

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБ АНОМАЛЬНЫХ И СПЕЦИФИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ВОДЫ

Симонян Г.С.¹, Арутюнян Н.М.²

¹Симонян Геворг Саркисович - кандидат химических наук, доцент;

²Арутюнян Норик Мартикович - магистрант,
кафедра неорганической и аналитической химии,

Ереванский государственный университет, г. Ереван, Республика Армения

Аннотация: в статье обсуждаются аномальные и специфические свойства воды, такие как теплоемкость, температура кипения и замерзания, летучесть, плотность, сжимаемость, удельная теплота плавления и испарения, тепловое расширение, поверхностное натяжение, диэлектрическая проницаемость, растворяющая способность, электролитическая диссоциация, теплопроводность, вязкость и прозрачность, скорость звука в воде. Показано, что необычные свойства воды связаны не только с наличием водородной связи, но также с «особенностью» структуры воды.

Ключевые слова: вода, структура воды, аномалия воды, специфичность воды.

Вода – химическое соединение кислорода и водорода, которое принято обозначать формулой H_2O . Она играет фундаментальную роль во многих процессах и явлениях, происходящих в Земле, на Земле и вокруг Земли. До сих пор не раскрыты все «тайны» воды, хотя более или менее изучены ее свойства, поведение в различных условиях и многое о воде уже известно. Химическая природа ее до сих пор окончательно не установлена, и на самом деле вода имеет более сложный состав. Молекулярная масса воды равна 18, но встречаются молекулы с молекулярной массой 19, 20, 21 и 22. Они состоят из более тяжелых атомов водорода и кислорода, имеющих атомную массу соответственно более 1 и 16. Природные воды имеют неодинаковый изотопный состав. Из известных разновидностей молекул воды стабильны девять [1, 2].

Молекула воды имеет угловое строение: представляет собой равнобедренный треугольник с углом при вершине $104,5^\circ$. Атом кислорода находится в sp^3 - гибридном состоянии; из четырех гибридных орбиталей кислорода две участвуют в образовании одинарных связей O–H, а две другие sp^3 - гибридные орбитали заняты неподеленными электронными парами, их действие является причиной уменьшения угла от $109,28^\circ$ до $104,5^\circ$. Молекула воды представляет собой диполь, содержащий положительный и отрицательный заряды на полюсах. Около ядра кислорода, наблюдается избыток электронной плотности, а на противоположной стороне молекулы около ядер водорода имеется недостаток электронной плотности.

Именно такая структура и определяет полярность молекулы воды. Аномальные свойства воды свидетельствуют о том, что молекулы воды довольно прочно связаны между собой и образуют характерную молекулярную конструкцию, которая сопротивляется тепловым, механическим и электрическим разрушающим воздействиям. Согласно современным представлениям, наличие водородных связей между молекулами воды приводит к возникновению так называемых водных кластеров или комплексов. Однако необычные свойства воды связаны не только с наличием водородной связи, но также обстоятельством, что структура жидкой воды проявляет свойства, как целостная система[3-7].

Ниже представляем аномальные свойства воды [1, 2, 5-10].

1. Теплоемкость — наиболее высокая, за исключением NH_3 (при $20^\circ C$ 4731 Дж/(кг·град). При атмосферном давлении и температуре до $100^\circ C$ она находится в виде жидкости и ее теплоемкость изменяется в диапазоне от 4174 до 4220 Дж/(кг·град). Зависимость теплоемкости воды от температуры при атмосферном давлении не линейна. При нагревании воды до $27^\circ C$ теплоемкость уменьшается, от 4217 до 4174 Дж/(кг·град), затем в интервале температуры $27-40^\circ C$ значение этой величины остается практически постоянным (следует отметить, что в этом диапазоне температуры вода обладает наименьшей теплоемкостью). При температуре выше $40^\circ C$ ее удельная теплоемкость увеличивается и достигает своего максимума при температуре кипения 4220 Дж/(кг·град). С повышением давления удельная теплоемкость воды уменьшается, но увеличивается также и температура кипения воды, например, при давлении в 100 бар (атмосфер) она находится в жидком состоянии даже при температуре $300^\circ C$. Удельная теплоемкость воды при этом составляет величину 5700 Дж/(кг·град). При продолжении нагрева воды, например до $320^\circ C$, она переходит в пар, который имеет большую теплоемкость. Однако, при низких давлениях, вода начинает кипеть и переходит в пар при температурах гораздо ниже $100^\circ C$. Например, по данным таблицы, при давлении 0,1 бар и температуре $50^\circ C$, вода уже находится в виде водяного пара, и его теплоемкость при этих условиях составляет величину, равную 1929 Дж/(кг·град). Как показано, в области температур человеческого тела $30-40^\circ C$, теплоемкость воды минимальна. Это замечательное свойство воды предопределяет равную вероятность течения обратимых и необратимых

биохимических реакций в организме человека и обеспечивает энтропийно-информационное управление ими.

2. Температура кипения и замерзания воды. Если бы вода была бы нормальным мономолекулярным соединением, таким, например, как гидриды ее аналогов: серы, селена и телура по шестой группе периодической системы элементов Д.И. Менделеева, то в жидком состоянии вода существовала бы в диапазоне от минус 100°C до минус 80°C (см. таблицу 1).

Таблица 1. Температура кипения и замерзания воды и ее химических аналогов

Соединение	H ₂ O	H ₂ S	H ₂ Se	H ₂ Te
M, г/моль	18	34	80	129
∠НЭН	104,6	92	90	90
T _{зам.} , °C	0	-82	-64	-51
T _{кип.} , °C	100	-61	-42	-4

3. Летучесть воды наименьшая, тогда как у соединений водорода с элементами подгруппы кислорода она возрастает при переходе от телура к сере (см. таблицу 1).

4. Плотность воды в зависимости от температуры максимальная при температуре от 3,8 до 4,2°C. В этих условиях точное значение плотности воды составляет величину 999,972 кг/м³. Такая температурная зависимость плотности характерна только для воды. Вода существует как отдельная жидкость при температуре от 0 до 374,12°C—это ее критическая температура, при которой исчезает граница раздела между жидкостью и водяным паром. Другие распространенные жидкости не имеют максимума плотности на этой кривой — их плотность равномерно снижается по мере роста температуры. Так, для всей биосферы исключительно важной особенностью воды является ее способность при замерзании увеличивать, а не уменьшать свой объем, т.е. уменьшать плотность. При замерзании вода расширяется, поэтому лед остается плавать на поверхности замерзающего водоема. Температура замерзающей воды подо льдом равна 0 С. В более плотных слоях воды у дна водоема температура оказывается порядка 4°C. Благодаря этому жизнь может существовать в воде замерзающих водоемов.

5. Сжимаемость, то есть степени уменьшения объема при увеличении давления. Обычно сжимаемость жидкости растет с температурой: при высоких температурах жидкости более рыхлы (имеют меньшую плотность) и их легче сжать. При нагреве воды от точки плавления вплоть до 46°C сжимаемость уменьшается, а потом увеличивается.

6. Удельная теплота плавления льда наиболее высокая (330кДж/кг), за исключением NH₃— 332,3 кДж/кг.

7. Удельная теплота испарения — наиболее высокая из всех веществ. При нормальном атмосферном давлении удельная теплота парообразования воды равна 2258 кДж/кг, а температура кипения воды составляет 100°C. При увеличении давления, например до 100 атм., величина теплоты парообразования воды снижается до 1315 кДж/кг. Температура кипения воды в зависимости от давления изменяется следующим образом: при росте давления температура кипения воды увеличивается и достигает в критическом состоянии максимального значения 374,15°C при давлении 218,4 атмосферы. Высокая удельная теплота испарения крайне важна для переноса тепла и воды в атмосфере.

8. Тепловое расширение — температура, соответствующая максимальной плотности, уменьшается с повышением солёности. Коэффициент β называют температурным коэффициентом объемного расширения. Этот коэффициент у жидкостей в десятки раз больше, чем у твердых тел. У воды, например, при температуре 20°C β_в ≈ 2·10⁻⁴ К⁻¹. Тепловое расширение воды имеет интересную и важную для жизни на Земле аномалию. При температуре ниже 4 °C вода расширяется при понижении температуры (β < 0). Максимум плотности ρ_в = 10³ кг/м³ вода имеет при температуре 4 °C.

9. Поверхностное натяжение—наиболее высокое из всех жидкостей, кроме ртути. У воды коэффициент поверхностного натяжения при температуре 20°C на воздухе равен 72.86мН/м. Для ртути 20°C на воздухе равен 486.5мН/м. Высокое поверхностное натяжение позволяет воде иметь шарообразную форму при свободном падении. Поверхностное натяжение и смачивание являются основой особого свойств воды и водных растворов, названного капиллярностью. Капиллярность имеет огромное значение для жизни растительного, животного мира, формирования структур природных минералов и плодородия земли. В микроканалах вода приобретает удивительные свойства. Она становится более вязкой, уплотняется в полтора раза, а замерзает при -75°C. Связанная межмолекулярными силами с поверхностью пор и микрополостей пород и минералов земной коры и других объектов живой и неживой природы. Эта поровая вода, обладает особой структурой.

10. Относительная диэлектрическая проницаемость — наиболее высокая из всех жидкостей (для чистой воды ε=81 при 20°C), за исключением формамида (ε=84 при 20°C). Большое значение диэлектрической проницаемости объясняется особенностями молекулы H₂O. Это связано с тем, что вода - сильно полярная жидкость и поэтому обладает мягкой ориентационной степенью свободы (т.е.

вращения молекулярных диполей). Каждая молекула воды обладает значительным дипольным моментом. В отсутствие электрического поля диполи ориентированы случайным образом, и суммарное электрическое поле, создаваемое ими, равно нулю. Если воду поместить в электрическое поле, то диполи начнут переориентироваться так, чтобы ослабить приложенное поле. Такая картина наблюдается и в любой другой полярной жидкости, но вода благодаря большому значению дипольного момента молекул H_2O способна очень сильно (в 80 раз) ослабить внешнее поле.

11. Растворяющая способность — как правило, растворяет большинство веществ. Эксперименты показали, что вода и водные растворы после прогрева при высоких значениях температуры и давления в течение некоторого времени находятся в метастабильном состоянии.

Метастабильная вода характеризуется повышенной растворяющей способностью по отношению к карбонатам, сульфатам, оксидам и силикатам; она имеет пониженные значения pH и длительное время удерживает в своем составе аномальные количества растворенного вещества. Так, вода, активированная при 200, 300 и 400°C, повышает свою растворяющую способность по отношению к кальциту в 2, 3 и 4 раза соответственно [9]. Способность воды сохранять свое структурное состояние в течение некоторого времени после изменения внешних условий называется структурной памятью воды [10].

12. Электролитическая диссоциация — очень мала. Вода, это нейтральное вещество, хотя содержит ионы H^+ и HO^- .

13. Теплопроводность — наиболее высокая из всех жидкостей. При 35°C вода имеет наименьшую теплопроводность. Основную роль играет в процессах, которые происходят в живых клетках, но для молекулярных процессов оказывается гораздо важнее, чем вихревая проводимость

14. Вязкость — при температуре ниже 35°C с увеличением давления от атмосферного до 0,2 ГПа вязкость воды уменьшается, проходит через минимум и только потом возрастает. Определяет гидродинамику водных объектов и седиментацию взвешенных веществ.

15. Прозрачность — относительно велика. Сильно поглощает лучистую энергию солнца в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра; в видимой области спектра наблюдается относительно малое избирательное поглощение, поэтому вода бесцветна: особенности поглощения важны для физических, химических и биологических процессов.

16. Скорость звука в воде. Для всех жидкостей, кроме воды, скорость звука уменьшается с повышением температуры. Зависимость скорости звука в воде от температуры при атмосферном давлении не линейна. При нагревании воды от 0 до 70°C скорости звука в воде увеличивается от 1403 до 1555 м/с, затем в интервале температуры 70–85°C значение этой величины остается практически постоянным. При температуре выше 85°C скорость звука в воде уменьшается и при температуре кипения достигает величины 1543 м/с.

Список литературы

1. Петров М.Н., Михлев Л.А., Кукуцкий Ю.Н. Неорганическая химия. Л.:Химия, 1976. 480 с.
2. Никаноров А. М. Гидрохимия. СПб: Гидрометеоздат, 2001. 444 с.
3. Latimer Wendell M., Rodebush Worth H. Polarity and ionization from the standpoint of the lewis theory of valence // J. Am. Chem. Soc., 1920. V. 42. P. 1419–1433. DOI:10.1021/ja01452a015
4. Simonian G.S., Beylerian N.M. The solvent action on Michaelis reaction rate. A New Parameter concerning the solvent Polarity. // Oxidation Communication, 2003. V. 26. № 4. P. 485-491.
5. Мосин О.В., Игнатов И. Структура воды // Химия, 2013. № 1. С. 12–32.
6. Асхабов А.М. Нанокластерная модель образования жидкой воды // Известия Коми научного центра УРО РАН, 2016. № 1 (25). С. 62-67.
7. Зенин С.В. Исследование структуры воды методом протонного магнитного резонанса // Докл. РАН, 1993. Т. 332, № 3. С. 328–329.
8. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М.: Энергия, 1980. 424 с.
9. Летников Ф.А., Кащеева Т.В., Минцис А.Ш. Активированная вода. Новосибирск: Наука, 1976. 135 с.
10. Блох А. М. Структура воды и геологические процессы. М.: Недра, 1969. 216 с.