

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 29.19.22

DOI: 10.17223/00213411/65/8/131

ЗАВИСЯЩЕЕ ОТ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ –
НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ОБЪЕМНЫХ НАНОПУЗЫРЬКОВ

С.И. Кошоридзе

Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Россия

На основе концепции зависящего от радиуса поверхностного натяжения объединены две физически разные теории стабильности объемных нанопузырьков (ОНП) – теория электростатического давления и теория адсорбции поверхностно-активных веществ. Полученные новые аналитические выражения позволяют рассчитать радиус стационарного ОНП при различных уровнях насыщения раствора газом.

Ключевые слова: нанопузырь, поверхностное натяжение, поверхностно-активные вещества, электростатическое давление.

Объемные нанопузырьки (ОНП), открытые экспериментально четверть века тому назад [1], имеют много потенциальных применений, включая очистку сточных вод, пенную флотацию, биомедицину, очистку поверхностей и т.д., однако причина их стабильности и больших времен жизни до сих пор не ясна. На сегодняшний день существуют две основные гипотезы для объяснения стабильности ОНП. Первая – адсорбированные ионы создают отрицательное растягивающее электростатическое давление (ЭД), уменьшающее необходимое давление газа внутри ОНП и предотвращающее их диффузионное растворение [2–5]; вторая – адсорбция на поверхности ОНП нерастворимых в воде поверхностно-активных веществ (ПАВ), понижающих поверхностное натяжение (ПН) и снижающих лапласовское давление [5–7].

В работах [5, 6] была высказана идея, что обе эти гипотезы формально можно объединить, вводя понятие зависящего от радиуса ОНП ПН $\gamma(R)$. В обоих случаях ПН уменьшается с уменьшением радиуса ($d\gamma(R)/dR > 0$) и стабилизирует ОНП. Цель настоящей работы – показать, что концепция зависящего от времени ПН, объединяя физически разные теории в единый математический аппарат, действительно может описывать условие стабильности и существования ОНП, позволяя при различных экспериментальных параметрах количественно оценивать размер стабильных ОНП.

Начнем с первой гипотезы – влияния ЭД. Напишем условие механического равновесия возникающих критических ОНП радиуса R_{cr} в воде. Для определенности и для упрощения формул будем считать дальше, что ОНП состоит из воздуха (обобщение полученных ниже выражений для ОНП, заполненных другим газом, не представляет сложности):

$$p_e(R_{cr}) + p = \frac{2\gamma_0}{R_{cr}} + p_0. \quad (1)$$

Здесь [2]

$$p_e(R_{cr}) = \frac{q^2 L_D}{16\pi^2 \epsilon_0 \epsilon R_{cr}^5} \quad (2)$$

– ЭД внутри критического ОНП; γ_0 – поверхностное натяжение на границе вода – газ (зависимостью γ_0 от радиуса R будем пренебрегать); p – давление газа внутри ОНП; p_0 – давление в жидкости, равное нормальному атмосферному давлению для малых глубин воды. Выражение (2)

справедливо при $L_D \ll R$, где $L_D = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 k_B T}{2 N_A e^2}}$ – длина экранирования Дебая, e – элементарный заряд, k_B и N_A – постоянная Больцмана и число Авогадро соответственно, T – абсолютная темпе-

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>