

О КОЛЛЕКТИВНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
С ПЛОТНОЙ ПЛАЗМОЙ

В.А.Киселев, Я.Б.Файнберг, А.К.Березин

Приведены результаты экспериментального исследования коллективного взаимодействия релятивистского электронного пучка с плазмой, плотность которой менялась в пределах $10^{15} + 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Обнаружены потери энергии пучком от 15 до 90% в зависимости от плотности плазмы. Наблюдалось излучение из плазмы при взаимодействии с ней релятивистского электронного пучка в диапазоне длин волн $\sim 1 \text{ мм}$, а также мягкое рентгеновское излучение.

Одним из наиболее важных вопросов в проблеме взаимодействия релятивистских электронных пучков с плазмой является изучение эффективности взаимодействия этих пучков с плотной плазмой. Этот вопрос является

очень важным, в частности, при изучении пучкового нагрева плотной плазмы. Кроме того, взаимодействие электронных пучков с плотной плазмой представляет интерес для создания пучково-плазменного генератора миллиметрового и субмиллиметрового диапазона.

В настоящей работе проводилось исследование коллективного взаимодействия релятивистского электронного пучка с плазмой, плотность которой изменялась в пределах $10^{15} + 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Обнаружено, что потери энергии электронным пучком при таком взаимодействии с плазмой могут составлять от 15 до 90%.

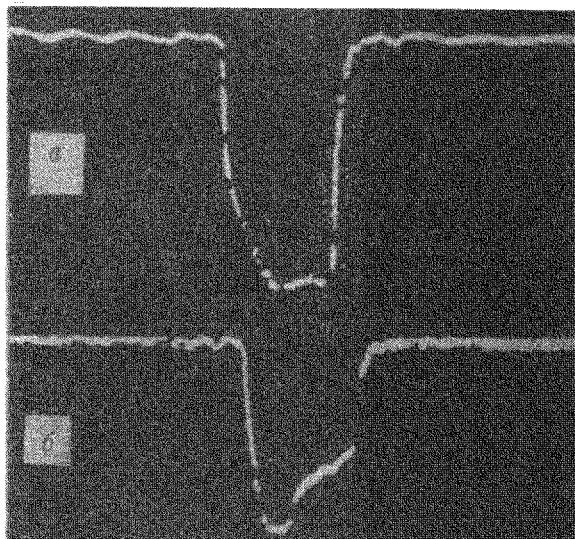


Рис. 1. Ток электронного релятивистского пучка: *a* — без плазмы, *b* — прошедший через плазму ($n_p \lesssim 10^{16} \text{ см}^{-3}$)

Схема установки, на которой проводились эксперименты, подробно описана в работах [1, 2]. Электронный пучок, полученный с помощью линейного ускорителя обычного типа, имел следующие параметры: $W = 2 \text{ Мэв}$, $I \sim 1 \text{ а}$, $\tau = 2 \text{ мксек}$, диаметр пучка $\sim 1 \text{ см}$. Плазма создавалась с помощью коаксиальной плазменной пушки, работающей в режиме плазменного "фокуса" [3, 4]. Пушка питалась от батареи конденсаторов емкостью 40 мкф и напряжением до 20 кв через вакуумный разрядник. Ток разряда составлял $160 - 300 \text{ ка}$. При разряде на выходе пушки создавалось плазменное фокусное образование со следующими геометрическими размерами: диаметр $\sim 2 - 3 \text{ см}$, длина $- 15 + 20 \text{ см}$.

Электронная плотность плазмы в фокусе измерялась с помощью лазерного интерферометра на длине волны $\lambda = 6300 \text{ \AA}$, и по уширению спектральных линий водорода H_β и H_γ , обусловленных эффектом Штарка [5, 6]. Временной ход плотности определялся по изменению интенсивностей линий H_β и H_γ , измеренных с помощью спектрографа ИСП-51, соединенного со сверхскоростным фоторегистратором СФР-2М. Ток электронного релятивистского пучка регистрировался цилиндром Фарадея. С помощью магнитных анализаторов, расположенных перед плазменной пушкой и на выходе системы, снимались энергетические спектры электронов до и после прохождения через плазму.

На рис. 1 показаны осциллограммы тока пучка без плазмы (а) и прошедшего через плазму (б), плотность которой $n_p \lesssim 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а на рис. 2 представлены энергетические спектры электронов пучка до и после прохождения его через плазменный фокус. Из последнего рисунка видно, что потери энергии пучком достигают в этом случае 15% от первоначальной.

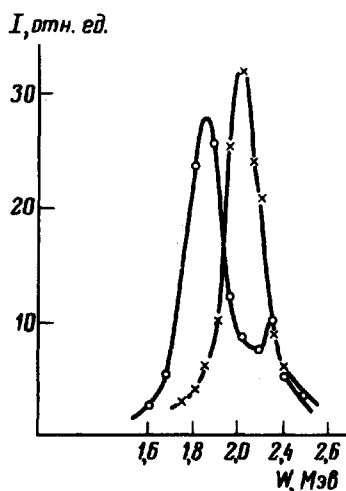


Рис. 2. Энергетические спектры электронов пучка: —х— без плазмы, —о— прошедших через плазму ($n_p \lesssim 10^{16} \text{ см}^{-3}$)

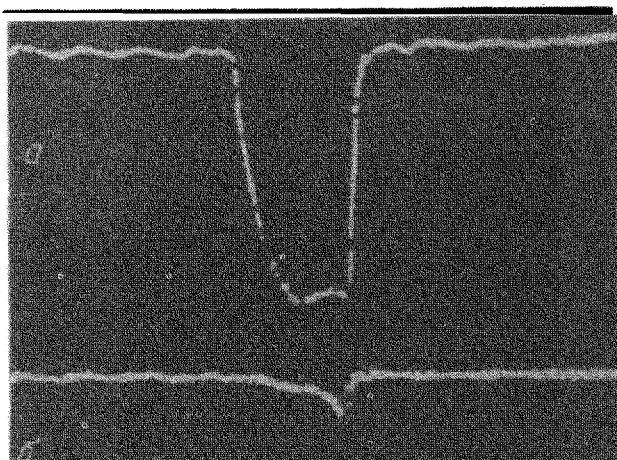


Рис. 3. Ток электронного релятивистского пучка: а — без плазмы, б — прошедший через плазму ($n_p \sim 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$)

При увеличении плотности плазмы до $(6 + 7) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ток пучка сильно уменьшается (рис. 3, б), а в энергетическом спектре электронного пучка появляются электроны с энергией $\lesssim 100 \text{ кэВ}$ (рис. 4), т. е. потери энергии электронным пучком достигают 90%.

При плотности плазмы $n_p \ll 10^{16} \text{ см}^{-3}$ обнаружено электромагнитное излучение из плазмы в диапазоне длины волн $\sim 1 \text{ мж}$. Излучение наблюдалось с помощью пирозлектрических датчиков с запердельными волноводами на входе и кристаллических детекторов с рупорными антеннами. При увеличении плотности плазмы выше 10^{16} см^{-3} амплитуда излучаемого сигнала уменьшалась. Это может быть объяснено потерей чувствительности детектора при уменьшении длины волны излучения.

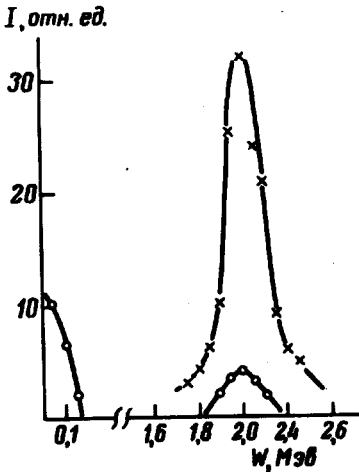


Рис. 4. Энергетические спектры электронов пучка: —х— — без плазмы, —о— — прошедших через плазму ($n_p \sim 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$)

При плотности плазмы $n_p \sim 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ обнаружено увеличение амплитуды сигнала диамагнитного зонда при прохождении электронного релятивистского пучка через плазму по сравнению с амплитудой сигнала без пучка. При этом из области плазменного фокуса наблюдается мягкое рентгеновское излучение, которое без пучка не регистрируется.

Таким образом, результаты данных экспериментов свидетельствуют о наличии коллективного взаимодействия электронного релятивистского пучка с плотной плазмой.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
19 сентября 1974 г.

Литература

- [1] А.К.Березин, Я.Б.Файнберг, Л.И.Болотин, А.М.Егоров, В.А.Киселев. Письма в ЖЭТФ, 13, 498, 1971.
- [2] А.К.Березин, Я.Б.Файнберг, Л.И.Болотин, А.М.Егоров, В.А.Киселев, В.А.Буц, В.И.Курилко, А.П.Толстолужский. ЖЭТФ, 63, 861, 1972.
- [3] А.И.Морозов. Вестник АН СССР, №6, 28, 1969.
- [4] И.П.Скоблик, И.М.Золототрубов, Ю.М.Новиков. ЖТФ, 43, 281, 1973.
- [5] Г.Грим. "Спектроскопия плазмы", М., Атомиздат, 1969.
- [6] Р.Хаддистоун, С.Леонард. "Диагностика плазмы", М., изд. Мир, 1967.