

ОБНАРУЖЕНИЕ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ИНJEКЦИИ ПЛАЗМЕННОГО СГУСТКА В ПОПЕРЕЧНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

К. Б. Карташев, В. И. Пистуневич, В. В. Платонов,
В. Д. Рютов, Е. А. Филимонова

При влете плазменного потока в поперечное магнитное поле должно происходить перераспределение энергии между ионной и электронной компонентами, которое теоретически рассматривалось многими авторами [1-5] на примере одномерной модели равновесного пограничного слоя между плазмой и магнитным полем. В этой модели падающий на магнитное поле поток плазмы целиком отражается от "магнитной стенки", и в образовавшемся вследствие разделения зарядов переходном слое происходит ускорение электронов и торможение ионов.

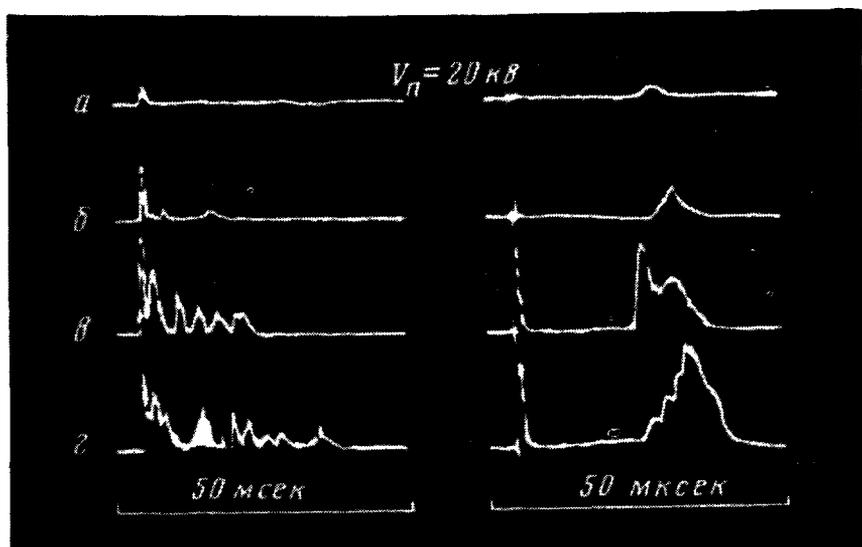


Рис. 1. Осциллограммы СВЧ излучения (слева) и рентгеновского излучения при различных значениях магнитного поля: $a - H_0 = 1,3 \text{ кэ}$; $b - H_0 = 1,7 \text{ кэ}$; $c - H_0 = 2,1 \text{ кэ}$; $d - H_0 = 2,5 \text{ кэ}$; V_n - напряжение на электродах плазменной пушки

В настоящей статье приводятся результаты наблюдений быстрых электронов, возникающих при инъекции плазменного сгустка в поперечное магнитное поле H_0 . Эксперименты проводились на установке ИНЕС [6]. Сгустки водородной плазмы с плотностью $n_e \geq 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ и скоростью $v_0 \approx 1 \cdot 10^8 \text{ см/сек}$ создавались коаксиальной плазменной пушкой, расположенной вне магнитного поля. Магнитное поле имело конфигурацию пробочного типа с пробочным отношением $R - 2,5$ и максимальной напряженностью в центре $2,5 \text{ кэ}$. Инъекция осуществлялась по радиусу ловушки в ее средней плоскости. Эксперименты проводились

в условиях, когда плотность кинетической энергии потока меньше плотности энергии магнитного поля. В противном случае плазменный сгусток должен "сдувать" магнитное поле.

При инъекции плазменного сгустка в магнитное поле было зарегистрировано рентгеновское излучение с энергией порядка энергии налетающих протонов. Излучение регистрировалось сцинтилляционным детектором из центральной области ловушки. Осциллограммы рентгеновского излучения при различных значениях напряженности магнитного поля, приведенные на рис. 1, получены с алюминиевым фильтром толщиной 1 мм, что соответствует ослаблению в e раз монохроматического излучения с энергией ~ 18 кэв. С увеличением напряженности поля от 1 до 2,5 кэ интенсивность излучения возрастала. При отсутствии магнитного поля излучение никогда не наблюдалось. Первый узкий пик излучения по времени соответствует моменту влета в магнитное поле исследуемого сгустка. Второй, более широкий, возникает одновременно с началом свечения спектральной линии меди CuI [6], т.е. в момент прихода в ловушку из плазменной пушки сгустка, движущегося со скоростью $v = 3 \cdot 10^6$ см/сек и содержащего большое количество примесей. С помощью набора фильтров был определен спектр второго пика рентгеновского излучения, совпадающий по форме со спектром тормозного излучения максвелловских электронов с температурой $T_e = 5$ кэв.

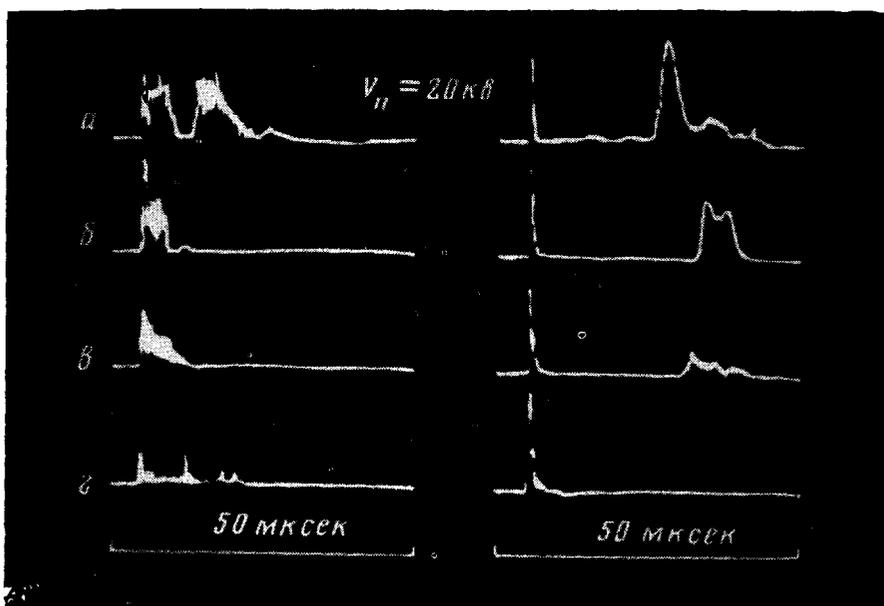


Рис. 2. Осциллограммы СВЧ (слева) и рентгеновского излучения при различных положениях металлического штока относительно ловушки: а — 15 см от оси ловушки; б — 10 см от оси ловушки; в — 5 см от оси ловушки, г — шток на оси ловушки

Одновременно с рентгеновским излучением с помощью рупорной антенны регистрировалось электромагнитное излучение в диапазоне $\lambda = 4,6 + 0,8$ см, рис. 1. Так же как и рентгеновское, СВЧ излучение

никогда не наблюдалось при отсутствии поперечного магнитного поля, и интенсивность его возрастала с увеличением напряженности поля. С помощью запердельных волноводов было обнаружено, что спектр СВЧ излучения имеет границу со стороны коротких длин волн. СВЧ излучение появляется одновременно с приходом в ловушку быстрого сгустка и наблюдается вплоть до начала второго импульса рентгеновского излучения, т.е. до момента прихода в ловушку примесей. Интенсивное излучение в диапазоне характерных плазменных частот и их гармоник свидетельствует о существовании в ловушке плазмы с высоким уровнем колебаний.

Второй импульс рентгеновского излучения, указывает на наличие захваченных в ловушку энергичных электронов, тормозное излучение которых на ионах и атомах тяжелых примесей мы наблюдаем. Полагая, что мишенью для электронов являются атомы и ионы меди, получаем оценку плотности электронов при плотности ионов и атомов меди $n_{Cu} \leq 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $n_e \geq 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Следовательно, при влете быстрого плазменного сгустка в поперечное магнитное поле значительное число электронов приобретает энергию и захватывается в ловушку. Для доказательства того, что второй пик рентгеновского излучения обусловлен существованием энергичных электронов в центральной части ловушки, навстречу движению плазменного сгустка вдвигался металлический шток, на котором должны были гибнуть захваченные частицы. Результаты эксперимента представлены на рис. 2. По мере приближения конца штока к оси магнитной ловушки величина второго пика рентгеновского излучения и СВЧ излучения уменьшается. Излучение практически исчезает, когда шток находится в центре камеры. В настоящее время остается не выясненным, что служит мишенью для торможения быстрых электронов, ответственных за появление первого пика рентгена.

Полученные экспериментальные результаты не могут быть полностью объяснены в рамках одномерной стационарной модели [1 - 5].

Поступила в редакцию
10 ноября 1971 г.

Литература

- [1] V.C.A.Ferraro. J. Geophys. Res., 57, 15, 1952.
- [2] В.И.Векслер. ДАН СССР, 118, 263, 1958.
- [3] Ю.С.Сигов. ДАН СССР, 138, 1337, 1961.
- [4] В.П.Шабанский. ЖЭТФ, 40, 1058, 1961.
- [5] Ю.С.Сигов. ПМТ, № 3, 25, 1967.
- [6] И.Н.Головин и др. Доклад С№-28/G-9 на IV Междунар. конф. по физике плазмы и термоядерным исследованиям, Медисон, США, июнь 1971 г.