

НОВОЕ ЯВЛЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОКА И ПОЛУЧЕНИЕ НЕЙТРОНОВ В ЛИНЕЙНОМ САМОСЖАТОМ РАЗРЯДЕ

Л. С. Бургхардт и Р. Х. Ловберг

Для проверки влияния увеличения диаметра трубы и расстояния между электродами на свойства самосжимающегося разряда, стабилизированного магнитным полем B_z , была создана установка для изучения линейного разряда под названием «Колумб S-4». В ней была использована та же конденсаторная батарея (75 мкф, 20 кв), которая применялась в опытах с магнитными зондами, но индуктивность внешней цепи была уменьшена до 0,075 мкгн. Разрядная труба представляла собой фарфоровый («муллит») цилиндр с внутренним диаметром 12,7 см; расстояние между электродами составляло 61 см. Тщательно подобранный цилиндрический обратный токопровод, сделанный из нержавеющей стали толщиной 1,5 мм, обеспечивал ничтожную задержку во времени нарастания 2-миллисекундного продольного поля (B_z), которое создавалось внешним соленоидом при разряде через него батареи конденсаторов. Было предусмотрено радиальное введение магнитных зондов посередине между электродами.

С момента начала своей работы эта труба продемонстрировала свойства, качественно отличные от наблюдавшихся в предшествовавших опытах. Первоначальные наблюдения оптических спектров разряда проводились с помощью монохроматора с разрешением приблизительно в 1 Å, направленного вдоль оси трубы. После того как в трубе было произведено приблизительно 100 разрядов, стало невозможно обнаруживать спектры обычных примесей, таких, как кремний и кислород, ранее наступления максимума второго полупериода разрядного тока. Усиление применявшегося фотоэлектронного умножителя было на порядок больше усиления, достаточного при работе на предшествующих установках. При этом интенсивность линии H_β была значительной в начальной стадии нарастания разрядного тока и ослабевала до почти ненаблюдаемой величины вблизи первого максимума тока, оставаясь слабой вплоть до второго максимума тока, когда она вновь становилась заметной. Увеличение давления газа после каждого разряда составляло менее 5%. Условия опыта при вышеприведенных измерениях были следующими:

напряжение на конденсаторах	$= 1,5 \cdot 10^4$ в
B_z	$= 1750$ гаусс
давление дейтерия	$= 0,04$ мм рт. ст.
I_{\max}	$= 2,5 \cdot 10^5$ а
время до первого максимума тока	$= 6$ мксек

При этих условиях производились измерения полей B_z и B_r с помощью магнитных зондов в течение трех полупериодов тока батареи. Хотя воспроизводимость показаний зондов от измерения к измерению становилась плохой уже через три микросекунды, вероятно, из-за небольшого дрожания столба плазмы разброс в амплитудах осциллограмм был все еще достаточно малым, чтобы можно было построить осмысленные распределения поля и провести вычисления приблизительных давлений плазмы. На рис. 1, *a* и 1, *b* приведены значения B_z для радиуса 6,4 см (стенка трубы) и 4,4 см соответственно. На каждом рисунке изображены наложенные друг на друга осциллограммы и приведен ток батареи конденсаторов. Скорость развертки составляла 5 мксек/см. Через 3 мксек после начала разряда обнаруживается неожиданный эффект. В то время как до этого момента амплитуда зависела от радиуса, как $1/r$, что характерно для всех токов внутри радиуса 4,4 см, такая зависимость нарушается в более поздние моменты полупериода; в частности, на двух осциллограммах через 10 мксек после начала разряда амплитуды отличаются больше чем в два раза. Это указывает на существование слоя отрицательного тока на внутренней поверхности трубы.

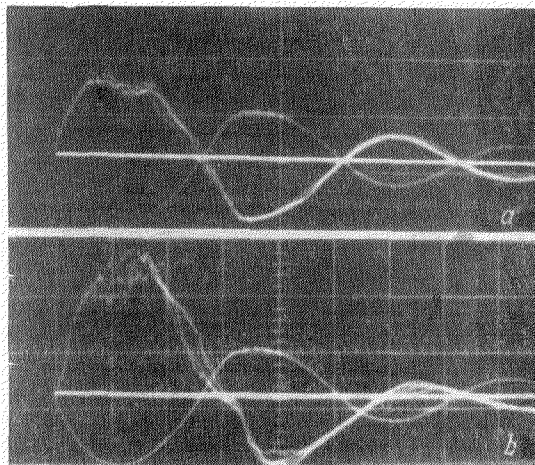


Рис. 1.

К такому же заключению можно прийти в результате сравнения амплитуд B_z при нуле тока; внутри трубы полный ток равен нулю, поскольку B_z на радиусе 6,4 см равно нулю, и в то же время около $5 \cdot 10^4$ а протекает внутри радиуса 4,4 см. Очевидно, внутри трубы имеет место циркуляция тока. В более поздней стадии развития разряда, когда ток в центральной части падает до нуля, весь ток батареи протекает по внешнему слою и последний начинает сжиматься, так что весь вышеуказанный процесс повторяется. Следует отметить, что спектр примесей появляется только при сжатии этого второго слоя; очевидно, за сравнительно долгое пребывание его вблизи стенок в этом слое накапливаются вещества, выделяемые стенками.

Расчет давлений производился для равновесного состояния посредством использования значений B_z и B_r , измеренных через 6 мксек после начала разряда, т. е. при максимальном токе. Давление плазмы на оси трубы в этот момент составляло около 12 атмосфер; если предположить, что в плазме нет примесей и что она сжата до того же радиуса, как и продольный ток, то температура должна превышать 300 эв.

Поскольку такая высокая температура при предположенной плотности на оси должна привести к легко обнаруживаемому выходу нейтронов, именно порядка 100 см^{-3} в микросекунду, была проведена серия опытов со счетчиками. Центр распределения импульсов в пластмассовом сцинтилляционном счетчике совпадал с максимумом разрядного тока, а измерения с парафином, помещенным между счетчиком и разрядной трубой, показали, что это излучение является нейтронным. Обнаруженный выход оказался слишком малым, чтобы привести к активации

серебряной фольги счетчика на величину, сколько-нибудь большую фона, и по известной калибровке счетчика было установлено, что полная интенсивность была меньше 10^5 на разряд. По числу импульсов в пластмассовых сцинтилляторах было установлено, что в некоторых разрядах возникало более 10^3 нейтронов. К моменту написания настоящей статьи выход нейтронов еще не был точно измерен. На рис. 2 приведены осциллограммы импульсов в сцинтилляционных счетчиках для нескольких последовательных разрядов наряду с осциллограммой тока конденсаторов. В этом случае напряжение на конденсаторах было повышено до 17,5 кВ.

Были проведены измерения относительных выходов нейтронов в зависимости от напряжения батареи конденсаторов V_z , давления дейтерия

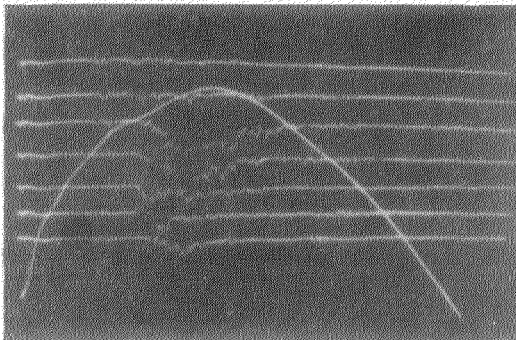


Рис. 2.

и количества примесей в газе. Выход за полупериод получался посредством интегрирования анодного тока фотоумножителя по этому времени. Для каждого состояния системы производилось 10 измерений. На рис. 3, 4, 5 и 6 относительные выходы в каждом разряде изображены в виде точек, в то время как их средние значения представлены горизонтальными черточками. Нужно заметить, что большая часть результатов, приведенных на этих рисунках, была получена при условиях, более подходящих для возникновения нейтронов, чем те, которые имели место при измерениях магнитного поля. Однако значительное число импульсов возникало в сцинтилляционном счетчике при напряжении на батарее конденсаторов в 15 кВ и магнитном поле B_z в 1750 гаусс; в типичном случае цилиндрический пластмассовый сцинтиллятор размерами $12,5 \times 12,5$ см, помещенный на расстоянии 20 см от центра трубы, давал около 10 отсчетов на разряд. При таких условиях, как на рис. 2, нейтроны образуются в интервале времени длительностью в 4 мксек вблизи максимума тока.

В то время как конфигурация разряда для случая измеренных распределений поля (напряжение батареи 15 кВ, $B_z = 1750$ гаусс), очевидно, стабильна относительно неустойчивости изгиба, а конфигурация разряда при 16 кВ и 1500 гауссах кажется стабильной, судя по первоначальным зондовым измерениям, однако нельзя заключить, являлся ли разряд стабильным при больших отношениях напряжения батареи к B_z . Необходимо поэтому допустить возможность того, что выход нейтронов при минимальных значениях B_z и максимальных напряжениях батареи является следствием какого-нибудь механизма ускорения, связанного с неустойчивостью. Даже в конфигурации, для которой приведены осциллограммы B_z , сильные неоднородности локального поля, возникающие в результате пульсации полей после достижения током максимальной величины, могли бы обусловить механизм ускорения частиц. Тем не менее ясно, что изменение выхода в зависимости от V и B_z находится в соответствии с термоядерным происхождением нейтронов, поскольку степень сжатия плазмы и плотность тока чувствительны к изменению этих параметров. Нижний предел давления газа определяется невозможностью зажечь разряд в трубке при давлениях, меньших 0,04 мм рт. ст. Примесь 5% воздуха к дейтерию уменьшала выход нейтронов больше чем в 10 раз.

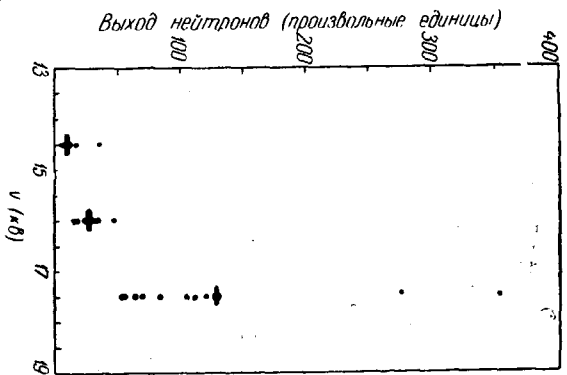


Рис. 3.

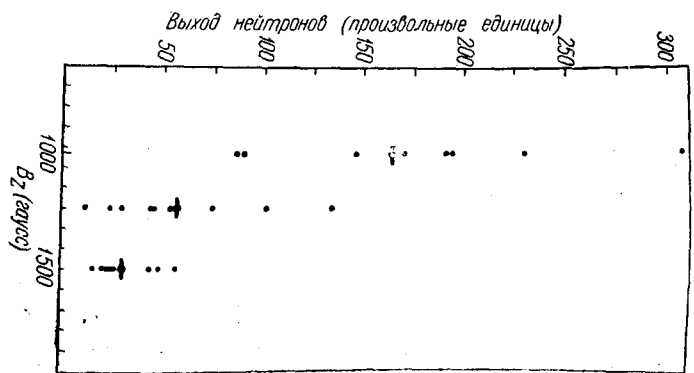


Рис. 4.

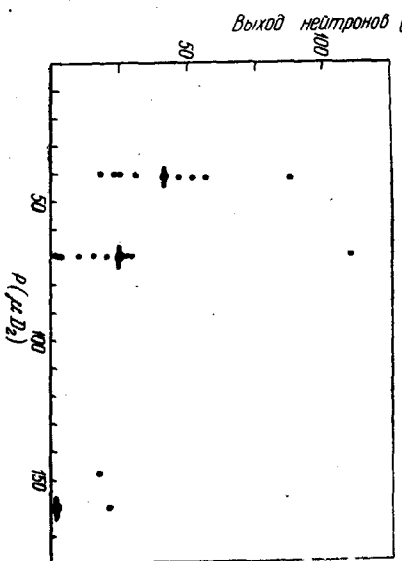
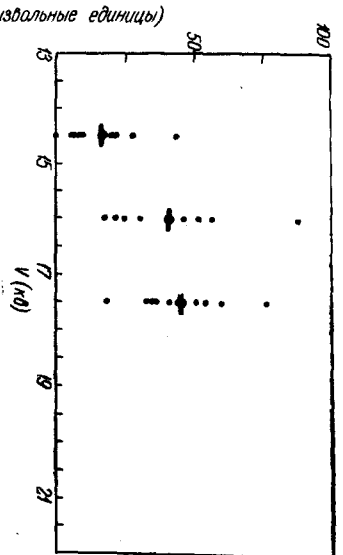


Рис. 5 (вверху). Рис. 6 (внизу).

Работы по определению устойчивости разряда при других условиях опыта продолжаются. Также будет предпринята попытка измерения степени энергетической изотропии нейтронов, поскольку анизотропное энергетическое распределение позволило в прошлом определить, что полученные в некоторых установках нейтроны были не термоядерного происхождения².

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. L. C. Burkhardt, K. L. Dunway, J. W. Mather, T. A. Phillips, G. A. Sawyer, T. F. Stratton, E. J. Stovall and T. L. Tuck J. Appl. Nucl. phys 28, 579 (1957).
2. R. E. Dunway and T. A. Phillips, Los Alamos, Report. LADC 2943 (будет опубликовано).