

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

Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-4>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/38TVN416.pdf>

Статья опубликована 04.08.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кочетков А.В., Федотов П.В. Фазовая диаграмма воды // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/38TVN416.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 539.2

Кочетков Андрей Викторович¹

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

Фазовая диаграмма воды

Аннотация. Показано, что молекулярно-фотонная теория, выдвинутая авторами в предыдущих статьях, позволяет легко интерпретировать фазовые диаграммы мономолекулярных веществ, в частности воды, во всем диапазоне достижимых значений температур и давлений.

В частности, показано, что испарение вещества, без образования жидкой фазы при температурах и давлении ниже тройной точки, обусловлено низкой концентрацией молекул при давлениях ниже тройной точки.

Показано, что жидкая фаза – это, по существу, аналог твердой фазы, но межмолекулярные связи подавлены фотонной средой, этим объясняется подвижность молекул в жидкой фазе.

Показано, что образование сверхкритической фазы (флюида) обусловлено теми же механизмами, что и жидкая фаза, но «фотонную среду» образуют высокоэнергичные фотоны, электромагнитное поле которых полностью подавляют межмолекулярные связи. В связи с этим, хотя расстояния между молекулами (плотность вещества) и соответствуют жидкой фазе, но жидкость не образуется, причем флюид имеет свойства газа.

Ключевые слова: молекулярные силы; фазовая диаграмма вещества; жидкая фаза; молекулярно-фотонный газ

Введение. Постановка задачи

Начнем с рассмотрения типичной фазовой диаграммы мономолекулярных веществ. Подобная диаграмма приведена на рис. 1.

¹ 410022, г. Саратов, ул. Азина, д. 38 «В», кв. 4

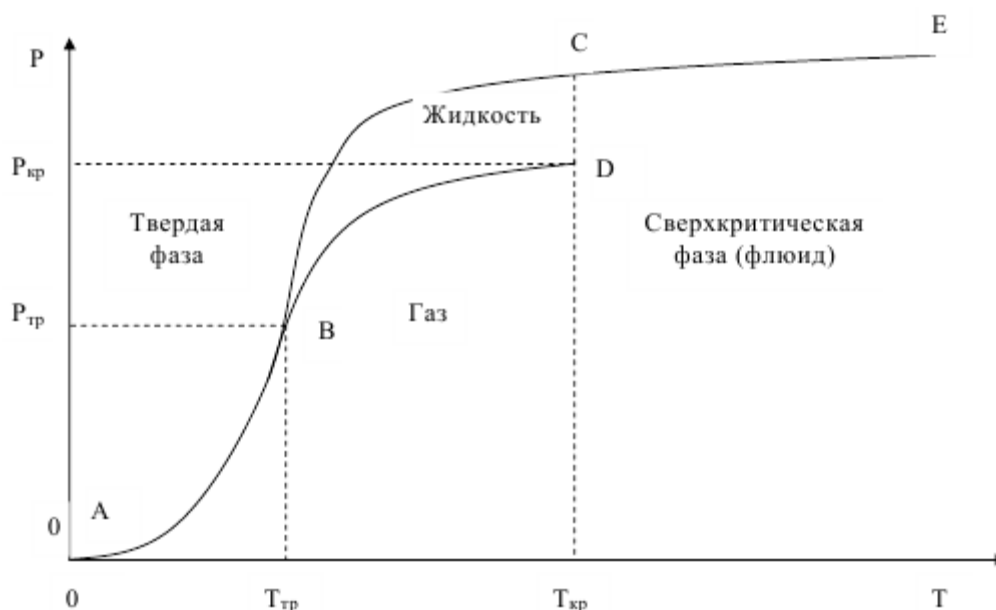


Рисунок 1. Типичная фазовая диаграмма P - T однокомпонентных веществ. B – тройная точка, D – критическая точка (рис. авт.)

На фазовой диаграмме видны четыре фазы вещества: твердая, жидкая, газовая и сверхкритическая. Мы выделили сверхкритическую фазу, хотя обычно в научной и учебной литературе подобного обычно не делается, потому, что в сверхкритическом состоянии вещество ведет себя необычно. Необычность состоит в том, что в области сверхкритической температуры при низких давлениях вещество ведет себя как газ, ничем не отличаясь по свойствам от обычного газа при соответствующих условиях. При повышении давления, плотность увеличивается постепенно, доходит до плотности соответствующей жидкости, но жидкая фаза отсутствует.

Т.е., вещество при температурах $T > T_{кр}$ имеет плотность, вязкость и др. свойства соответствующие жидкости, но при этом не осаждаются в жидкую фазу, а полностью заполняет выделенный объем, как это присуще газу. В сверхкритическом состоянии вещество имеет свойства и жидкости, и газа одновременно. В отечественной учебной и научной литературе в этой области фазовой диаграммы воды используются названия «перегретый пар» и «сверхкритическая жидкость», в зависимости от области достигнутых температур и давления, а соответственно и плотности.

В зарубежной научной литературе чаще используется термин «флюид». На наш взгляд, такой термин больше соответствует действительности, т.к. в сверхкритической области вещество имеет свойства и жидкости и газа, при этом, не являясь ни тем, ни другим, в полном смысле терминов.

Необходимо отметить следующее, на рис. 1 приведена достаточно полная фазовая диаграмма вещества для диапазонов технически достижимых температур и давлений, обычно в учебной литературе приводятся укороченные фазовые диаграммы (рис. 2). Поэтому в отличие от «обычных» диаграмм сверху при наивысших давлениях состояние вещества ограничено линией $C-E$ (рис. 1), показывающий переход к твердому состоянию. Эта линия

означает, что при высоких давлениях любое вещество переходит в твердое состояние независимо от температуры².

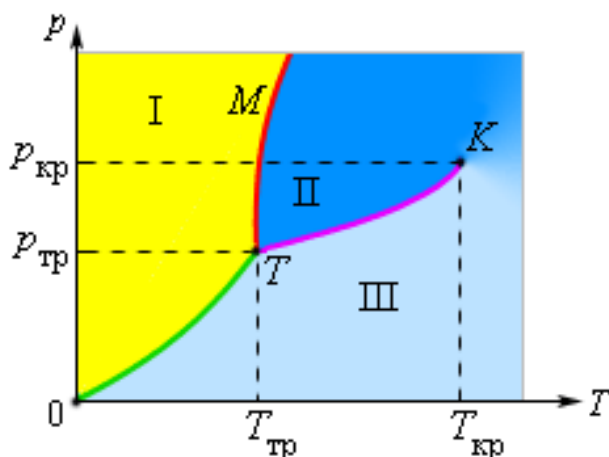


Рисунок 2. Типичная фазовая диаграмма вещества. **К** – критическая точка, **T** – тройная точка. Область I – твердое тело, II – жидкость, III – газ (рис. из [24])

Обсуждение научной проблемы

Мы привели фазовую диаграмму, чтобы подробнее обсудить некоторые «парадоксы» поведения веществ, которые с трудом могут быть объяснены, или вовсе необъяснимы с точки зрения современной молекулярной теории.

Первый парадокс мы уже озвучили, сформулируем его конкретнее.

Этот парадокс связан с понятием флюида. Сущность парадокса состоит в том, что вдоль линии сверхкритической сублимации (С-Е) плотность вещества почти не изменяется. Чуть ниже линии и чуть выше ее плотность практически одинакова. Практически при одинаковой плотности, а значит и практически одинаковых расстояниях между молекулами, в твердом состоянии молекулы сильно связаны между собой, а во флюидном состоянии эти связи на несколько порядков меньше, что и объясняет аномальное поведение флюида, а именно, что он, как газ занимает все доступное пространство.

Несмотря на то, что плотность соответствует плотности жидкости при данных условиях, но никак не газа, жидкость не образуется.

Для объяснения других парадоксов рассмотрим, что такое жидкость с точки зрения современной теории.

В настоящее время жидкость представляется как некое переходное состояние между твердым и газообразным состояниями вещества. Так для воды сила межмолекулярных связей (при атмосферном давлении) в состоянии льда составляет 109 ккал/моль, а водородные связи в жидком состоянии – 5-10 ккал/моль. В газе молекулы не связаны друг с другом³. Т.е., жидкость представляет собой некое переходное состояние между твердым состоянием и газом. Представляется, что в жидком состоянии молекулы получают некоторую тепловую

² Следует отметить, что температуры на рис. 1 ограничены примерно на уровне 1000 К, т.е. когда вещество не переходит к состоянию плазмы (прим. авт.).

³ В действительности связаны дальнедействующими силами Ван-дер-Ваальса, но настолько слабыми, что в первом приближении, как это делается в МКТ, ими можно пренебречь (прим. авт.).

(кинетическую) энергию, чтобы частично освободиться от сильного притяжения со стороны окружающих молекул. Причем кинетическая энергия тепла достаточна, чтобы раскачать молекулы, но недостаточна, чтобы молекула получила полную свободу и перешла в газ.

В жидкости молекулы имеют частичную свободу, которая объясняет текучесть, малую вязкость (по сравнению с твердым состоянием) и др.

Исходя из этого логично предположить, что при любых условиях, прежде чем перейти от сильносвязанного состояния в твердой фазе к несвязанному состоянию в газе, любое вещество должно проходить через промежуточное жидкое состояние. Однако это не так. Есть две области в которых эта логика нарушается. Во-первых, это уже упомянутое выше сверхкритическое состояние. Во-вторых, область ниже тройной точки (точка В на рис. 1).

Если давление ниже давления $P_{тр}$, то при любых температурах жидкость не образуется. При давлениях $P < P_{тр}$ молекулы сразу переходят из твердого состояния в газ, минуя переходное (жидкое) состояние. Это второй парадокс, который не объясняется в современной теории.

Третий парадокс современной теории состоит в том, что на линии перехода твердая фаза – жидкость (линия В-С на рис. 1) плотность вещества практически не меняется. Ситуация повторяет описанную при переходе от твердого тела к флюиду. Отличие в том, что флюид по своему поведению напоминает сильно сжатый газ, а жидкость ближе к твердому состоянию, по крайней мере, между жидкостью и газом наблюдается четкая линия раздела фаз.

В отличие от газа плотность жидкости не меняется при изменении выделенного объема. Газ занимает весь выделенный объем, при этом его плотность сильно зависит от занимаемого объема за счет изменения внутреннего давления. Жидкость всегда занимает постоянный объем, определяемый имеющимся количеством вещества. В данном случае парадокс состоит в том, что соотношение плотности твердого вещества и жидкости при конкретных параметрах P и T вдоль линии плавления практически совпадают. Плотность воды при $P = 1$ атм. и $T = 0^{\circ}\text{C}$, равна $0,99987$ кг/м³. Плотность льда при тех же условиях равна $0,92$ кг/м³. Что всего на 8 % отличается друг от друга⁴.

Наблюдается парадоксальная ситуация, молекулы вещества, находящиеся на равных расстояниях друг от друга, о чем гласит равная плотность, сильно связаны друг с другом в твердой фазе и слабо (на порядок слабее) связаны в жидком состоянии.

Ситуация полностью повторяет ситуацию с переходом от флюида к твердому состоянию, за исключением того, что во флюиде взаимодействие молекул полностью подавлено (состояние газа).

Следующий парадокс связан с областью существования жидкой фазы. На рис. 1 хорошо видно, что при давлениях выше тройной точки ($P > P_{тр}$) чем выше давление, тем шире интервал температур существования жидкой фазы. Линии В-С и В-D расходятся. Чем выше давление, тем в большем интервале температур существует жидкость.

Суммируем сказанное. Взаимодействие молекул простых веществ сильно зависит не только от температуры, но и от давления. Современные теории молекулярных связей: ковалентных, ионных, водородных и ван-дер-ваальсовых не объясняют такой зависимости.

⁴ То, что жидкая вода тяжелее твердого льда, является аномалией воды, обычно жидкость легче, чем твердое вещество, но соотношение плотностей примерно такое же. Плотности вещества при температуре плавления в твердом состоянии и жидкости мало отличаются друг от друга (прим. авт.).

Надо отметить, что взаимодействие между молекулами зависит от двух параметров: давления и температуры. Причем зависимость от температуры хорошо описана в современной молекулярной теории, чего нельзя сказать о зависимости от давления. Особенно это видно при объяснении свойств воды.

На линии плавления В-С почти для всех веществ линия наклонена вперед, т.е. при повышении давления растет и температура плавления, это легко объясняется тем, что по мере сжатия увеличивается сила молекулярного взаимодействия, значит, необходимо приложить больше усилий для освобождения молекул. Для воды это не всегда так. В некотором интервале давлений вода ведет себя аномально (рис. 3).

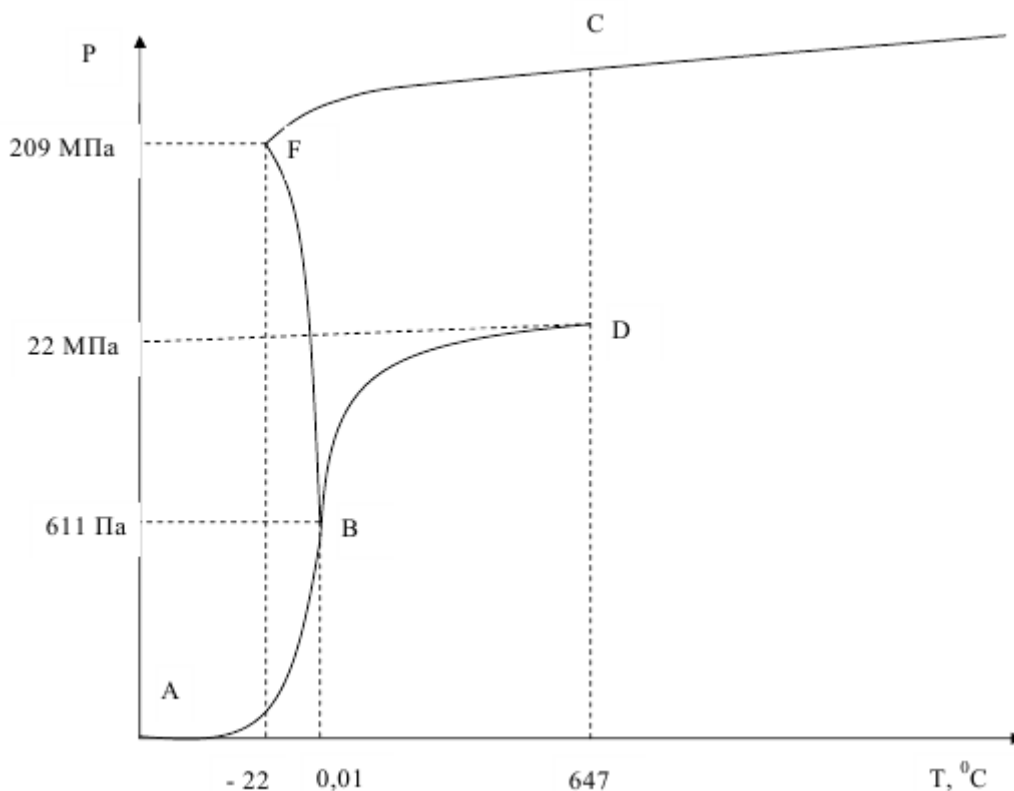


Рисунок 3. Упрощенная фазовая диаграмма воды (рис. авт.)

Линия плавления В-С на рис. 3 направлена в обратную сторону по сравнению с обычными веществами. Другими словами, при повышении давления температура плавления воды понижается, в отличие от других веществ. При $P = 611 \text{ Па}$, лед плавится при $T = 0,01^\circ\text{C}$, а при $P = 209 \text{ МПа}$, уже при $T = -22^\circ\text{C}$. Чем выше плотность, тем при более низкой температуре плавится лед. Такое поведение сложно объяснить с точки зрения современной молекулярной теории, согласно которой лед плавится в случае, когда тепловая энергия молекул превышает энергию связи молекул льда. При повышении давления плотность вещества повышается, а значит, молекулы сближаются, соответственно увеличивается энергия связи молекул. Но такое поведение у воды наблюдается только до момента, когда давление достигнет критического значения в точке F. Далее вода ведет себя подобно остальным веществам.

Вообще поведение воды частично объясняется тем, что лед имеет не менее 14 аллотропических модификаций кристаллов льда (см. таблицу). В связи с этим у воды не одна тройная точка, а не менее тринадцати. Полная фазовая диаграмма воды (рис. 4) сложнее упрощенной схемы, приведенной на рис. 3.

Таблица

Тройные точки воды

№	Фазы			Давление		Температура		Примечание
				МПа	Па	°C	К	
1	Пар	Вода	Лёд Ih	611,657	Па	0,01	273,16	[6]
2	Пар	Лёд Ih	Лёд XI	0		-201,0	72,15	[4], [8], [9]
3	Вода	Лёд Ih	Лёд III	209,9		-21,985	251,165	[11], [2]
4	Вода	Лёд III	Лёд V	350,1		-16,986	256,164	[11], [2]
5	Вода	Лёд IV	Лёд XII	~ 500—600		~ -6	~ 267	[14]
6	Вода	Лёд V	Лёд VI	632,4		0,16	273,32	[11], [2]
7	Вода	Лёд VI	Лёд VII	2216		81,85	355	[11], [2]
8	Вода	Лёд VII	Лёд X	47 000		~ 727	~ 1000	[12], [5]
9	Лёд II	Лёд V	Лёд VI	~ 620		~ -55	~ 218	[7]
10	Лёд VI	Лёд VII	Лёд VIII	2100		~ 5	~ 278	[3], [10]
11	Лёд II	Лёд III	Лёд V	344,3		-24,3	248,85	[11], [2]
12	Лёд VII	Лёд VIII	Лёд X	62 000		-173	100	[13]
13	Лёд Ih	Лёд II	Лёд III	212,9		-34,7	238,45	[11], [2], [1]

На рис. 4 представлена фазовая диаграмма воды исходя из современных экспериментальных данных IAPSWP⁵. Фазовая диаграмма воды при малых давлениях приведена на рис. 5. На рис. 6 представлена фазовая диаграмма воды вблизи аномальной точки плавления.

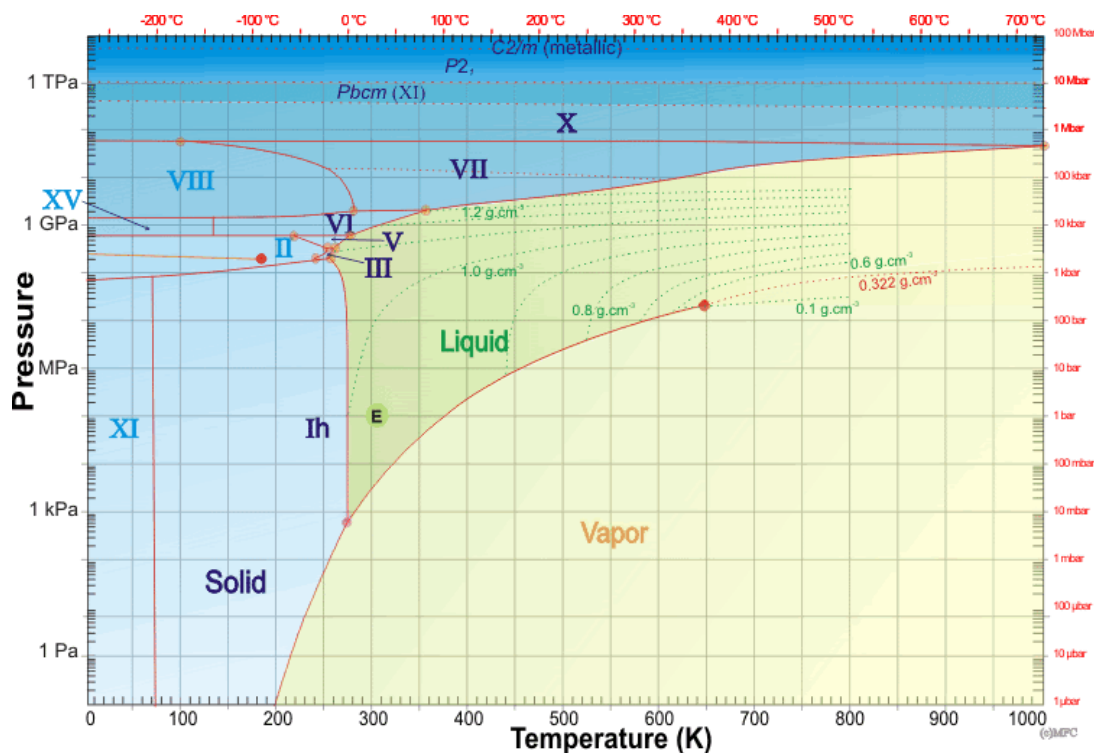


Рисунок 4. Полная фазовая диаграмма воды [19]

⁵ IAPWS (The International Association for the Properties of Water and Steam) - Международная ассоциация по свойствам воды и водяного пара [20].

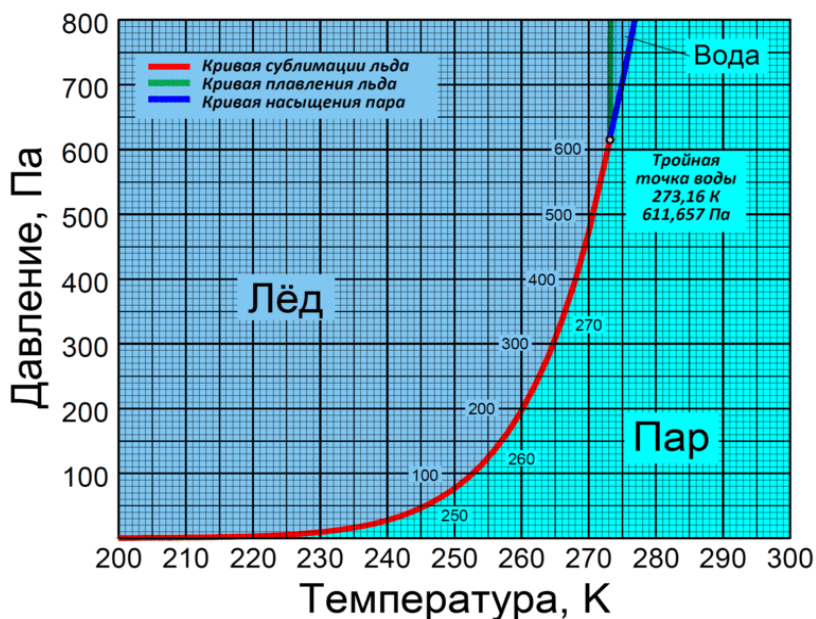


Рисунок 5. Фазовая диаграмма воды при малых давлениях [21]⁶

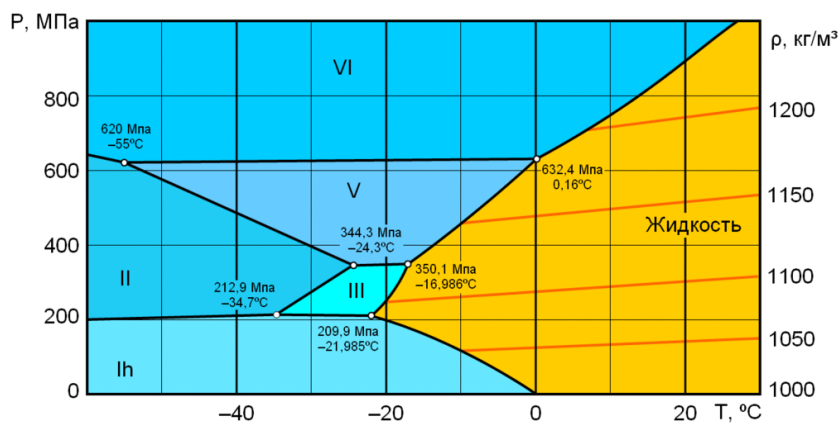


Рисунок 6. Фазовая диаграмма воды вблизи аномальной точки плавления [22]⁷

Молекулярно-фотонная теория

Все перечисленные парадоксы, в т.ч. и парадоксы воды, легко объясняются в рамках выдвинутой авторами гипотезы существования молекулярно-фотонной структуры [15-18].

Начнем не с описания гипотезы, а с обоснования необходимости подобной гипотезы.

Как уже сказано, основной парадокс молекулярной теории состоит в том, что при равной плотности вещество может быть твердым и жидким, либо твердым и сверхкритическим газом (жидкостью), т.н. флюидом. Т.е., при равных расстояниях между молекулами их взаимодействие может быть сильным (твердое вещество), слабым (жидкость) или отсутствовать (флюид).

⁶ Автор: AdmiralHood (talk) 08:44, 26 September 2010 (UTC) - Собственный креатив / Own work, CC BY-SA 3.0.

⁷ Автор: AdmiralHood - собственная работа, CC BY-SA 3.0.

Такое поведение может быть только при наличии некоей среды, окружающей молекулы и подавляющей межмолекулярное взаимодействие.

Именно такой средой и являются тепловые фотоны в межмолекулярном пространстве. Причем тепловые фотоны не являются обычным веществом. Они не могут компактно существовать без присутствия молекул, ограничивающих их движение. Они могут составлять компактную среду только между молекулами обычного вещества.

Но компактную межмолекулярную среду они могут составлять только при достаточно плотном расположении молекул. Именно поэтому, пока внешнее давление не достигнет критической точки, называемое тройной точкой, тепловые фотоны не могут удерживаться между молекулами и соответственно, жидкость не может образовываться.

Молекулы, имеющие достаточную энергию для разрыва связей, испаряются, но не переходят в жидкое состояние. На самом деле значение имеет не внешнее давление, а концентрация молекул или плотность, необходимая для создания достаточно плотной сетки молекул, могущей задерживать тепловые фотоны между молекулами. Но самого факта задержания фотонов между молекулами недостаточно. Необходима еще и степень подавления межмолекулярных связей. Здесь зависимость также логична, более энергичные фотоны (при высокой температуре) сильнее подавляют межмолекулярные связи.

Согласно современным воззрениям фотоны представляют собой электромагнитные поля, которые в состоянии подавлять электромагнитные связи между молекулами⁸. Причем сила ослабления связей фотонами сильно зависит от напряженности внешнего ЭМ поля, а оно в свою очередь от длины волны фотона. При уменьшении длины волны фотона, во-первых, уменьшается область пространства, занимаемое фотоном, а с другой стороны возрастает энергия самого фотона. Т.о., чем меньше длина волны, тем выше напряженность ЭМ поля, в пространстве фотона. Поэтому при температурах ниже критической фотонная среда только частично подавляет силу связи между молекулами, и получается жидкость.

При более высоких (сверхкритических) температурах фотонная среда между молекулами полностью подавляет взаимодействие молекул, и вещество получает свойства газа (несвязанных молекул) при расстояниях между молекулами, присущих жидкому состоянию. Именно поэтому флюид при расстояниях, равных расстояниям между молекул в жидкости, ведет себя как газ и не оседает как жидкость, а заполняет все пространство.

Т.о., жидкость – это «твердое тело» содержащее в межмолекулярном пространстве достаточно энергичную фотонную среду, ослабляющую межмолекулярные связи. Ослабленные межмолекулярные связи позволяют молекулам более свободно, чем в твердом теле, перемещаться молекулам в жидкости, этим объясняется свойство текучести жидкости. Но степень подавления межмолекулярных связей в жидкости недостаточна для полного подавления связей, поэтому молекулы жидкости не переходят в свободное (не связанное) состояние. В несвязанное состояние молекулы жидкости переходят в сверхкритическое состояние, превращаясь во флюид. Это состояние наступает, когда напряженность ЭМ поля фотонов становится такой сильной, что фотонная среда полностью подавляет межмолекулярные связи.

⁸ Все виды связей между молекулами, не смотря на различия в названиях (ионные, ковалентные, водородные, вандерваальсовы и т.д.) имеют в своей основе электромагнитное взаимодействия между атомами и молекулами. Необходимость различных названий, прежде всего вызвано степенью силы взаимодействия, так самыми сильными являются ковалентные, а самыми слабыми – вандерваальсовы. Внешние ЭМ поля, каковыми по своей сути являются фотоны, ослабляют взаимодействия между атомами и молекулами (прим. авт.).

Особо необходимо отметить роль концентрации молекул или плотность, которая играет не меньшую роль, чем длина волны фотонов, определяющую напряженность ЭМ поля, а значит и степень подавления межмолекулярных связей. Дело в том, что именно концентрация (плотность) молекул определяет возможность запираения фотонов в межмолекулярном пространстве. Молекулы играют роль сетки, которая удерживает фотоны между молекулами. Если сетка слишком редкая, молекулы имеют низкую концентрацию, то фотоны легко проходят между молекулами и не образуют фотонную среду, которая подавляет молекулярные связи. Только при достаточной частоте расположения молекул, когда концентрация (плотность) достигает необходимых значений, образуется фотонная среда, которая позволяет ослабить молекулярные связи, чтобы образовалась жидкость или флюид. Именно поэтому при давлениях ниже тройной точки и не образуется жидкость, при низких давлениях плотность вещества недостаточна, для образования необходимой фотонной среды.

Почему при тех же давлениях, но температурах ниже тройной точки, не образуется жидкость, ответ простой – потому, что, несмотря на достаточную плотность молекул для образования фотонной среды, энергия фотонов (определяемая длиной волны), а значит и напряженность ЭМ поля недостаточна для ослабления межмолекулярных связей в той степени, чтобы образовалась жидкость. Поэтому ниже тройной точки, как только молекула получает достаточную энергию, она сразу же уходит от поверхности твердого тела, переходя в состояние газа. Происходит не сжижение твердого тела, а испарение.

Т.о., для образования жидкости необходимы два условия, во-первых, достаточная концентрация (плотность) молекул, и, во-вторых, достаточная напряженность ЭМ поля фотонов. Нужно отметить, что энергия тепловых фотонов прямо зависит от достигнутой температуры. Чем выше температура, тем более энергичные фотоны излучаются молекулами. Чем выше энергия фотонов, тем короче длина волны фотонов.

Для иллюстрации применения предлагаемой авторами молекулярно-фотонной теории рассмотрим любопытную аномалию воды на фазовой диаграмме. На рис. 7 представлена часть фазовой диаграммы воды.

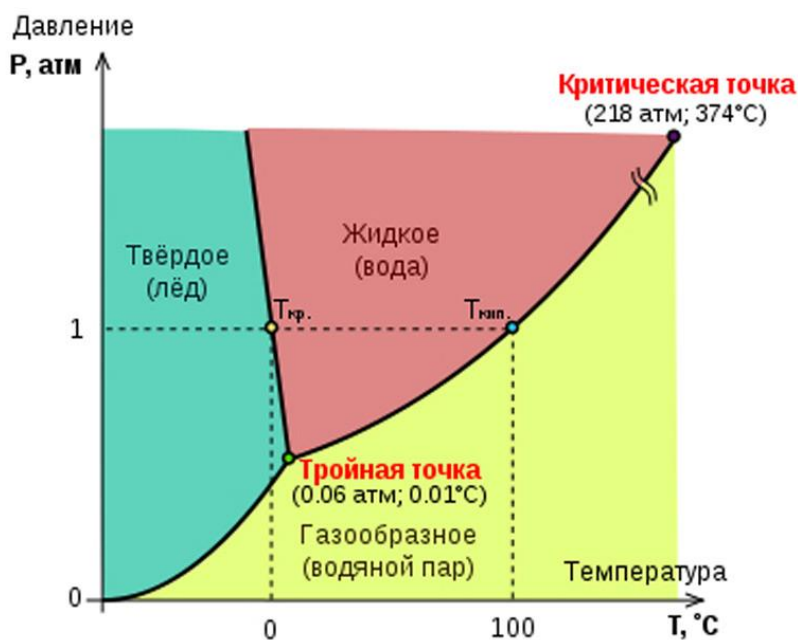


Рисунок 7. Частичная фазовая диаграмма воды [23]

Обсуждение результатов.

Обратим внимание на линию плавления от тройной точки и выше. На типичной фазовой диаграмме мономолекулярного вещества (рис. 2) такая линия идет с наклоном вправо, т.е. при повышении давления точка плавления повышается, что вполне объясняется с точки зрения современной молекулярной теории. С повышением плотности молекулы вещества сближаются, межмолекулярные связи усиливаются и для перехода в жидкое состояние требуется больше энергии. Для воды это не совсем так (см. рис. 7), точнее, это не так вплоть до аномальной точки плавления (см. рис. 6). На рис. 7 линия плавления наклонена влево, т.е., при повышении давления температура плавления понижается.

Подобное поведение с трудом можно объяснить с точки зрения современной молекулярной теории и легко объясняется с точки зрения молекулярно-фотонной теории, предлагаемой авторами статьи. Предлагаемое объяснение состоит в следующем: при повышении давления увеличивается концентрация (плотность) молекул воды, при повышении концентрации между молекулами задерживается больше тепловых фотонов, тем самым повышается плотность ЭМ поля фотонов, которое снижает межмолекулярное взаимодействие, а это позволяет перейти к жидкому состоянию при более низких температурах. Но этот механизм действует только до определенного предела, а именно до аномальной точки плавления воды при $-21,985^{\circ}\text{C}$ и 209,9 МПа. Дальнейшее повышение плотности приводит не к задержке тепловых фотонов, а к их выдавливанию из межмолекулярного пространства. Вода переходит в твердое состояние (льда).

Выводы

1. Поведение мономолекулярных веществ, отражаемое фазовой диаграммой, объясняются теорией, предлагаемой авторами статьи.
2. Свойства жидкого состояния вещества, такие как текучесть и вязкость объясняются частичным подавлением межмолекулярных связей «фотонной средой» в межмолекулярном пространстве.
3. Для образования межмолекулярной среды состоящей из ЭМ поля тепловых фотонов необходимо достаточно плотная сетка молекул, поэтому межмолекулярная «фотонная среда» образуется при давлениях не ниже определенной границы, а именно тройной точки.
4. При давлении ниже тройной точки плотность ЭМ поля фотонов недостаточна для существенного понижения межмолекулярных связей и жидкости не образуется, а молекулы, получившей достаточную кинетическую энергию, сразу отрываются от твердого тела и переходят в газовую фазу. Только при достижении плотности молекул выше тройной точки плотность молекул достаточна для образования плотной сетки молекул для удержания фотонов, ослабляющих межмолекулярное притяжение, и молекулы переходят в жидкую фазу.
5. Ослабление связей между молекулами вещества ЭМ полем тепловых фотонов зависит от двух параметров: от плотности молекул, образующих пространственную сетку, удерживающую тепловые фотоны и от энергии тепловых фотонов, определяющую напряженность ЭМ поля фотонов. Энергия фотонов напрямую зависит от температуры среды.
6. Ослабление молекулярных связей зависит от изменения давления и температуры.

7. При достижении критической точки, для воды это 374°C и 22,064 МПа, вещество переходит в сверхкритическое состояние, при котором газ сжимается до твердого состояния, но не переходит в жидкость, а остается в газообразном состоянии. Такое состояние называется флюидом. Объясняется это тем, что при таких высоких давлениях плотность молекул достаточна для удержания высокоэнергичных тепловых фотонов, которые полностью подавляют межмолекулярные связи воды, и молекулы воды даже при высокой плотности остаются свободными, как в газе. Только когда плотность воды достигает предельно высоких значений, тепловые фотоны выдавливаются из межмолекулярной среды и вода переходит в твердое состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.L.F. Abascal, E. Sanz, R.G. Fernández, and C. Vega A potential model for the study of ices and amorphous water: TIP4P/Ice. *J. Chem. Phys.* 122 (2005) 234511.
2. P.W. Bridgman Water, in the liquid and five solid forms, under pressure. *Proc. Am. Acad. Arts Sci.* 47, 1912, 439-558.
3. D. Eisenberg and W. Kauzmann The structure and properties of water. Oxford University Press, London, 1969.
4. A.F. Goncharov, N. Goldman, L.E. Fried, J.C. Crowhurst, I-F. W. Kuo, C.J. Mundy and J.M. Zaug Dynamic ionization of water under extreme conditions. *Phys. Rev. Lett.* 94 (2005)125508.
5. L.A. Guildner, D.P. Johnson, and F.E. Jones Vapor pressure of water at its triple point // *J. Res. Nat. Bur. Stand.* - 1976. - Vol. 80A. - P. 505-521.
6. M.J. Francis, N. Gulati and R.M. Pashley The dispersion of natural oils in de-gassed water // *J. Colloid Interface Sci.* - 2006. - Vol. 299. - P. 673-677.
7. L. Mercury, P. Vieillard and Y. Tardy Thermodynamics of ice polymorphs and 'ice-like' water in hydrates and hydroxides. *Appl. Geochem.* 16 (2001) 161-181.
8. R.M. Pashley, M. Rzechowicz, L.R. Pashley and M.J. Francis De-gassed water Is a better cleaning agent // *J. Phys. Chem.* - 2005. - Vol. 109. - P. 1231-1238.
9. R.M. Pashley, M.J. Francis and M. Rzechowicz The hydrophobicity of non-aqueous liquids and their dispersion in water under de-gassed conditions // *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* - 2008. - Vol. 13. - P. 236-244.
10. L. Pauling The structure of water. В кн.: Hydrogen bonding, Ed. D. Hadzi and H.W. Thompson, Pergamon Press Ltd, London, 1959, pp. 1-6.
11. Release on the pressure along the melting and the sublimation curves of ordinary water substance. IAPWS, 1993.
12. B. Schwager, L. Chudinovskikh, A. Gavriluk and R. Boehler Melting curve of H₂O to 90 GPa measured in a laser-heated diamond cell. *J. Phys: Condens. Matter* 16 (2004) S1177-S1179.
13. M. Song, H. Yamawaki, H. Fujihisa, M. Sakashita and K. Aoki Infrared investigation on ice VIII and the phase diagram of dense ices. *Phys. Rev. B* 68 (2003) 014106.
14. E.A. Zheligovskaya, G.G. Malenkov Crystalline water ices. *Russian Chem. Rev.* 75 (2006) 57-76.

15. Кочетков А.В., Федотов П.В. Об излучении атомов и молекул // Интернет-журнал Техническое регулирование в транспортном строительстве [Электронный ресурс]. URL: [http://trts.esrae.ru/pdf/2016/4\(18\)/7.doc](http://trts.esrae.ru/pdf/2016/4(18)/7.doc).
16. Кочетков А.В., Федотов П.В. Уточнение перечня базовых параметров термодинамического состояния газа // Интернет-журнал «Науковедение». Том 8, № 2 (2016) [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/103TVN216.pdf>.
17. Кочетков А.В., Федотов П.В. Необходимые дополнения к теории реальных газов // Интернет-журнал «Науковедение». Том 8, №2 (2016) [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/104TVN216.pdf>.
18. 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) [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN216.pdf>.
19. Интернет-ресурс: http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_phase_diagram.html.
20. Интернет-ресурс: <http://www.iapws.org/index.html/>.
21. Интернет-ресурс: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11598441>.
22. Интернет-ресурс: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9087575>.
23. Интернет-ресурс: <http://ledovydom.ru/wp-content/uploads/2015/11/ice-foto-topic-ICE-3.jpg>.
24. Открытая физика. Учебник. Интернет-ресурс: <http://physics.ru/textbook/chapter3/section/paragraph4/>.

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

The phase diagram of water

Abstract. It is shown that the molecular and photon theory which is put forward by authors in the previous articles allows to interpret easily phase charts of monomolecular substances, in particular waters, in all range of achievable values of temperatures and pressure.

In particular, it is shown that evaporation of substance, without formation of a liquid phase at temperatures and pressure below a threefold point, is caused by low concentration of molecules with pressure below a threefold point.

It is shown that the liquid phase is, in essence, analog of a firm phase, but intermolecular communications are suppressed by the photon environment, mobility of molecules in a liquid phase is explained by it.

It is shown that formation of a supercritical phase (fluid) is caused by same mechanisms, as a liquid phase, but "the photon environment" is formed by high-vigorous photons which electromagnetic field is suppressed completely by intermolecular communications. In this regard, though distances between molecules (substance density) also correspond to a liquid phase, but liquid isn't formed, and the fluid has properties of gas.

Keywords: molecular forces; phase diagram of a substance; liquid phase molecular photon gas

REFERENCES

1. J.L.F. Abascal, E. Sanz, R.G. Fernández, and C. Vega A potential model for the study of ices and amorphous water: TIP4P/Ice. *J. Chem. Phys.* 122 (2005) 234511.
2. P.W. Bridgman Water, in the liquid and five solid forms, under pressure. *Proc. Am. Acad. Arts Sci.* 47, 1912, 439-558.
3. D. Eisenberg and W. Kauzmann The structure and properties of water. Oxford University Press, London, 1969.
4. A.F. Goncharov, N. Goldman, L.E. Fried, J.C. Crowhurst, I-F. W. Kuo, C.J. Mundy and J.M. Zaug Dynamic ionization of water under extreme conditions. *Phys. Rev. Lett.* 94 (2005)125508.
5. L.A. Guildner, D.P. Johnson, and F.E. Jones Vapor pressure of water at its triple point // *J. Res. Nat. Bur. Stand.* - 1976. - Vol. 80A. - P. 505-521.
6. M.J. Francis, N. Gulati and R.M. Pashley The dispersion of natural oils in de-gassed water // *J. Colloid Interface Sci.* - 2006. - Vol. 299. - P. 673-677.
7. L. Mercury, P. Vieillard and Y. Tardy Thermodynamics of ice polymorphs and 'ice-like' water in hydrates and hydroxides. *Appl. Geochem.* 16 (2001) 161-181.
8. R.M. Pashley, M. Rzechowicz, L.R. Pashley and M.J. Francis De-gassed water Is a better cleaning agent // *J. Phys. Chem.* - 2005. - Vol. 109. - P. 1231-1238.

9. R.M. Pashley, M.J. Francis and M. Rzechowicz The hydrophobicity of non-aqueous liquids and their dispersion in water under de-gassed conditions // *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* - 2008. - Vol. 13. - P. 236-244.
10. L. Pauling The structure of water. V kn.: Hydrogen bonding, Ed. D. Hadzi and H.W. Thompson, Pergamon Press Ltd, London, 1959, pp. 1-6.
11. Release on the pressure along the melting and the sublimation curves of ordinary water substance. IAPWS, 1993.
12. B. Schwager, L. Chudinovskikh, A. Gavriiliuk and R. Boehler Melting curve of H₂O to 90 GPa measured in a laser-heated diamond cell. *J. Phys: Condens. Matter* 16 (2004) S1177-S1179.
13. M. Song, H. Yamawaki, H. Fujihisa, M. Sakashita and K. Aoki Infrared investigation on ice VIII and the phase diagram of dense ices. *Phys. Rev. B* 68 (2003) 014106.
14. E.A. Zheligovskaya, G.G. Malenkov Crystalline water ices. *Russian Chem. Rev.* 75 (2006) 57-76.
15. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Ob izluchenii atomov i molekul // *Internet-zhurnal Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve [Elektronnyy resurs]*. URL: [http://trts.esrae.ru/pdf/2016/4\(18\)/7.doc](http://trts.esrae.ru/pdf/2016/4(18)/7.doc).
16. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Utochnenie perechnya bazovykh parametrov termodinamicheskogo sostoyaniya gaza // *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. Tom 8, № 2 (2016) [Elektronnyy resurs]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/103TVN216.pdf>.
17. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Neobkhodimye dopolneniya k teorii real'nykh gazov // *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. Tom 8, №2 (2016) [Elektronnyy resurs]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/104TVN216.pdf>.
18. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Interpretatsiya opytnykh dannykh po szhimaemosti gazov pri razlichnykh usloviyakh. Atomno-fotonnyy gaz // *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. Tom 8, №2 (2016) [Elektronnyy resurs]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN216.pdf>.
19. Internet-resurs: http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_phase_diagram.html.
20. Interent-resurs: <http://www.iapws.org/index.html/>.
21. Internet-resurs: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11598441>.
22. Internet-resurs: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9087575>.
23. Internet-resurs: <http://ledovydrom.ru/wp-content/uploads/2015/11/ice-foto-topic-ICE-3.jpg>.
24. Otkrytaya fizika. Uchebnik. Internet-resurs: <http://physics.ru/textbook/chapter3/section/paragraph4/>.