



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-98-99>
УДК 543.39: 665.081

Поступила 18.06.2024
Received 18.06.2024

О СТРУКТУРЕ ВОДЫ

В. Ю. СТЕЦЕНКО, г. Могилев, Беларусь. E-mail: stetsenko.52@bk.ru

Показано, что за время 10^{-10} – 10^{-11} с в воде статистически могут образовываться только кластеры, состоящие из 4 или 3 молекул воды. Показано, что броуновское движение в воде происходит в результате столкновения нанокристаллов льда с броуновскими частицами. Броуновское движение является экспериментальным подтверждением нанокристаллического строения воды. Показано, что вода на 13% состоит из молекул и на 87% – из нанокристаллов льда. Такое двухфазное строение обеспечивают воде структурные свойства, высокие текучесть и упругость пара.

Ключевые слова. Вода, кластеры, молекулы, структура, нанокристаллы, броуновское движение, лед.

Для цитирования. Стеценко, В.Ю. О структуре воды / В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. 2024. № 3. С. 98–99.
<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-98-99>.

ABOUT THE STRUCTURE OF WATER

V. Yu. STETSENKO, Mogilev, Belarus. E-mail: stetsenko.52@bk.ru

It is shown that during 10^{-10} – 10^{-11} s, only clusters consisting of 4 or 3 water molecules can statistically form in water. It is shown that Brownian motion in water occurs as a result of collision of ice nanocrystals with Brownian particles. Brownian motion is an experimental confirmation of the nanocrystalline structure of water. It is shown that water consists of 13% molecules and 87% ice nanocrystals. Such a two-phase structure provides water with structural properties, high fluidity and elasticity of steam.

Keywords. Water, clusters, molecules, structure, nanocrystals, Brownian motion, ice.

For citation. Stetsenko V. Yu. About the structure of water. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 3, pp. 98–99. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-98-99>.

Принято считать, что вода имеет кластерную структуру, состоящую в основном из случайно образующихся (статистических) льдоподобных кластеров, время жизни которых составляет 10^{-10} – 10^{-11} с [1]. Каждый кластер воды состоит из n молекул воды. Вероятность того, что одна молекула воды займет место среди n молекул воды равна n^{-1} . Вероятность события, в котором n молекул воды займут места среди n молекул воды в кластере, равна n^{-n} . Тогда время образования кластера воды (τ_n), состоящего из n молекул воды, будет определяться по уравнению:

$$\tau_n = \tau_1 \cdot n^n, \quad (1)$$

где τ_1 – время перескока одной молекулы воды.

Значение τ_1 определяется следующим уравнением:

$$\tau_1 = \frac{d_1}{v_1}, \quad (2)$$

где d_1 – диаметр действия молекулы воды; v_1 – средняя скорость молекул воды.

Величина d_1 равна 0,280 нм [1]. Будем считать свободные молекулы в воде идеальным газом. Тогда значение v_1 определяется следующим уравнением [2]:

$$v_1 = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_1}}, \quad (3)$$

где k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – температура воды; m_1 – масса молекулы воды, равная $3 \cdot 10^{-26}$ кг [3].

Принимаем $T = 300$ К. Тогда из (3) получаем $v_1 = 610$ м/с. Подставляя величины d_1 и v_1 в уравнение (2), получаем $\tau_1 = 4,6 \cdot 10^{-13}$ с. Тогда имеем следующую расчетную формулу для определения времени образования кластера воды при температуре 300 К:

$$\tau_n = 4,6 \cdot 10^{-13} n^n. \quad (4)$$

Определим, какие кластеры могут образовываться в воде при температуре 300 К за время τ_n , равное 10^{-10} – 10^{-11} с. Подставляя величины τ_n в формулу (4), решая полученное уравнение относительно n , получаем n , равные 4 или 3 молекулам воды. Следовательно, за время 10^{-10} – 10^{-11} с в воде статистически могут образовываться только кластеры, состоящие из 4 или 3 молекул воды. Для образования минимального льдоподобного кластера гексагональной формы необходимо 12 молекул воды. Поэтому говорить о кластерной структуре воды не имеет смысла.

Экспериментально установлено, что средняя скорость в воде броуновской частицы размером 1 мкм составляет 0,35 мкм/с [4]. Расчетным путем показано, что для этого необходимо, чтобы в броуновскую частицу ударяли не молекулы воды, а нанокристаллы, состоящие из 24 молекул каждый [5]. Поэтому следует считать, что в воде стабильно существуют нанокристаллы льда, на которые распадаются кристаллы льда при их плавлении.

Удельная теплота сублимации (молекуляризации) льда составляет 2600 кДж/кг, а удельная теплота его плавления равна 340 кДж/кг [3]. Это означает, что после расплавления льда молекуляризуется только 13% его кристаллов, а остальные кристаллы распадаются на нанокристаллы льда. Следует считать, что вода состоит на 13% из молекул и на 87% – из нанокристаллов льда.

Наличие молекул и нанокристаллов, имеющих глобулярную форму с минимальной межфазной поверхностной энергией, создает в термодинамической системе дополнительное лапласовское давление. В таких условиях уравнение правила фаз будет иметь следующий вид [6]:

$$\Phi = K - C + 2, \quad (5)$$

где Φ – число фаз; K – количество компонентов; C – число степеней свободы.

Для воды $K = 1$; $C = 1$; $\Phi = 2$. Вода является двухфазной равновесной термодинамической системой. В ней одна фаза – это нанокристаллы льда, а другая – молекулы воды (молекулярный газ). Последние обеспечивают воде высокие текучесть и упругость пара.

Таким образом, вода в основном имеет нанокристаллическую структуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Захаров, С.Д.** Кластерная структура воды (обзор) / С.Д. Захаров, И.В. Мосягина.– М.: Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 2011.– 24 с.
2. **Трофимова, Т.И.** Курс физики / Т.И. Трофимова.– М.: Академия, 2007.– 560 с.
3. **Аксенович, Л.А.** Физика в средней школе / Л.А. Аксенович, В.И. Зенькович, К.С. Фарино.– Минск: Аверсэв, 2010.– 1102 с.
4. Физическая энциклопедия. Т. 1.– М.: Советская энциклопедия, 1988.– 704 с.
5. **Марукович, Е.И.** О броуновском движении в жидкостях / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко, А.В. Стеценко // *Литье и металлургия*.– 2020.– № 4.– С. 75–77.
6. **Жуховицкий, А.А.** Физическая химия / А.А. Жуховицкий, Л.А. Шварцман.– М.: Металлургия, 2001.– 688 с.

REFERENCES

1. **Zaharov S.D., Mosyagina I.V.** *Klasternaya struktura vody (obzor)* [The cluster structure of water (review): preprint]. Moscow, Fizicheskij institut im. P.N. Lebedeva RAN Publ., 2011, 24 p.
2. **Trofimova T.I.** *Kurs fiziki* [Physics course]. Moscow, Akademiya Publ., 2007, 560 p.
3. **Aksenovich L.A., Zen'kovich V.I., Farino K.S.** *Fizika v srednej shkole* [Physics in high school]. Minsk, Aversev Publ., 2010, 1102 p.
4. *Fizicheskaya enciklopediya* [The Physical Encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya enciklopediya Publ., 1988, vol. 1, 704 p.
5. **Marukovich E.I., Stetsenko V. Yu., Stetsenko A.V.** *O brounovskom dvizhenii v zhidkostyah* [On brownian motion in liquids]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 4, pp. 75–77.
6. **Zhuhovickij A.A., Shvarcman L.A.** *Fizicheskaya himiya* [Physical chemistry]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2001, 688 p.