

* *
*

УДК 621.311.25

DOI: 10.17223/00213411/63/7/157

С.И. КОШОРИДЗЕ, Ю.К. ЛЕВИН

ВЛИЯНИЕ ЛИНЕЙНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАНОПУЗЫРЬКОВ

Исследованы формирование и устойчивость поверхностных нанопузырьков с учетом коэффициента линейного натяжения на границе трех фаз, эффекта закрепления границы трех фаз (пиннинга) и капиллярной формулы Кельвина. Показано, что отрицательное значение линейного натяжения при малых значениях диаметра и контактного угла может вызвать самопроизвольное формирование нанопузырьков.

Ключевые слова: *поверхностный нанопузырь, капиллярная формула Кельвина, линейное натяжение, закрепление контактного угла.*

Растет число экспериментальных исследований поверхностных нанопузырьков (ПН) в связи с их широким применением в различных областях технологии [1], однако до конца не ясны ни термодинамические условия образования, ни аномально большие времена жизни данных структур.

Есть гипотеза, что причина стабильности как объемных, так и поверхностных нанопузырьков – адсорбированный на их поверхности заряд, создающий отталкивающее электростатическое давление [2]. Как показывают расчеты [3, 4], для стабилизации зарядом необходимо, чтобы на каждый квадратный нанометр площади пузырька приходился примерно один элементарный заряд (считается, что это ионы гидроксида OH^-). Если взять типичную концентрацию ПН в воде [5] $n = 10^{14} \text{ м}^{-3}$, имеющих диаметр 100 нм, то получим, что для стабилизации ПН требуется примерно 10^{18} ионов гидроксида на 1 м^3 воды. С другой стороны, нейтральному показателю кислотности $\text{pH} = 7$ при комнатной температуре соответствует концентрация ионов гидроксида $6 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Таким образом, стабилизация нанопузырька с помощью адсорбированных зарядов возможна только в нейтральной или щелочной среде. Однако многочисленные опыты показывают, что стабильные нанопузырьки существуют и в кислотной среде (см., например, [6]), и таким образом гипотеза [2] сталкивается с определенными трудностями. Поэтому целесообразен поиск альтернативных механизмов стабилизации ПН.

В ряде работ [7–10] показано, что при образовании ПН существенную роль играет линейное натяжение на границе твердой, жидкой и газообразной фаз τ_{slg} . Кроме того, в [1, 11] показано, что стабилизирующим фактором для нанопузырька является закрепление его границы на подложке (так называемый пиннинг). Из-за малости ПН следует учитывать также капиллярные эффекты [12].

В настоящей работе проводится термодинамический анализ образования ПН с учетом перечисленных выше эффектов (линейного и поверхностного натяжения, пиннинга и капиллярного эффекта Кельвина) с целью выявить роль каждого фактора в рождении и стабильности ПН. Отметим, что совокупное влияние всех этих эффектов ранее не рассматривалось.

Для изобарно-изотермических процессов минимальная работа образования ПН равна изменению гиббсовского потенциала системы $A_{\text{min}} = \Delta G$.

Поверхностная составляющая энергии Гиббса ΔG_s образования ПН вычисляется по формуле [4]

$$\Delta G_s = A_{\text{lg}} \gamma_{\text{lg}} + A_{\text{sg}} (\gamma_{\text{sg}} - \gamma_{\text{sl}}). \quad (1)$$

Здесь γ_{lg} , γ_{sg} и γ_{sl} – коэффициенты поверхностного натяжения на границе вода – газ, твердое тело – газ и твердое тело – вода соответственно;

$$A_{\text{lg}} = \frac{\pi L^2}{2 \sin^2 \theta} (1 - \cos \theta), \quad A_{\text{sg}} = \frac{\pi L^2}{4} \quad (2)$$

Уважаемые читатели!

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

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