

ЛОКАЛИЗАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЧКА С ПЛОТНОЙ ПЛАЗМОЙ

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

В работе показано, что при взаимодействии релятивистского электронного пучка с током 1 а с плотной плазмой ($n_p \sim 10^{16} - 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) в области плазменного образования возникает локализация рентгеновского излучения с энергией $\sim 15 \text{ кэВ}$, геометрические размеры которой не превышают геометрических размеров плазменного образования и уменьшаются при увеличении плотности плазмы. Обнаружена зависимость интенсивности рентгеновского излучения от ширины энергетического спектра электронов пучка, от величины тока пучка и плотности плазмы.

Проведенные в [1] экспериментальные исследования взаимодействия релятивистского пучка электронов с плотной плазмой ($n_p \sim 10^{15} - 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) показали, что эффективность коллективных взаимодействий моноэнергетического пучка с ростом плотности плазмы не убывает. Эти взаимодействия, приводящие к сильному уменьшению длины релаксации пучка в плазме, сопровождаются возбуждением волн миллиметрового диапазона и возникновением рентгеновского излучения. В настоящей работе излагаются результаты экспериментальных исследований, в которых было обнаружено возникновение локализации рентгеновского излучения. Устанавливается связь между обнаруженным явлением, степенью моноэнергетичности и функцией распределения энергии электронов релятивистского пучка, имеющих определяющее значение для процессов коллективных взаимодействий пучка с плазмой.

Исследование проводилось на установке, схема которой описана в работах [1, 2]. Параметры электронного пучка: $W = 2 \text{ Мэв}$, ток $I = 1 \text{ а}$, $t = 2 \text{ мксек}$, диаметр пучка 1 см . Плазма создавалась коаксиальной плазменной пушкой, работающей в режиме плазменного фокуса [3]. Геометрические размеры плазмы: длина $10 - 15 \text{ см}$, диаметр $\sim 3 \text{ см}$. Плотность плазмы в момент прохождения пучка менялась в пределах от 10^{16} см^{-3} до $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Регистрация рентгеновского излучения проводилась с помощью пластикового осциллятора с фотоумножителем, полупроводникового рентгеновского датчика с угловой апертурой $\alpha = 0,15^\circ$ и камеры-обскуры. Полупроводниковый датчик перемещался как вдоль оси системы, так и по диаметру камеры взаимодействия. Энергия рентгеновского излучения определялась методом поглощения фильтрами из алюминиевых фольг и свинцовых пластинок.

Измерения показали, что помимо высокоэнергетичного ($\sim 2 \text{ Мэв}$) остронаправленного рентгеновского излучения, обусловленного, очевидно, тормозным излучением электронов пучка, имеются еще две зоны более мягкого рентгеновского излучения, которое возникает только при прохождении релятивистского электронного пучка через плазму с плотностью большей, чем 10^{16} см^{-3} (рис. 1) и имеет изотропный характер.

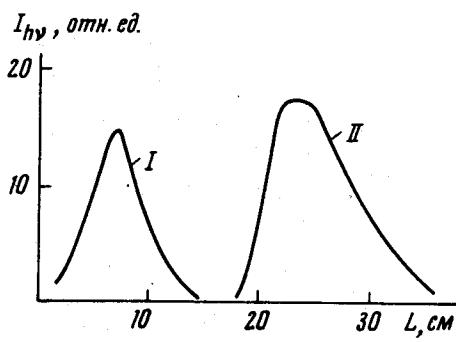


Рис. 1. Распределение рентгеновского излучения по длине камеры взаимодействия: I – первая зона, II – вторая зона

Первая зона расположена на расстоянии $6 - 10 \text{ см}$ от торца плазменной пушки, т. е. в области плазменного образования. Из фотографий (рис. 2) этой зоны в рентгеновских лучах, полученных камерой-обскурой, оптическая ось которой перпендикулярна оси камеры взаимодействия, видно, что геометрические размеры первой зоны рентгеновского излучения составляют $\sim 3 \text{ см}$ в диаметре и $4 - 5 \text{ см}$ длины, т. е. рентгеновское излучение идет из области плазменного образования. Продольные и поперечные измерения полупроводниковым датчиком подтверждают эти результаты. Энергия рентгеновского излучения в этой зоне порядка 15 кэв . При изменении времени задержки между началом образования плазмы и прохождении через нее электронного пучка эта зона может перемещаться вдоль оси системы и менять свои геометрические размеры.

Интенсивность рентгеновского излучения сильно зависит от ширины энергетического спектра электронов релятивистского пучка. При увеличении ширины спектра от 10 до 80% (рис. 3) интенсивность рентгеновского излучения падает более чем на порядок (рис. 4). Кроме того,



Рис. 2. Обскуrogramма первой зоны рентгеновского излучения

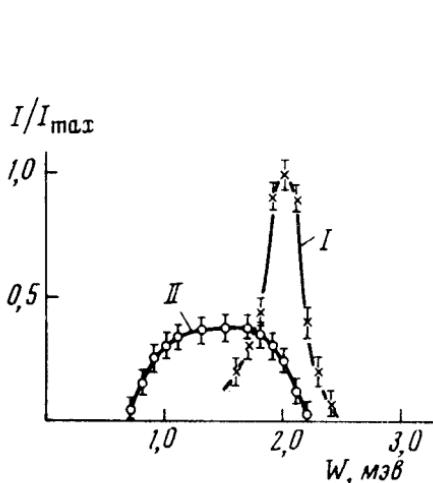


Рис. 3. Энергетические спектры электронов релятивистского пучка:
I - $\Delta W/W = 10\%$; II - $\Delta W/W = 80\%$

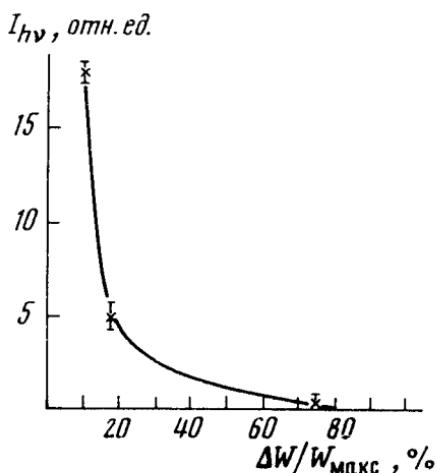


Рис. 4. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения первой зоны от ширины энергетического спектра электронов

интенсивность рентгеновского излучения падает при уменьшении тока электронного пучка (при токе пучка $I = 10 \text{ мА}$ излучение отсутствует полностью) и плотности плазмы. Следует отметить, что при всех этих условиях уменьшаются и потери энергии пучком.

Вторая зона рентгеновского излучения расположена на расстоянии 25 – 40 см от торца пушки (рис. 1). Измерения показали: энергия этого излучения ~ 100 кэв, а диаметр области излучения совпадает с диаметром камеры взаимодействия. Это дает основание предположить, что данное рентгеновское излучение обязано своим происхождением электронам, которые теряют свою энергию при коллективном взаимодействии с плотной плазмой и попадают на стенки камеры взаимодействия. Электроны с такой энергией регистрировались и с помощью магнитного анализатора [1]. При увеличении ширины энергетического спектра электронов вторая зона рентгеновского излучения значительно расширяется и энергия излучения увеличивается.

В предыдущих экспериментах по плазменно-пучковому взаимодействию (см., например, [4]) установлена временная корреляция между возбуждением высокочастотных колебаний и появлением рентгеновского излучения. Поэтому можно предположить, что в наших экспериментах имеет место и локализация СВЧ излучения, в электрическом поле которого электроны приобретают энергию. Однако для доказательства этого необходимы специальные эксперименты. В очень интересных экспериментах по взаимодействию нерелятивистских пучков с редкой плазмой ($\sim 10^9$ см⁻³) [5] и возбуждению волн в неоднородной плазме [6] убедительно показана возможность пространственной локализации СВЧ колебаний плазмы. В какой степени локализация рентгеновского излучения, наблюдающаяся нами при взаимодействии релятивистских электронных пучков с плотной плазмой связана с процессами, исследованными в [5, 6], покажут дальнейшие эксперименты.

Мы благодарны профессору Б.Фриду, приславшему нам препринты [5, 6] и В.Д.Шапиро за обсуждение результатов.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
29 августа 1975 г.

Литература

- [1] В.А.Киселев, Я.Б.Файнберг, А.К.Березин. Письма в ЖЭТФ, 20, 603, 1974.
- [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] И.П.Скоблик, И.М.Золототрубов, Ю.М.Новиков. ЖТФ, 42, 281, 1973.
- [4] И.Ф.Харченко, Я.Б.Файнберг, Р.М.Николаев, Е.А.Корнилов, Е.И.Луценко, Н.С.Педенко. Nucl. Fusion, Supplement III, 1101, 1962.
- [5] Bill Hong Quon. Preprint UCLA Plasma Physics Group Report, PPG-176, 1974.
- [6] H.C.Kim, R.L.Stenzel, A.Y.Wong. University of California, Los Angeles, Plasma Physics Group Report, PPG-175, 1974.