

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ САМОСЖИМАЮЩИХСЯ ТЕЧЕНИЙ ПЛАЗМЫ*

А.И.Морозов, П.Е.Козров, А.К.Виноградова

В работах [1,2] было показано, что аксиально-симметричное течение плазмы под действием азимутального магнитного поля может сопровождаться значительным сжатием плазмы. Анализ этого явления, проведенный А.И.Морозовым [3] в предположении политропичности процесса, показал, в частности, что максимальная степень сжатия плазмы определяется выражением

$$\frac{\rho_{max}}{\rho_0} = [(\gamma - 1) \frac{c_{A0}^2}{c_{T0}^2}]^{1/(\gamma - 1)}, \quad (1)$$

где γ — показатель политропы ($\rho \sim \rho^\gamma$); $c_{T0}^2 = (\partial p / \partial \rho)_0$

$$c_{A0}^2 = \frac{H_0^2}{4\pi\rho_0} \gg \frac{v_0^2}{2} + \left(\int \frac{dp}{d\rho}\right)_0.$$

Нулем отмечены величины, взятые на "входе" в систему.

Расчеты по формуле (1) показывают, что при весьма скромных параметрах разряда можно получить большие степени сжатия**.

Для подтверждения существования эффекта стационарного сжатия плазменной струи был создан прибор, схематически изображенный на рис.1, который мы назвали магнитоплазменным компрессором (МПК). Рабочий газ (азот) подавался в разрядный промежуток с помощью импульсного клапана. При разряде конденсаторной батареи общей емкостью 2400 мкф, заряженной до 5 кВ, ток в максимуме достигал 450 кА с длительностью полупериода ~60 мксек. Эффект стационарного сжатия наблюдался только в том случае, когда центральный электрод был катодом.

Эксперименты показали, что степень сжатия растет с увеличением разрядного тока. Устойчивость разряда резко улучшилась после того,

как была произведена симметризация подводов, а на входной части внешнего электрода сделаны продольные разрезы, которые обеспечивали симметричное горение в зоне фронта ионизации [6,7]. Существенное стабилизирующее воздействие на старте разряда оказало наличие остаточного давления в вакуумной камере ($p_0 \sim 0,1 + 1$ мм рт.ст.).

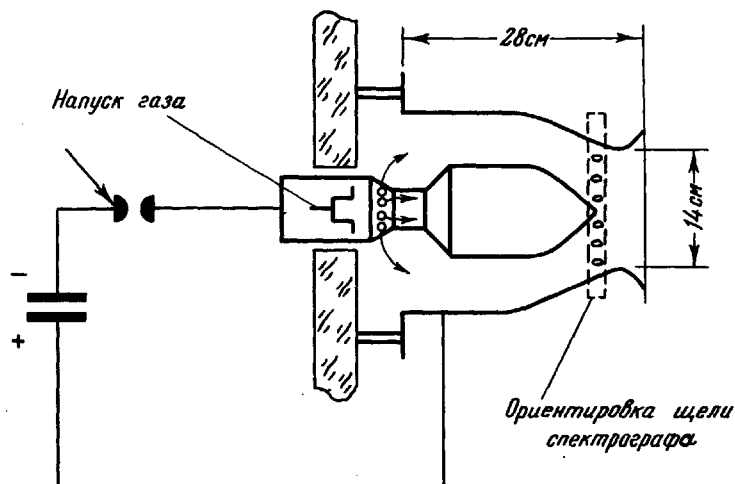


Рис.1

Во время первого полупериода разрядного тока вблизи конца центрального электрода образовывалась ярко светящаяся зона сильного сжатия плазмы $1 + 2$ см в диаметре и $5 + 7$ см в длину. За ней плазменный поток расходился с углом раствора $\sim 90^\circ$.

На рис.2 приведен отрезок СФР-граммы вблизи максимума тока, сделанный с торца прибора. Ярко светящееся пятно в центре кадра соответствует зоне сжатия плазмы ("фокусу"), а светлый ободок — кромке внешнего электрода. Съемка производилась с частотой $5 \cdot 10^5$ кадров в секунду.

Осциллограммы напряжения, измеренного непосредственно между электродами, в первом полупериоде хорошо повторили форму разрядного тока, величина напряжения в максимуме была ≤ 250 в. Выносимый ток из МПК составлял $\sim 10\%$ от разрядного, что существенно меньше его значений в обычных коаксиальных ускорителях [6,7].

Через отверстия во внешнем электроде МПК были сняты спектры свечения плазмы (рис.3). Они показали, что вне "фокуса" спектр линейчатый с малой шириной линий, а в зоне сжатия наряду с сильно уширенным линейчатым спектром наблюдается сплошной спектр. В спектре присутствуют, в основном, линии $N II$ и $N III$. Полуширина линий периферийных областей составляла $0,3 + 0,4 \text{ \AA}$, а вблизи зоны сжатия $2 + 5 \text{ \AA}$. Электронная температура, определенная по относительной интенсивности $N II$, была $\sim 2 \text{ эв}$ на периферии и росла к центру "фокуса",

достигая вблизи его величины $4 + 6 \text{ эв}$. Плотность плазмы, оцененная по эффекту Штарка, в зоне максимального сжатия $\sim (0,5 + 1,0) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, что дает степень сжатия ~ 100 .

Используя измерения T_e , можно оценить показатель политропы γ и сравнить полученные экспериментально степени сжатия с рассчитанными по формуле (1). При этом получается приемлемое соответствие.

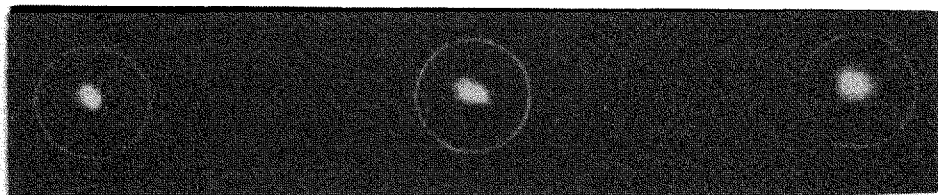


Рис.2

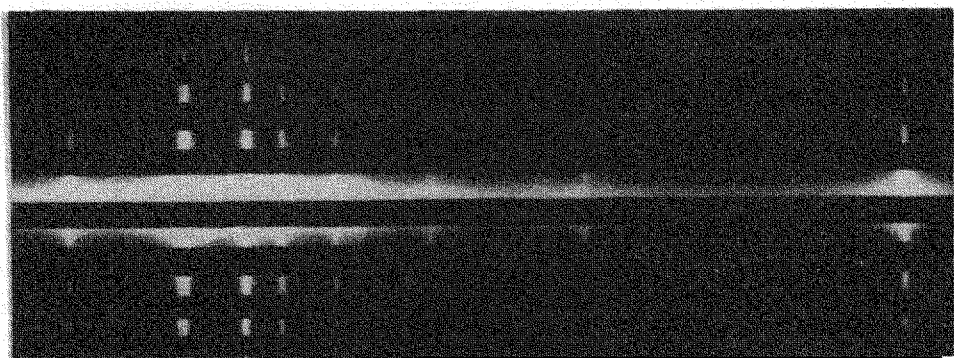


Рис.3

Таким образом, проделанная работа качественно подтвердила существование компрессионного эффекта под действием азимутального поля.

Мы благодарим Л.А.Арцимовича и Г.Я.Щепкина за поддержку настоящей работы, Н.В.Филиппова и В.П.Виноградова за ценные советы, а Ф.Н.Лебедева и А.А.Сергеева за помощь в проведении экспериментов.

Поступило в редакцию
4 января 1968 г.
После переработки
22 февраля 1968 г.

Литература

- [1] К.В.Брушлинский, Н.И.Герлах, А.И.Морозов. Механика жидкостей и газа, № 1, 1966 г.
- [2] А.И.Морозов, Л.С.Соловьев. ЖТФ, 34, № 5, 1964.
- [3] А.И.Морозов. ЖТФ, 37, № 12, 1967.
- [4] К.В.Брушлинский, Н.И.Герлах, А.И.Морозов. Доклад на Всесоюзной конференции по физике низкотемпературной плазмы. Киев, ноябрь, 1966 г.

- [5] К.В.Брушлинский, Н.И.Герлах, А.И.Морозов. ДАН СССР, 1968 (в печати).
- [6] П.Е.Ковров, А.И.Морозов, Л.Г.Токарев, Г.Я.Щепкин. ДАН СССР, 172, 6, 1967.
- [7] А.Я.Кислов, П.Е.Ковров, А.И.Морозов, Г.Н.Тилинин, Л.Г.Токарев, Г.Я.Щепкин, А.К.Виноградова, Ю.П.Донцов. Доклад на Восьмой международной конференции по ионизационным явлениям в газах. Вена, август, 1967 г.

* Материалы настоящей заметки были представлены на конференцию по термоядерному синтезу в Стокгольме (август 1967 г.).

** Проведенные в течение 1966-67 гг. расчеты на ЭВМ двумерных нестационарных аксиально-симметричных течений плазмы с конечной проводимостью подтвердили выводы работы [3], (см. [4,5]).