

Письма в ЖЭТФ, том 20, вып. 3, стр. 195 – 198 5 августа 1974 г.

**ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ
СИЛЬНОТОЧНОГО ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
НА ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПЛАЗМОЙ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ
ПРОБОЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ**

*Ю.Е.Коллда, Е.А.Корнилов, Я.Б.Файнберг,
В.А.Киянко*

Экспериментально показано, что при увеличении поперечной составляющей скорости сильноточного высокознергетичного электронного пучка эффективность его взаимодействия с плазмой существенно повышается. При этом, значительно увеличивается мощность излучаемых колебаний, повышается температура плазмы.

Известно, что эффективность пучково-плазменного взаимодействия в магнитном поле существенно повышается при увеличении поперечной составляющей скорости пучка [1].

В данной работе экспериментально исследуется влияние поперечной составляющей скорости сильноточного высокознергетичного электронного пучка на его эффективность взаимодействия с плазмой, удерживаемой открытой магнитной ловушкой.

Электронный пучок, формируемый линейным плазменным бетатроном (ЛПБ) [2], с энергией 100 кэВ, током 5 + 7 кA и длительностью импульса 1 мксек (плотность 10^{12} эл/см³) инжектировался в магнитную ловушку длиной 35 см. Пробочное отношение равно двум, магнитное поле в пробках 5 кГс. Взаимодействие происходило с предварительно приготовленной плазмой, созданной за счет пучково-плазменного разряда в стеклянной камере диаметром 15 см. Плотность плазмы в

ловушке изменялась от 10^{12} до 10^{14} см^{-3} . Рабочий газ – аргон, водород. ЛПБ оказался очень удобным для данного эксперимента, поскольку путем создания в ускорителе неоднородности магнитного поля можно было получить электронный пучок с большим отношением V_{\perp}/V_{\parallel} .

Проведенные исследования показали, что неоднородность магнитного поля ловушки, поперечная составляющая скорости пучка значительно повышают эффективность взаимодействия электронного пучка с плазмой. При $V_{\perp}/V_{\parallel} = 0,5$ и наличии магнитного поля пробоющей конфигурации мощность излучаемых колебаний составляет десятки мегаватт, что более, чем в десять раз больше случая с $V_{\perp}/V_{\parallel} = 0,1$ и однородным магнитным полем. Регистрируемые колебания лежат в полосе $\omega_{Hmin} < \omega < \omega_{oe}$, $\omega < \omega_{Hmax}$ (ω_{Hmin} , ω_{Hmax} – электронная циклотронная частота в ловушке и в пробке, ω_{oe} – электронная плазменная частота), появление которых может быть связано с возбуждением на аномальном эффекте Допплера. Высокочастотные колебания промодулированы низкими частотами, порядка ω_{oi} (ω_{oi} – ионная плазменная частота). Возбуждение колебаний сопровождается уменьшением токопрохождения пучка через ловушку. Максимальный уровень возбуждаемых колебаний наблюдается при $n_b/n_o = 10^{-1}$ (n_b , n_o – плотность пучка и плазмы соответственно).

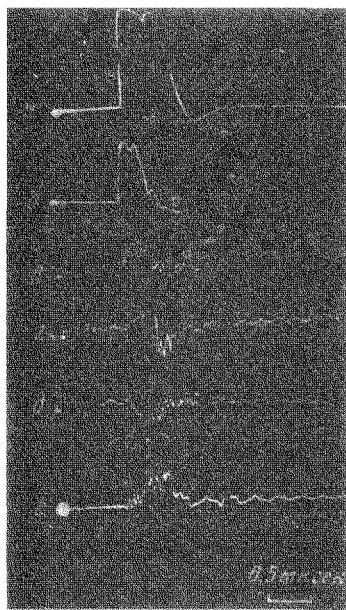


Рис. 1. *a* – Ток пучка на входе в ловушку; *b* – ток пучка на выходе из ловушки; быстропеременное магнитное поле H_z в ловушке на удалении 1 см от оси – *c*, 2 см – *d*, 4 см – *e*; *e* – изменение электрического потенциала плазмы

На рис. 1 осциллограммой *a* представлен ток пучка на входе в ловушку, *b* – на выходе из ловушки в случае эффективного взаимодействия пучка с плазмой ($n_b/n_o = 10^{-1}$). Характерным является укороче-

ние длительности импульса тока пучка после прохождения ловушки, регистрируется только 30 – 50% электронов пучка. При этом, в ловушке накапливается объемный заряд с величиной электростатического потенциала, превосходящей энергию пучка – осциллограмма δ , и регистрируется жесткое рентгеновское излучение. Это свидетельствует о том, что часть электронов пучка захватывается в ловушку, в плазме имеются высокозергетичные электроны.

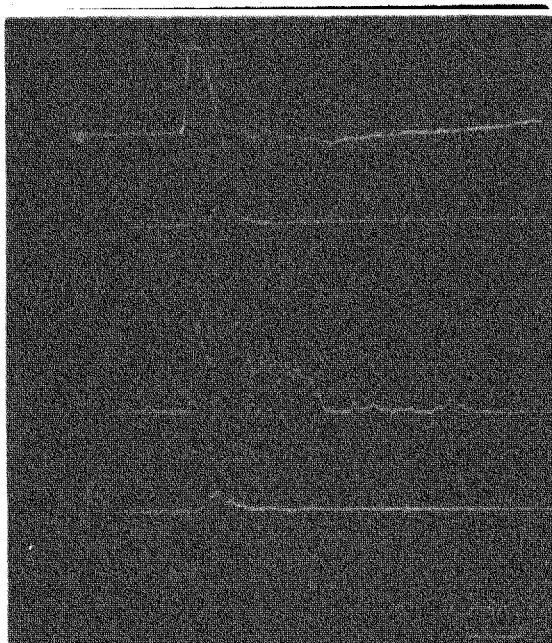


Рис. 2. Осциллограммы диамагнитного сигнала плазмы: a – в центре ловушки, b и c – на удалении 8 см от центра ловушки; a – ток пучка на выходе из ловушки

Измерение радиального распределения продольного магнитного поля (H_z) в ловушке, полученное миниатюрным подвижным магнитным зондом, показало, что при прохождении пучка в плазме регистрируется быстропеременное магнитное поле. На осциллограмме a рис. 1 показано изменение магнитного поля на радиусе 1 см, его величина в максимуме составляет 2 кГс, направление – противоположно внешнему полю в ловушке. Осциллограмма "2" получена на радиусе 4 см, здесь направление индуцированного поля совпадает с внешним. На удалении 8 см от центра ловушки по ее оси быстропеременное магнитное поле имеет радиальную составляющую, т. е. захваченные электроны пучка образуют замкнутую магнитную конфигурацию типа E -слоя [3, 4]. Осциллограмма c , полученная на радиусе 2 см в центре ловушки, указывает на тот факт, что происходит радиальное сжатие E -слоя.

На осциллограммах b , c и c рис. 2 представлены сигналы с диамагнитного зонда. b и c – в пробках, a – в ловушке, здесь $n_0 T = 2 \cdot 10^{17} \text{ эб}/\text{см}^3$, при $n_0 = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, a – ток пучка на выходе из ловушки.

Это свидетельствует о наличии эффективного нагрева плазмы в ловушке.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Путем увеличения поперечной составляющей скорости сильноточного высокогенергетического электронного пучка, эффективность его взаимодействия с плазмой, в открытой магнитной ловушке существенно возрастает. При этом: а) значительно увеличивается мощность излучаемых колебаний из плазмы; б) эффективность нагрева плазмы пучком повышается. Не исключено, что нагрев плазмы связан с трансформацией энергии высокочастотных волн в низкочастотные за счет развития параметрических неустойчивостей.

2. Увеличение поперечной составляющей скорости пучка при возбуждении им колебаний в плазме в открытой магнитной ловушке может приводить к захвату ловушкой части электронов пучка и образованию поверхности типа E -слоя.

3. Описанные явления в отдельных своих элементах наблюдались в экспериментах с сильноточными релятивистскими пучками [5, 6]. Это дает основание предположить, что при соответствующем выборе таких параметров как V_1/V_{∞} , n_b/n_o , H_{max}/H_{min} магнитной ловушки, можно значительно повысить эффективность нагрева плазмы релятивистским пучком в условиях развития пучковой неустойчивости. В заключение выражаем благодарность Н.С.Педенко за предоставленную установку для проведения эксперимента.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
3 июля 1974 г.

Литература

- [1] Е.А.Корнилов, О.Ф.Ковпик, Я.Б.Файнберг, Л.И.Болотин, И.Ф.Харченко, ЖТФ, 35, 1378, 1965.
- [2] Н.С.Педенко, Е.И.Луценко, Я.Б.Файнберг. Сб. "Физика плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза". Изд. "Наукова думка", Киев, 1972, вып. 3, стр. 30.
- [3] N.C.Christofilos. Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peacfull Ues of Atomic Energy, Geneva, Switzerland, 1958, v.32, p. 279.
- [4] M.L.Andrews, H.Davition et al. Phys. Rev. Lett., 27, 1428, 1971.
- [5] Ю.И.Абрашитов, В.С.Койдан, В.В.Комолов, В.М.Лапунов, В.И.Лукьянин, К.И.Меклер. Письма в ЖЭТФ, 18, 675, 1973.
- [6] L.E.Thode, R.N.Sudan. Phys. Rev. Lett., 30, 732, 1973.