

В.Б. ЮФЕРОВ, д-р физ-техн. наук, нач. отд. ННЦ ХФТИ,
Харьков

Е.В. МУФЕЛЬ, м.н.с., ННЦ ХФТИ, Харьков

В.И. ТКАЧЕВ, м.н.с., ННЦ ХФТИ, Харьков

С.В. ШАРЫЙ, м.н.с., ННЦ ХФТИ, Харьков

Т.И. ТКАЧЕВА, м.н.с., ННЦ ХФТИ, Харьков

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ВОДЫ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Представлені результати дослідження розвитку розряду над поверхнею води при атмосферному тиску та вплив магнітного поля на поведінку плазмового облака (плазмоїда). Плазмоїд не володіє діамагнітним ефектом, тобто є парамагнітним.

Представлены результаты исследования развития разряда над поверхностью воды при атмосферном давлении и влияние магнитного поля на поведение плазменного облака (плазмоида). Плазмоид не обладает диамагнитным эффектом, т.е. является парамагнитным.

Изучение параметров автономных плазменных образований описано в работах [1-4]. В данной работе рассмотрено влияние внешних магнитных полей на образующееся плазменное облако (плазмоид).

Схема экспериментальной установки для изучения динамики развития плазмоидов представлена на рис. 1, где 1 – центральный электрод; 2 – заземленный электрод; 3 – соленоид, создающий внешнее магнитное поле; 4 – диэлектрическая кювета, заполненная водой.

На центральный электрод подается импульсное напряжение отрицательной полярности с амплитудой около 3 кВ. В результате разряда над поверхностью воды образуется плазмоид [5]. Для изучения его поведения использовалась видеокамера, позволяющая проводить видеосъемку со скоростью до 1000 кадр/с. Видеозапись разрядов проводилась в двух ракурсах – сверху и сбоку. В начальной стадии разряда наблюдаются кратковременные высокие разрядные токи, появление которых мы связываем с зарядом от основной батареи "водяной емкости", образованной электродами в водяном баке.

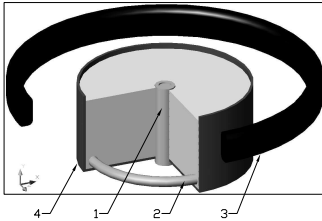


Рис. 1.

Изначально пробой разрядного промежутка происходит по поверхности диэлектрика и замыкается на воду. Далее образуется плазмоид, из тела которого вырастают токовые каналы. По мере подъема плазмоида над поверхностью воды длина токовых каналов и площадь поверхности воды охваченная ими значительно возрастают. В некоторый момент времени мы наблюдаем отрыв плазмоида от центрального электрода и в дальнейшем он существует автономно.

Следует отметить, что в данной системе при изначально небольшом потенциале, подаваемом на электроды происходит пробой значительных водных и воздушных промежутков. Этот факт объясняется тем, что при разряде "водяной емкости" на электродах появляется значительная разность потенциалов, $U=L*di/dt$, превышающая напряжение заряда конденсаторной батареи (по оценке $U \approx 60$ кВ). Это высокое напряжение и приводит к пробую промежутка, длина которого для данной системы 20 см.

На рис. 2 представлено изменение напряжения на плазмоиде, измеренное зондом на высотах 2, 4, 8, 10, 12 и 15 см от поверхности воды. В первоначальный момент времени автономный плазмоид имеет напряжение, соответствующее зарядному напряжению конденсаторной батареи. По мере его подъема оно уменьшалось. Уменьшение напряжения до 0 на 110 мс обусловлено размыканием питающего тока конденсатора.

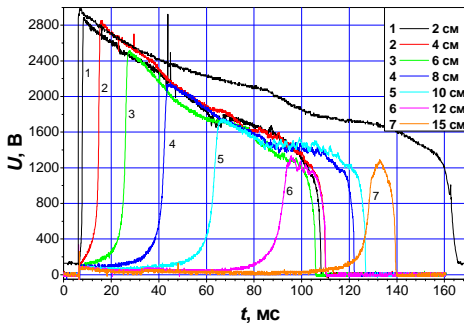


Рис. 2.

На рис. 3 представлено распределение максимумов напряжений в зависимости от высоты расположения зонда. Скорость подъема плазмоида на разной высоте над центральным электродом, приведенная на рис. 4, была определена по времени достижения им зонда.

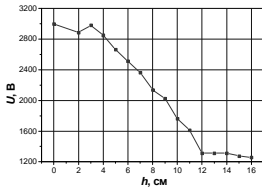


Рис. 3.

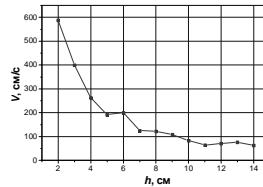


Рис. 4.

При изучении влияния внешнего магнитного поля на поведение плазмоида, магнитное поле создавалось тороидальным соленоидом, состоящим из 100 витков медного провода, с большим диаметром 575 см. Напряженность магнитного поля в центре соленоида изменялась в пределах 25-100 Э.

На рис. 5 представлена последовательность из четырех стоп-кадров видеосъемки, производимой сбоку, демонстрирующая развитие плазмоида без внешнего магнитного поля и в его присутствии. Первый стоп-кадр отображает развитие плазмоида без магнитного поля, второй и третий – в магнитном поле с напряженностью 50 Э и 100 Э соответственно.

При сравнении развития плазмоида в присутствии магнитного поля и без него следует отметить, что в магнитном поле подъем плазмоида ограничен. При этом преобладает его распространение в радиальном направлении. Обычно плазма распространяется из области сильного магнитного поля в область слабого в силу своего диамагнетизма. Здесь мы наблюдаем обратную картину, что может свидетельствовать о его парамагнитных свойствах.

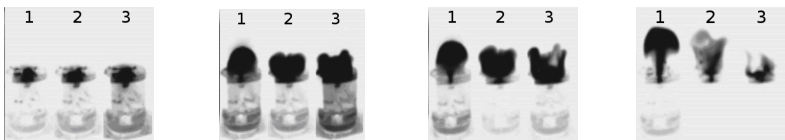


Рис. 5.

На рис. 6. приведены стоп-кадры из видеосъемки, производимой сверху, на которой видно вращение плазмоида. Первый стоп-кадр отображает случай развития плазмоида без магнитного поля, второй, третий и четвертый – в магнитном поле. При разряде в магнитном поле происходит вращение плазмоида. Также в присутствии магнитного поля отмечено увеличение светимости плазмоида и одновременное

уменьшение длительности его существования.

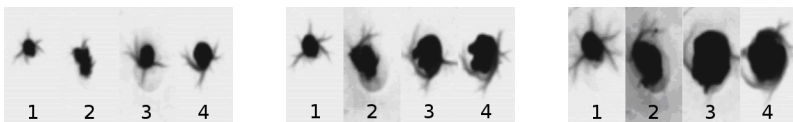


Рис. 6.

Схема установки, позволяющая дополнительно продемонстрировать пробой протяженных (до 50 см) воздушно-водных промежутков, представлена на рис. 7: 1 – центральный электрод в изоляторе; 2 – заземленный электрод; 3 – диэлектрическая кювета, заполненная водой; 4 – размыкатель; 5 – конденсаторная батарея.

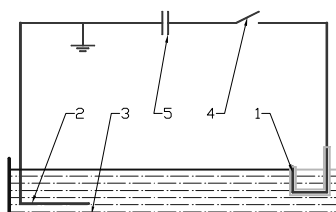


Рис. 7.

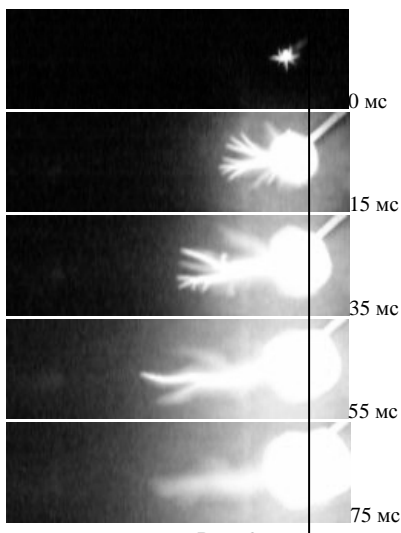


Рис. 8.

Расстояние между электродами 50 см. Длина рабочей зоны 180 см, ширина 20 см, высота 8 см. При приложении напряжения 3 кВ к центральному электроду возникающий над поверхностью воды стример достигал длины 50 см.

На рис. 8 представлена динамика развития разряда в протяженной кювете. Наблюдается смещение плазменного облака в сторону, противоположную развитию разряда (плазмод сместился вправо от оси, проведенной через центральный электрод).

Выводы. В результате проведенных исследований высказана гипотеза о причине пробоя больших воздушно-водных промежутков при разряде над поверхностью воды, заключающаяся в заряде и пробое "водяного конденсатора" и появления индуцированного напряжения $U = L \cdot dl/dt$ величиной до 60 кВ. Установлено, что внешнее магнитное поле значительно влияет на развитие плазмоида. В магнитном поле подъем плазмоида ограничен. При этом преобладает его распространение в радиальном направлении, что свидетельствует о его парамагнитных свойствах. При разряде в магнитном поле происходит вращение плазмоида, увеличение его светимости и одновременное уменьшение времени его существования.

Список литературы: 1. *Егоров А.И., Степанов С.И.* // ЖТФ. – 2008. – Т. 78. – Вып. 6. – С. 15-19. 2. *Шевкунов С.В.* // ЖЭТФ. – 2001. – Т. 119. – С. 485-508. 3. *Шевкунов С.В.* // ДАН. – 2001. – Т. 379. – С. 181-186. 4. *Versteegh A., Behringer K., Fantz U., Fussmann G., Juttner B. and Noack S.* Long-living plasmoids from an atmospheric water discharge // Plasma Sources Science and Technology. – Institute of Physics and IOP Publishing Limited. – 2008, Volume 17. – Issue 2 – PP 1-8. 5. *Юферов В.Б., Муфель Е.В., Ткачев В.И., Шаповал А.Н., Шарый С.В.* О некоторых особенностях плазменных разрядов над поверхностью воды // Вестник Национального технического университета "ХПИ", – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – №41. – С. 155-162.



Юферов Владимир Борисович, профессор, доктор технических наук, начальник отдела, ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ", yufarov@kipt.kharkov.ua. Защитил диплом инженера по специальности физика на физико-математическом факультете ХГУ, диссертацию кандидата и доктора физико-математических наук по специальности экспериментальная физика, соответственно в 1967, 1977 гг.

Научные интересы: проблемы использования ядерных материалов и ядерных и радиационных технологий в сфере развития отраслей экономики, научные исследования в области атомной науки и техники.



Муфель Евгений Владимирович, младший научный сотрудник ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ"; Февраль 1983 Харьковский политехнический институт, по специальности Криогенная техника.



Ткачев Виталий Иванович, младший научный сотрудник ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ", окончил НТУ "ХПИ" в 2002 г., по специальности техника и электрофизика высоких напряжений.

Научные интересы: изучение процессов модификации металлических поверхностей различных конфигураций плазменным методом и сильноочными электронными пучками, исследование параметров долгоживущих плазменных ступков образующихся в атмосфере и вакууме.



Шарый Сергей Владимирович, младший научный сотрудник ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ". Защитил диплом инженера-физика по специальности защитные покрытия и материалы реакторостроения на физико-техническом факультете ХГУ в 1995г.

Научные интересы: физика плазмы, сепарация вещества на изотопы из плазменного состояния.



Ткачева Татьяна Ивановна, младший научный сотрудник ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ", окончила НТУ "ХПИ" в 2010 г. по специальности "Техника и электрофизика высоких напряжений".

Научные интересы: физика плазмы, зондовые методы диагностики плазмы.

*Поступила в редколлегию 3.11.2010
Рецензент д.т.н., проф. Болух В.Ф.*