

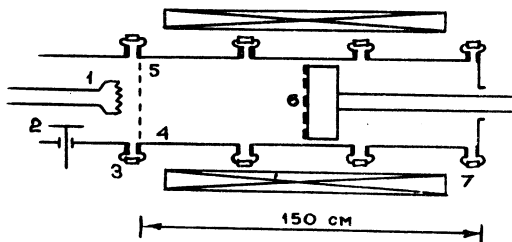
ТРАНСПОРТИРОВКА СИЛЬНОТОЧНОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЧКА
ЭЛЕКТРОНОВ В ГАЗЕ

А. А. Коломенский, Е. Г. Крестелев, Г. О. Месхи,
О. И. Саксонов, Б. Я. Яблоков

УДК 537.533

На ускорителе "Импульс" /1/ были проведены эксперименты по прохождению сильноточного релятивистского электронного пучка в газе (воздух). Показано, что максимальная эффективность транспортировки достигается при давлении $2 \cdot 10^{-3}$ тор и может быть существенно увеличена путем использования внешнего аксиального магнитного поля.

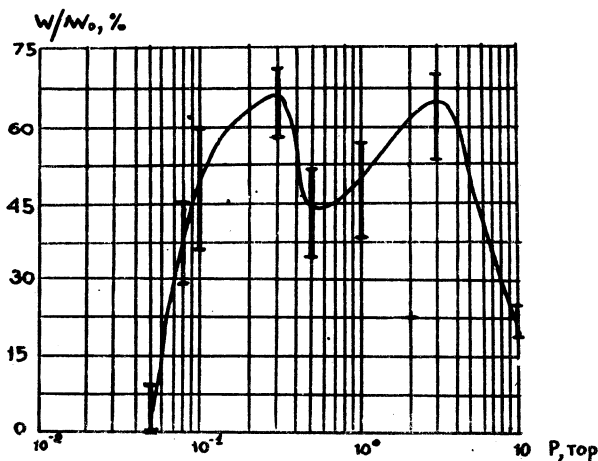
Схема экспериментальной установки изображена на рис.1. Пучок эмиттируется катодом I диаметром 44 мм. Напряжение на автоэмиссионном катоде измеряется емкостным датчиком 2. Величина и длительность инжектируемого тока регистрируются малоиндуктивным низкоомным шунтом 3, установленными между пушкой и камерой 4. Внутренний диаметр камеры равен 11 см. Она отделена от диодного промежутка титановой фольгой 5 толщиной 20-50 мкм. Давление в электронной пушке 10^{-6} тор. Переносимая пучком энергия и ее распределение по сечению измеряются подвижным секционным калориметром 6. Соленоид 7 служит для создания аксиального магнитного поля.



Р и с.1. Схема экспериментальной установки: 1 - катод; 2 - емкостный датчик напряжения; 3 - шунт; 4 - дрейфовая камера; 5 - анодная фольга; 6 - секционированный калориметр; 7 - соленоид

Основная часть экспериментов выполнена при энергии электронов 600 кэВ и токе 20 ка в импульсе длительностью 50 нсек.

На рис.2 показана зависимость эффективности прохождения пучка на расстояние 1 м в воздухе от давления. Аналогичные резуль-



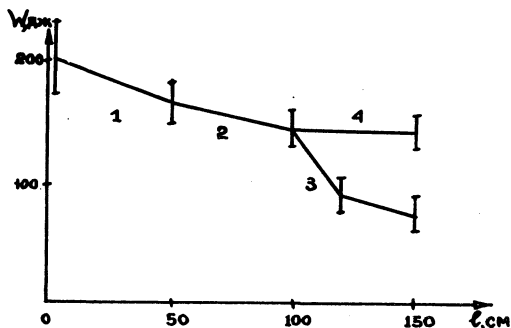
Р и с.2. Зависимость эффективности транспортировки пучка на расстояние 1 м от давления. $W_0 = 250$ Дж

таты получены и на других расстояниях от диода. Ход этих кривых можно объяснить на основе соображений, предложенных в /2/. При $p < 3 \cdot 10^{-2}$ тор еще не происходит заметной силовой компенсации за время импульса, и пучок распадается под действием собственного электрического поля. С увеличением давления от $3 \cdot 10^{-2}$ вплоть до 0,3 тор эффективность транспортировки растет за счет роста числа ионов. В области около 0,3 тор достигается силовая компенсация, т.е. выполняется соотношение

$$n_i = n_e(1 - \beta^2), \quad (I)$$

где n_i , n_e - плотности ионов и электронов. Затем на участке 0,3-0,8 тор наблюдается уменьшение переносимой энергии из-за сжатия пучка собственным магнитным полем. Одновременно увеличивается плотность переносимой энергии, т.е. пучок фокусируется. При большем давлении появляется обратный ток, текущий по плазме, ко-

торый компенсирует ток пучка, и эффективность транспортировки возрастает, достигая максимума в области 2–3 тор. При дальнейшем увеличении давления токовая компенсация уменьшается за счет роста омических потерь в плазме, пучок фокусируется, а эффективность транспортировки падает.



Р и с.3. Зависимость переносимой энергии от пути при давлении 3 тор. 1 – за анодной фольгой, 2 – на участке от 50 до 100 см, 3 – за рассеивающей фольгой, расположенной в 100 см от диода, 4 – то же для пучка, замагниченного на участке дрейфа от 100 до 150 см

С достаточной точностью соотношение (1) может быть выполнено лишь в узком диапазоне давлений. Поэтому наиболее благоприятной для транспортировки пучка оказывается область $p = 2+3$ тор. Как видно из рис.2, на расстояние 1 м переносится $\sim 70\%$ первоначальной энергии. Токовая компенсация препятствует возникновению перетяжек по длине пучка при небольшом отклонении давления от оптимального.

На рис.3 показана зависимость регулируемой калориметром энергии от расстояния, проходимого пучком, при давлении 3 тор. Усредненные потери на единицу пути первого участка (1) длиной 50 см составляют 0,8 дж/см, а для следующего за ним, такого же по длине второго участка (2) – 0,4 дж/см. Подобный ход кривой прохождения можно объяснить тем, что сначала теряются электроны с большими поперечными скоростями, появляющимися в результате рассеяния в анодной фольге и взаимодействия с собственными полями пуч-

ка внутри диода /3/. Действительно, установка рассеивающей фольги на пути пучка приводит к резкому увеличению потерь (~ 50 дж на расстоянии в 25 см) и, наоборот, замораживание поперечного движения частиц аксиальным магнитным полем существенно снижает потери (кривая 4).

Величина магнитного поля, необходимого для удержания скомпенсированного пучка со значительными поперечными скоростями, хорошо согласуется с оценками, полученными из баланса поперечных давлений,

$$v^2 = \frac{8\pi mc}{e\beta} (\gamma - 1) j \frac{U_{\perp}}{U}, \quad (2)$$

где j - плотность тока пучка, U_{\perp}/U - отношение энергии поперечного движения к полной.

Проведенные эксперименты показывают, что наиболее эффективная транспортировка имеет место в условиях компенсации собственных полей пучка и при использовании внешнего магнитного поля.

Поступила в редакцию
24 марта 1975 года.

Л и т е р а т у р а

1. С. И. Власенко, Л. Н. Казанский, А. А. Коломенский, Д. Д. Красильников, Г. О. Месхи, В. Б. Сидоров, Б. Н. Яблоков. Электронный сильноточный ускоритель "Импульс". Препринт ФИАН № 144, 1972 г.
2. W. T. Link. IEEE Trans. Nucl. Sci NS-14, 777 (1967).
3. D. A. Hammer et al. J. Appl. Phys., 43, 58 (1972).