

**МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОМ РАЗРЯДЕ,
ЧАСТИЧНО СТАБИЛИЗИРОВАННОМ ПРОДОЛЬНОМ
МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

Л. С. Бургхардт, Р. Х. Ловберг, Дж. А. Филлипс

Путем введения в плазму миниатюрных магнитных зондов¹ изучалось распределение токов в самосжимающемся прямолинейном разряде в дейтерии. В настоящей статье, которая написана по материалам работы, выполненной к середине 1956 г., рассматривается распределение токов в самосжимающемся разряде, захватывающем и сжимающем продольное

магнитное поле, первоначально созданное в объеме трубки магнитной катушкой. Теоретическое обсуждение стабилизирующих свойств захваченного таким образом магнитного поля можно найти в других работах.

Разрядная трубка по своей конструкции была типа «Колумб»² с внутренним диаметром 6,8 см при расстоянии между электродами 30 см. Энергия запасалась в батарее конденсаторов емкостью 75 мкф на напряжение 10 кВ. Разрядка батареи на трубку производилась через 10 параллельно включенных коаксиальных кабелей, в которые ток поступает через 10 игнитронов. Такой контур имел паразитную индуктивность 0,12 мкГн, так что можно было получить максимальный ток разряда порядка $1,5 \cdot 10^5$ а.

Каждый магнитный зонд представлял собой 44-витковую катушку, намотанную проводом № 40 (0,08 мм) на каркас диаметром 1 мм. Катушка помещалась внутрь имевшей прорезь иглы от медицинского шприца.

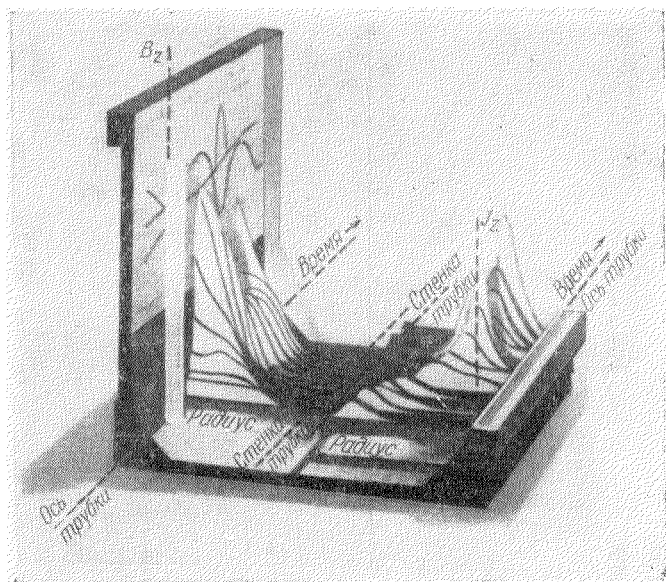


Рис. 1. Распределение магнитного поля B_z и плотности осевого тока J_z в зависимости от времени. Начальные условия: $B_z = 1000$ гаусс, давление дейтерия 0,6 мм рт. ст., $V = 10$ кВ.

Игла обеспечивала электростатическую экранировку зонда и в свою очередь окружалась кварцевой оболочкой для изоляции от плазмы. Выходной сигнал катушки интегрировался RC-цепочкой и подавался на осциллограф, развертка которого запускалась от начальной производной тока разряда.

Распределения B_0 и B_z определялись следующим образом. Для каждого фиксированного радиуса из семейства равностоящих значений радиуса фотографировались осциллограммы сигналов от зондов, соответствующим образом ориентированных в пространстве. Эти осциллограммы $B(t)$, полученные на различных радиусах, пересчитывались для построения кривых $B(r)$, отнесенных к отдельным моментам времени. Дифференцирование осциллограмм позволяло также получить распределение j_0 и j_z . Требование хорошей воспроизводимости формы осциллограмм от разряда к разряду хорошо выполнялось до момента времени примерно 3 мксек, когда разряд, недостаточно стабилизированный полем

$B_z = 1000$ гаусс, испытывал нестабильность излома и становился турбулентным, заполняя собой всю трубку.

На рис. 1, 2 и 3 представлены экспериментальные результаты для разряда в дейтерии при давлении 0,6 мм рт. ст. и первоначально приложенном продольном поле $B_z = 1000$ гаусс. Можно видеть, что разряд сжимается примерно до одной трети радиуса трубки и осциллирует около этого среднего положения. Поле B_z также сжимается, так что весь первоначальный магнитный поток остается внутри основной токовой оболочки.

Если B_z и B_0 известны во всем объеме трубки и если допустить, что самосжатый разряд находится в равновесном состоянии, давление в плазме может быть рассчитано по формуле

$$\nabla p = [jB].$$

В нашем случае самосжатый разряд не находился в полном равновесии, о чем свидетельствует наличие осцилляций около среднего положения при максимальном сжатии. Но в те моменты осцилляций, когда ускорение токовой оболочки самосжатого разряда равно нулю,

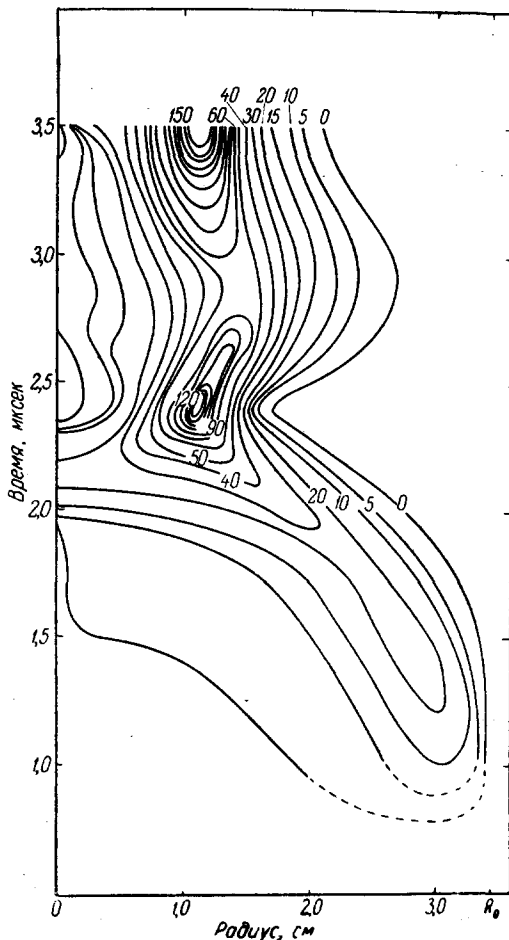


Рис. 2. Распределение плотности осевого тока J_z в зависимости от времени, представленное в виде карты горизонталей (условия разряда те же, что и для рис. 1).

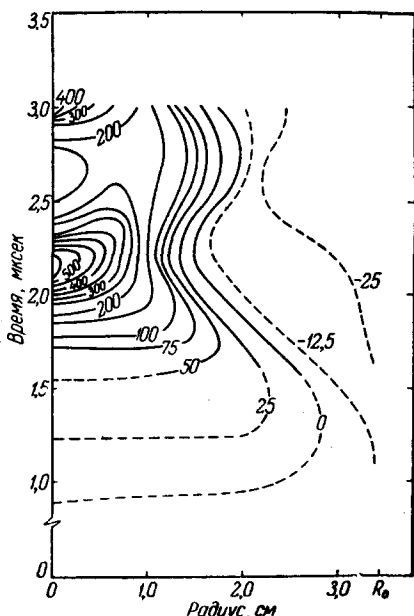


Рис. 3. Распределение магнитного поля B_z в зависимости от времени, представленное в виде карты горизонталей (условия разряда те же, что и для рис. 1).

формула все-таки применима. Вычисление давления в плазме из условия взаимного уравнивания газокINETического и магнитного давлений проводилось именно для этих моментов времени.

На рис. 4 показаны кривые $B_z(r)$, $B_0(r)$ и $p(r)$ для момента времени 2,5 мксек после начала разряда. В предположении, что весь газ был увле-

чен сжимающимся токовым шнуром, давление, указанное на рис. 4, соответствует газокINETической температуре примерно 10 эв. В последующих

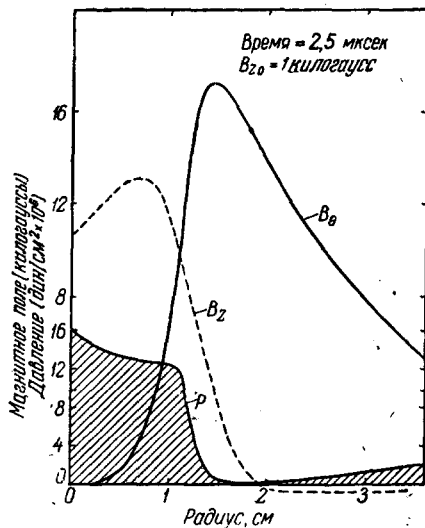


Рис. 4. Распределение напряженностей магнитного поля B_0 и B_z в зависимости от радиуса для момента времени 2,5 мксек после начала разряда (условия разряда те же, что и для рис. 1). Показана также зависимость от радиуса радиального давления, вычисленного из соображений взаимного уравнивания давлений.

стадиях разряда максимальная температура перед развалом плазменного шнура достигала примерно 40 эв.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Курчатов, Доклад в Харуэлле (май 1956 г.), см. Атомная энергия 3 (1956).
2. L. C. Burkhardt, R. E. Dunaway, J. W. Mather, J. W. Phillips, G. A. Sawyer, T. F. Stratton, T. F. Stovall, and J. L. Tuck, J. Appl. Phys. 28, 519 (1957).