

УДК 535.36

Специфический эффект ионов при стабилизации газовых нанопузырей в водных растворах электролитов

Дьяченко М.С., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Физики»*

Молчанов И.И., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Физики»*

Научный руководитель: Бункин Н.Ф., д.ф.-м.н., профессор

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

bauman@bmstu.ru

Ранее в ряде работ было показано, что любая жидкость, насыщенная растворенным газом (например, атмосферным воздухом) и содержащая ионную компоненту, неустойчива по отношению к спонтанному образованию сферических полостей нанометрового масштаба – бабстонов [1, 2].

Бабстон – термодинамически устойчивый пузырек радиусом 10-100 нм (плотность ионов в растворах электролита 10^{15} - 10^{16} см⁻³, т.е. в разбавленных растворах). Его механическая устойчивость обусловлена балансом сжимающих сил поверхностного натяжения и растягивающих кулоновских сил, связанных с тем, что в оболочки бабстонов специфически адсорбированы ионы определенного типа. При достижении механического равновесия давление газа внутри отдельного бабстона равно давлению газа над поверхностью жидкости, что обуславливает диффузионную устойчивость бабстона. Поскольку такие ионы имеют одинаковый знак, то это и приводит к появлению силы, растягивающей пузырек. В работе [2] была решена задача о кулоновской экранировке заряженного бабстона в водном растворе электролита; в этой же работе было рассмотрено действие сил вязкого трения на заряженный бабстон, окруженный облаком противоионов. Вязкое трение эффективно «смывает» периферийные слои в облаке противоионов: при этом оказывается, что в равновесии возникают два типа составных частиц. Эти составные частицы представляют собой заряженные газовые ядра, окруженные облаком противоионов разной (но фиксированной) толщины. Показано, что эти составные частицы не являются электронейтральными, но имеют противоположные электрические заряды.

Поэтому они коагулируют друг с другом в притягивающем кулоновском поле с образованием бабстонных кластеров. Характерный радиус бабстонного кластера порядка 0,5 мкм и он включает в себя порядка 10^2 отдельных бабстонов. Стоит отметить, что механизм стабилизации пузыря за счет заряжения его поверхности является альтернативой механизмам механической и диффузионной стабилизации, основанным на внедрении газовых молекул в поры и трещины твердотельных частиц, см. [3, 4].

На данный момент нет единой теории о том, какие ионы адсорбируются на газовых нанопузырьках и являются их стабилизаторами. Поэтому задача определения типа ионов, стабилизирующих бабстоны, является весьма актуальной. Для проверки гипотезы о том, что ионами-стабилизаторами выступают анионы, был предложен косвенный эксперимент по изучению растворов солей из серии Гофмейстера. Идея проведения данного эксперимента возникла в связи с результатами по электрофорезу: под действием электрического поля пузырьки начинали двигаться и выделяться на аноде. Однако, полученный результат не может однозначно говорить о том, что в таком случае ионами, адсорбирующимися на газовых нанопузырьках, являются анионы. Это связано с явлением *перезарядки*, которая подробно описана в [5]. Она приводит к смене противоионов в диффузном слое на ионы с зарядом другого знака. Поэтому чтобы понять, какие ионы все-таки играют ключевую роль при стабилизации газовых нанопузырьков, и возникла потребность в проведении другого эксперимента, который смог бы приблизить нас к пониманию данного явления. Примечательно то, что такой эксперимент был проведен впервые, и нужно понимать, что он потребует многократного повторения и глубокого анализа.

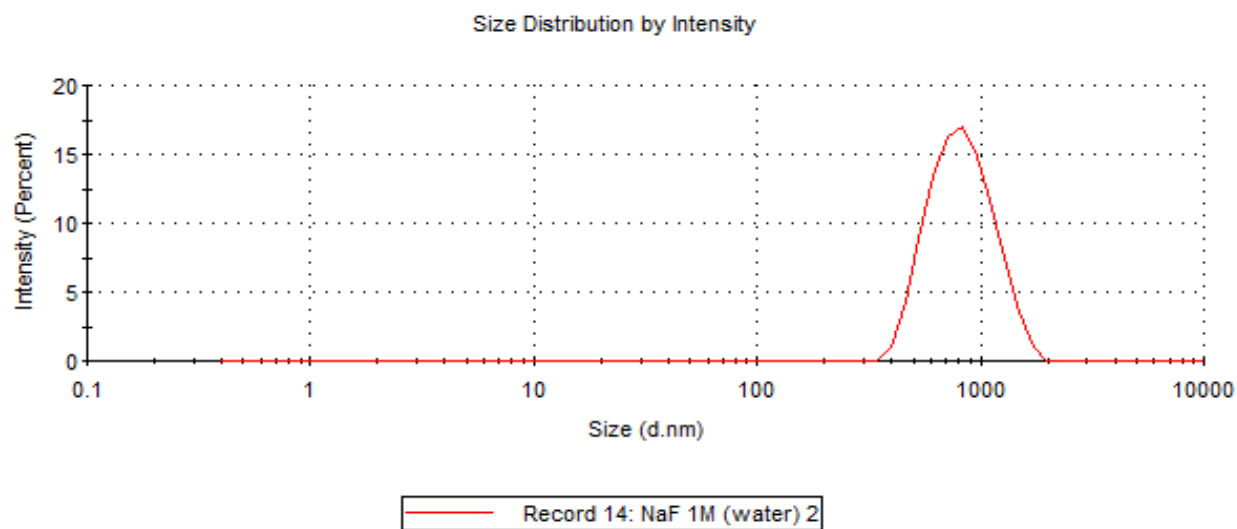
Эксперимент проводился в несколько этапов:

1. Было приготовлено 5 различных растворов солей концентрацией 1 М (при нормальных условиях): хлорид натрия (NaCl), хлорид магния (MgCl_2), хлорид аммония (NH_4Cl), нитрат натрия (NaNO_3) и фторид натрия (NaF). Растворителем выступала дистиллированная вода.

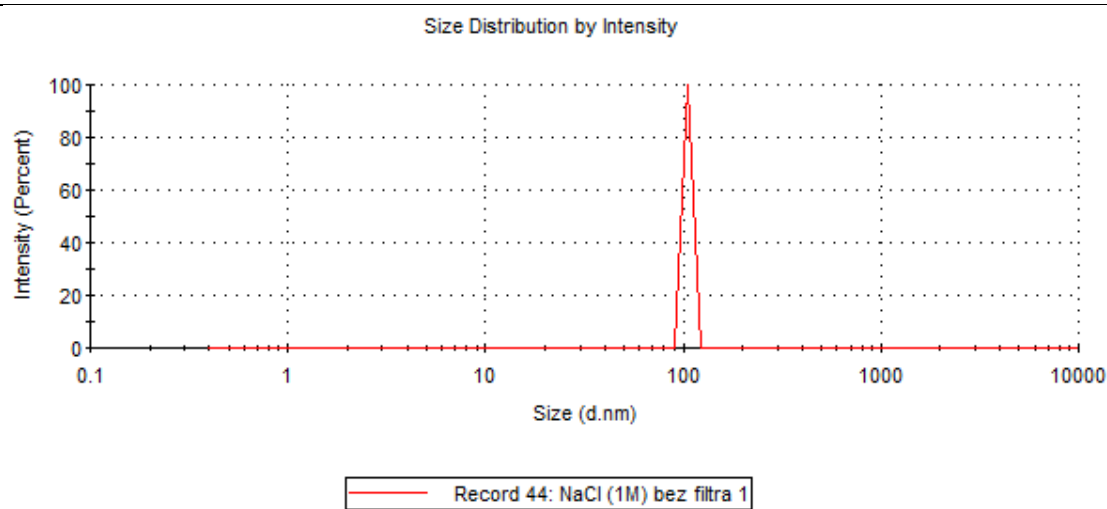
2. Далее полученные водные растворы отстаивались 4 дня, чтобы все большие частицы, которые может содержать раствор, по возможности не попали в образец для исследования.

3. Затем мы исследовали приготовленные растворы на установке по динамическому рассеянию света, которая давала возможность оценить размеры рассеивающих частиц посредством измерения корреляционной функции.

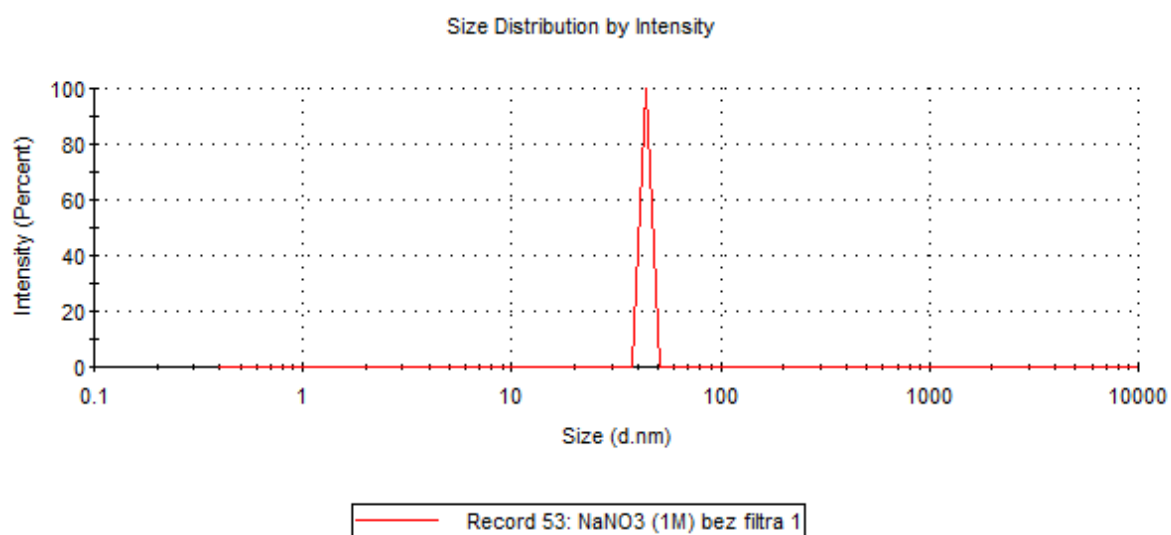
Последовательно проделав все этапы эксперимента, мы получили первую серию результатов. Анализ временных корреляционных функций дает следующие распределения интенсивности света по размерам частиц, которые можно видеть на рис.1 (а) - (д).



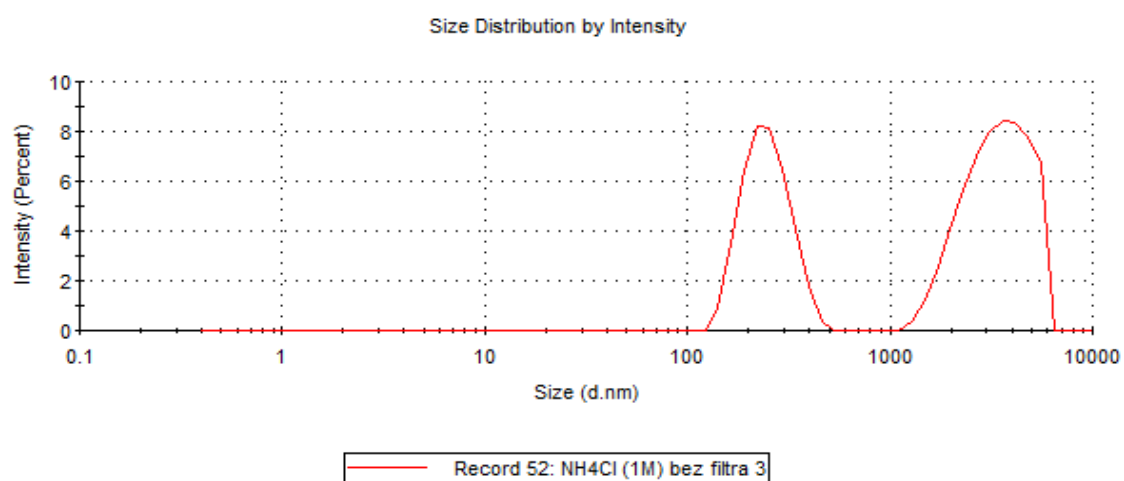
(a)



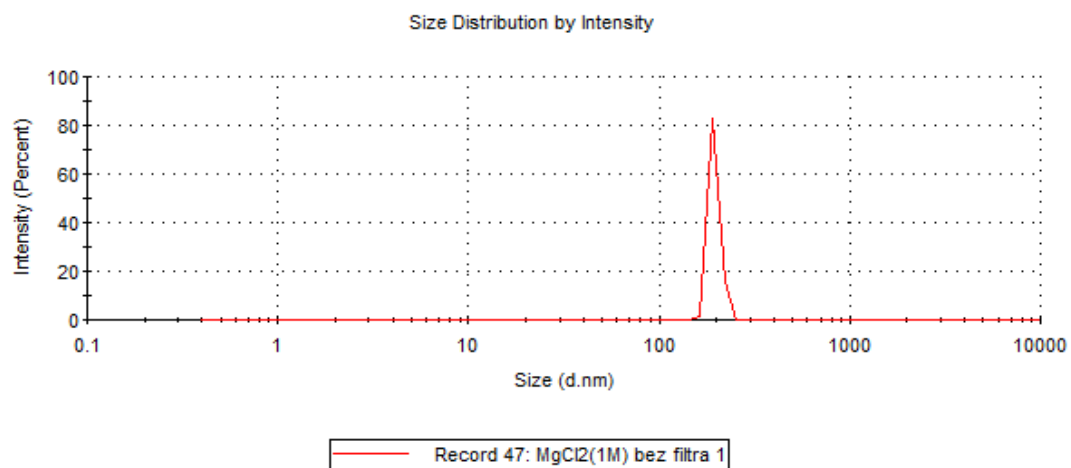
(б)



(б)



(в)



(д)

Рис. 1. Распределение размеров частиц по интенсивности:

(а) – NaF. (б) – NaCl, (в) – NaNO₃, (г) – NH₄Cl, (д) – MgCl₂

А на рис.2 показан общий график распределения для пяти растворов солей.

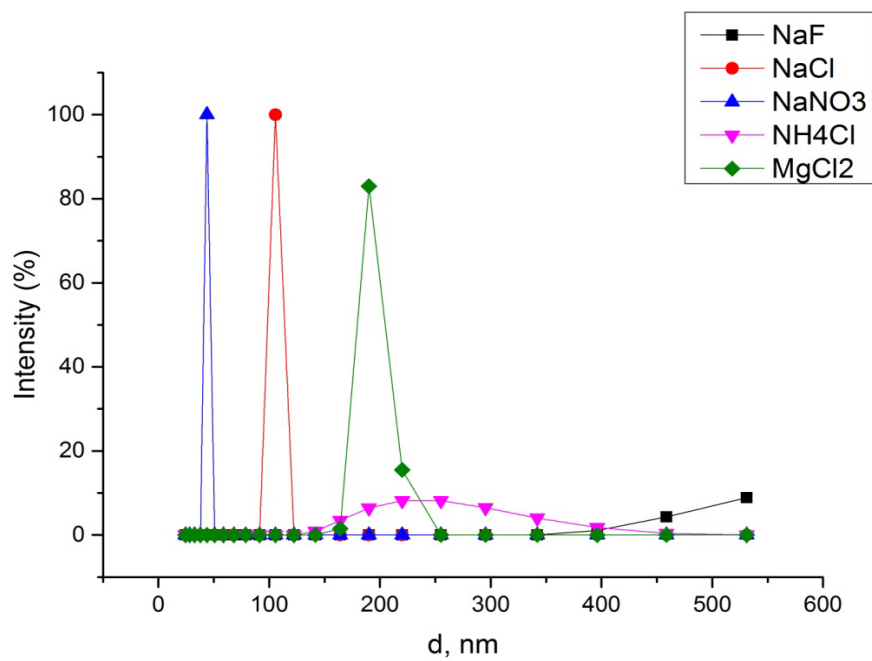


Рис. 2. Общий график распределения размеров по интенсивности

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Результаты подтверждают существование специфического эффекта ионов при исследовании водных растворов электролитов. Пики интенсивности рассеянного излучения в области нанометров подтверждают, что в растворах электролитов спонтанно возникают наночастицы (все опыты проводились с химически чистыми солями, и разного рода примеси не могли быть привнесены извне).

2. На данном этапе однозначного вывода о роли катионов и анионов при процессе стабилизации нанопузырей сделать нельзя. Эксперимент требует многократного повторения и дальнейшего глубокого анализа.

Список литературы

1. Bunkin N.F., Bunkin F.V., Bubbstons: stable microscopic gas bubbles in very dilute electrolytic solutions // JETP. 1992. Vol. 74. No. 2. P. 512–528.
2. Бункин Н.Ф., Бункин Ф.В., Экранировка сильнозаряженных макрочастиц в жидких растворах электролитов // ЖЭТФ. 2003. Т. 123. № 4. С. 828–846.
3. Atchley A.A., Crum L.A. Acoustic Cavitation in Bubble Dynamics in Ultrasound: its Chemical, Physical, and Biological Effects, ed. by K.S, Suslick // New York, VCH Publishers. 1988. P. 1–64.
4. Crum L.A., Nucleation and Stabilization of Micro-bubbles in liquids // Applied Scientific Research. 1982. Vol. 38. P. 101–115. DOI: 10.1007/BF00385941.
5. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1988. 464 с.