

УДК 532.529.6:537.29

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Академик АН ЛатвССР И. М. КИРКО, Т. В. КУЗНЕЦОВА,
В. Д. МИХАЙЛОВ, В. Н. НОВИКОВ, Г. Г. ПОДОБЕДОВ, В. П. РАССОХА,
Л. А. РАЧЕВ, П. Ф. ШУЛЬГИН

НАБЛЮДЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ ДИЭЛЕКТРОФЕРЕЗА В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

В неоднородном электрическом поле на газовый пузырь в диэлектрической жидкости, свободной от объемных зарядов, действует сила диэлектрорефа (1)

$$F = -\frac{1}{2}Vk\nabla E^2, \quad (1)$$

где V — объем пузыря, $k = 3(\epsilon - 1)\epsilon_0 / (2\epsilon + 1)$ — постоянная диэлектрорефа, ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость жидкости, ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума, E — напряженность электрического поля.

Для измерения силы диэлектрорефа и изучения сепарационных свойств клиновидного конденсатора авторами был проведен эксперимент в условиях практического отсутствия силы тяжести на ИСЗ (уровень перегрузки 10^{-3} , время наблюдения процесса 12 сек.). Экспериментальная установка (рис. 1) состояла из следующих основных узлов: клиновидного конденсатора 3 с углом раствора электродных пластин $\theta = 5^\circ$, помещенного в прозрачный сосуд 1, заполненный чистым жидким диэлектриком с диэлектрической постоянной $\epsilon = 2,08$ и вязкостью $\nu = 2,9 \cdot 10^{-6}$ м²/сек; расширительной емкости 2; полупроводникового преобразователя напряжения 8, обеспечивающего разность потенциалов на электродах $\varphi_0 = 14$ кв; системы подачи газовых пузырьков, включающей баллон с азотом 7 (р = 2 ата), дросселирующее устройство 6, электромагнитный пневмоклапан 5 и капиллярный дозатор 4. Для увеличения надежности испытывались две идентичные модели.

Градиент квадрата напряженности электрического поля в клиновидном конденсаторе в цилиндрической системе координат без учета краевых эффектов равен

$$\nabla E^2 = -\frac{2\varphi_0^2}{\theta_0^2} \frac{r}{r^2}, \quad (2)$$

где r — радиус-вектор точки.

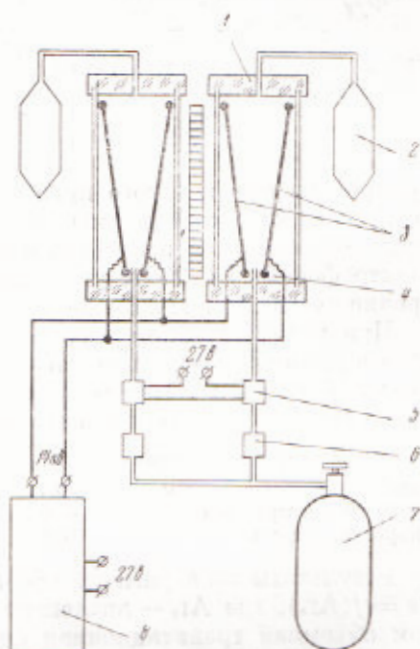


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Влияние краевых эффектов, обусловленных органическими размерами электродов, вызывало вытеснение пузырей в краевые области конденсатора, где наблюдались случайные движения, имеющие слабо выраженный циркуляционный характер. В силу этого наиболее достоверные результаты получались в первые 10—15 сек. экспериментов.

В отсутствие электрического поля скорость движения газовых включений была незначительной по величине и случайной по направлению. При наложении электрического поля происходило существенное возрастание скорости направленного движения включения ($Re = 10-150$). Наблюдались явления деформации газовых включений в направлении электрических силовых линий и деление пузырей

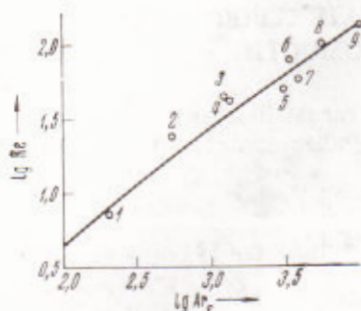


Рис. 2. Зависимость числа Re от диэлектростатического аналога числа Ar

больших размеров на два меньших пузыря, более устойчивых по форме. Устойчивые пузыри объединялись в гирлянды, вытянутые вдоль силовых линий поля. При включении поля уменьшался максимальный размер газовых включений, подаваемых капиллярным дозатором, находящимся в области электрического поля, что можно объяснить появлением «архимедовой силы» за счет электрической перегрузки. Интересно поведение пузырьков, прилипших к электродам в отсутствие поля. Они удерживались у металлических электродов капиллярными силами или, при наличии поверхностного заряда, силами «электрического изображения». После подачи напряжения

пузырек из сферического превращался в эллипсоидальный, затем из-за неустойчивости этой формы пузырек восстанавливал свою сфероидальность, отрывался от электрода и начинал двигаться под действием сил диэлектростатического притяжения в сторону уменьшения напряженности поля так же, как и прочие пузырьки и гирлянды.

При количественной обработке результатов экспериментов рассматривалось движение отдельно расположенных газовых включений, имеющих форму, близкую к сферической. Параметры движения различных по размерам газовых включений оказались следующими:

Номер газового включения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Радиус-вектор точки, мм	323	282	327	304	375	365	355	351	320
Диаметр пузыря, мм	4,0	4,7	7,5	7,3	11,3	11,5	11,5	13,0	15,0
Скорость, мм/сек	5,0	9,0	10,0	10,0	8,0	12,0	9,0	13,5	16,6

Результаты эксперимента обобщены в виде критериальной зависимости $Re = f(Ar_e)$, где Ar_e — диэлектростатический аналог числа Архимеда, в котором объемная гравитационная сила заменена силой диэлектростатического притяжения по формуле (1). Для клиновидного конденсатора с учетом (2) имеем

$$Ar_e = \frac{3(\varepsilon - 1)\varepsilon_0}{2\varepsilon + 1} \left(\frac{d}{r}\right)^3 \frac{\Phi_0^2}{\rho^2 v^2}, \quad (3)$$

где d — диаметр пузыря, v — кинематическая вязкость жидкости, ρ — плотность жидкости. Полученная зависимость приведена на рис. 2 в виде точек, соответствующих газовым включениям (1—9). Здесь же сплошной линией изображена зависимость числа Рейнольдса от числа Архимеда, соответствующая интерполяционной формуле (2)

$$Re = Ar / (18 + 0,61\sqrt{Ar}), \quad (4)$$

полученной при изучении свободного падения шаров в вязкой жидкости. Характер зависимости подтверждает возможность использования прибли-

женного выражения (1) для расчета сил диэлектрофореза и правильность выбора аналога критерия Архимеда. Расчет согласно приведенным данным подтверждает практическую возможность создания действующих на жидкость диэлектрофоретических перегрузок величиной 10^{-2} — 10^{-4} .

Авторы благодарят Р. К. Калнина, Б. А. Иоффе и Б. Л. Жейгура за участие в эксперименте.

Поступило
20 I 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Дж. А. Страттон, Теория электромагнетизма, М., 1948. ² Р. Б. Розенбаум, О. М. Годес, ДАН, 115, № 3, 504 (1957).