



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-75-77>
УДК 536.75

Поступила 21.10.2020
Received 21.10.2020

О БРОУНОВСКОМ ДВИЖЕНИИ В ЖИДКОСТЯХ

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11. E-mail: stetsenko.52@bk.ru

А. В. СТЕЦЕНКО, МОУВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь, пр. Мира, 43

Показано, что броуновское движение в воде происходит в результате упругих столкновений нанокристаллов льда с броуновскими частицами. Вода состоит на 87% из нанокристаллов льда и на 13% – из молекул воды. При 300 К нанокристалл льда в воде в среднем состоит из 24 молекул воды. Броуновское движение является экспериментальным подтверждением нанокристаллического строения жидкостей. Такое представление о жидкостях имеет большое значение для теории кристаллизации и модифицирования сплавов. В металлических жидкостях броуновское движение относится к микроскопическим неметаллическим частицам и интерметаллидам, которые имеют плотности, сравнимые с плотностями расплавов. В жидких алюминиевых сплавах броуновскими частицами являются микроскопические частицы оксида алюминия, которые остаются в отливках при их затвердевании.

Ключевые слова. Броуновское движение, вода, жидкости, броуновские частицы, нанокристаллы, молекулы, расплав.

Для цитирования. 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. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-75-77>.

ABOUT BROWNIAN MOVEMENT IN LIQUIDS

E. I. MARUKOVICH, V. Yu. STETSENKO, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli str. E-mail: stetsenko.52@bk.ru

A. V. STETSENKO, Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus, 43, Mira ave.

It has been shown that Brownian movement in water occurs as a result of elastic collisions of ice nanocrystals with Brownian particles. Water consists of 87% of ice nanocrystals and 13% of water molecules. At 300 K, the ice nanocrystal in water on average consists of 24 water molecules. Brownian movement is an experimental confirmation of the nanocrystalline structure of liquids. This concept of liquids is of great importance for the theory of crystallization and modification of alloys. In metallic liquids, Brownian motion refers to microscopic non-metallic particles and intermetallides that have densities comparable to melt densities. In liquid aluminum alloys, Brownian particles are microscopic alumina particles that remain in the castings when they solidify.

Keywords. Brownian movement, water, liquids, Brownian particles, nanocrystals, molecules, melt.

For citation. Marukovich E.I., Stetsenko V. YU., Stetsenko A.V. About brownian movement in liquids. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 4, pp. 75–77. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-75-77>.

Броуновское движение представляет собой беспорядочное (хаотическое) движение микроскопических твердых частиц, плотность которых сравнима с плотностью среды, в которой они находятся [1]. Броуновская частица (БЧ) движется под воздействием ударов молекул (атомов). Броуновское движение является экспериментальным подтверждением молекулярно-кинетической теории о хаотическом движении молекул (атомов) [2]. Поэтому выводы этой теории применимы к жидкостям.

Броуновское движение является результатом одновременного упругого удара молекул (атомов) по БЧ. В противном случае она оставалась бы в покое из-за компенсирующих ударных воздействий. Поэтому необходимо определить действие, которое окажет одна молекула (атом) на БЧ. Экспериментально броуновское движение хорошо изучено для прозрачных жидкостей, особенно воды. Установлено, что средняя скорость взвешенной в воде БЧ размером 1 мкм составляет 0,35 мкм /с [3]. Определим среднюю скорость такой БЧ при упругом соударении с одной молекулой воды. Согласно закону сохранения импульса:

$$2m_2v_2 = m_1v_1, \quad (1)$$

где m_1 , v_1 – масса и средняя скорость БЧ; m_2 , v_2 – масса и средняя скорость молекулы воды. Из уравнения (1) следует:

$$v_1 = 2v_2 \frac{m_2}{m_1}. \quad (2)$$

Пусть БЧ является сферической диаметром d_1 . Тогда m_1 будет определяться следующим уравнением:

$$m_1 = \rho_1 \frac{\pi d_1^3}{6}, \quad (3)$$

где ρ_1 – плотность БЧ, взвешенной в воде. Принимаем: $\rho_1 = 10^3$ кг/м³ и $d_1 = 10^{-6}$ м. Тогда из (1) получаем $m_1 = 5 \cdot 10^{-16}$ кг. Величина v_2 определяется следующим уравнением [2]:

$$v_2 = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_2}}, \quad (4)$$

где k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – температура воды. Принимаем $T = 300$ К. Тогда из (4) получаем $v_2 = 607$ м/с. Значение m_2 составляет $3 \cdot 10^{-26}$ кг [1]. Подставляя значения v_2 , m_1 , m_2 в уравнение (2), получаем $v_1 = 0,073$ мкм/с. Это значение средней скорости БЧ от удара одной молекулы воды в 5 раз меньше средней экспериментальной скорости БЧ. Следовательно, в БЧ ударяет не одна молекула, а комплекс (наночастица), состоящая из n молекул.

Определим величину n . Согласно закону сохранения импульса:

$$2m_3v_3 = m_1v, \quad (5)$$

где m_3 , v_3 – масса и средняя скорость наночастицы, состоящей из n молекул воды; v – экспериментальная средняя скорость БЧ массой m_1 в воде.

Значение v составляет $0,35 \cdot 10^{-6}$ м/с. Из уравнения (5) с учетом $m_3 = nm_2$ следует:

$$n = \frac{m_1v}{2m_2v_3}. \quad (6)$$

Величина v_3 определяется следующим уравнением [2]:

$$v_3 = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_3}}. \quad (7)$$

Из (6) и (7) с учетом $m_3 = nm_2$ после простых преобразований получим:

$$n = \frac{\pi m_1^2 v^2}{32 m_2 k T}. \quad (8)$$

Подставляя значения m_1 , v , m_2 , k , T в уравнение (8), получаем $n = 24$. Это означает, что наночастицы, которые вызывают броуновское движение БЧ диаметром 1 мкм в воде при 300 К со средней скоростью 0,35 мкм/с, в среднем состоят из 24 молекул каждая.

Известно, что элементарная кристаллическая решетка льда является гексагональной, состоящей из 12 молекул воды. Поэтому можно считать, что в воде при 300 К существуют нанокристаллы льда. На них распадаются микрокристаллы льда в процессе их плавления. Известно, что удельная теплота парообразования воды при температуре кипения и нормальном давлении составляет 2260 кДж/кг, а удельная теплота плавления льда – 340 кДж/кг [1]. При кипении воды образуется пар, состоящий из молекул. Тогда можно считать, что удельная теплота молекуляризации льда составляет 2600 кДж/кг. В этом случае после расплавления льда молекуляризуются только 13% микрокристаллов льда, а остальные распадутся на нанокристаллы. Поэтому следует считать, что вода состоит на 13% из молекул и на 87% – из нанокристаллов льда, которые участвуют в броуновском движении в качестве наночастиц. Вода имеет нанокристаллическую структуру.

По аналогии подобные выводы можно сделать для металлических жидкостей (расплавов). Они в среднем на 96% состоят из нанокристаллов фаз и на 4% – из атомов [4]. В металлических жидкостях броуновское движение относится к неметаллическим и интерметаллидным частицам, которые имеют плотности, сравнимые с плотностями расплавов. Например, в жидких алюминиевых сплавах микроскопические частицы оксида алюминия будут участвовать в броуновском движении. Оно затрудняет процесс удаления этих частиц и является одной из основных причин загрязнения алюминиевых сплавов

оксидами алюминия. Кроме вреда, броуновское движение помогает стабилизировать в расплаве микроскопические порошки при получении композиционных материалов.

Таким образом, броуновское движение является экспериментальным подтверждением нанокристаллического строения жидкостей, которые в основном состоят из нанокристаллов, разобщенных свободными молекулами или атомами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Аксенович Л. А., Зенькович В. И., Фарино К. С.** Физика в средней школе. Минск: Аверсэв, 2010. 1102 с.
2. **Трофимова Т. И.** Курс физики. М.: Академия, 2007. 560 с.
3. Физическая энциклопедия. Т. 1. М.: Советская энциклопедия, 1988. 704 с.
4. **Марукович Е. И., Стеценко В. Ю.** Наноструктурная теория металлических расплавов // *Литье и металлургия*. 2020. № 3. С. 7–9.

REFERENCES

1. **Aksenovich L. A., Zen'kovich V. I., Farino K. S.** *Fizika v srednej shkole* [High School Physics]. Minsk, Aversev Publ., 2010. 1102 p.
2. **Trofimova T. I.** *Kurs fiziki* [Physics Course]. Moscow, Akademiya Publ., 2007. 560 p.
3. *Fizicheskaya enciklopediya* [Physical Encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya enciklopediya Publ., 1988, vol. 1, 704 p.
4. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu.** Nanostrukturnaya teoriya metallicheskih rasplavov [Nanostructural theory of metal melts]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 3, pp. 7–9.