

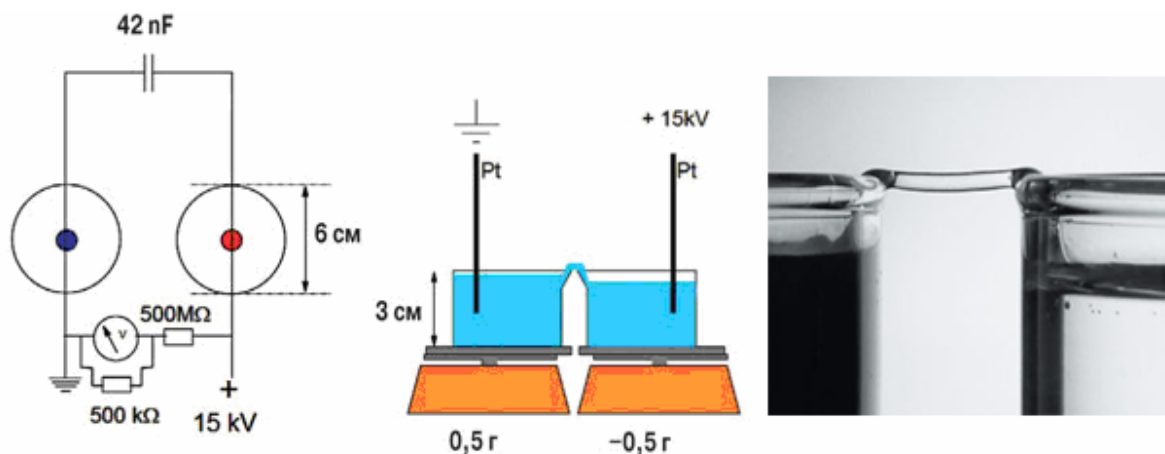
О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВОДНОГО МОСТИКА

В.В.Кузнецов

«Кристаллическая структура», аналогичная той, которая возникает в пылевой кристаллической плазме, является возможной причиной устойчивости водяной перемычки (мостика) между двумя емкостями с водой под воздействием напряженности постоянного электрического поля.

Введение

В 2007 появилась статья, описывающая интересный эксперимент, в котором возникал и устойчиво существовал водяной мостик между двумя мензурками, в которые налита вода и помещены платиновые электроды (рис.). На электроды подается постоянное напряжение порядка 15-20 кВ. В начале эксперимента мензурки стояли рядом, касаясь стенками. При подаче напряжения вода в обеих мензурках стала подниматься по соприкасающимся стенкам мензурок до тех пор, пока оба водных потока, движущихся навстречу друг другу, не соединились. После этого мензурки раздвигались, - между ёмкостями образовывалась водяная перемычка («мостик») круглого сечения диаметром 2—4 мм, достигающая длины в 2-3 см. Если к мостику подносили заряженную электрическую палочку – он разрушался, а на поверхность стола падали капли воды. В течение эксперимента вдоль перемычки (мостика) происходило течение воды из мензурки с положительным электродом в мензурку с – отрицательным (Fuchs et al., 2007). Эта публикация вызвала большой интерес у ученых. Вслед за ней появилось большое количество работ как повторяющих эксперимент, так и предлагающих различные объяснения.



Рисунок

На наш взгляд, в этом эксперименте вода приобретает особые упругие свойства, аналогичные тем, которые были зафиксированы в экспериментах с плазмой газового разряда, в которую искусственно вводились диэлектрические частицы (пылинки) размером 7 мкм. Эти частицы заряжались и выстраивались в структуру, подобную кристаллу. Такая плазма получила название кристаллической плазмы, или «плазма-кристалл».

Упругие свойства кристаллической пылевой плазмы.

Начиная с выхода работы (Thomas et al., 1994) внимание многих исследователей привлекло экспериментально обнаруженное необычное состояние вещества, названное пылевой кристаллической плазмой (ПКП), или плазма - кристаллом. Кристаллическая плазма образуется при искусственном или естественном введении в область газового

разряда пылевых частиц, которые обычно приобретают отрицательный заряд (Z) равный нескольким сотням зарядов электрона, и, выстраиваясь на равных дистанциях, - создают гексагональную кристаллическую структуру. Размер пылинки варьируется от долей микрона до десяти и более микрон, а расстояние между ними составляет несколько сотен микрон (Melzer et al., 1994).

ПКП не является каким-то особым экзотическим состоянием вещества. Считается, например, что она может присутствовать в лабораторных установках, предназначенных для исследования реакции термоядерного синтеза. Принято считать, что ПКП присутствует в космосе и, к примеру, является одним из главных компонентов пылевых туманностей и планетарных колец. Обнаружено присутствие пылевых частиц в непосредственной близости от Солнца, что может говорить об их относительной устойчивости и т.д.

В эксперименте (Nosenko et al., 2002; Piel et al., 2002) в ПКП обнаружены и измерены скорости акустических волн сжатия (P) и сдвига (S), что дает основания полагать наличие упругих свойств пылевой плазмы.

Упругость мостика

Самое простое и логичное объяснение устойчивого состояния мостика может состоять в том, что экспериментаторам удалось создать квазитвердость воды, например путем образования «кристаллической воды» или «квазильда». Эту идею можно было бы проверить путем наблюдения прохождения звука через водный мостик от импульсного источника звука длительностью порядка микросекунды. Если бы в таком эксперименте удалось измерить скорости звука и при этом удалось бы зарегистрировать факт прохождения волны сдвига (S-волны), то этот факт может говорить, что мы имеем дело не совсем с жидкостью, а, скорее, со средой, которая может сохранять форму такого мостика, т.е с квазитвердой средой.

Предпосылки

Рассмотрим предпосылки в поддержку высказанной идеи возможности приобретения водой упругих свойств. В частности, оценим роль электрического поля в этом эксперименте.

1. *Ионизация.* Приводит к образованию в воде ионов H^+ и O^- , однако, т.к. эти ионы обладают очень малым временем жизни, правильнее говорить о гидроксонии – H_3O^+ и гидроксиле - OH^- .

2. *Квантовая запутанность.* Реализует квантовую связь между протонами водородных связей между молекулами воды, водными комплексами и ионами. Квантовая запутанность может быть одной из причин проявления водой т.н. кооперативных свойств, что, в конечном счете, приводит к образованию огромных отрицательно заряженных кластеров воды. При этом нарушается баланс между ионами гидроксония и гидроксила, участвующего в образовании огромных водных комплексов. В результате вода оказывается в целом заряженной положительно.

3. *Давление.* Электрическое поле, приложенное к двум электродам, в пространстве двух водных промежутков может создавать дополнительное давление p между электродом и стенкой сосуда. Напряжение E , если считать расстояние между электродами порядка 1 см. а величину напряжения 25 кВ, оказывается очень большим: $E = 2.5 \cdot 10^6$ В/м. Такое напряжение создает в поверхностном слое воды давление $p \approx \epsilon \epsilon_0 E^2$. Величина давления оказывается совсем не малой и может достигать величины порядка 10^4 дин/см². Величина давления, как известно, равна $p = \sigma/R$, где σ поверхностное натяжение, а R – радиус кривизны поверхности. Полагая R равным 1 см, получаем величину поверхностного натяжения 10^4 дин/см, что на два порядка больше σ_0 воды.

4. *Высота подъема.* Оценим высоту подъема H такой «воды» за счет дополнительного давления p выше начального уровня: $H = 2\sigma \cos \theta / \rho g$, где θ - угол подъема, ρ - плотность

воды, r - радиус капилляра, g - сила тяжести. Высота подъема может оказаться значительно выше начальной. По-видимому, это и есть причина поднятия воды на начальном этапе возникновения мостика. С учетом уменьшения величины угла θ , величина поверхностного натяжения может быть ещё больше.

Из формулы: $H = 2\sigma \cos \theta / \rho r g$ получаем зависимость: $E^2 \sim g$. Примерно такая зависимость наблюдалась экспериментально в самолете при его свободном падении (Fuchs et al., 2011).

5. *Размер кластеров.* Коэффициент поверхностного натяжения σ можно определить через внутреннюю энергию U :

$$\sigma = U \left(\frac{M^{1/3} \rho^{2/3}}{6N^{1/3}} \right).$$

Здесь M - молекулярная масса, кг/моль, ρ - плотность жидкости, N - число Авогадро, ккал/моль.

Радиус «молекулы» $R = \left(\frac{M}{8N\rho} \right)^{1/3}$. Подставляя первое во второе, получаем зависимость

размера $R \sim \sigma / \sigma_0$, где σ_0 - вязкость обычной воды. Размер кластера больше «молекулы» воды примерно на два - три порядка и может достигать 1-10 мкм.

6. *Перетекание воды.* Во время эксперимента в анодном объеме уровень воды понижается, а в катодном - растет. Начальная величина pH воды в обоих сосудах была равной 5. По прошествии некоторого времени pH уменьшился до 4 в катодном объеме и вырос до 9-10 - в анодном (Woissetschläger, 2009). Согласно нашей модели, вода, перетекающая из анодного объема в - катодный, насыщена ионами гидроксония (H_3O^+). Это, естественно, вызывает понижение величины pH в этом объеме и увеличение её в анодном.

Заключение

Таким образом, известные результаты экспериментов с водным мостиком не противоречат нашей феноменологической картине явления. Ситуация стала бы более надежной, если бы удалось обнаружить распространение сдвиговых волн через мостик, во-первых, и, во-вторых», расположив конденсатор с верхней обкладкой в виде сетки - ниже мостика и подав на обкладки этого конденсатора высокое напряжение: «+» на верхнюю, и «-» на нижнюю, удалось бы остановить падение отрицательно заряженных капель воды (т.е. заставить их ливитировать), образующихся при разрушении мостика, как это следует из модели. Если бы этот эксперимент удался, возможно, экспериментаторы, зная размер падающей капли, смогли бы оценить электрический заряд капли.

Автору не известны случаи наблюдения «кристаллической структуры» в воде. В тоже время, идея возникновения «кристаллических структур» типа плазма-кристалл в облаках - высказывалась неоднократно, в частности, как некий механизм образования серебристых и перламутровых облаков. Получившаяся в эксперименте под воздействием электрического поля вода - перенасыщена водородными связями, что характерно для льда и талой воды. Как известно, протоны водородных связей, при соблюдении определенных условий, способны запутываться между собой, обеспечивая структуре - дальний порядок.

Автор работы (Yoon, 2003) определил состояние воды в биологических объектах как hot quantum liquid. Следуя этой логике и учитывая смысл нашей идеи, такое состояние можно назвать как квантовый кристалл. Между кристаллом и жидкостью есть качественное различие, состоящее в том, что у кристалла существует дальний порядок в расположении атомов, а у жидкости он отсутствует. Квантово запутанная жидкость, в отличие от обычной жидкости, дальним порядком - обладает.

Литература

- Elmar C. Fuchs E. C. et al. The floating water bridge, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 40 (2007).
- Elmar C. Fuchs E. C. et al. The behavior of a floating water bridge under reduced gravity conditions, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 44, 2 (2011)
- Melzer A., Trottenberg T., Piel A. Experimental determination of the charge on dust particles forming Coulomb lattices. *Phys. Lett. A.* 1994. V. 191. P. 301-308.
- Nosenko V., Goree J., Ma Z.W., Piel A. Observation of shear-wave mach cones in a 2D dusty-plasma crystal. *Phys. Rev. Lett.* 2002. V. 88. P. 135001-4.
- Piel A., Nosenko, Goree J. Experiments and molecular-dynamics simulation of elastic waves in a plasma crystal radiated from a small dipole source. *Phys. Rev. Lett.* 2002. V. 89. P. 085004.
- Thomas, H., Morfill G.E., Demmel V. et al. Plasma crystal: coulomb crystallization in dusty plasma. *Phys. Res. Lett.* 1994. V.73. P. 652-655.
- Winter J. A new challenge in nuclear fusion research? *Phys. Plasmas* 2000. V. 7. P. 3862-3866.
- Woissetschläger J., Gatterer K., Elmar C. Fuchs, Experiments in a floating water bridge, Manuscript, *Experiments in Fluids*, Springer, 2009. V.48, P. 121-131.
- Yoon B.J. Is Liquid Water a Hot Quantum Fluid? *Anomalies of Water in Thin Liquid Films and in Biological Systems.* Korean Chem. Soc. **2003**, Vol. 24, No. 8. P. 1211-1214.