. В теории Ван-дер-Ваальса допускается существование капель жидкости, образованных молекулами, объединяемыми силами Ван-дер-Ваальса. Поэтому процессы стабильного образование тумана и переход в жидкое состояние вандерваальсова теория может логично объяснить. Но объяснить отклонения от простого и логичного хода событий в виде существования метастабильных состояний вандерваальсова теория не может. Например, такой факт, что иногда достаточно простого толчка, чтобы пересыщенный пар начал активно конденсироваться [2].

Дело в том, что согласно МКТ, а вандерваальсова теория в данном вопросе полностью солидарна с МКТ, скорости молекул водяного пара при нормальных условиях порядка 400 м/с, и простой толчок мало что прибавит в динамике молекул пара. Тем более, что механический толчок никак не влияет на радиус зародышей.

Тем более вандерваальсова теория не может объяснить такой феномен, как препятствие слиянию двух капель в виде паравоздушного промежутка.

В монографии Хргиана есть такой рисунок:

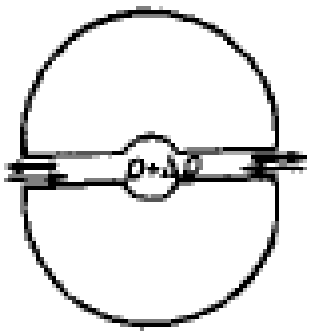


Рисунок 1. *Паровоздушный зазор между сближающимися каплями [14, с. 357]*

На нем изображены разделенные промежутком пара две капли жидкости. Причем две капли пытаются слиться, но мешает паровой промежуток. С точки зрения классической теории Ван-дер-Ваальса появляются два вопроса.

Во-первых, почему капли притягиваются друг к другу, хотя согласно теории Ван-дер-Ваальса притяжение действует только на молекулярном радиусе действия $r_v \sim 10^{-9}$ м. А зазор имеет размеры порядка $\sim 10^{-6}$ м, т. е. на несколько порядков больше. Других сил, которые бы

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

могли объяснить притяжение капель жидкости к друг к другу, в классической теории Ван-дер-Ваальса не существует.

Тем не менее, притяжение между каплями есть, и оно явно. Потому, что если бы притяжения бы не было, то капли бы просто разошлись друг от друга, под влиянием избыточного давления в промежутке [14].

Второй вопрос состоит в том, что промежуток согласно источнику [14] состоит из молекул пара, которые испаряются из капель, но не объясняется, а что мешает молекулам пара, которые только что испарились из капель, опять же соединиться с каплями (конденсироваться обратно)?

Вопрос. В результате такой конденсации внутри промежутка промежуток бы исчез и капли бы слились?

Тем не менее, этого не происходит, а капли продолжают быть разделенными паровым промежутком достаточно продолжительное время[3].

Причем, стабильные докритические состояния газа и переход пара в жидкость, и обратно, вполне логично могут быть объяснены в рамках классической теории Ван-дер-Ваальса. Поэтому в учебниках находится достаточно места для объяснения процессов конденсации и перехода фаз. Но объяснить, каким образом при одних и тех же условиях (температура и давление) в одних случаях пар стабильно переходит в жидкость, а в других случаях (при тех же самых условиях) пар остается в метастабильном состоянии, классическая теория Ван-дер-Ваальса не может.

Все то же самое, можно сказать и про феномен «сверхкритической жидкости». В тех же источниках (см. выше) про перегретую жидкость говориться еще меньше. Практически, кроме упоминания, что выше критической температуры газы не сжижаются, ничего не сообщается.

Тем не менее, свойства сверхкритической жидкости очень интересны. Главное свойство состоит в том, что плотность сверхкритической жидкости приближается к плотности жидкости того же вещества, но она остается газом. Другими словами, судя по плотности, пар уже давно должен был стать жидкостью, но при этом он остается газом. Именно поэтому это состояние и называется жидкостью (хотя и сверхкритической), хотя на самом деле – это газ. Причем, состояние сверхкритической жидкости – стабильное, т. е. никакие попытки перевести это состояние в другое, более устойчивое не приводят к положительным результатам.

Но как показано выше, при попытках объяснения с точки зрения теории Ван-дер-Ваальса возникает больше вопросов, чем появляется ответов. Поэтому вопросы существования метастабильного переохлажденного пара и стабильной сверхкритической жидкости обходятся в современной учебной литературе глухим молчанием.

Решение

Указанные проблемы можно решить, а возникающие вопросы можно снять, если признать две теории, выдвигаемые авторами.

Во-первых, это молекулярно-фотонная теория (МФТ), подробно изложенная в монографии [7]. Во-вторых, молекулярная аэрогидромеханическая теория (МАГТ) газов, основы которой заложены в первой части данного исследования.

[3] По крайней мере, на то время, пока их фотографируют (прим. авт.).

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Существование сразу двух теорий обосновано тем, что у этих теорий разные «агенты влияния» и разные «зоны ответственности».

Сущность МФТ можно выразить следующими словами: все молекулы любого вещества, имеющие температуру выше нуля градусов Кельвина, излучают (и поглощают) тепловые фотоны. Тепловые фотоны не только излучаются и поглощаются молекулами, но еще и оказывают механическое воздействие, т. е. толкают молекулы.

МАГТ газов, внешне похожа на классическую теорию Ван-дер-Ваальса, т. к. тоже аппелирует к силам Ван-дер-Ваальса. Но существенное отличие МАГТ от теории Ван-дер-Ваальса, принятой в настоящее время, состоит в том, что в современной теории силы Ван-дер-Ваальса считаются близкодействующими [3, с. 43], т. е. на расстоянии порядка размеров молекул. Причем за пределами молекулярного радиуса действия (вандерваальсовых сил) в теории Ван-дер-Ваальса молекулы газа считаются независимыми и не взаимодействующими друг с другом. А в МАГТ доказывается, что вандерваальсовы силы не имеют пределов по радиусу действия (см. часть 1 настоящего исследования).

Таким образом, газ это не сообщество независимых молекул, а единый континуум молекул, связанных силами Ван-дер-Ваальса (см. часть 1). Другими словами, газ это сильно разреженная жидкость, в которой также как и в жидкости молекулы связаны вандерваальсовыми силами. Именно это и определяет существование аэрогидроаналогий, когда в аэродинамике успешно оперируют законами гидродинамики (см. часть 1).

Но различия в плотностях жидкостей и газов (примерно в тысячу раз) определяют, что в газах вандерваальсовы силы примерно в тысячу раз слабее, чем те же силы в жидкостях.

Что же касается различия зон влияния двух теорий, предлагаемых авторами, то дело в следующем. Влияние фотонов, исследуемых в рамках МФТ, сильно зависит от температуры газа. При низких температурах тепловые фотоны имеют малую энергию и не могут существенно повлиять на молекулы газа. Ситуация кардинально меняется при высоких температурах. Энергичные (высокотемпературные) фотоны начинают играть существенную роль вплоть до того, что при очень высоких температурах они играют ведущую роль, пересиливая влияние вандерваальсовых сил. А вандерваальсовы силы, имеющие электромагнитное происхождение, никак не зависят от температуры, а зависят только от расстояния между взаимодействующими молекулами газа, т. е. плотности или, точнее, от концентрации молекул.

Все парадоксы и неясности можно легко объяснить при помощи аэрогидромеханической теории (МАГТ) газов с привлечением молекулярно-фотонной теории (МФТ), предлагаемыми авторами.

Прежде чем давать решение указанных проблем, дадим необходимые пояснения, следующие из молекулярно-фотонной теории авторов. Каждая капля жидкости, взвешенная в газе, окружена областью повышенного содержания испарившихся из капли молекул.

Также в этом слое содержится повышенное содержание тепловых фотонов, излучаемых той же каплей. При этом повышенная концентрация теплового излучения не позволяет испарившимся молекулам из капли газа осесть обратно на каплю. То же самое давление фотонов препятствует другим молекулам, натолкнувшимся на каплю из общего пространства газов, конденсироваться в каплю.

Другими словами, каждая взвешенная в газе капля жидкости окружена, как бы паро-фотонным слоем, препятствующим росту капель жидкости, образованному путем осаждения отдельных молекул и путем слияния капель.

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

С учетом всего вышеизложенного легко объяснить парадокс притягивающихся, но не сливающихся капель. Во-первых, т. к. согласно МАГТ вандерваальсовы силы не имеют ограничений действия по расстоянию. Именно поэтому никакой зазор между каплями не является препятствием для притяжения капель вандерваальсовыми силами.

Отталкивание же в образованном промежутке между каплями (см. рисунок 1) объясняется тем, что в промежутке между каплями, давление паро-фотонного слоя удвоено, путем суммарного объединения испаренных молекул и фотонов обоих капель.

Замедление роста капель, что является основной причиной отклонения от стабильного (обычного) поведения пара, является также воздействие фотонов, излучаемых каплей жидкости на отдельные молекулы. Причем фотоны оказывают отталкивающее действие на молекулы. Именно это отталкивание и определяет снижение вероятности осаждения отдельных молекул на капли жидкости (конденсация). Ясно, что чем энергичнее фотоны, тем больше их воздействие на процессы конденсации и слияния капель. И таким образом именно энергия фотонов и определяет возможности отклонения поведения газов от нормального. Т. к. энергия тепловых фотонов прямо связана с температурой газа, значит, чем выше температура, тем сильнее, параметры газа могут (по теории вероятности) отклонятся от обычных характеристик газа.

Именно такое поведение и показывают данные, приведенные в таблице 2. Чем выше температура, тем большее давление выдерживает газ в метастабильном состоянии по сравнению с обычным (стабильным) состоянием газа. Так при 0^{o}C разница давлений конденсации составляет всего $\Delta P_{кип}$ = 0,0154 МПа, а при 100^{o}C, уже $\Delta P_{кип}$ = 0,25 МПа, т. е. в 16 раз больше.

Это объясняется тем, что зона повышенного давления фотонно-парового окружения становится энергичнее и сильнее противостоит конденсации и слиянию, тем самым, оттягивая момент перехода от пара в жидкость.

С давлением ситуация прямо противоположная. Чем выше давление, тем меньше разница температур стабильной и метастабильной конденсации пара (таблица 1). При давлении 0,015 МПа $\Delta T_{кип} \approx 54^{o}$C, а при 0,36 МПа $\Delta T_{кип}$ всего $\approx 40^{o}$C.

Эта ситуации также легко объясняется в рамках МФТ. Чем выше давление, тем выше плотность газа, точнее, концентрация молекул. Повышение концентрации молекул увеличивает вероятность встречных ударов молекул и капель, что в свою очередь повышает вероятность конденсационного роста и слияния капель.

Таким образом, вырисовывается модель метастабильного переохлажденного пара. Такой пар должен состоять из мелкодисперсных капель жидкости разделенных фотонно-паровыми прослойками (туман). Малые размеры капель снижают вероятность роста капель, как за счет конденсации на каплях отдельных молекул пара, так и за счет слияния разных капель (см. диаграмму на рисунке 3 во второй части).

Но температура газа не достаточно высокая, поэтому фотонно-воздушные прослойки между каплями тумана не стойкие и поэтому легко разрушаются за счет разных внешних воздействий. Например, при повышении давления, они банально продавливаются. Именно поэтому стойкость метастабильного состояния обратно пропорциональна давлению. Температура же действует наоборот. Повышение температуры приводит к увеличению стойкости фотонно-паровых прослоек, за счет увеличения энергии фотонов в фотонно-паровой оболочке капель. Поэтому, повышение температуры ведет к увеличению стойкости метастабильного состояния.

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

При различных механических внешних воздействиях нарушается сплошность прослоек и именно в местах нарушения фотонно-паровых прослоек начинается слияние капель. Дальше вступает механизм цепной реакции роста капель, поэтому достаточно немногих мест нарушения сплошности, чтобы начался спонтанный рост капель и как следствие быстрый переход в жидкую фазу.

Остальные внешние воздействия типа конвекции, резких перепадов температуры и давления, звукового давления и т. д. действуют точно также потому, что все они приводят к механическим воздействиям и к нарушению фотонно-паровых прослоек между каплями тумана.

Вышеизложенное соответствует объяснению взаимосвязи радиуса зародышей и вероятности метастабильного состояния газа. С точки зрения МФТ такое механическое воздействие может быть ощутимо. Потому, что, согласно МФТ, теплоемкость образуется не только за счет кинетической энергии молекул, но и за счет тепловых фотонов, постоянно присутствующих в газовом пространстве. Соответственно, скорости молекул газа существенно ниже, чем это следует из МКТ, а значит и влияние механических воздействий на газ существенно выше.

Таким образом можно предположить, как могут существовать метастабильное состояние переохлажденного пара. Для этого необходимо, чтобы средние размеры капель были меньше $r_{кр}$, выполнение этого условия создает возможности существования пара в виде мелкодисперсного тумана без перехода в жидкое состояние.

Кроме этого, желательно полное отсутствие крупных капель и инородных включений, эти требования связаны с нестойкостью фотонно-паровых оболочек. Вокруг крупных капель они крайне слабые, а вокруг инородных частиц, типа дыма, пыли и т. д., подобные оболочки просто не успевают вырасти до размеров достаточных для сохранения метастабильного состояния.

Для объяснения эффекта сверхкритической жидкости ничего нового выдумывать не надо. Достаточно уже приведенных рассуждений.

В принципе, достаточно вспомнить две основных характеристики сверхкритической жидкости. Во-первых, сверхкритическая жидкость имеет плотность жидкости[4], но ведет себя как газ, т. е. полностью заполняет весь выделенный объем. Такие, на первый взгляд несовместимые свойства, легко объясняются, если предположить, что сверхкритическая жидкость состоит из мелкодисперсных капель тумана, окруженных фотонно-воздушными оболочками.

Это очень похоже на модель переохлажденного пара, но с существенным отличием. Переохлажденный пар существует при относительно низких температурах в области устойчивого существования жидкой фазы, а сверхкритическая жидкость только при температурах выше критической. Как уже сказано выше, повышение температуры влечет за собой повышение устойчивости фотонно-паровых прослоек между каплями тумана. Кроме этого, сверхкритическая жидкость существует не только при высоких температурах, но еще и при высоких давлениях. Другими словами, сверхкритическая жидкость это не просто пар, нагретый до высоких температур, но это еще и пар, сжатый до плотности жидкости.

Известно, что жидкость, сжатая высоким давлением и нагретая выше температуры кипения, переходит в метастабильное состояние перегретой жидкости [12, с. 276]. Перегретая жидкость имеет свойство при снижении давления резко переходить к парообразованию.

[4] Отсюда и название (прим. авт.).

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Собственно свойства перегретой жидкости очень похожи на свойства переохлажденного пара [5], только осуществляется обратный фазовый переход. Переохлажденный пар резко переходит из газовой фазы в жидкую, а перегретая жидкость – наоборот.

Таким образом сверхкритическая жидкость состоит не просто из капель жидкости, взвешенных между фотонно-паровыми прослойками, как это присутствует в переохлажденном паре. Присутствие мелкодисперсных капель перегретой жидкости, приводит к тому, что состояние сверхкритического тумана не просто устойчиво за счет высокой температуры, а к тому, что фотонно-паровая фракция самозалечивающаяся. Т. к. любое увеличение размера капель приводит к уменьшению давления, а уменьшение давления приводит к резкому испарению перегретой жидкости капель. Таким образом фотонно-паровые прослойки быстро восстанавливаются. Этим сверхкритическая жидкость отличается от переохлажденного пара, в котором фотонно-паровые прослойки не восстанавливаются после нарушения целостности. Именно поэтому переохлажденный пар – неустойчивое (метастабильное) состояние, а сверхкритическая жидкость – устойчивое (стабильное) состояние.

Такое строение сверхкритической жидкости полностью объясняет все известные свойства:

а) высокая плотность, т. к. основной объем занимают мелкодисперсные капли жидкости, дающие высокую плотность;

б) поведение «как у газа», т. е. занимает весь выделенный объем за счет мелких размеров капель, которые легко держатся во взвешенном состоянии, поддерживаемые фотонно-паровыми прослойками (состояние тумана);

в) высокая стойкость, к внешним воздействиям за счет, во-первых, высокой температуры, которая обеспечивает высокую плотность и стойкость фотонно-паровых прослоек и, во-вторых, за счет того, что капли тумана состоят из капель перегретой жидкости, которая обеспечивает самовосстановление и самозалечивание фотонно-паровых прослоек.

Вывод

1. Свойства и строение метастабильного переохлажденного пара и стабильной сверхкритической жидкости очень тяжело, практически невозможно объяснить в рамках современных теорий газа МКТ и теории Ван-дер-Ваальса. Поэтому в современной учебной литературе эти вопросы обходят глухим молчанием. В научной литературе эти вопросы обрывочны и мало что объясняют.
2. Свойства и строение метастабильного состояния переохлажденного пара и стабильной сверхкритической жидкости легко объяснить с точки зрения молекулярно-фотонной теории (МФТ) и молекулярной аэрогидромеханической теории (МАГТ) газа, предлагаемых авторами.

[5] У них даже требования аналогичны, необходима чистота, отсутствие инородных включений, отсутствие зародышей другой фазы и т. д. (прим. авт.).

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов А.В. Курс физики в 3 т. Т 1. Механика. Кинетическая теория вещества. – М.: Наука. 1977. – 385 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. Геворкян Р.Г. Курс физики. – М.: Высшая школа. 1979. – 656 с.
5. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т. 1. Механика, молекулярная физика, колебания и волны. – М.: Наука. 1974. – 337 с.
6. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. – М.: Наука. 1976. – 480 с.
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. Ландау Л.Д., Китайгородский А.И. Физика для всех: Молекулы. – М.: Наука. 1982. – 208 с.
9. Орлов К.А., Очков В.Ф. Проект интерактивного справочника «свойства и процессы рабочих тел и материалов атомной энергетики». [Интернет-источник]: http://twt.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/NPP/tab1_1_4_pt.xmcd.
10. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергоатомиздат. 1984. – 80 с.
11. Савельев И.В. Курс физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука. 1989. 294 с.
12. Сущинский М.М. Курс физики. Т.1. – М.: Наука. 1973. – 352 с.
13. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа. 1990. – 478 с.
14. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 1969. – 647 с.
15. Черноуцан А.И. Краткий курс физики. – М.: Физматлит, 2002. – 320 с.
16. Яковлев В.Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика. – М.: Просвещение. 1976. – 320 с.

92NZVN618
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

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

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

Molecular aerohydrohydromechanical theory of gases. Part 3. Supercooled steam and supercritical fluid

Abstract. It is shown that in modern educational literature the issues of models of the structure of the metastable state of supercooled steam and a stable supercritical fluid are ignored in a deaf silence. This is due to the fact that it is practically impossible to explain the properties of these states of gas, based solely on the theories of gas, MKT and the theory of van der Waals accepted in modern science.

It is also shown that the listed states are easily described using theories of new theories: molecular-photon theory (MPT), proposed by the authors earlier, and molecular aerohydromechanical theory (MAGT) proposed by the authors in this study.

According to these theories, supercooled steam and supercritical fluid are finely dispersed liquid droplets suspended in the gas phase (mist). In other words, liquid droplets in the fog are surrounded by photon-gas interlayers. Small droplet sizes are thermodynamically unstable and are not prone to uncontrolled growth, with a transition to condensation of the liquid phase. And additional stability from growth is provided by the photon-vapor shells of the surrounding drops.

At relatively low temperatures, the photon-gas vapor shells are weak and unstable, so the supercooled vapor is unstable (metastable). And at high temperatures (above critical), the shells made up of vapor molecules and photons emitted by the droplet are dense and stable, so the supercritical fluid is stable at any pressures and any other external influences.

Keywords: gas theory; supercooled vapor; superheated liquid; supercritical fluid; critical temperature; molecular photon theory; molecular kinetic theory of gases (MKT); molecular aerohydromechanical theory of gases (MAGT of gases)