

БОЗОНО-ФЕРМИОННЫЕ КОНТРАСТЫ СИНЕРГЕТИКИ СТРУКТУРНЫХ ЕДИНИЦ ЖИДКИХ D_2O И H_2O

Конфигурационная теплоемкость протиевой и тяжелой воды дифференцирована на составляющие различных и тождественных частиц. Первая — одинакова у H_2O и D_2O . Вторая — в области температур переохлажденного состояния жидкости и гомеостаза зависит от содержания бозонов и фермионов, образует два бозонных пика, которые обусловлены участием катионов D^+ и протонных пар в обратимых переходах «квантовый газ» — «квантовый конденсат», по Эйнштейну. По мере повышения температуры до 350 К протонные пары распадаются, а конфигурационная теплоемкость тождественных частиц протиевой воды уменьшается до отрицательных значений. При температуре гомеостаза частоты конфигурационных колебаний протонов лежат в области трансляционных частот, а катионов D^+ и протонных пар — в области нижней границы частот либрационных колебаний воды.

Ключевые слова: бозоны, фермионы, протонные пары, D_2O , H_2O , тяжелая вода, протиевая вода, конфигурационная теплоемкость, различные частицы, тождественные частицы, частота колебаний, квантовый газ, квантовый конденсат.

N. Sargaeva, A. Baryshev, P. Sargaev

**BOSE-FERMI SYNERGETIC CONTRASTS
OF D₂O AND H₂O LIQUID STRUCTURE UNITS**

Configurational heat capacity of light (protium) and heavy water is differentiated into the components of distinguishable and identical particles. D₂O and H₂O have the same first component. The second component from the temperature region of supercooled liquid and homeostasis depends on the boson and fermion content. In quantum gas — quantum condensate reversible transition by Einstein this component forms two boson peaks conditioned by the presence of the cations D⁺ and the proton pairs. When the temperature increases to 350K, the proton pairs decay, and the configurational heat capacity of the protium water identical particles decreases to the negative meanings. At the temperature of the homeostasis frequencies of the configurational proton oscillations fall into the region of the translational frequencies; however, cation D⁺ and proton pair oscillations are in the region of the low frequency threshold of the librational oscillations of water.

Keywords: bosons, fermions, proton pairs, D₂O, H₂O, heavy water, light (protium) water, configurational heat capacity, distinguishable particles, identical particles, oscillation frequency, quantum gas, quantum condensate.

Концентрированные растворы D₂O в обычной воде являются токсичными [31; 37; 41; 43; 52; 54; 55]. Однако накопление новых сведений о влиянии тяжелых изотопов некоторых элементов на живой организм, в том числе продление жизни низших животных [54] и способность молекул D₂O-среды промотировать гибель как здоровых, так и злокачественных клеток [29; 30; 48; 52; 55], открывает новые перспективы применения различных изотопов в медицине. Это, в свою очередь, повышает актуальность исследования свойств изотопов водорода в воде [11–22; 24; 49–51], которая является основой внутренней среды живого организма.

Цель данной работы — моделирование проявлений фундаментальных различий свойств изотопов водорода путем сравнения частот колебаний и составляющих конфигурационной теплоемкости жидких H₂O и D₂O в стабильном и переохлажденном состояниях в рамках модели структурных единиц жидкости, теории перколяции и теории идеального одноатомного квантового газа по Эйнштейну.

***Конфигурационная теплоемкость тождественных частиц
и различие свойств изотопов водорода***

Путем моделирования термодинамических свойств [12–19; 24; 49–51] и структуры [14; 22; 50] воды удалось обнаружить различие вкладов в теплоемкость частиц с массой D⁺ и H⁺ [16–18; 24; 51]. Эти успехи достигнуты в рамках модели структурных единиц жидкости [19; 23, с. 14], теории перколяции [4, с. 432; 35; 40] и теории квантового газа по Эйнштейну [28]. Различие свойств D⁺ и H⁺ проявляется в конфигурационной теплоемкости (C_c), которую можно представить из двух слагаемых C_{c1} и C_{c2} [12]. Первое слагаемое — (C_{c1}) практически одинаково для H₂O и D₂O и может классифицироваться как **конфигурационная теплоемкость различимых частиц** [19]. Вклады конфигурационных

колебаний изотопов водорода входят во второе слагаемое (C_{c2}), которое, в отличие от (C_{c1}), будем называть **конфигурационной теплоемкостью тождественных частиц**.

Значения составляющей C_{c1} находятся теоретически [19] методами комбинаторики [25, с. 447] в рамках модели структурных единиц жидкости [19; 23, с. 27] и теории перколяции [4, с. 432–440; 35; 40] по формуле [19]

$$C_{c1} = R \cdot G \cdot \ln (g \cdot f_0^p), \quad (1)$$

где R — универсальная газовая постоянная; f_0 — число активных центров молекулы; G, p — гель-фракция и доля занятых активных центров молекулы (рассчитываются по теории перколяции, формализм расчета в зависимости от температуры и давления приведен в работах [12–14; 17–22; 49–51]). В теплоемкости C_{c1} учитываются конфигурационные колебания (движения) только однородных с позиции теории перколяции принципиально различимых частиц (молекул), образующих структурную единицу жидкости.

Составляющая C_{c2} может быть найдена по разности $C_{c2} = C_c - C_{c1}$. Конфигурационные колебания изотопов водорода проявляются совместно с таковыми других «неоднородных» с позиций теории перколяции частиц, входящих в состав: двух типов молекул первой координационной сферы [1; 2; 3; 46]; интерьера (объема) и экстерьера (поверхностей) структурной единицы; соседних структурных единиц жидкости. Непосредственно из данных по теплоемкости невозможно объяснить причины различия значений C_{c2} протиевой и дейтериевой воды. В работах [16–19; 24] дифференциация вкладов различных частиц в C_{c2} основана на сравнении скорости звука в жидкости и идеальном одноатомном квантовом газе, по Эйнштейну [28, с. 481–502]. Необходимость привлечения дополнительных методик обусловлена сложностью задачи оценки и классификации вкладов в теплоемкость C_{c2} по типу тождественных частиц. В связи с этим остановимся на некоторых особенностях взаимодействия последних.

Конфигурационные колебания можно отнести к числу обменных взаимодействий. Обменное взаимодействие имеет специфический квантовый характер [9, с. 267]. При взаимодействии (интерференции) тождественных частиц амплитуды колебаний могут вычитаться или складываться. По этому признаку первые из них называются фермионами, а вторые — бозонами [26, с. 31].

Различие свойств легкого (протия, H) и тяжелого (дейтерия, D) изотопов водорода обнаруживаются в процессах рассеяния нейтронов [39; 5, с. 437–443], в которых проявляется тождественность нейтронов и протонов [9, с. 271; 26, с. 24]. У протия, в отличие от дейтерия и других атомов, длина нейтронного рассеяния оказывается отрицательной, а замена протия на дейтерий проявляется в виде «бозонных пиков» [56].

В D_2O и H_2O жидкостях могут проявляться как бозоны (например, D_2O , H_2O , D^+ , OD^- , H , OH), так и фермионы (D , OD , H^+ , OH^- и другие частицы). Этот перечень может быть продлен включением в число бозонов электронных [34] и протонных [26, с. 56] пар. Взаимодействие фермионов может привести к затуханию колебаний частиц и к понижению теплоемкости среды. Напротив, следствием взаимодействия бозонов может быть возбуждение колебаний и повышение

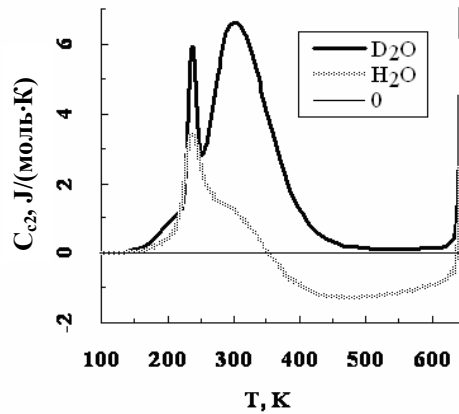


Рис. 1. Составляющая конфигурационной теплоемкости (C_{c2} , J/(mole K)) тождественных частиц тяжелой (D₂O) и легкой (H₂O) воды на линии насыщения жидкости при температурах (T, K)

теплоемкости среды. Из сравнения значений теплоемкости C_{c2} легкой и тяжелой воды (см. рис. 1) следует, что в конфигурационной теплоемкости D₂O проявляются свойства бозонов. Наличие отрицательных и положительных значений теплоемкости C_{c2} в случае H₂O жидкости свидетельствует о фермионных и бозонных вкладах.

Частота конфигурационных колебаний как критерий сравнения свойств изотопов водорода

Заметное обменное взаимодействие может иметь место лишь в случаях, когда тождественные частицы находятся в близких состояниях — локализованы в малой области пространства или имеют близкие значения энергии и импульса [9, с 270]. Локализация частиц и распределение значений энергии и импульса зависит от параметров состояния, поэтому и проявление различий свойств фермионов и бозонов в составляющих теплоемкости является переменной величиной.

В данной работе вклады в конфигурационную теплоемкость C_{c2} классифицируем по типу тождественных частиц. Для этого (совместно с методикой работ [16–18; 24]) используем сравнение частот конфигурационных колебаний (f_c , см⁻¹) частиц жидкости с частотами колебаний частиц идеального одноатомного квантового газа по Эйнштейну (f_E) и частотами мод межмолекулярных (либрационных f_L и трансляционных f_T , см⁻¹) колебаний воды.

Положим, что в случае идеального одноатомного квантового газа, по Эйнштейну, скорость движения частиц (v) совпадает со скоростью звука.

$$v = ((C_p/C_v) R \cdot T / M)^{1/2}, \quad (2)$$

где C_p/C_v — показатель адиабаты; C_p и C_v — изобарная и изохорная теплоемкости газа; M — молярная масса частицы; T — температура.

Особенностью частот колебаний частиц идеального квантового газа (f_E) является то, что они определяются температурой и показателем адиабаты, но не зависят от массы частицы:

$$\lambda = N \cdot h / (M \cdot v). \quad (3)$$

$$F_E = v/\lambda = C_p/C_v \cdot R \cdot T / (N \cdot h). \quad (4)$$

Или (см^{-1}):

$$f_E = (C_p/C_v) \cdot R \cdot T / (c \cdot N \cdot h), \quad (5)$$

где c — скорость света ($\text{см}/\text{с}$); h — постоянная Планка; N — число Авогадро; λ — длина волны по де Бройлю.

Насыщенному идеальному одноатомному квантовому газу, по Эйнштейну, соответствует показатель адиабаты $C_p/C_v = 3/2$, тогда как в случае ненасыщенного газа он изменяется от $5/3$ до $3/2$ [28]. Частицам квантового газа с «тепловой длиной волны» [9, с. 606] соответствует показатель адиабаты $C_p/C_v = 2 \cdot \pi$, критической адиабате — $C_p/C_v = 1$.

В отличие от частот колебаний идеального газа, частоты конфигурационных колебаний частиц жидкости (f_c), найденные по изложенной выше методике, зависят от массы частицы и скорости звука в жидкости (C_s):

$$f_c = C_s/\lambda = C_s^2 \cdot M / (c \cdot N \cdot h). \quad (6)$$

Сравнивая значения частот f_c и f_E при одних и тех же температурах, можно оценить область температур возможного равновесного перехода «квантовый газ — квантовый конденсат» и массу частиц, участвующих в этом переходе. Сопоставление особенностей кривых температурной зависимости конфигурационной теплоемкости C_{c2} и частот f_c и f_E может нести информацию, необходимую для дифференциации вкладов в величину C_{c2} по типу тождественных частиц и связи конфигурационной теплоемкости тождественных частиц с возможностью равновесного перехода «квантовый газ — квантовый конденсат».

Значения величины C_c , необходимые для оценки конфигурационной составляющей теплоемкости C_{c2} , представленной на рис. 1, находили вычитанием колебательной (C_{kol}) и инфинитной (C_{inf}) составляющих из значений изохорной (C_v) теплоемкости. Расчеты выполнены с использованием данных, взятых из работ [1–3; 8, с. 14; 44–47; 27; 32; 33; 36; 42]. В области переохлажденного состояния воды при отсутствии данных изохорную теплоемкость и ее составляющие оценивали по методикам, изложенным в работах [14; 17; 20–22; 24]. Различия значений C_{c2} в области температур стабильного состояния D_2O и H_2O воды надежно установлены. Менее обоснованы результаты сравнения в области температур переохлажденного состояния жидкости, поскольку в этом случае различие значений сравниваемых величин не превышает $3 \text{ J}/(\text{моль} \cdot \text{К})$, что находится в пределах погрешностей оценки значений теплоемкости [32–33].

Колебательную теплоемкость рассчитывали по Эйнштейну. При оценке температурного сдвига частот учитывали коэффициенты расширения двух типов молекул первой координационной сферы [20] по данным работ [1–3; 46]. В области температур переохлажденного состояния жидкости коэффициенты расширения молекул второго типа (α_2) корректировали по конфигурационной теплоемкости (C_c). Для перехода от значений C_c к α_2^2 использовали формулу $\alpha_2^2 = C_c \cdot \beta_T / (V \cdot T)$, по Путинцеву [10, с. 125], которая в области температур, прилегающих к тройной точке воды, дает значения, совпадающие с данными [2]. Значения объема (V) и изотермического коэффициента сжимаемости (β_T) оценивали по результатам расчетов изобарной и изохорной теплоемкости мето-

дом последовательных приближений. Методика перехода от дифференциальных к интегральным значениям коэффициента температурного сдвига частот взята по работе [53]. Частоты мод межмолекулярных колебаний при температурах плавления взяты из работы [10, с. 121]. Полученные значения частот межмолекулярных колебаний представлены на рис. 2 и 3. Температурная зависимость частот мод как либрационных (f_{L1} , f_{L2} , f_{L3}), так и трансляционных (f_{T1} , f_{T2} , f_{T3}) колебаний имеет одинаковый вид, поскольку связывается с одним и тем же коэффициентом, который уменьшается практически в два раза по мере нагревания воды от 0 К до критической температуры.

Частоты конфигурационных колебаний (f_c , см. рис. 2 и 3) рассчитывали по формуле (6), используя молярные массы молекул (D₂O, H₂O) и изотопов водорода (D⁺, H⁺). При расчетах приведенной массы (μ) протонной пары (2H⁺) учитывали массу атома кислорода (M_O) и удвоенную массу протона (M_{2H+}) по формуле из работы [6, с. 194; 7, с. 280–285]:

$$1/\mu = 1/M_O + 1/M_{2H+}. \quad (7)$$

Результаты расчетов значений конфигурационной теплоемкости (C_{c2} , J/(mole·K)) для D₂O и H₂O на линии насыщения жидкости в зависимости от температуры (Т, К) представлены на рис. 1. На рис. 2 и 3 вместе с частотами конфигурационных и межмолекулярных колебаний приведены рассчитанные по формуле (5) частоты колебаний частиц идеального одноатомного квантового газа ненасыщенного (f_3) и насыщенного (f_2), по Эйнштейну, а также значения частот частиц газа с критической адиабатой (f_1) и «тепловой длиной волны» (f_4).

В случае D₂O-жидкости можно выделить три максимума значений C_{c2} (см. рис. 1): первый (низкотемпературный) — при 240 К, второй — при 300 К и тре-

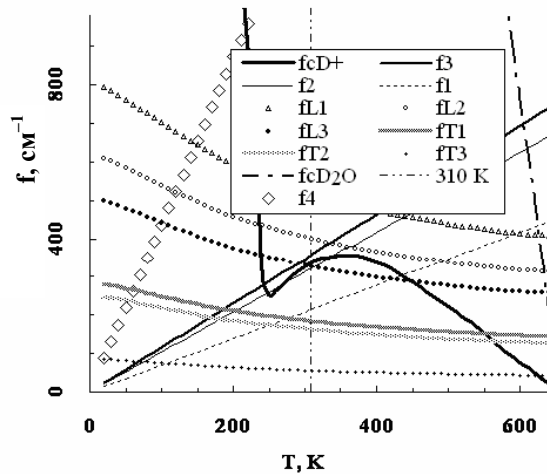


Рис. 2. Частоты колебаний (f , см⁻¹) частиц с массой катиона дейтерия (D⁺) и молекул (D₂O), конфигурационных (f_{cD+} , f_{cD_2O}) в жидком состоянии D₂O воды в ортобарных условиях, а также в идеальном одноатомном квантовом газе ненасыщенном (f_3) и насыщенном (f_2), по Эйнштейну, с адиабатой 2π (f_4) и критической (f_1) в сравнении с частотами мод либрационных (f_{L1} , f_{L2} , f_{L3}) и трансляционных (f_{T1} , f_{T2} , f_{T3}) межмолекулярных колебаний в зависимости от температуры (Т, К)

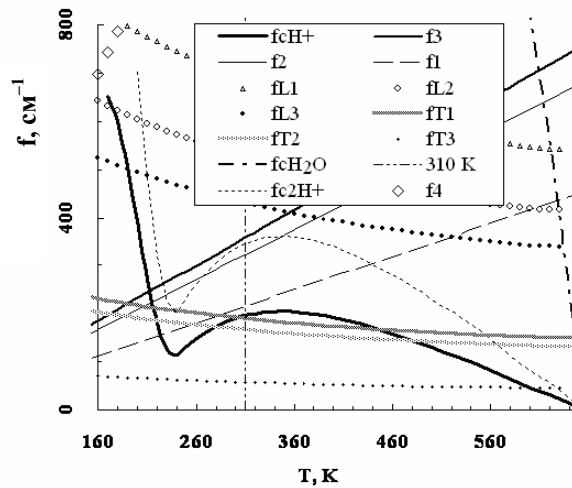


Рис. 3. Частоты колебаний ($f, \text{см}^{-1}$) частиц с массой молекул (H_2O), протона (H^+) и протонной пары (2H^+) конфигурационных ($f_{\text{cH}_2\text{O}}, f_{\text{cH}^+}, f_{\text{c}2\text{H}^+}$) в H_2O на линии насыщения жидкости, а также в ненасыщенном (f_3) и насыщенном (f_2) квантовом газе, по Эйнштейну, с адиабатой 2π (f_4) и критической (f_1) в сравнении с частотами мод либрационных ($f_{\text{L}1}, f_{\text{L}2}, f_{\text{L}3}$) и трансляционных ($f_{\text{T}1}, f_{\text{T}2}, f_{\text{T}3}$) межмолекулярных колебаний при температурах (T, K)

тий (высокотемпературный) — в области температур выше 640 К. В случае H_2O -жидкости в кривой температурной зависимости $S_{\text{c}2}$ имеется ряд особенностей: все значения $S_{\text{c}2}$ понижены относительно таковых для D_2O -жидкости; в области температур второго максимума, который сливается с первым, значения $S_{\text{c}2}$ уменьшаются по мере повышения температуры; имеется обширная область температур от 350 К до 640 К, в которой значения ($S_{\text{c}2}, \text{H}_2\text{O}$) отрицательны.

Линии тренда трансляционных и либрационных частот, представленных на рис. 2 и 3, выпуклы к оси температур. При температуре гомеостаза (310 К) в области первых из них располагаются частоты конфигурационных колебаний частиц с массой H^+ (см. рис. 3), а в области вторых — частоты частиц с массой D^+ (см. рис. 2). Частоты колебаний идеального квантового газа с различными значениями показателя адиабаты (f_1, f_2, f_3, f_4) равны нулю при температуре 0 К и под разными углами расходятся лучами по мере повышения температуры. Частоты конфигурационных колебаний молекул жидкости ($f_{\text{cD}_2\text{O}}$ и $f_{\text{cH}_2\text{O}}$) расположены в области околоскритических температур. Кривые температурной зависимости конфигурационных частот фрагментов молекул с массой D^+, H^+ и протонной пары (2H^+) с повышением температуры круто падают вниз в области 200–240 К, проходят через минимум при 240–250 К и через максимум при 350 К.

Наибольшее отклонение от нуля конфигурационной теплоемкости тождественных частиц $S_{\text{c}2}$ можно ожидать при температурах, при которых переходы частиц жидкости из состояния «квантовый газ» в состояние «квантовый конденсат» могут быть обратимыми. В свою очередь, переходы «квантовый газ» — «квантовый конденсат» наиболее вероятны в области перекрывания частот конфигурационных колебаний частиц и квантового газа, по Эйнштейну. Частоты колебаний квантового газа, по Эйнштейну (см. рис. 2. и 3), располагаются между лучами (f_3) и (f_2). В случае тяжелой воды при температурах первых двух бозонных пиков в эту область попадают частоты конфигурационных колебаний

частиц с массой D⁺ (f_{cD⁺}, рис. 2), а в области высокотемпературного бозонного пика C_{c2} — частоты частиц с массой молекул жидкости (f_{cD₂O}) и надмолекулярных образований.

Из сравнения рис. 1 и 3 следует, что высокотемпературный бозонный пик C_{c2} протиевой воды классифицируется подобно D₂O, как проявление конфигурационных колебаний тяжелых частиц — молекул и более крупных частиц, которые могут участвовать в обратимых переходах «квантовый газ» — «квантовый конденсат», что подтверждает ранее полученный результат [18; 24]. В этой области температур, как и при других температурах, проявляются и фермионы. Это следует из сравнения значений C_{c2}, которые включают слагаемое

$$C_{c3} = K_3 \cdot R \cdot G \cdot (s \cdot g)^4 \cdot \ln(4 \cdot g), \quad (8)$$

где s = 1-G — золь-фракция; K₃ — коэффициент. Из сравнения расчетных и экспериментальных значений изохорной теплоемкости следует, что в случае H₂O коэффициент K₃ равен 1, а в случае D₂O — в два раза больше.

Для объяснения происхождения положительных значений конфигурационной теплоемкости тождественных частиц протиевой воды, наблюдающихся при температурах первых двух пиков C_{c2} тяжелой воды, пришлось предположить возможность участия в конфигурационных колебаниях протиевой воды протонных пар как бозонов. Оказалось, что линия тренда частот конфигурационных колебаний протонной пары (f_{c2H⁺}, рис. 3) повторяет таковую (f_{cD⁺}, рис. 2) для катионов D⁺ в том случае, когда масса протонной пары рассчитывается как приведенная по формуле (7). В таком случае температурное уменьшение и переход в отрицательную область значений C_{c2} протиевой воды при температурах второго бозонного пика D₂O объясняется уменьшением концентрации протонных пар вследствие распада последних и конверсии протонов в состояние фермионов. Такой вывод согласуется с увеличением координационных чисел молекул и трансформации преимущественно тетраэдрической структуры воды в пентагональную структуру по мере нагревания жидкости в рассматриваемой области температур [50; 14; 22].

Частоты (f₄), соответствующие «тепловой длине волны частиц», используются в теории БЭК-газов [38]. В случае воды при температуре максимума произведения давления и объема насыщенного пара (около 505 К), частоты f₄ перекрываются с частотами конфигурационных колебаний молекул f_{cD₂O} и f_{cH₂O} (на рис. 2 и 3 не показано), а при более высоких температурах — с частотами надмолекулярных соединений. Пересечение кривых f_{cD⁺} и f_{cH⁺} с лучом (f₄) при 210–220 К находится в области левой (низкотемпературной) границы бозонных пиков теплоемкости переохлажденных D₂O и H₂O жидкостей.

Конфигурационная теплоемкость протиевой и тяжелой воды дифференцирована на составляющие различных и тождественных частиц. Первая — одинакова у H₂O и D₂O. Вторая — в области температур переохлажденного состояния жидкости и гомеостаза зависит от содержания бозонов и фермионов, образует два бозонных пика, которые обусловлены участием катионов D⁺ и протонных пар в обратимых переходах «квантовый газ» — «квантовый конденсат», по Эйнштейну. При повышении температуры до 350 К из-за распада протонных пар конфигурационная теплоемкость тождественных частиц протиевой воды уменьшается до отрицательных значений. При температуре гомеостаза

конфигурационные колебания протонов лежат в области трансляционных частот, а катионов D^+ и протонных пар — в области нижней границы частот либрационных колебаний воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Г. В., Горбатый Ю. Е. Инфракрасные спектры ν_3 HDO при высоких давлениях и температурах // Докл. АН СССР. 1973. Т. 210. № 1. С. 132–135.
2. Горбатый Ю. Е., Демьянец Ю. Н. Рентгенодифракционные исследования жидкой и надкритической воды при высоких температурах и давлениях. III. Строение первой координационной сферы // Журн. структур. хим. 1983. Т. 24. № 5. С. 74–80.
3. Горбатый Ю. Е., Бондаренко Г. В. Сверхкритическое состояние воды // Сверхкритические флюиды. Теория и практика. 2007. Т. 2. № 2. С. 5–19.
4. Займан Дж. М. Модели беспорядка. М.: Мир. 1982. 591 с.
5. Кантор Ч., Шиммель П. Биофизическая химия. М.: Мир. 1984. Т. 2. 496 с.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука. 1978. 792 с.
7. Киттель Ч., Найт В., Рудерман М. Берклеевский курс физики: Механика. М.: Наука. 1983. 448 с.
8. Краткий справочник физико-химических величин. СПб.: Иван Федоров. 2002. 160 с.
9. Левич В. Г., Вдовин Ю. А., Мямлин В. А. Курс теоретической физики. Т. 2. М.: Наука 1971. 936 с.
10. Путинцев Н. М. Физические свойства вещества (лед, вода, пар). Мурманск: Изд-во МГАРФ. 1995. 255 с.
11. Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Барышев А. Н., Саргаев П. М. Критерии взаимодействия акустических полей с компонентами внутренней среды // Материалы юбилейной Международной научной конференции, посвященной 200-летию высшего ветеринарного образования в России и 200-летию СПбГАВМ. СПб.: Изд-во СПбГАВМ, 2008. С. 81–82.
12. Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Саргаев П. М. Особенности коммуникаций тяжелой воды во внутренней среде организма // Международный вестник ветеринарии. 2006. № 2. С. 43–46.
13. Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Саргаев П. М. Строение и теплоемкость тяжелой воды во внутренней среде организма // Международный вестник ветеринарии. 2006. № 3–4. С. 55–58.
14. Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Саргаев П. М. Моделирование особенностей структуры тяжелой воды во внутренней среде организма // Международный вестник ветеринарии. 2006. № 3-4. С. 59–62.
15. Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Саргаев П. М. Моделирование конфигурационных особенностей тяжелой воды во внутренней среде организма // Международный вестник ветеринарии. 2007. № 1. С. 42–46.
16. Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Саргаев П. М. Катионы тяжелой воды во внутренней среде организма // Международный вестник ветеринарии. 2007. № 3. С. 57–60.
17. Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Саргаев П. М. Синергетика структурных единиц и термодинамические свойства D_2O жидкости // Известия РГПУ им. А. И. Герцена: Научный журнал: Естественные и точные науки. 2008. № 9 (48). С. 44–60.
18. Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Саргаев П. М. Технология преподавания: Квантовый газ по Эйнштейну как инструмент познания свойств воды // Известия РГПУ им. А. И. Герцена: Научный журнал: Естественные и точные науки. 2008. № 10 (64). С. 144–158.
19. Саргаева Н. П., Саргаев П. М. Кластеры — суть структуры жидкого состояния воды // Известия РГПУ им. А. И. Герцена: Научный журнал: Естественные и точные науки. 2007. № 7 (26). С. 112–126.
20. Саргаева Н. П., Саргаев П. М. Тепловое расширение и финитные движения молекул внутренней среды // Актуальные проблемы ветеринарной медицины / Сб. научн. трудов СПГАВМ. СПб., № 138. 2006. С. 72–73.

21. *Саргаева Н. П., Саргаев П. М.* Особенности движения молекул и комплексообразование в водных растворах // Всероссийский симпозиум «Эффекты среды и процессы комплексообразования в растворах»: Тезисы докладов. Красноярск, 2006. С. 192–193.
22. *Саргаева Н. П., Саргаев П. М.* Координационно-угловое распределение молекул воды в растворах // Всероссийский симпозиум «Эффекты среды и процессы комплексообразования в растворах»: Тезисы докладов. Красноярск, 2006. С. 193–194.
23. *Саргаев П. М.* Проявление структуры воды в электрофизических свойствах биосистем и методы мониторинга: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. СПб., 1999. 39 с.
24. *Слободов А. А., Саргаева Н. П., Наймушин А. Б., Саргаев П. М.* Моделирование молекулярных механизмов коммуникаций в H₂O и D₂O внутренней среде организма // Материалы 7-й Международной научной конференции «Экология человека и природа» Москва—Плес, 27 июня — 2 июля 2008. С. 186–190.
25. *Смирнова Н. А.* Методы статистической термодинамики в физической химии. М., 1982. 455 с.
26. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс Р.* Фейнмановские лекции. Вып. 8, 9. М.: Мир. 1978. 528 с.
27. *Эйзенберг Д., Кауцман В.* Структура и свойства воды. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 279 с.
28. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. Т. 3. М.: Наука. 1966. 632 с.
29. *Amsterdam A., Plehn-Dujowich D., Suh B. S.* Structure-function relationships during differentiation of normal and oncogene-transformed granulosa cells // *Biol. Reprod.* 1992. Vol. 46. P. 513–522.
30. *Amsterdam A., Sasson R.* The anti-inflammatory action of glucocorticoids is mediated by cell type specific regulation of apoptosis // *Mol. Cell. Endocrinol.* 2002. Vol. 189. P. 1–9.
31. *Anbar M., Lewitus Z.* Rate of Body-Water Distribution studied with Triple Labelled Water // *Nature.* 1958. V. 181. P. 344.
32. *Angell C. A., Tucker J. C.* Anomalous Heat Capacities of Supercooled Water and Heavy Water // *Science.* 1973. V. 181. P. 342–344.
33. *Angell C. A.* Insights into Phases of Liquid Water from Study of Its Usual Glass-Forming Properties // *ASU in the News. Science.* Washington. 2008. № 2. P. 13–19.
34. *Bardeen J., Cooper L. N., Schrieffer J. R.* Theory of Superconductivity // *Phys. Rev.* 1957. Vol. 108. № 5. P. 1175–1204.
35. *Broadbent S. B., Hammersley J. M.* Percolation processes. I. Crystals and mazes // *Proc. Cambridge Phil. Soc.* 1957. V. 53. Part 3. P. 629–641.
36. *Chaplin M.* Water Structure and Science. 2008. <http://www.lsbu.ac.uk/water/data.html>.
37. *Coppen A. J., Gibbons J. L.* Saliva-Serum Ratios of Tritium after the Administration of Tritiated Water // *Nature.* 1960. V. 186. № 4726. P. 724–725.
38. *Dalfovo F., Giorgini S., Pitaevskii L. P., Stringari S.* Theory of Bose-Einstein condensation in trapped gases // *Rev. Mod. Phys.* 1999. Vol. 71. P. 463–512.
39. *Engelman D. M., Moore P. B.* Determination of quaternary structure by small angle neutron scattering // *Annu. Rev. Biophys. Bioeng.* 1975. Vol. 4(00). P. 219–241.
40. *Hammersley J. M.* Percolation processes. II. The connective constant // *Proc. Cambridge Phil. Soc.* 1957. V. 53. № 3. P. 642–645.
41. *Hatta J., Hatta T., Moritake K., Otani H.* Heavy water inhibiting the expression of transforming growth factor-1 and the development of kaolin-induced hydrocephalus in mice // *J. Neurosurg.* 2006. Vol. 104. P. 251–258.
42. *Kanno H., Angell C. A.* Water: Anomalous compressibilities to 1,9 kBar and correlation with supercooling limits // *J. Chem. Phys.* 1979. Vol. 70. № 9. P. 4008–4016.
43. *Katz J. J., Crespi H. Y. L., Czajka D. M., Finkel A. J.* Course of deuteration and some physiological effects of deuterium in mice // *Am. J. Physiol.* 1962. V. 203(5). P. 907–913.
44. *Liu D., Zhang Y., Chen C.-C., Mou C.-Y., Poole P. H., Chen S.-H.* Observation of the density minimum in deeply supercooled confined water. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2007. Vol. 104. P. 9570–9574.

45. *Murphy D. M., Koop T.* Review of the vapour pressures of ice and supercooled water for atmospheric applications // *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 2005. V. 131. P. 1539–1565.
46. *Narten A. H., Danford M. D., Levy H. A.* X-Ray Diffraction Study of Liquid Water in the Temperature Range 4–200 °C // *Disc. Farad. Soc.* 1967. № 43. P. 97–107.
47. NIST Standard Reference Database Number 69, June 2005 Release.
48. *Radu C. G., Cheng D., Nijagal A., Riedinger M., McLaughlin J., Yang L. V., Johnson J., Witte O. N.* Resistance to Apoptosis in HIV-Infected CD4⁺ T Lymphocytes Is Mediated by Macrophages: Role for Nef and Immune Activation in Viral Persistence // *J. Immunol.* 2000. Vol. 165. P. 6437–6446.
49. *Sargaeva N. P., Naymushin A. B., Puchkov L. V., Sargaev P. M.* Liquid heavy water structure and heat capacity // 16 International Conference on Chemical Thermodynamics in RUSSIA (RCCT 2007) and 10 International Conference on The Problems of Solvation and Complex Formation in Solutions. Abstracts. Vol. 1. Suzdal, July 1–6, 2007. P. 119–120.
50. *Sargaeva N. P., Naymushin A. B., Puchkov L. V., Sargaev P. M.* Vector component in the structure of heavy water // 16 International Conference on Chemical Thermodynamics in RUSSIA (RCCT 2007) and 10 International Conference on the Problems of Solvation and Complex Formation in Solutions. Abstracts. Vol. 1. Suzdal, July 1–6, 2007. P. 120.
51. *Sargaeva N. P., Naymushin A. B., Puchkov L. V., Sargaev P. M.* The nature of heat capacity distinction of liquid D₂O and H₂O // 16 International Conference on Chemical Thermodynamics in RUSSIA (RCCT 2007) and 10 International Conference on the Problems of Solvation and Complex Formation in Solutions. Abstracts. Vol. 1. Suzdal, July 1–6, 2007. P. 121.
52. *Sasson R., Amsterdam A.* Stimulation of Apoptosis in Human Granulosa Cells from in Vitro Fertilization Patients and Its Prevention by Dexamethasone: Involvement of Cell Contact and Bcl-2 Expression // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2002. Vol. 87. № 7. P. 3441–3451.
53. *Sceats M. G., Rice S. A.* A random network model calculation of free energy of liquid water // *J. Chem. Phys.* 1980. Vol. 72. № 111. P. 6183–6191.
54. *Shchepinov M. S.* Reactive Oxygen Species, Isotope Effect, Essential Nutrients, and Enhanced Longevity // *Rejuvenation Research.* 2007. Vol. 10. № 1. P. 47–60.
55. *Uemura T., Moritake K., Akiyama Y., Kimura Y., Shingu T., Yamasaki T.* Experimental validation of deuterium oxide — mediated antitumoral activity as it relates to apoptosis in murine malignant astrocytoma cells // *J. Neurosurg.* 2002. Vol. 96. P. 900–908.
56. *Yamamuro O., Harabe K., Matsuo T., Takeda K., Tsukushi I., Kanaya T.* Boson peaks of glassy mono- and polyalcohols studied by inelastic neutron scattering // *J. Phys.: Condens. Matter.* 2000. Vol. 12. P. 5143–5154.

REFERENCES

1. *Bondarenko G. V., Gorbatyj Ju. E.* Infekrasnye spektry ν_3 HDO pri vysokih davlenijah i temperaturah // *Dokl. AN SSSR.* 1973. T. 210. № 1. S. 132–135.
2. *Gorbatyj Ju. E., Dem'janec Ju. N.* Rentgenodifrakcionnye issledovanija zhidkoj i nadkriticheskoj vody pri vysokih temperaturah i davlenijah. III. Stroenie pervoj koordinacionnoj sfery // *Zhurn. Struktur. Him.* 1983. T. 24. № 5. S. 74–80.
3. *Gorbatyj Ju. E., Bondarenko G. V.* Sverhkriticheskoe sostojanie vody // *Sverhkriticheskie fljuidy. Teorija i praktika.* 2007. T. 2. № 2. S. 5–19.
4. *Ziman J. M.* Modeli besporjadka. M.: Mir. 1982. 591 s.
5. *Kantor Ch., Schimmel P.* Biophysical chemistry. M.: Mir. 1984. Part 2. 496 s.
6. *Kittel Ch.* Introduction to Solid State Physics. M.: Nauka. 1978. 792 s.
7. *Kittel Ch., Najt V., Ruderman M.* Berklevskij kurs fiziki: Mehanika. M.: Nauka. 1983. 448 s.
8. *Kratkij spravochnik fiziko-himicheskikh velichin.* SPb.: Ivan Fedorov. 2002. 160 s.
9. *Levich V. G., Vdovin Ju. A., Mjamlin V. A.* Kurs teoreticheskoj fiziki. T. 2. M.: Nauka. 1971. 936 s.
10. *Putincev N. M.* Fizicheskie svojstva veshchestva (led, voda, par). Murmansk: Izd-vo MGARF. 1995. 255 s.

11. Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Baryshev A. N., Sargaev P. M. Kriterii vzaimodejstviya akusticheskikh polej s komponentami vnutrennej sredy // Materialy jubilejnoy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvjashchennoj 200-letiju vysshego veterinarnogo obrazovaniya v Rossii i 200-letiju SPbGAVM. SPb, izdatel'stvo SPbGAVM, 2008. S. 81–82.
12. Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Sargaev P. M. Osobennosti kommunikacij tjazheloj vody vo vnutrennej srede organizma // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2006. № 2. S. 43–46.
13. Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Sargaev P. M. Stroenie i teploemkost' tjazheloj vody vo vnutrennej srede organizma // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2006. № 3–4. S. 55–58.
14. Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Sargaev P. M. Modelirovanie osobennostej struktury tjazheloj vody vo vnutrennej srede organizma // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2006. № 3–4. S. 59–62.
15. Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Sargaev P. M. Modelirovanie konfiguracionnyh osobennostej tjazheloj vody vo vnutrennej srede organizma // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2007. № 1. S. 42–46.
16. Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Sargaev P. M. Kationy tjazheloj vody vo vnutrennej srede organizma // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2007. № 3. S. 57–60.
17. Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Sargaev P. M. Sinergetika strukturnykh edinic i termodinamicheskie svoystva D₂O zhidkosti // Izvestija RGPU im. A. I. Herzena: Nauchnyj zhurnal: Estestvennye i tochnye nauki. 2008. T. 9 (48). C. 44–60.
18. Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Sargaev P. M. Tehnologija prepodavanija: Kvantovyy gaz po Einsteinu kak instrument poznaniya svoystv vody // Izvestija RGPU im. A. I. Herzena: Nauchnyj zhurnal: Estestvennye i tochnye nauki. 2008. T. 10 (64). S. 144–158.
19. Sargaeva N. P., Sargaev P. M. Klasteri — sut' struktury zhidkogo sostojaniya vody // Izvestija RGPU im. A. I. Herzena: Nauchnyj zhurnal: Estestvennye i tochnye nauki. 2007. T. 7 (26). S. 112–126.
20. Sargaeva N. P., Sargaev P. M. Teplovoe rasshirenie i finitnye dvizheniya molekul vnutrennej sredy // Aktual'nye problemy veterinarnoj mediciny / Sb. nauchn. trudov SPbGAVM. SPb., № 138. 2006. S. 72–73.
21. Sargaeva N. P., Sargaev P. M. Osobennosti dvizheniya molekul i kompleksoobrazovanie v vodnykh rastvorah // Vserossijskij simpozium «Jeffekty sredy i processy kompleksoobrazovaniya v rastvorah»: Tezisy dokladov. Krasnojarsk, 2006. S. 192–193.
22. Sargaeva N. P., Sargaev P. M. Koordinacionno-uglovoe raspredelenie molekul vody v rastvorah // Vserossijskij simpozium «Jeffekty sredy i processy kompleksoobrazovaniya v rastvorah»: Tezisy dokladov. Krasnojarsk, 2006. S. 193–194.
23. Sargaev P. M. Projavlenie struktury vody v jelektrofizicheskikh svoystvah biosistem i metody monitoringa: Avtoref. dis. ... d-ra him. nauk. SPb., 1999. 39 s.
24. Slobodov A. A., Sargaeva N. P., Najmushin A. B., Sargaev P. M. Modelirovanie molekuljarnykh mehanizmov kommunikacij v H₂O i D₂O vnutrennej srede organizma // Materialy 7-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Jekologija cheloveka i priroda». Moskva—Ples, 27 ijunja — 2 ijulja 2008. S. 186–190.
25. Smirnova N. A. Metody statisticheskoj termodinamiki v fizicheskoj himii. M., 1982. 455 s.
26. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feynmanovskie lekcii (Vyp. 8, 9). M.: Mir, 1978. 528 s.
27. Eisenberg D., Kauzmann E. Structura i svoystva vody. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 279 s.
28. Einstein A. Sbranie nauchnykh trudov. T. 3. M.: Nauka, 1966. 632 s.
29. Amsterdam A., Plehn-Dujowich D., Suh B. S. Structure-function relationships during differentiation of normal and oncogene-transformed granulosa cells // Biol. Reprod. 1992. Vol. 46. P. 513–522.
30. Amsterdam A., Sasson R. The anti-inflammatory action of glucocorticoids is mediated by cell type specific regulation of apoptosis // Mol. Cell. Endocrinol. 2002. Vol. 189. P. 1–9.

31. *Anbar M., Lewitus Z.* Rate of Body-Water Distribution studied with Triple Labelled Water // *Nature*. 1958. V. 181. P. 344.
32. *Angell C. A., Tucker J. C.* Anomalous Heat Capacities of Supercooled Water and Heavy Water // *Science*. 1973. V. 181. P. 342–344.
33. *Angell C. A.* Insights into Phases of Liquid Water from Study of Its Usual Glass-Forming Properties // *ASU in the News. Science*. Washington. 2008. № 2. P. 13–19.
34. *Bardeen J., Cooper L. N., Schrieffer J. R.* Theory of Superconductivity // *Phys. Rev.* 1957. Vol. 108. № 5. P. 1175–1204.
35. *Broadbent S. B., Hammersley J. M.* Percolation processes. I. Crystals and mazes // *Proc. Cambridge Phil. Soc.* 1957. V. 53. Part 3. P. 629–641.
36. *Chaplin M.* Water Structure and Science. 2008. <http://www.lsbu.ac.uk/water/data.html>.
37. *Coppen A. J., Gibbons J. L.* Saliva-Serum Ratios of Tritium after the Administration of Tritiated Water // *Nature*. 1960. V. 186. № 4726. P. 724–725.
38. *Dalfovo F., Giorgini S., Pitaevskii L. P., Stringari S.* Theory of Bose-Einstein condensation in trapped gases // *Rev. Mod. Phys.* 1999. Vol. 71. P. 463–512.
39. *Engelman D. M., Moore P. B.* Determination of quaternary structure by small angle neutron scattering // *Annu. Rev. Biophys. Bioeng.* 1975. Vol. 4(00). P. 219–241.
40. *Hammersley J. M.* Percolation processes. II. The connective constant // *Proc. Cambridge Phil. Soc.* 1957. V. 53. № 3. P. 642–645.
41. *Hatta J., Hatta T., Moritake K., Otani H.* Heavy water inhibiting the expression of transforming growth factor-1 and the development of kaolin-induced hydrocephalus in mice // *J. Neurosurg.* 2006. Vol. 104. P. 251–258.
42. *Kanno H., Angell C. A.* Water: Anomalous compressibilities to 1,9 kBar and correlation with supercooling limits // *J. Chem. Phys.* 1979. Vol. 70. № 9. P. 4008–4016.
43. *Katz J. J., Crespi H. Y. L., Czajka D. M., Finkel A. J.* Course of deuteration and some physiological effects of deuterium in mice // *Am. J. Physiol.* 1962. V. 203(5). P. 907–913.
44. *Liu D., Zhang Y., Chen C.-C., Mou C.-Y., Poole P. H., Chen S.-H.* Observation of the density minimum in deeply supercooled confined water. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2007. Vol. 104. P. 9570–9574.
45. *Murphy D. M., Koop T.* Review of the vapour pressures of ice and supercooled water for atmospheric applications // *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 2005. V. 131. P. 1539–1565.
46. *Narten A. H., Danford M. D., Levy H. A.* X-Ray Diffraction Study of Liquid Water in the Temperature Range 4–200 °C // *Disc. Farad. Soc.* 1967. № 43. P. 97–107.
47. NIST Standard Reference Database Number 69, June 2005 Release.
48. *Radu C. G., Cheng D., Nijagal A., Riedinger M., McLaughlin J., Yang L. V., Johnson J., Witte O. N.* Resistance to Apoptosis in HIV-Infected CD4⁺ T Lymphocytes Is Mediated by Macrophages: Role for Nef and Immune Activation in Viral Persistence // *J. Immunol.* 2000. Vol. 165. P. 6437–6446.
49. *Sargaeva N. P., Naymushin A. B., Puchkov L. V., Sargaev P. M.* Liquid heavy water structure and heat capacity // 16 International Conference on Chemical Thermodynamics in RUSSIA (RCCT 2007) and 10 International Conference on The Problems of Solvation and Complex Formation in Solutions. Abstracts. Vol. 1. Suzdal, July 1–6, 2007. P. 119–120.
50. *Sargaeva N. P., Naymushin A. B., Puchkov L. V., Sargaev P. M.* Vector component in the structure of heavy water // 16 International Conference on Chemical Thermodynamics in RUSSIA (RCCT 2007) and 10 International Conference on the Problems of Solvation and Complex Formation in Solutions. Abstracts. Vol. 1. Suzdal, July 1–6, 2007. P. 120.
51. *Sargaeva N. P., Naymushin A. B., Puchkov L. V., Sargaev P. M.* The nature of heat capacity distinction of liquid D₂O and H₂O // 16 International Conference on Chemical Thermodynamics in RUSSIA (RCCT 2007) and 10 International Conference on the Problems of Solvation and Complex Formation in Solutions. Abstracts. Vol. 1. Suzdal, July 1–6, 2007. P. 121.
52. *Sasson R., Amsterdam A.* Stimulation of Apoptosis in Human Granulosa Cells from in Vitro Fertilization Patients and Its Prevention by Dexamethasone: Involvement of Cell Contact and Bcl-2 Expression // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2002. Vol. 87. № 7. P. 3441–3451.

53. *Sceats M. G., Rice S. A.* A random network model calculation of free energy of liquid water // *J. Chem. Phys.* 1980. Vol. 72. № 111. P. 6183–6191.

54. *Shchepinov M. S.* Reactive Oxygen Species, Isotope Effect, Essential Nutrients, and Enhanced Longevity // *Rejuvenation Research.* 2007. Vol. 10. № 1. P. 47–60.

55. *Uemura T., Moritake K., Akiyama Y., Kimura Y., Shingu T., Yamasaki T.* Experimental validation of deuterium oxide — mediated antitumoral activity as it relates to apoptosis in murine malignant astrocytoma cells // *J. Neurosurg.* 2002. Vol. 96. P. 900–908.

56. *Yamamuro O., Harabe K., Matsuo T., Takeda K., Tsukushi I., Kanaya T.* Boson peaks of glassy mono- and polyalcohols studied by inelastic neutron scattering // *J. Phys.: Condens. Matter.* 2000. Vol. 12. P. 5143–5154.