

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 544.33; 544.34

DOI: 10.17223/00213411/68/2/11

Расчет заряда объемных нанопузырей в воде при балансе давлений Кулона и Лапласа

Ю.К. Левин¹¹Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Россия

Показана возможность стабилизации объемных нанопузырей в воде за счет баланса на их границе поверхностного натяжения (давления Лапласа $P_L(r_0)$) и электростатического давления $P(r_0)$ за счет заряда пузырька. Стабильность нанопузыря повышает окружающий его гидратный Δ -слой ($\Delta \approx 1$ нм). Низкая диэлектрическая проницаемость ($\epsilon_1 \approx 3$) этого слоя повышает давление $P(r_0)$ на границе нанопузыря, способствуя его стабильности. Определены размеры и заряд нанопузыря, при $P_L(r_0) = P(r_0)$, причем концентрация раствора слабо влияет на это равенство.

Ключевые слова: диэлектрическая жидкая среда, кулоновское и лапласовское давление, аномальная диэлектрическая проницаемость, гидратный слой, размер и заряд нанопузырей.

Интерес к объемным нанопузырям (ОНП) в воде связан с перспективами их применения в различных областях [1, 2]. Стабильность пузырька может обеспечить баланс кулоновского давления заряда ОНП:

$$P_C(r_0) = \frac{q_0^2}{32\pi^2 \epsilon_0 \epsilon r_0^4} \quad (1)$$

и давления Лапласа:

$$P_L(r_0) = 2\alpha / r_0. \quad (2)$$

где r_0 и q_0 – радиус и заряд ОНП соответственно; ϵ – диэлектрическая проницаемость воды; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ – диэлектрическая проницаемость вакуума; $\alpha = 0.072$ Н/м – коэффициент поверхностного натяжения воды.

Формула (1) определяет кулоновское давление заряда ОНП $P_C(r_0)$ в однородной диэлектрической среде. Однако заряженный ОНП окружен гидратным Δ -слоем ($\Delta \approx 1$ нм, $\epsilon_1 \approx 3$) с касательной ориентацией вектора поляризации диполей молекул воды [3], что объясняется экономией энергии водородных связей [4]. За пределами Δ -слоя диэлектрическая проницаемость воды возвращается к обычному для воды значению $\epsilon_2 \approx 80$ (рис. 1). Соответственно, электростатическое давление на поверхности ОНП изменяется до величины $P(r_0)$.

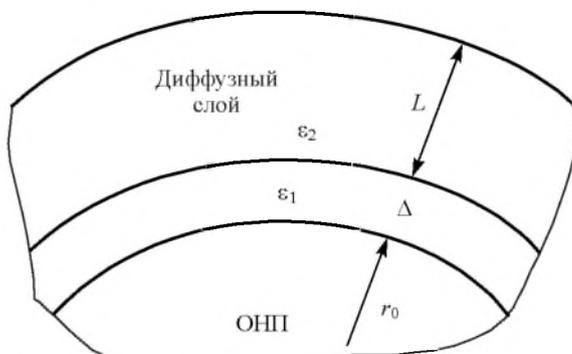


Рис. 1. Структура оболочки объемного нанопузыря

Поэтому решаемая задача состоит в определении давления $P(r_0)$ с учетом влияния Δ -слоя ОНП. Это давление противодействует поверхностному натяжению и стабилизирует ОНП. Затем предполагается определить изменение заряда стабильного ОНП.