

UOT 533.951.537.52

**ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НА ПРОБОЙ ГАЗА В ДЛИНИХ ТРУБКАХ****Г.М.САДЫХ-ЗАДЕ, М.Н.АГАЕВ, Х.А.ГАСИМЛИ**
Бакинский Государственный Университет
gulara.sadiqzade@gmail.com, agayevm50@mail.ru

В данной работе изучено влияние магнитной индукции на распространение волны ионизации. Показано, что изменение распределенной емкости по длине трубки не оказывает существенного влияния на скорость фронта ионизации, если первоначальные емкости C_0 , с которых стартует волна, имеют одно и те же значение. При этом имелось в виду, что емкость вдоль трубки или равномерно увеличивается, или равномерно уменьшается. Установлено, что при всех исследованных разрядных условиях скорость фронта не зависит от величины индукции магнитного поля.

Ключевые слова: пробой газа, продольное магнитное поле, волна ионизации, скорость фронта ионизации.

Впервые влияние однородного магнитного поля на процесс развития разряда в длинной трубке исследовалось авторами работ [1, 2]. Эксперименты [1,3] проводились в инертных газах Ar и He при наличии предварительной ионизации и давлениях от 0,2 до 9 Тор. При подаче между поджигающим электродом (п.э.) и обкладками в виде колец, создающими равномерно распределенную емкость, синусоидального напряжения $U(t)$ пробой газа в течение каждого периода колебаний осуществлялся дважды: как на участке возрастания $U(t)$, когда происходила зарядка стенки, так и при убывании $U(t)$, сопровождающемся разрядкой стенки.

В настоящей работе приводятся результаты проведенного экспериментального исследования воздействия магнитного поля на развитие разряда в длинной трубке с переменной распределенной емкостью. Рассмотрено, какие изменения вносит внешнее продольное магнитное поле в основные характеристики исследуемого разряда.

Экспериментальная установка и методика измерений. Эксперимент проводится в стеклянной газоразрядной трубке, длина которой 0,8 м, а внутренний диаметр 0,32 м. Газоразрядная трубка заполняется арго-

ном до давления $P = 1,2$ Тор. Аргон выбирался как наиболее часто используемый в люминесцентных лампах, моделью которых являлась наша газоразрядная трубка. По всей длине трубки расположены обкладки из алюминиевой фольги. Ширина этих обкладок составляет $3 \cdot 10^{-2}$ м, а расстояние между ними 10^{-2} м. Первые три кольца надеты непосредственно на трубку, а между остальными обкладками и трубкой имеются диэлектрические прокладки, толщина которых меняется от $2 \cdot 10^{-4}$ до $1,0 \cdot 10^{-8}$ м. Это сделано для того, чтобы по мере удаления обкладок от поджигающего электрода, емкость обкладок уменьшалась. Разница между емкостью первой обкладки и последней составляет ~ 20 раз. Эти обкладки образуют вдоль трубки емкость $C_1 \div C_{12}$. Соответственно условия у ПЭ, с которых начинала свое движение волна, существенно различались.

Обкладки соединялись с общей заземленной шиной через зарядное сопротивление $R = 5$ кОм, смонтированное на штекерных гнездах таким образом, что при подключении любого из них ко входу осциллографа С8 – 2 остальные кольца оставались замкнутыми накоротко. Ждущая развертка осциллографа запускалась от генератора или первого от ПЭ кольца. Обкладки последовательно подключались к входу осциллографа. По величине импульсов тока в цепи определялся заряд q_0 , приходящий на единицу длины. Для регистрации свечения использовался фотоумножитель типа ФЭУ – 19 со светопроводом, свободно перемещающийся вдоль трубки. Скорость фронта определялась по запаздыванию как импульсов тока с обкладок, так и световых импульсов с ФЭУ. При этом получены одинаковые результаты.

Схема экспериментальной установки представлена на рис 1.

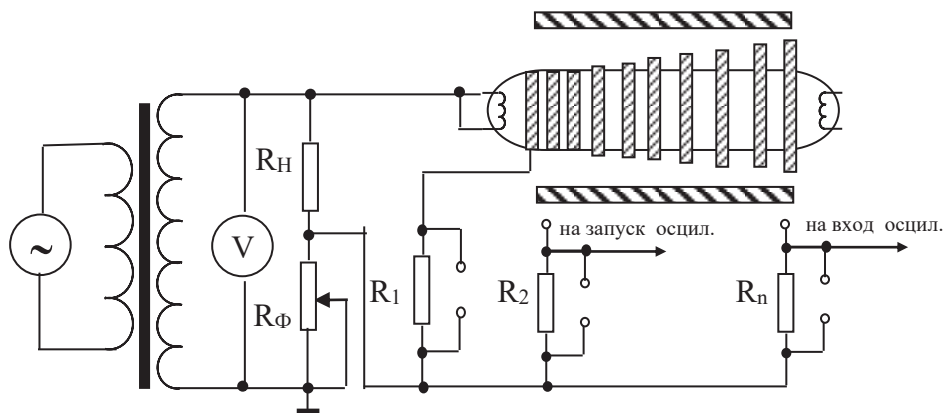


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

Исследовалась волна ионизации, распространяющаяся как в сторону увеличения C_0 , так и в сторону её уменьшения, в зависимости от

того, на какой из электродов подается питающее напряжение.

Результаты измерений. Многочисленные измерения показали, что так же, как это впервые было вначале установлено для «медленных» волн в трубках с постоянной C_0 [1], а затем и для «высокоскоростных» волн ионизации [3], скорость v распространения фронта ионизации вдоль трубки с переменной погонной емкостью не зависит от индукции магнитного поля B . Этот факт характерен и для случая, когда волна распространяется в сторону уменьшения значения емкости C_0 , и при движении в сторону ее увеличения, независимо от начальных условий.

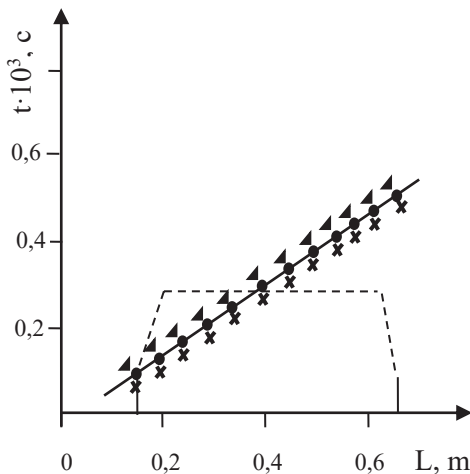


Рис. 2. Зависимость времени перемещения фронта ионизации от расстояния до п.э.

Рассмотрено, какие изменения вносит внешнее продольное магнитное поле в основные характеристики исследуемого разряда.

Подобная картина наблюдалась и в обратном направлении распространения фронта ионизации, хотя в случае, когда разряд развивался в сторону увеличения емкости и стартовал с минимальной C_0 , численные значения скорости были выше.

Для того, чтобы исследовать воздействие неоднородного магнитного поля на скорость фронта, были проделаны специальные измерения скорости фронта по времени сдвига импульса в цепи обкладок, когда часть их попадала в область неоднородности магнитного поля на выходе из соленоида. Для этого соленоид сдвигался относительно трубки, так, чтобы вблизи его торцов располагалось несколько обкладок. Оказалось, что скорость не меняется и при движении фронта через область неоднородного магнитного поля на входе и выходе из соленоида. Результаты этих измерений при давлении 0,27 Тор, параметрах генератора 1000 В и

120 Гц представлены на графике времени прохождения фронта вдоль трубку при различных значениях магнитной индукции \mathbf{B} в области однородного поля внутри соленоида: 0, 360 и 1560 Гс (рис. 2). На этом же рисунке, для наглядности, пунктирной линией показано измеренное распределение индукции магнитного поля вдоль оси внутри соленоида и его расположение относительно разрядной трубки. Видно, что область неоднородности распространяется на расстояние по 8 см внутрь соленоида от его краев, так, что часть обкладок попадает в эту область. Оказалось, что скорость не меняется и при движении фронта через область неоднородного магнитного поля на входе и выходе из соленоида.

Таким образом, неоднородное магнитное поле, так же, как и однородное, не влияет на величину скорости фронта ν , независимо от того, в каких разрядных условиях и при каких режимах происходит его распространение. Остальные закономерности, характерные для скорости волны, распространяющейся в трубке с переменной распределенной емкостью, остаются прежними при наличии магнитного поля: если начальные значения C_0 у п.э. одни и те же, скорость ν не меняется при изменении направления движения волны, т.е. не зависит от того, увеличивается, или уменьшается емкость C_0 по длине. Если же стартовые значения C_0 различны, то скорость ν выше там, где начальная емкость меньше. По длине же трубки скорость фронта не меняется при всех исследованных разрядных условиях.

При анализе вышеизложенных результатов можно сделать следующий вывод о том, что изменение распределенной емкости по длине трубки не оказывает существенного влияния на скорость фронта ионизации, если первоначальные емкости C_0 , с которых стартует волна, имеют одно и те же значение. При этом имелось в виду, что емкость вдоль трубки или равномерно увеличивается, или равномерно уменьшается. Установлено, что при всех исследованных разрядных условиях скорость фронта не зависит от величины индукции магнитного поля.

Основные закономерности, экспериментально установленные в настоящей работе, находят как качественное объяснение в рамках современной теории двумерных ионизирующих солитонов поля, [6] так и оригинальную интерпретацию. Независимость ν и E_0 от магнитного поля связана с пропорциональностью проводимости плазмы за фронтом и зарядом стенок в движущемся фронте ионизации, являющимся единственным источником плазмы [4,5].

В отличие от скорости перемещения фронта ионизации, величина импульсов тока с обкладок шириной в диаметр трубки, надетых вдоль ее длины, существенно меняется в магнитном поле. С увеличением магнитной индукции \mathbf{B} величина импульсов растет за счет увеличения их длительности и некоторого роста амплитуды. В результате плотность заряда,

приходящего на 1 см длины трубки q_0 , определяемая импульсом одной из обкладок, растет с V , причем это характерно как для волны, распространяющейся вдоль трубки с увеличивающейся по длине емкостью C_0 , так и в направлении ее уменьшения. Такая закономерность впервые была отмечена в трубках с постоянной по длине погонной емкостью для «медленных» волн ионизации в [1], а позднее обнаружена и в системах, где фронт распространялся с высокими скоростями [2], хотя там непосредственно измерялся не заряд q_0 , а другая величина - зависимость от времени полного продольного тока $I(t)$, прошедшего через разрядный промежуток.

Зависимости, полученные в настоящем эксперименте для заряда q_0 в трубке с переменной распределенной емкостью показаны на рис.3 и 4. Они сняты при давлении $p = 0,27$ Тор, напряжении 1000 В, частоте питающего напряжения 80 Гц. Основной особенностью в данном случае, в отличие от трубок с постоянной по длине распределенной емкостью, является тот факт, что плотность заряда q_0 не остается постоянной вдоль трубки, как это было в [6,7], а меняется. Поэтому одним из параметров на графиках рис.3 и 4 является расстояние от п.э. до обкладки, с которой снимается импульс: 1 – $L = 0,29$ М; 2 - $L = 0,41$ М; 3 - $L = 0,53$ М. Графики на рис. 3 относятся к случаю волны в трубке с уменьшающейся по длине распределенной емкостью, на рис.4, при тех же параметрах, отличаются направлением движения фронта ионизации. Характер зависимости q_0 от расстояния до п.э. при наличии магнитного поля остается таким же, как и в его отсутствии, т.е. q_0 или падает по длине соответственно уменьшению C_0 , или видно, что q_0 растет, а затем проходит через максимум, если движется вдоль увеличивающейся C_0 .

Следовательно, однородное магнитное поле, не меняя скорости распространения фронта ионизации, заметно увеличивает зарядку распределенной электрической емкости стенки газоразрядной трубки, сопровождающую движение фронта при пробое длинной трубки, причем это характерно для всех исследуемых разрядных условий в трубке с равномерно меняющейся распределенной емкостью.

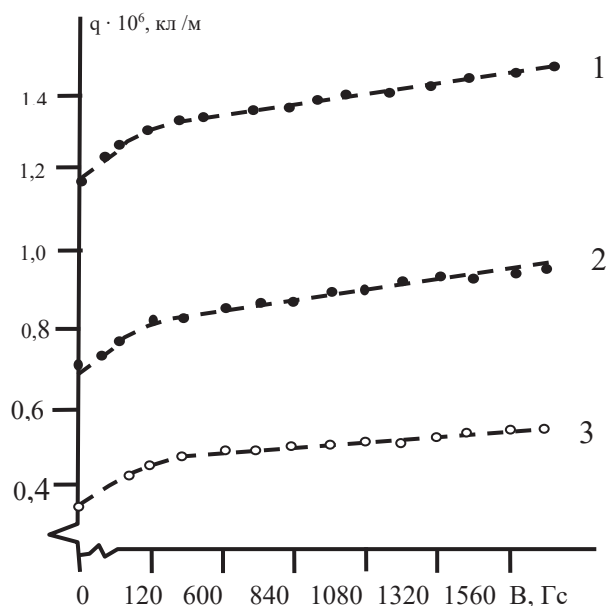


Рис. 3. Зависимость величины заряда, приходящего в импульсе на 1см длины стенки трубки от V . (в случае равномерно уменьшающейся емкости). Аргон. $U = 1000$ В; $P = 0,27$ Тор; $f = 80$ Гц. 1 – $L = 0,29$ М; 2 – $L = 0,41$ М; 3 – $L = 0,53$ М

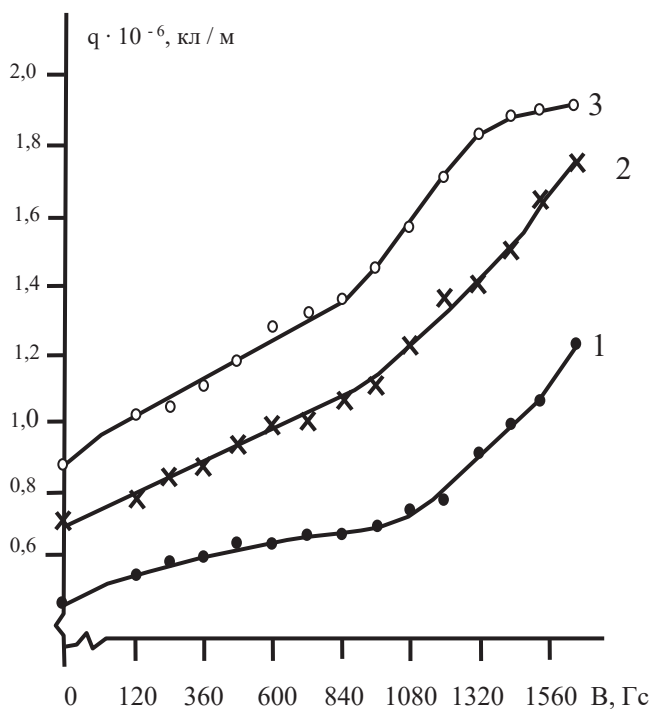


Рис.4. Зависимость величины заряда, приходящего в импульсе на 1см длины стенки трубки от V . (в случае равномерно увеличивающейся ёмкости). Аргон. $U = 1000$ В; $P = 0,27$ Тор; $f = 80$ Гц. 1 – $L = 0,29$ М; 2 – $L = 0,41$ М; 3 – $L = 0,53$ М

Обсуждение результатов

Многочисленные измерения показали, что так же, как это впервые было вначале установлено для «медленных» волн в трубках с постоянной C_0 , а затем и для «высокоскоростных» волн ионизации, скорость v распространения фронта ионизации вдоль трубки с переменной погонной емкостью не зависит от индукции магнитного поля B . Этот факт характерен и для случая, когда волна распространяется в сторону уменьшения значения емкости C_0 , и при движении в сторону ее увеличения. Иллюстрацией могут служить данные, представленные на рис.2. Исходя из этого твердо установленного экспериментального факта, можно прийти к заключению, что скорость волны определяется в основном режимом разряда и не меняется при изменении условий её дальнейшего распространения. Таким образом, емкость C_0 , по -видимому, влияет на величину скорости волны только в стадии её формирования. Решающая роль играют условия у п.э. При меньшей первоначальной ёмкости C_0 , когда из – за уменьшения ухода частиц на стенки стартовая плотность плазмы больше, заметно больше скорость фронта v . (неоднородное магнитное поле, так же, как и однородное, не влияет на величину скорости фронта v). Характерные для скорости волны, распространяющейся в трубке с переменной распределенной емкостью зависимости, остаются прежними и при наличии магнитного поля: если начальные значения C_0 у п.э. одни и те же, скорость v не меняется при изменении направления движения волны, т. е. не зависит от того, увеличивается, или уменьшается емкость C_0 по длине. Если же стартовые значения C_0 различны, то скорость v выше там, где начальная ёмкость меньше. По длине же трубки скорость фронта не меняется при всех исследованных разрядных условиях. Однако если изменение значений погонной ёмкости вдоль разрядной трубки не оказывает существенного влияния на основные закономерности пробойной волны в магнитном поле, можно распространить рассуждения, приведенные для волны в трубке с постоянной C_0 и для изучавшегося в данной работе пробоя с изменяющейся по длине распределённой ёмкостью.

Согласно экспериментальным данным продольное магнитное поле в медленной двумерной нелинейной волне ионизации может существенно влиять на размеры зоны ионизации и на плотность электрического заряда стенок трубки.

Из [7] следует, что независимость скорости ионизации от магнитного поля связана с пропорциональностью между проводимостью плазмы за фронтом и зарядом стенок в движущемся фронте ионизации. Концентрация электронов и ионов в плазме за фронтом, как следует из теории, пропорциональна заряжающему стенки току, так как общее число ионов, «рождающихся в единицу времени за счет ионизации, равно суммарному потоку ионов на стенку трубки» [9]. Сказанное справедливо, если дви-

жущейся фронт ионизации является единственным источником плазмы. Проводимость прямо пропорциональна концентрации плазмы и от продольного магнитного поля не зависит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Недоспасов А.В., Садыхзаде Г.М., Эфендиев К.И. Влияние магнитного поля на пробой в длинной разрядной трубке // ТВТ, 1983, т.21, №6, с.1062-1065.
2. Асиновский Э.И., Лагарьков А.Н., Марковец В.В., Руткевич И.М., Ульянов А.М., Филюгин И.В. // ТВТ, 1987, т. 23, № 5, с.842 – 846.
3. Садыхзаде Г. М. «Волна ионизации при пробое длинной трубки в аргоне» Fizikanın müasir problemləri, III Respublika elmi – praktiki konfransının materialları, Bakı, 2009, s.144 – 146.
4. Недоспасов А.В. О некоторых явлениях при зажигании электрических разрядов в длинных трубках // Т.В.Т., 2013, т.51, №4 . с.483 – 487.
5. Недоспасов А.В., Новик А.Е. Скорость распространения фронта ионизации при пробое длинных разрядных трубок // ЖТФ. 1960, т.30, № 11, с. 1329.
6. Лагарьков А. Н., Руткевич И. М., О распространении медленных фронтов ионизации в трубках // Т.В.Т., 1983, т.21, №6, с.1053 – 1057
7. Недоспасов А.В. О влиянии продольного магнитного поля на электрический пробой газа в длинных трубках // Инженерная физика, 2012, с.35 – 38.
8. Недоспасов А.В., Садыхзаде Г.М., Эфендиев К.И. Пробой в длинной трубке в магнитном поле // ТВТ, 1978, т.16, №4, с.673 - 678.
9. Лагарьков А.Н., Руткевич И.М., Движение пробойной волны в газе без предварительной ионизации // Т.В.Т., 1983, v.21, p.433

UZUN BORUDA QAZ ARALIĞININ DEŞİLMƏSİNƏ MAQNİT SAHƏSİNİN TƏSİRİ

G.M.SADIXZADƏ, M.N.AĞAYEV, X.A.QASIMLI

XÜLASƏ

İşdə maqnit induksiyasının ionlaşma dalğasına təsiri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, əgər başlanğıc C_0 tutumunun eyni olduğu şəraitində dalğa yayılmağa başladıqda, boru boyunca paylanmış tutum ionlaşma dalğasının yayılma sürətinə əhəmiyyətli təsir etmir. Bu zaman nəzərdə tutulur ki, paylanmış tutum boru boyunca müntəzəm olaraq ya artır və ya azalır. Bütün tədqiq olunan boşalma şəraitlərində ionlaşma cəbhəsinin sürətinə maqnit induksiyasının qiymətindən asılı olmaması təstiqlənmişdir.

Açar sözlər: qazın deşilməsi, uzununa maqnit sahəsi, ionlaşma dalğası, ionlaşma dalğasının sürəti.

INFLUENCE OF A MAGNETIC FIELD ON GAS BREAKDOWN IN LONG TUBES

G.M.SADIG-ZADA, M.N.AGAYEV, Kh.A.GASIMLI

SUMMARY

In this paper, the effect of magnetic induction on the propagation of an ionization wave is studied. It is shown that a change in the distributed capacitance along the length of the tube does not significantly affect the speed of the ionization front if the initial capacitances C_0 , from which the wave starts, have the same value. In this case, it was understood that the capacitance along the tube either uniformly increases or decreases uniformly. It is established that under all the studied discharge conditions, the front velocity does not depend on the magnitude of the magnetic field induction.

Key words: gas breakdown, longitudinal magnetic field, ionization wave, velocity of ionization front.