

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ ВОДЫ**

<sup>1</sup>Высоцкий В.И., <sup>2</sup>Корнилова А.А.

<sup>1</sup>Киевский университет им. Т.Шевченко, Украина;

<sup>2</sup>Московский государственный университет им М.В.Ломоносова, Россия

Рассмотрены физико-молекулярные основы проблемы долговременной памяти воды. Показано, что на основе клатратной модели воды может быть обоснован метод записи информации в объеме чистой воды. Впервые вычислена длительность хранения информации, которая может составлять интервал времени от нескольких минут до 1 года. Рассмотрены методы записи информации, приводящие к активации воды. Проведен краткий анализ биологического действия активированной воды.

### **Введение**

Вода обладает рядом уникальных свойств, среди которых особое место занимает ее долговременная "память". Многочисленные эксперименты подтверждают существование памяти воды, которая активируется при воздействии некоторых физических полей (например, магнитного поля [1], ударного механического воздействия, резкого изменения температуры или давления) и может хранить информацию об этом воздействии в течении многих часов и дней. Из экспериментов следует, что такая активированная вода обладает измененными физико-химическими свойствами и в ряде случаев может оказывать специфическое влияние на биологические объекты (в том числе благотворное воздействие при лечении некоторых заболеваний). Отметим, что медицинский аспект действия активированной воды изучен крайне слабо. Это одна, видимая сторона проблемы.

С другой стороны кажется, что вода, как конкретный физический объект, не должна иметь долговременной памяти. Это следует из простых оценок. Долгое время континуальная (квазикристаллическая) модель воды являлась главенствующей. В рамках этой модели пространственная структура потенциальной энергии для каждой из молекул  $H_2O$  представляет собой почти периодическую трехмерную систему потенциальных ям и барьеров. Этот рельеф является результатом самосогласованного движения всех молекул воды, которое представляет сочетание двух независимых процессов - колебательного движения в каждой из потенциальных ям и случайного (флуктуационного) перескока в соседнюю яму. Средняя частота колебаний в потенциальных ямах оказывается примерно такой же, как частота Дебая

в твердом теле (около  $\omega_D \approx 10^{13} \text{ с}^{-1}$ ). Средняя длительность перескока в соседнюю потенциальную яму равна  $\tau_0 \approx 10^{-13} \text{ с}$ . Среднее время нахождения в одной яме

$$\langle \tau \rangle = \tau_0 \exp(\Delta W/kT) \approx 10^{-9} - 10^{-10} \text{ с}$$

определяется температурой  $T$  воды и энергией активации  $\Delta W \approx 0.2 \text{ эВ}$  процесса диффузии (высотой барьера между соседними ямами). Оставаясь в рамках этой модели, нетрудно прийти к выводу, что память воды должна сохраняться не намного дольше, чем величина  $\langle \tau \rangle$ , что на много порядков меньше данных экспериментов.

Из этого логического тупика может быть только два выхода - либо эксперименты недостоверны, либо континуальная модель неполная (или ошибочная).

## 1. Пространственная структура и модели воды

Непрерывно возрастающее количество достоверных экспериментов показывает, что континуальная модель неадекватно описывает структуру воды. Наличие пространственной структуры в объеме воды было впервые доказано Берналом [2]. Расчеты на основе квантовой химии показали, что молекулы воды участвуют в образовании молекулярных ансамблей и могут образовывать различные виды ассоциированных молекул: «гидроль»  $\text{H}_2\text{O}$ , «дигидроль»  $(\text{H}_2\text{O})_2$ , «тригидроль»  $(\text{H}_2\text{O})_3$  и т. д. Дальнейшие исследования показали, что в воде могут образовываться также и гораздо большие ассоциаты (кластеры) из молекул воды, структура которых напоминает маленькие куски льда. Как правило, эти кластеры являются неустойчивыми и спонтанно возникают и исчезают. Динамика таких ассоциатов лежит в основе кластерной модели воды [3].

Более детальные исследования (например, [4]) показали, что наиболее близкой к реальности является так называемая "клатратная" модель. В окончательном виде эта модель была разработана Полингом [5].

В основе клатратной модели Полинга лежит представление о том, что объединение атомов кислорода и водорода способно создавать пространственные гибкие тетраэдрические каркасы. В узлах этих каркасов имеются очень крупные (в масштабах молекулы воды) микрополости (микроростоты) с жесткими атомарными стенками. Основным элементом этой структуры являются связанные между собой правильные многогранники - додекаэдры. Такие системы получили название "клатратных гидратов". Всю эту каркасную конструкцию удерживают водородные связи. Они прочно скрепляют систему пентагональных додекаэдрических многогранников из ионов кислорода и водорода, которые образуют стенки микрополостей. Каждый из многогранников может характеризоваться вписанной сферой

радиусом около  $R_c \approx 2,6$  А. Все многогранники имеют 12 пятиугольных граней, 30 ребер, соединяющих эти грани и 20 вершин, в каждой из которых сходится по 3 ребра. В вершинах этих многогранников расположено по 20 молекул воды  $H_2O$ , каждая из которых имеет по 3 водородные связи. За пределами этого каркаса находятся квазисвободные молекулы "обычной" изотропной воды, свойства и структура которой примерно соответствует континуальной модели. Микрополости соединены с внешним пространством окнами диаметром около 2,5 А, что немного меньше поперечника молекулы воды ( $2R \approx 2,76$  А). В итоге каждая из микрополостей отделена от "внешней" аморфной квазисвободной воды кольцевым потенциальным барьером шириной около 0,13-0,15 А, окаймляющим окно. Относительное количество молекул "каркасной" воды при комнатной температуре составляет 20-30% и увеличивается при ее понижении. В объеме микрополостей могут свободно разместиться, например, по одной молекуле  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ .

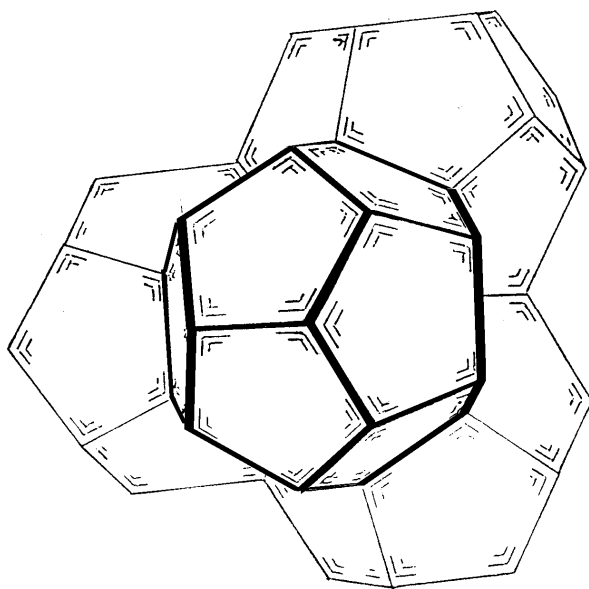


Рис. 1. Система клатратных гидратов в воде

Вследствие наличия сильного и симметричного (относительно центра микрополостей) электростатического поля, внутри микрополостей существует определенный запрет на образование водородных связей молекул воды с их стенками. В этом случае имеет место такое нетривиальное явление, как отталкивание свободных молекул воды от стенок каркаса, образованного также из молекул воды (то есть молекулы воды в объеме воды становятся гидрофобными)! Средняя плотность клатратного каркаса (без заполнения молекулами воды) равна  $0,80 \text{ г/см}^3$ , т.е. микрополости занимают 20% всего объема структурированного каркаса воды. Если же микрополости заполнены молекулами воды, то плотность близка к  $1 \text{ г/см}^3$ .

Клатратная модель Полинга очень хорошо объясняет все свойства воды (в том числе ее аномальную сжимаемость). Структура ДНК идеально соответствует пространственной структуре такой каркасной воды, при этом каждая макромолекула ДНК упорядочивает воду на расстоянии до 1000 Å от своей поверхности. Во многих работах рассмотрена возможность объединения клатратной модели Полинга с кластерной моделью. В этом случае отдельные элементы клатратных каркасов могут время от времени соединяться между собой водородными связями и образовывать группы, обладающие упорядоченной структурой (то есть кластеры). Поскольку существует очень сильная взаимосвязь между близлежащими водородными связями, то возникновение и устранение водородных связей происходит коррелировано и синхронно во времени. Такой характер связи позволяет говорить о том, что в воде возникают и исчезают "мерцающие кластеры". Время жизни кластеров - порядка  $10^{-10}$  с, т.е. порядка 1000 молекулярных колебаний.

## **2. Система долговременной памяти воды**

Покажем, каким образом наличие клатратного каркаса воды может приводить к формированию долговременной памяти в воде и к записи и использованию информации.

Пусть у нас имеется исходная вода, которая находится в состоянии термодинамического равновесия. Ей соответствует максимум энтропии. Такая вода получается после длительного кипячения и медленного остывания или после очень длительного отстаивания. В этом случае количество микрополостей в составе системы клатратных гидратов, которые заполнены водой, соответствует распределению Больцмана с учетом статистических весов состояний молекул  $H_2O$  в микрополости и в аморфной воде. Это будет равновесная или обычная вода.

При температуре  $4^{\circ}C$  в каркасе заполнено 18% всех микрополостей, при нормальной температуре человека ( $36.6^{\circ}C$ ) заполнено 38% микрополостей, а при  $55^{\circ}C$  около 50% микрополостей оказываются занятыми молекулами  $H_2O$ . Такой закон распределения связан с:

1. распределением Больцмана при заданной температуре,
2. кратностью вырождения начального и конечного состояния молекулы  $H_2O$  в составе аморфной воды около входного окна в объем микрополости и в объеме этой микрополости,
3. соотношением между объемом всей аморфной воды и объемом клатратного каркаса.

С изменением температуры все три величины изменяются, что затрудняет проведение точного расчета. Вместе с тем очевидно, что в объеме клатратных микрополостей энергия связи молекул воды близка к нулю (из-за гидрофобного характера взаимодействия со стенками), а в объеме квазиаморфной воды состояние молекулы  $H_2O$  определяется глубиной потенциальной ямы, обусловленной связью с другими молекулами воды. Глубина этой ямы соответствует энергии активации при диффузии  $\Delta W \approx 0.2$  эВ. Вследствие этого необходимая

энергия активации для входа в микрополость  $\Delta E_M$  и выхода из нее  $\Delta E_M - \Delta E$  будут разными (рис.2). Время нахождения "избыточной" молекулы воды в микрополости и время существования "избыточной" вакансии в пустой микрополости также будут разными.

При нарушении термодинамического равновесия происходит перераспределение молекул  $H_2O$  между аморфной водой и микрополостями до нового равновесного состояния. Покажем, что спонтанный переход между этими состояниями из-за очень малой вероятности туннельного проникновения молекул  $H_2O$  через "узкие" окна сильно заторможен, а время релаксации каждого из состояний оказывается очень большим. Такая релаксация соответствует переходу молекул воды в двух возможных направлениях:

1) из состояния аморфной воды в объем микрополости (если начальное количество молекул воды в микрополостях было меньше величины, обусловленной распределением Больцмана, что может быть при быстром нагревании всей воды);

2) из состояния "лишней" воды в составе микрополостей в аморфную воду (если количество молекул воды в микрополостях было больше равновесного значения, что, например, соответствует случаю быстрого охлаждения всей воды).

Процесс релаксации каждого из этих состояний зависит от термодинамической вероятности

$$W = \exp(-\Delta E_M / k_B T)$$

того, что одна из молекул воды в результате взаимодействия с другими молекулами получит энергию  $\Delta E_M$ , достаточную для такой ее кратковременной деформации (т.е. работы по увеличению энергии взаимодействия между протоном и ионом кислорода), которой достаточно для уменьшения размера молекулы воды до размера окна микрополости и, соответственно, проникновения этой молекулы внутрь микрополости.

Поскольку частота столкновений любой из молекул воды с поверхностью любого структурного объекта в воде равна частоте колебаний молекул около локального положения равновесия  $\omega_D \approx 1/\tau_0 \approx 10^{13}$  с, то полная вероятность захвата молекулы в единицу времени в пустую микрополость равна  $F = W/\tau_0$ . Из этого выражения можно определить среднее время существования неравновесного (пустого) состояния одной микрополости в объеме

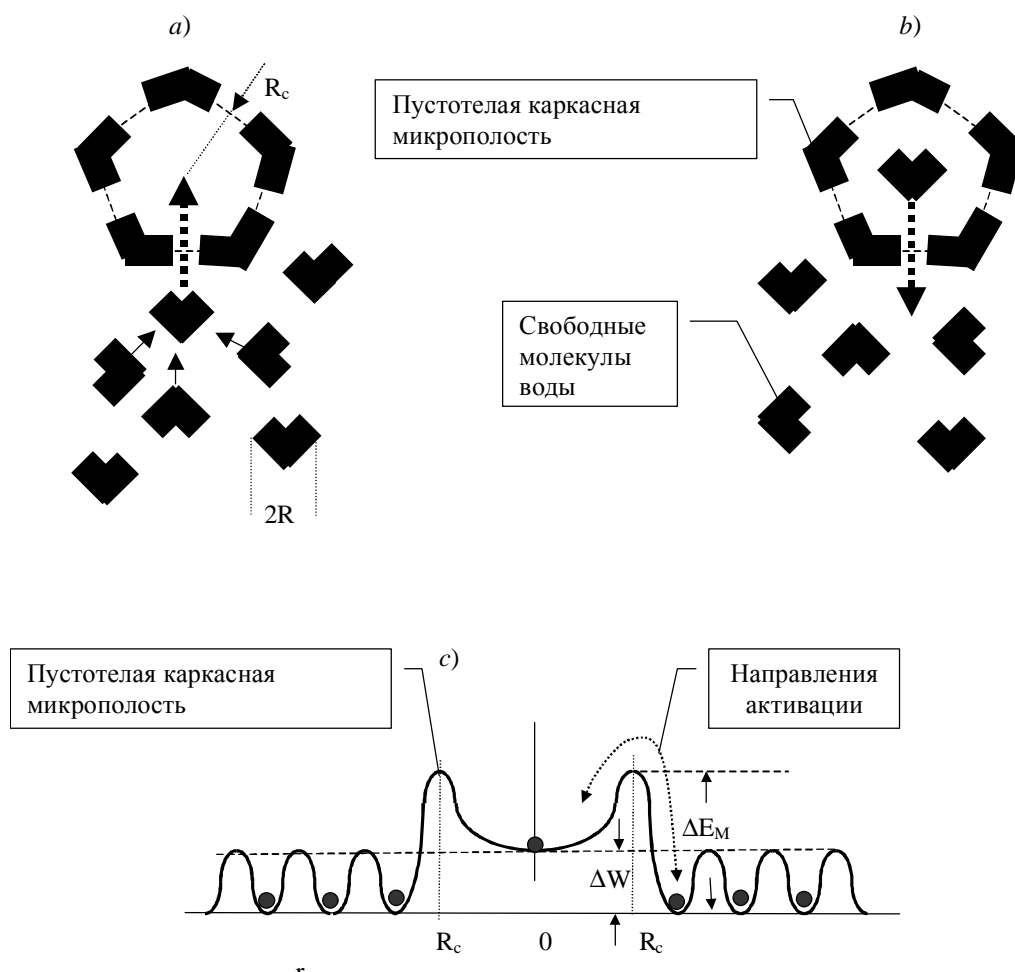


Рис. 2. Процесс термостимулированной активации *a)* и дезактивации *b)* микрополостей клатратного каркаса воды при повышении или снижении температуры; *c)* - структура потенциальной энергии молекул аморфной и связанной воды в объеме микрополости и около ее границы

пространственного каркаса воды (время релаксации вакансии в микрополости)

$$T_{1W} = 1/F_1 = \tau_0 \exp(\Delta E_M/k_B T).$$

Очевидно, что это время будет определять длительность существования памяти воды при заполнении этой микрополости (например, при нагревании воды).

Можно вычислить величину  $\Delta E_M$ , которая характеризует такой процесс.

Колебательное движение протона в молекуле  $H_2O$  в направлении, перпендикулярном линии связи  $OH$ , соответствует гармоническому осциллятору (Рис.3). Потенциальная энергия, соответствующая смещению иона водорода на величину  $r$  по отношению к положению равновесия, может быть записана в виде энергии гармонического осциллятора

$$V(r) = M_H \omega_H^2 r^2 / 2$$

Здесь  $M_H$  - массы атома водорода,  $\omega_H \approx 3 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1}$  частота нормальных колебаний протона в направлении, перпендикулярном линии связи  $OH$  [6].

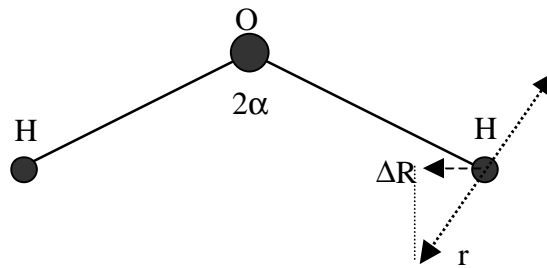


Рис. 3. Нормальные колебания  
протона в молекуле воды

С учетом того, что угол между линиями связи каждого из протонов с ядром кислорода равен  $2\alpha \approx 104,4^\circ$ , находим, что для деформации внешнего размера молекулы воды на величину  $\Delta R \approx 0.26$  А, достаточную для прохождения молекулы внутрь микрополости, необходима энергия деформации

$$V(\Delta R) = M_H \omega_H^2 \Delta R^2 / 2 \cos^2 \alpha \approx 1,1 \text{ эВ}$$

Эта величина определяет порог энергии  $\Delta E_M = V(\Delta R)$ , определяющей процесс релаксации воды. Этот порог намного превосходит тепловую энергию молекул воды, равную  $k_B T \approx 0.025$  эВ при комнатной температуре. Видно, что время релаксации  $T_{1W}$  очень сильно зависит от порогового значения энергии деформации молекулы воды  $\Delta E_M$  и ее температуры  $T$ . Большое значение  $\Delta E_M$  приводит к малой вероятности преодоления барьера в области входного окна микрополости. В итоге вероятность спонтанной дезактивации воды очень мала, что соответствует очень большому времени хранения информации.

При температуре воды  $T = 293$  К ( $20^\circ$  С) время релаксации (длительность существования "памяти воды") равно  $T_{1W} \approx 10$  дням. При увеличении температуры воды время релаксации резко уменьшается, а при ее охлаждении - увеличивается (см. таблицу 1).

Для альтернативного направления релаксации (перехода молекулы воды из объема микрополости в объем аморфной воды) время релаксации  $T_{2W}$  также определяется соотношением типа (2.3), в котором изменена энергия активации ( $\Delta E_M - \Delta E \approx 0.9$  эВ вместо  $\Delta E_M \approx 1.1$  эВ). Кроме того необходимо учесть, что из-за того, что внутренний размер микрополости значительно превышает размер потенциальной ямы для каждой молекулы в объеме квазиаморфной воды, эффективная частота столкновений молекулы воды со стенками внутри микрополости  $\omega_D \approx 1/\tau_0$  будет меньше, а период  $\tau_0$ , соответственно, больше, чем в объеме воды. Результаты расчета времени релаксации  $T_{2W}$  при обратном переходе молекул  $H_2O$  из объема микрополости в состав квазиаморфной воды также представлены в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость времени релаксации воды (длительности "памяти воды") от ее температуры

T, °C	1	10	20	30	36.6	40	50	60	70	90
T <sub>1w</sub>	300 д	49 д	10 д	58 ч	24 ч	15 ч	4.4 ч	1.3 ч	27 мин	3 мин
T <sub>2w</sub>	30 мин	14мин	4 мин	1.5мин	45 с	30 с	12 с	4 с	1.5 с	0.3 с

Необходимо отметить, что для вычисления величин T<sub>1w</sub> и T<sub>2w</sub> необходимо знать точные значения энергии активации и высоты потенциального барьера, регулирующего вход в объем микрополостей клатратного каркаса. Эти параметры определены нами, исходя из модельных расчетов. При уточнении этих параметров соответствующие значения T<sub>1w</sub> и T<sub>2w</sub> могут существенно изменяться. Полученные величины T<sub>1w</sub> и T<sub>2w</sub> соответствуют релаксации воды из неравновесного состояния в равновесное, которое соответствует ее температуре.

Если рассмотреть этот процесс с точки зрения теории информации, то формирование неравновесного распределения можно считать процессом записи информации в объеме воды. Назовем такую воду активированной.

Очень большое время релаксации позволяет рассматривать воду как двухуровневую бистабильную систему с большим временем жизни в каждом из двух состояний. Такая система позволяет осуществлять запись и хранение информации (в виде соотношения числа заполненных и незаполненных микрополостей), а также эффективно использовать эту информацию за счет изменения свойств воды при переходе большого числа молекул H<sub>2</sub>O и других растворенных в воде атомов, молекул и ионов из состояния аморфной воды в объем замкнутых микрополостей или обратно (рис.1).

Можно также отметить, что процесс активации воды может быть осуществлен не только при ее нагревании или охлаждении, но путем воздействия магнитными полями или ультразвуком. Такие периодические когерентные воздействия могут стимулировать образование квазистабильных кластеров, каждый из которых объединяет несколько взаимно упорядоченных клатратных каркасов. В такой системе поведение изолированных молекул воды в периодически расположенных микрополостях подобно движению водорода в палладии, где обеспечивается очень высокая степень насыщения решетки. Периодические воздействия также могут влиять на параметры клатратного каркаса воды, изменяя, например, прозрачность потенциального барьера в окнах микрополостей (это задача о тунелировании молекулы H<sub>2</sub>O через нестационарный барьер). Кроме того, сильное периодическое магнитное поле может стимулировать переходы между уровнями энергии, которые характеризуют состояние молекул H<sub>2</sub>O в микрополостях и в аморфной воде (например, за счет многофотонных нелинейных процессов при взаимодействии с магнитными моментами), что



приводит к неравновесной населенности молекул воды в микрополостях и соответствует активации воды. С помощью такого внешнего воздействия может быть достигнута такая неравновесная населенность микрополостей, которая недостижима изменением температуры. Подобная активация воды также может быть достигнута при ее всестороннем сжатии.

### **Заключение**

Вопрос о свойствах активированной воды ранее последовательно не рассматривался. Прежде всего такая вода будет иметь другие физико-химические характеристики.

Высокая термостабильность человеческого организма автоматически приводит к тому, что вся содержащаяся в нем вода должна иметь фиксированное количество заполненных микропустот, соответствующих нормальной температуре (Таблица 1). Если же в организм попадает активированная вода, то это приводит к изменению параметров водной среды. Из результата расчета видно, что при нормальной температуре человека активированное состояние воды может сохраняться в течении 24 часов, что вполне достаточно для терапевтического воздействия такой воды.

Если вода была получена, например, путем быстрого нагревания, то в ней будет избыток как аморфной воды, так и количества незаполненных микропустот в объеме клатратного каркаса. Такая вода будет иметь меньшую объемную плотность, что может существенно уменьшить нагрузку на сердце и другие органы человека. Ее вязкость будет значительно меньше, что может существенно облегчить транспорт солей в организме. Изменение вязкости воды также влияет на процесс неферментативной саморепарации двойных радиационных разрывов ДНК [7,8]. К такому же эффекту приводит существенное изменение диэлектрической проницаемости активированной воды в УФ области спектра. [7,8].

В активированной воде, полученной, например, путем быстрого охлаждения, имеется дефицит аморфной воды и пустых микрополостей. Такой же состав будет у воды, предварительно подвергнутой продолжительному сильному сжатию или у воды из горных родников (молекулы воды будут "втиснуты" в микрополости и не успеют выйти из них после прекращения действия давления). Такая вода имеет повышенную плотность и вязкость. Кроме того, в такой воде в процессе ее релаксации будет происходить выход изолированных молекул  $H_2O$  из микрополостей в объем аморфной воды. Эти молекулы могут своими свободными связями нейтрализовать свободные радикалы.

Очевидно, что медицинские аспекты действия двух видов активированной воды заслуживает тщательного клинического исследования.

На основе такой системы долговременной памяти можно дать интерпретацию многих эффектов, приводящих к активированию и проявлению аномальных свойств воды. В

закключение отметим, что рассмотренные явления относятся к чистой воде и не рассматривают влияние растворенных примесей [4] (в том числе включающих ионы и микрочастицы железа), само наличие которых может приводить к другим эффектам (например, при наличии внешнего постоянного магнитного поля [9]).

1. Классен В.И. Вода и магнит, Наука, М., 1972
  2. Bernal J.D., Fowler R.H. //J.Chem. Phys. v.1 (1933) p.513
  3. Nemethy G., Seheraga H.A.//J.Chem. Phys. v.36 (1962) p.3382
  4. Самойлов О.Я. //Структура водных растворов и гидратация ионов, М., 1957
  5. Pauling E. Hydrogen bonding //Ed. D.Hadzi, London, Pergamon Press, 1959
  6. Зацепина Г.Н. Физические свойства и структура воды, изд. МГУ, 1998
  7. Pinchuk A.O., Vysotskii V.I. // Physical Rev E, v. 63 (2001) p.31904.
  8. Vysotskii V. I., Pinchuk A. O., Kornilova A.A., Samoylenko I.I. // Radiation Physics and Chemistry, v.65 (2002), p.487
  9. Сокольский Ю.М. Омагниченная вода: правда и вымысел, изд. Химия, Ленинград, 1990.1.
- Классан В.И. Вода и магнит, Наука, М., 1972

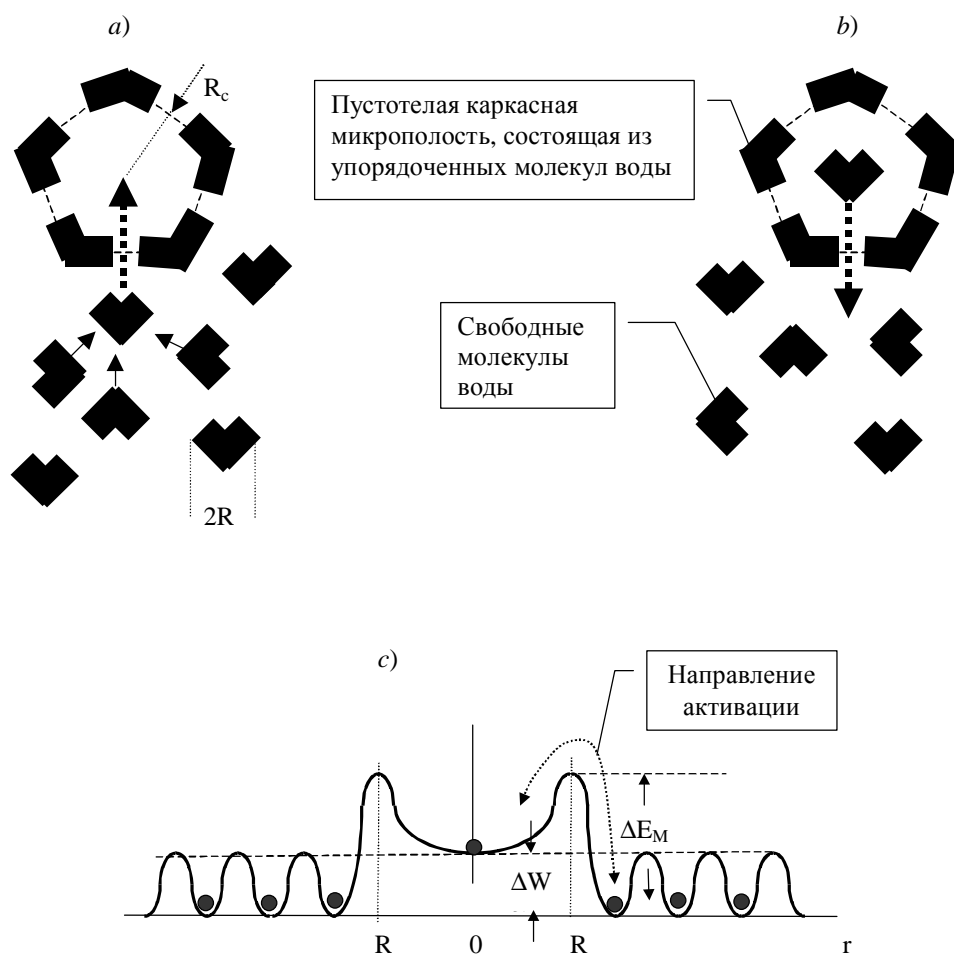


Рис. 1. Процесс термостимулированной активации *a)* и дезактивации *b)* микрополостей клатратного каркаса воды при повышении или снижении температуры; *c)* - структура потенциальной энергии молекул аморфной и связанной воды в объеме микрополости и около ее границы

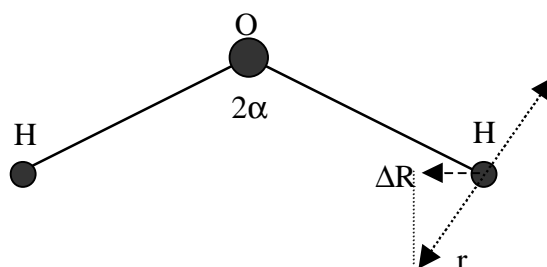


Рис. 2. Нормальные колебания протона в молекуле воды

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ ВОДЫ

<sup>1</sup>Высоцкий В.И., <sup>2</sup>Корнилова А.А.

<sup>1</sup>Киевский университет им. Т.Шевченко, Украина;

<sup>2</sup>Московский государственный университет им М.В.Ломоносова, Россия

Рассмотрены физико-молекулярные основы проблемы долговременной памяти воды. Показано, что на основе клатратной модели воды может быть обоснован метод записи информации в объеме чистой воды. Впервые вычислена длительность хранения информации, которая может составлять интервал времени от нескольких минут до 1 года. Рассмотрены методы записи информации, приводящие к активации воды. Проведен краткий анализ биологического действия активированной воды.

## Введение

Вода обладает рядом уникальных свойств, среди которых особое место занимает ее долговременная "память". Многочисленные эксперименты подтверждают существование памяти воды, которая активируется при воздействии некоторых физических полей (например, магнитного поля [1], ударного механического воздействия, резкого изменения температуры или давления) и может хранить информацию об этом воздействии в течении многих часов и дней. Из экспериментов следует, что такая активированная вода обладает измененными физико-химическими свойствами и в ряде случаев может оказывать специфическое влияние на биологические объекты (в том числе благотворное воздействие при лечении некоторых заболеваний). Отметим, что медицинский аспект действия активированной воды изучен крайне слабо. Это одна, видимая сторона проблемы.

С другой стороны кажется, что вода, как конкретный физический объект, не должна иметь долговременной памяти. Это следует из простых оценок. Долгое время континуальная (квазикристаллическая) модель воды являлась главенствующей. В рамках этой модели пространственная структура потенциальной энергии для каждой из молекул  $H_2O$  представляет собой почти периодическую трехмерную систему потенциальных ям и барьеров. Этот рельеф является результатом самосогласованного движения всех молекул воды, которое представляет сочетание двух независимых процессов - колебательного движения в каждой из потенциальных ям и случайного (флуктуационного) перескока в соседнюю яму. Средняя частота колебаний в потенциальных ямах оказывается примерно такой же, как частота Дебая в твердом теле (около  $\omega_D \approx 10^{13} \text{ с}^{-1}$ ). Средняя длительность перескока в соседнюю потенциальную яму равна  $\tau_0 \approx 10^{-13} \text{ с}$ . Среднее время нахождения в одной яме

$$\langle \tau \rangle = \tau_0 \exp(\Delta W_d / kT) \approx 10^{-9} - 10^{-10} \text{ с}$$

определяется температурой  $T$  воды и энергией активации  $\Delta W_d$  процесса диффузии (высотой

барьера между соседними ямами). Оставаясь в рамках этой модели, нетрудно прийти к выводу, что память воды должна сохраняться не намного дольше, чем величина  $\langle \tau \rangle$ , что на много порядков меньше данных экспериментов.

Из этого логического тупика может быть только два выхода - либо эксперименты недостоверны, либо континуальная модель неполная (или ошибочная).

## 1. Пространственная структура и модели воды

Непрерывно возрастающее количество достоверных экспериментов показывает, что континуальная модель неадекватно описывает структуру воды. Наличие пространственной структуры в объеме воды было впервые доказано Берналом [2]. Расчеты на основе квантовой химии показали, что молекулы воды участвуют в образовании молекулярных ансамблей и могут образовывать различные виды ассоциированных молекул: «гидроль»  $\text{H}_2\text{O}$ , «дигидроль»  $(\text{H}_2\text{O})_2$ , «тригидроль»  $(\text{H}_2\text{O})_3$  и т. д. Дальнейшие исследования показали, что в воде могут образовываться также и гораздо большие ассоциаты (кластеры) из молекул воды, структура которых напоминает маленькие куски льда. Как правило, эти кластеры являются неустойчивыми и спонтанно возникают и исчезают. Динамика таких ассоциатов лежит в основе кластерной модели воды [3].

Более детальные исследования (например, [4]) показали, что наиболее близкой к реальности является так называемая "клатратная" модель. В окончательном виде эта модель была разработана Полингом [5]. В основе клатратная модели Полинга лежит представление о том, что объединение атомов кислорода и водорода способно создавать пространственные гибкие тетраэдрические каркасы. В узлах этих каркасов имеются очень крупные (в масштабах молекулы воды) микрополости (микропустоты) с жесткими атомарными стенками. Основным элементом этой структуры являются связанные между собой правильные многогранники - додекаэдры. Такие системы получили название "клатратных гидратов". Всю эту каркасную конструкцию удерживают водородные связи. Они прочно скрепляют систему пентагональных додекаэдрических многогранников из ионов кислорода и водорода, которые образуют стенки микрополостей. Каждый из многогранников может характеризоваться вписанной сферой радиусом около  $R_c \approx 2,6 \text{ \AA}$ . Все многогранники имеют 12 пятиугольных граней, 30 ребер, соединяющих эти грани и 20 вершин, в каждой из которых сходится по 3 ребра. В вершинах этих многогранников расположено по 20 молекул воды  $\text{H}_2\text{O}$ , каждая из которых имеет по 3 водородные связи. По данным Зенина [Диссертация, стр.85] каждые 3 многогранники могут объединяться в устойчивые ассоциаты, содержащие 57 молекул воды. Из этих 57 молекул у 17 полностью насыщены водородные связи и они образуют тетраэдрический гидрофобный центральный каркас, а в 4 додекаэдрах на поверхности каждого находится

**по 10 центов образования водородной связи (О-Н или О).** За пределами этого каркаса находятся квазисвободные молекулы "обычной" изотропной воды, свойства и структура которой примерно соответствует континуальной модели. Микрополости соединены с внешним пространством окнами диаметром около 2,5 А, что немного меньше поперечника молекулы воды ( $2R \approx 2,76$  А). В итоге каждая из микрополостей отделена от "внешней" аморфной квазисвободной воды кольцевым потенциальным барьером шириной около 0,13-0,15 А, окаймляющим окно. Относительное количество молекул "каркасной" воды при комнатной температуре составляет 20-30% и увеличивается при ее понижении. В объеме микрополостей могут свободно разместиться, например, по одной молекуле  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ .

Вследствие наличия сильного и симметричного (относительно центра микрополостей) электростатического поля, внутри микрополостей существует определенный запрет на образование водородных связей молекул воды с их стенками. В этом случае имеет место такое нетривиальное явление, как отталкивание свободных молекул воды от стенок каркаса, образованного также из молекул воды (то есть молекулы воды в объеме воды становятся гидрофобными)! Средняя плотность клатратного каркаса (без заполнения молекулами воды) равна  $0.80 \text{ г/см}^3$ , т.е. микрополости занимают 20% всего объема структурированного каркаса воды. Если же микрополости заполнены молекулами воды, то плотность близка к  $1 \text{ г/см}^3$ .

Клатратная модель Полинга очень хорошо объясняет все свойства воды (в том числе ее аномальную сжимаемость). Структура ДНК идеально соответствует пространственной структуре такой каркасной воды, при этом каждая макромолекула ДНК упорядочивает воду на расстоянии до 1000 А от своей поверхности. Во многих работах рассмотрена возможность объединения клатратной модели Полинга с кластерной моделью. В этом случае отдельные элементы клатратных каркасов могут время от времени соединяться между собой водородными связями и образовывать группы, обладающие упорядоченной структурой (то есть кластеры). Поскольку существует очень сильная взаимосвязь между близлежащими водородными связями, то возникновение и устранение водородных связей происходит коррелировано и синхронно во времени. Такой характер связи позволяет говорить о том, что в воде возникают и исчезают "мерцающие кластеры". Время жизни кластеров - порядка  $10^{-10}$  с, т.е. порядка 1000 молекулярных колебаний.

## **2. Система долговременной памяти воды**

Покажем, каким образом наличие клатратного каркаса воды может приводить к формированию долговременной памяти в воде и к записи и использованию информации.

Пусть у нас имеется исходная вода, которая находится в состоянии термодинамического равновесия. Ей соответствует максимум энтропии. Такая вода получается после длительного

кипячения и медленного остывания или после очень длительного оттаивания. В этом случае количество микрополостей в составе системы клатратных гидратов, которые заполнены водой, соответствует распределению Больцмана с учетом статистических весов состояний молекул  $H_2O$  в микрополости и в аморфной воде. Это будет равновесная или обычная вода.

При температуре  $4^{\circ}C$  в каркасе заполнено 18% всех микрополостей, при нормальной температуре человека ( $36.6^{\circ}C$ ) заполнено 38% микрополостей, а при  $55^{\circ}C$  около 50% микрополостей оказываются занятыми молекулами  $H_2O$ . Такое распределение заселенностей в состоянии термодинамического равновесия соответствует тому, что средняя энергия молекулы  $H_2O$  в микрополости оказывается на 0.18 эВ больше, чем в объеме аморфной воды, **где средняя энергия связи молекул воды между собой равна величине 0,23 эВ. Разница между этими величинами (0.05 эВ) характеризует степень связи молекулы  $H_2O$  в микрополости** (рис.1).

При нарушении термодинамического равновесия происходит перераспределение молекул  $H_2O$  между аморфной водой и микрополостями до нового равновесного состояния. Покажем, что спонтанный переход между этими состояниями из-за очень малой вероятности туннельного проникновения молекул  $H_2O$  через "узкие" окна сильно заторможен, а время существования каждого из состояний оказывается очень большим. Определим время релаксации при таком перераспределении.

Процесс релаксации каждого из этих состояний зависит от термодинамической вероятности  $W = \exp(-\Delta E_M/kT)$  того, что одна из молекул воды в результате взаимодействия с другими молекулами получит энергию  $\Delta E_M$ , достаточную для такой ее кратковременной деформации (т.е. работы по увеличению энергии взаимодействия между протоном и ионом кислорода), которой достаточно для уменьшения размера молекулы воды до размера окна микрополости. Поскольку частота столкновений любой из молекул воды с поверхностью любого структурного объекта в воде равна частоте колебаний молекул около локального положения равновесия  $\omega_D \approx 1/\tau_0 \approx 10^{13}$  с, то полная вероятность захвата молекулы в единицу времени в пустую микрополость равна  $F = W/\tau_0$ . Из этого выражения можно определить среднее время существования неравновесного состояния одной микрополости в объеме пространственного тетраэдрического каркаса воды (время релаксации)

$$T_W = 1/F = \tau_0 \exp(\Delta E_M/kT).$$

Очевидно, что это время будет определять длительность существования памяти воды.

Можно вычислить величину  $\Delta E_M$ , которая характеризует такой процесс.

Колебательное движение протона в молекуле  $H_2O$  в направлении, перпендикулярном линии связи ОН, соответствует гармоническому осциллятору (Рис.2). Потенциальная энергия,

соответствующая смещению иона водорода на величину  $r$  по отношению к положению равновесия, может быть записана в виде энергии гармонического осциллятора

$$V(r) = M_H \omega_H^2 r^2 / 2$$

Здесь  $M_H$  - массы атома водорода,  $\omega_H \approx 3 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$  частота нормальных колебаний протона в направлении, перпендикулярном линии связи ОН [6].

С учетом того, что угол между линиями связи каждого из протонов с ядром кислорода равен  $2\alpha \approx 104,4^\circ$ , находим, что для деформации внешнего размера молекулы воды на величину  $\Delta R \approx 0.26 \text{ \AA}$ , достаточную для прохождения молекулы внутрь микрополости, необходима энергия деформации

$$V(\Delta R) = M_H \omega_H^2 \Delta R^2 / 2 \cos^2 \alpha \approx 1,1 \text{ эВ}$$

Эта величина определяет порог  $\Delta E_M = V(\Delta R) \gg kT$  релаксации воды. Видно, что время релаксации  $T_W$  очень сильно зависит от порогового значения энергии деформации молекулы воды  $\Delta E_M$  и ее температуры  $T$ . Большое значение  $\Delta E_M$  приводит к малой вероятности преодоления барьера в области входного окна микрополости. В итоге вероятность спонтанной дезактивации воды очень мала, что соответствует большому времени хранения информации. При температуре воды  $T = 293 \text{ К}$  ( $20^\circ \text{ С}$ ) время релаксации (длительность существования "памяти воды") равно  $T_W \approx 10$  дням. При увеличении температуры воды время релаксации резко уменьшается, а при ее охлаждении - увеличивается (см. таблицу 1).

Таблица 1.

$T, ^\circ \text{С}$	1	10	20	30	36.6	40	50	60	70	90
$T_W$	300 д	49 д	10 д	58 ч	24 ч	15 ч	4.4 ч	1.3 ч	27 мин	3 мин

Полученные величины  $T_W$  соответствуют релаксации как из состояния аморфной воды в микрополость (если начальное количество молекул воды в микрополостях было меньше величины, обусловленной распределением Больцмана, что может быть при быстром нагревании всей воды), так и из состояния "лишней" воды в составе микрополостей в аморфную воду (что, например, соответствует случаю быстрого охлаждения всей воды).

Если рассмотреть этот процесс с точки зрения теории информации, то формирование неравновесного распределения можно считать процессом записи информации в объеме воды. Назовем такую воду активированной.

Очень большое время релаксации позволяет рассматривать воду как двухуровневую (точнее двухзонную) бистабильную систему с большим временем жизни в каждом из двух состояний. Такая система позволяет осуществлять запись и хранение информации (в виде соотношения числа заполненных и незаполненных микрополостей), а также эффективно



использовать эту информацию за счет изменения свойств воды при переходе большого числа молекул  $\text{H}_2\text{O}$  и других растворенных в воде атомов, молекул и ионов из состояния аморфной воды в объем замкнутых микрополостей или обратно (рис.1).

Можно также отметить, что процесс активации воды может быть осуществлен не только при ее нагревании или охлаждении, но путем воздействия магнитными полями или ультразвуком. Такие периодические когерентные воздействия могут стимулировать образование квазистабильных кластеров, каждый из которых объединяет несколько взаимно упорядоченных клатратных каркасов. В такой системе поведение изолированных молекул воды в периодически расположенных микрополостях подобно движению водорода в палладии, где обеспечивается очень высокая степень насыщения решетки. Периодические воздействия также могут влиять на параметры клатратного каркаса воды, изменяя, например, прозрачность потенциального барьера в окнах микрополостей (это задача о тунелировании молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  через нестационарный барьер). Кроме того, сильное периодическое магнитное поле может стимулировать переходы между уровнями энергии, которые характеризуют состояние молекул  $\text{H}_2\text{O}$  в микрополостях и в аморфной воде (например, за счет многофотонных нелинейных процессов при взаимодействии с магнитными моментами), что приводит к неравновесной населенности молекул воды в микрополостях и соответствует активации воды. С помощью такого внешнего воздействия может быть достигнута такая неравновесная населенность микрополостей, которая недостижима изменением температуры. Подобная активация воды также может быть достигнута при ее всестороннем сжатии.

### **Заключение**

Вопрос о свойствах активированной воды ранее последовательно не рассматривался. Прежде всего такая вода будет иметь другие физико-химические характеристики.

Высокая термостабильность человеческого организма автоматически приводит к тому, что вся содержащаяся в нем вода должна иметь фиксированное количество заполненных микропустот, соответствующих нормальной температуре (Таблица 1). Если же в организм попадает активированная вода, то это приводит к изменению параметров водной среды. Из результата расчета видно, что при нормальной температуре человека активированное состояние воды может сохраняться в течении 24 часов, что вполне достаточно для терапевтического воздействия такой воды.

Если вода была получена, например, путем быстрого нагревания, то в ней будет избыток как аморфной воды, так и количества незаполненных микропустот в объеме клатратного каркаса. Такая вода будет иметь меньшую объемную плотность, что может существенно уменьшить нагрузку на сердце и другие органы человека. Ее вязкость будет значительно

меньше, что может существенно облегчить транспорт солей в организме. Изменение вязкости воды также влияет на процесс неферментативной саморепарации двойных радиационных разрывов ДНК [7,8]. К такому же эффекту приводит существенное изменение диэлектрической проницаемости активированной воды в УФ области спектра. [7,8].

В активированной воде, полученной, например, путем быстрого охлаждения, имеется дефицит аморфной воды и пустых микрополостей. Такой же состав будет у воды, предварительно подвергнутой продолжительному сильному сжатию или у воды из горных родников (молекулы воды будут "втиснуты" в микрополости и не успеют выйти из них после прекращения действия давления). Такая вода имеет повышенную плотность и вязкость. Кроме того, в такой воде в процессе ее релаксации будет происходить выход изолированных молекул  $H_2O$  из микрополостей в объем аморфной воды. Эти молекулы могут своими свободными связями нейтрализовать свободные радикалы.

Очевидно, что медицинские аспекты действия двух видов активированной воды заслуживает тщательного клинического исследования.

На основе такой системы долговременной памяти можно дать интерпретацию многих эффектов, приводящих к активированию и проявлению аномальных свойств воды. В заключение отметим, что рассмотренные явления относятся к чистой воде и не рассматривают влияние растворенных примесей [4] (в том числе включающих ионы и микрочастицы железа), само наличие которых может приводить к другим эффектам (например, при наличии внешнего постоянного магнитного поля [9]).

1. Классен В.И. Вода и магнит, Наука, М., 1972
2. Bernal J.D., Fowler R.H. //J.Chem. Phys. v.1 (1933) p.513
3. Nemethy G., Seheraga H.A.//J.Chem. Phys. v.36 (1962) p.3382
4. Самойлов О.Я. //Структура водных растворов и гидратация ионов, М., 1957
5. Pauling E. Hydrogen bonding //Ed. D.Hadzi, London, Pergamon Press, 1959
6. Zatsepina G.N. Physical properties and the structure of water, Moscow State Univ. Publ. House, 1998 (in Russian)
7. Pinchuk A.O., Vysotskii V.I. // Physical Rev E, v. 63 (2001) p.31904.
8. Vysotskii V. I., Pinchuk A. O., Kornilova A.A., Samoylenko I.I. // Radiation Physics and Chemistry, v.65 (2002), p.487
9. Сокольский Ю.М. Омагниченная вода: правда и вымысел, изд. Химия, Ленинград, 1990.