

КАНАЛЫ В ЖИДКОСТЯХ ПРИ ИХ ВРАЩЕНИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАЗРЯДОВ, ТОКОВ, ПОТОКОВ ЧАСТИЦ, ИЗЛУЧЕНИЙ И ПОНИЖЕНИЯ ПОРОГОВ ПРОБОЯ

Г.А.Аскарьян, А.В.Юркин

Институт общей физики РАН

117942 Москва, Россия

Поступила в редакцию 21 ноября 1996 г.

После переработки 8 января 1997 г.

Исследовано образование газовых каналов в жидкостях при их вращении и обсуждено применение таких каналов в качестве капилляров мощных разрядов лазеров рентгеновского диапазона, для проведения потоков частиц, излучений, понижения порогов пробоя, в том числе с использованием металлонасыпок, для структурных систем для генерации микрорадиоволн, ускорения частиц, для фотохимического и ударного воздействия на жидкости и т.п. Отмечена возможность изготовления трубчатых активных элементов и образцов при затвердевании и кристаллизации при вращении.

PACS: 07.57.-с, 41.60.-m, 42.55.-f

Создание газовых каналов в жидкостях представляет большой интерес для экспериментальной и прикладной физики высоких плотностей энергии, так как они позволяют осуществить многократно используемые мощные капиллярные разряды (например, рентгеновских и других лазеров) с самовосстанавливающимися капиллярами без обычно наблюдаемых ухудшений свойств и повреждения поверхностей стенок, особенно при поверхностных пробоях, для проведения пучков частиц, токов, понижения порогов пробоя в жидкостях, при электрогидравлическом или ультрафиолетовом воздействии на жидкость (накачка лазеров, обработка воды, масел, фотохимия) и т.п.

Мы провели простые эксперименты по созданию газовых каналов в жидкостях при вращении жидкостей и при обтекании жидкостью различных тел.

В жидкость (вода, вакуумные масла, спирт) вводился или оставлялся пузырек газа необходимого состава (в случае малого давления насыщенных паров или малого содержания растворенного газа), и жидкость приводилась во вращательное движение или вращалась, протекая через спиральные структуры.

1. **Формирование газового канала в жидкости в трубе при ее вращении.** Цилиндрическая стеклянная трубка, заполненная жидкостью с введенным или оставленным пузырьком, укреплялась на оси или соединялась с осью электромотора и приводилась во вращение с частотой $f = 50$ или 100 Гц. За доли секунды пузырек газа срывался с места, устремлялся к оси и растекался тонким каналом вдоль всей оси. Диаметр канала зависел от количества жидкости или количества газа. В случае замкнутого сосуда объем жидкости практически не менялся (так как вращательное центробежное давление мало меняло объем жидкости из-за ее малой сжимаемости) и объем канала определялся объемом введенного газа или неполнотой заполнения жидкостью. При этом диаметр канала мог легко быть доведен до 1 мм. Длина канала доходила до 20 см. Он мог быть изменен и подбором отверстия на оси. При нормальном вращении (без биений и децентровки) канал получался стабильным и ровным. На рис.1

дана фотография такого устройства с вакуумным маслом во вращении с каналом диаметром 1 мм и длиной 4 см. Из-за больших величин центробежного ускорения

$$a_{\perp} \approx (2\pi f)^2 r > 10^5 r > 10^4 \text{ см/с}^2 \gg g_0 \approx 10^3 \text{ см/с}^2 \text{ при } r > 1 \text{ мм}$$

образование канала практически не зависело от ориентации оси вращения относительно направления силы тяжести. Такие же результаты были получены и с водой и спиртом. Движение введенного пузырька и экстракция ненужного газа откачкой из вращающейся жидкости происходили гораздо быстрее, чем при всплывании под действием сил тяжести. Обратим внимание на возможные малые радиусы канала и гладкость его стенок, необходимых для однородного разряда, столь желательных для рентгеновских лазеров.

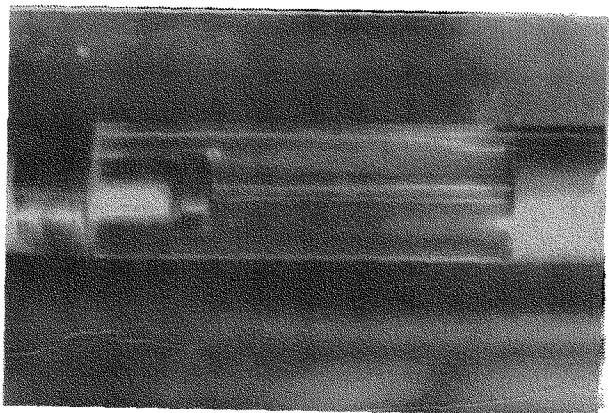


Рис.1. Фотография газового канала на оси вращающейся жидкости. Диаметр канала 1 мм. Скорость вращения 100 Гц. Жидкость - вакуумное масло. Газ - воздух

Предельно допустимые диаметры канала можно оценить, приравняв стягивающее давление поверхностного натяжения $P_{\text{пов}} \approx \sigma/r$ отбрасывающему давлению центробежного $P_{\text{цб}} \approx \rho\omega^2\Delta$, где σ - поверхностное натяжение, ρ - плотность жидкости, Δ - толщина слоя жидкости. Таким образом, $r_{\text{min}} \sim \sigma/\rho\omega^2\Delta$ или при $\Delta \approx 10r$ получим $r_{\text{min}} \approx \omega^{-1}\sqrt{\sigma/10\rho} \approx 10^{-2}$ см, для наших частот вращения.

2. Формирование канала при движении жидкости. Были исследованы образования газового канала при вращении и движении жидкости через спиральные элементы. Поток воды с питанием от водопроводной сети проходил через трубку диаметром 18 мм, в которую был вставлен осевой цилиндр с винтовой ребристой поверхностью, приводившей во вращение воду при ее протекании (см. рис.2). Шаг винта - 0.5 об/см длины при глубине ребер 3 мм.

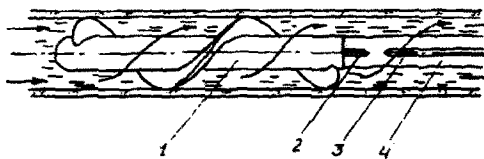


Рис.2. Схема вращения движущейся жидкости с газовым каналом на оси вращения: 1 - осевой стержень с навитой спиралью, 2 - электрод, укрепленный на конце стержня, 3 - второй разрядный электрод, 4 - газовый канал. Стрелкой показано направление прогона жидкости

При скорости потока воды всего 3–30 см/с (при диаметре трубки 18 мм и расходе воды 10^{-2} – 10^{-1} л/с) образовывался газовый канал на оси, радиус которого менялся в зависимости от скорости потока от одного до нескольких мм. По-видимому, этот канал заполнялся воздухом, растворенным в воде, он существовал устойчиво, причем длина его менялась в пределах от 0.5–5 см в зависимости от скорости потока.

Стержень с нанесенными ребрами использовался также в качестве держателя электродов при исследовании пробоев в канале. Было замечено, что и осевое тело без ребер, помещенное в проток, также дает газовые протяжки, в которых можно поместить электроды и осуществить пробой, но длина этого канала невелика при наших скоростях потока, хотя ею можно управлять с помощью насадок на конец стержня, меняющих режим обтекания и срыва потока.

3. Электрический пробой по поверхности жидкости и в газе канала. Были проведены исследования электрического пробоя между двумя электродами радиусом 1 мм, расположенными на оси вращения (см. рис.3). При образовании газового канала при вращении наблюдался пробой при напряжении пробоя воздуха. Без вращения пробой не наблюдался, так как порог пробоя в воде выше.

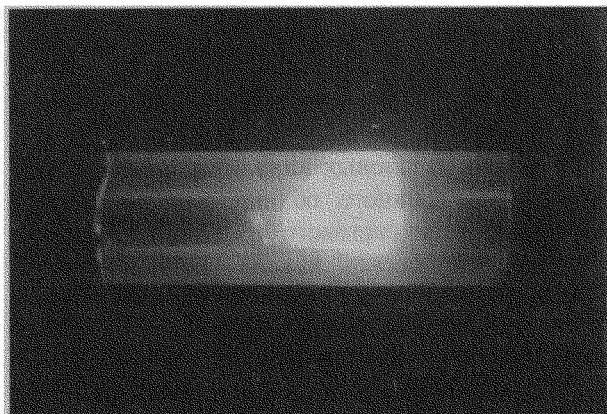


Рис.3. Импульсный электрический разряд в газовом канале во вращающейся трубке с жидкостью. Частота вращения 50 Гц. Жидкость – вода, газ – воздух. Электроды диаметром 1 мм, расстояние между ними 1.5 мм. Напряжение – 3 кВ, разрядная емкость – 0.6 мкФ

Канал выдерживает большие короткие импульсы газокINETического и абляционного давления из-за инерции жидкости и быстро восстанавливается из-за большой центробежной силы.

Ранее были исследованы пробой в воде при наличии металловзвесей и опилок, значительно понижающих порог пробоя. Эти эксперименты навели на мысль о возможности создания замыкающих взвесей со средней плотностью каждой взвеси легче плотности жидкости – например, составных металлодиэлектрических опилок (тонкий слой металла на легком диэлектрике), что и было реализовано экспериментально. Такие частицы распределялись на поверхности канала.

Были также испробованы панели – металлические насыпки, залитые эпоксидной смолой и чуть отшлифованные, а также электроды с чередующейся полярностью. Они также давали понижение порога пробоя. В этих эксперимен-

тах использовались напряжения пробоя от 1–3 кВ при емкостях 0.1–10 мкФ. Иногда для обострения пробоя и придания энерговоделению бризантного характера напряжение подавалось через разрядник или низкоомный быстрый замыкатель. В газе канала хорошо распространяется ультрафиолет, охватывая пробоем соседние электроды, это позволило также использовать последовательности электродов с чередующейся полярностью, позволившей пробивать длинные промежутки не очень высоким напряжением.

Использование взвесей, понижающих пробойный порог и позволяющих увеличить длину пробиваемого промежутка, возможно с помощью опилок, которые распределятся на поверхности канала, если их средняя микроплотность будет меньше плотности жидкости. Многоэлектродные панели можно размещать в неподвижной и во вращающейся жидкости. Использование взвесей не только понижает порог пробоя, но и позволяет расширить число рабочих сред для реализации рентгеновских лазеров (пары металлов взвесей). Кроме того, при множественном (почти сплошном), а не стримерном, разряде на цилиндрической поверхности имплозия будет более совершенна и на оси кумуляции температуры и давления будут выше.

Отметим, что мощные пучки частиц или излучения, проходящие через газовые каналы в жидкостях, могут сами поддерживать или сглаживать сечения каналов или расширять их от малых стартовых размеров.

Создание ряби на поверхности жидкости стенок канала (например, возбуждением с помощью ультразвука поверхностных капиллярных волн) позволит создать восстанавливаемые несгораемые структуры для генерации микрорадиоволн путем пропускания мощных пучков или сгустков заряженных частиц почти на/или вблизи рифленных поверхностей.

Возможно использование таких вакуумных и газовых каналов для ускорения заряженных частиц кулоновским полем электронного облака, образующегося при воздействии сверхмощного ультракороткого светового импульса, вырывающего электроны при касании светового поля стенок канала [1], требующего частого обновления поверхности канала из-за деструкции при воздействии мощного света.

Этот эффект можно использовать и в расплавах и в растворах, которые при вращении также дадут канал, который застынет при затвердевании, при охлаждении и кристаллизации. Мы продемонстрировали это в опыте с расплавами парафина и канифоли в трубке, который дал канал и застыл с ним при охлаждении. Такие трубчатые блоки активных элементов можно использовать для эффективной накачки, а также для ускорения частиц сходящейся световой волной на оси лазера [2].

Из вышеизложенного вытекают большие возможности использования газовых каналов в новых областях физики – от рентгеновских капиллярных лазеров и до генерации радиоволн и ускорения частиц, до областей химической физики – фотохимического и ударного воздействия на жидкости для обработки, очистки и обезвреживания воды, масел и других жидкостей.

1. Г.А.Аскаръян, Письма в ЖЭТФ 52, 943 (1990).

2. K.Shimoda, Appl. Optics 1, №1, 33 (1962); Лазеры, сб. статей, М.: ИИЛ, 1963. , с.458.