

О ВОЗМОЖНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ МИШЕНИ, ОБЛУЧАЕМОЙ ПРОТОНАМИ

В.И.Балбеков, С.С.Герштейн, В.А.Маишеев, К.П.Мызников, А.М.Фролов
Институт физики высоких энергий, г. Серпухов

Б.Б.Говорков
Физический институт АН СССР, г. Москва

Создание интенсивных электронных пучков на ускорителях ИФВЭ, FNAL и CERN SPS доказало, что протонный синхротрон может служить источником электронов с энергиями, практически недоступными для обычных электронных ускорителей ^{/1-2/}. При энергиях протонов выше 1 ТэВ выход электронов, образующихся в толстой мишени в результате радиационных распадов и электромагнитных процессов, становится настолько большим, что появляется реальная возможность использовать такую мишень как источник для инжекции в электронное накопительное кольцо ^{/3/}. Такой способ инжекции может оказаться перспективным в установках со встречными электрон-протонными пучками. В настоящем докладе рассматривается принципиальная возможность использования этого метода в проектируемом ускорительно-накопительном комплексе ИФВЭ ^{/4/}.

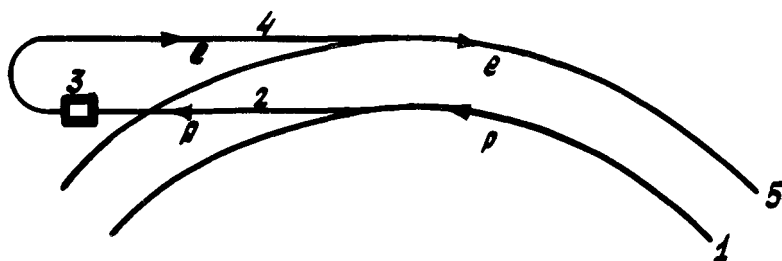


Рис. I. Принципиальная схема накопления электронов в УНК с помощью мишени, облучаемой протонами.

Общая схема установки представлена на рис. I. Протоны, ускоренные в протонном ускорителе-накопителе I, через согласующий канал 2 выводятся на мишень 3. Электроны, образующиеся в мишени, через канал 4 инжектируются в накопитель 5. Цикл многократно повторяется, пока не будет накоплено необходимое число электронов. После этого обычным способом накапливается протонный пучок и осуществляются ер-столкновения.

Основным процессом, приводящим к образованию в мишени электронов, является рождение в pN -взаимодействиях π^0 -мезонов, распадающихся на γ -кванты с последующей конверсией их в пары e^+e^- и генерацией электромагнитного ливня. Такой процесс для анализа проблемы в целом был рассмотрен в составной мишени, первая часть которой изготовлена из бериллия и является источником π^0 -мезонов, вторая часть - конвертер - изготовлена из вольфрама и обеспечивает эффективное развитие электромагнитного ливня. Расчеты были выполнены для протонов с энергией 3 ТэВ и электронов с энергиями 10-25 ГэВ. Спектры π^0 -мезонов определены по формулам работ /5-6/, удовлетворительно описывающим экспериментальные выходы π^0 -мезонов при энергии протонов до 1,5 ТэВ. Предполагалось, что отношение выходов π^0 -мезонов на нуклон в $p-Be$ -и $p-N$ -взаимодействиях равно 0,7 /7/. Спектры γ -квантов от распадов

π^0 -мезонов и выходы первичных электронов рассчитаны согласно работе /8/. Электромагнитный каскад с учетом многократного рассеяния в вольфрамовом конвертере рассчитан по специальной программе методом Монте-Карло.

Максимальный выход электронов для мишени, состоящей из 60 см бериллия (1,65 ядерной длины), получается при толщине конвертера 1,1 см (3 радиационных длины). Выход электронов из такой мишени в передний конус с заданным углом полураствора показан на рис.2, где по горизонтальной оси отложен угол, по вертикальной – число электронов в энергетическом интервале 1 % в расчете на один падающий протон (кривая 1). Для сравнения на этом же рисунке приведена аналогичная зависимость для первичных конверсионных электронов при соответствующей оптимальной толщине конвертера 0,4 см (кривая 2). Заметим, что кривые выхода в диапазоне энергий электронов 10–25 ГэВ отличаются не более чем на 15 %.

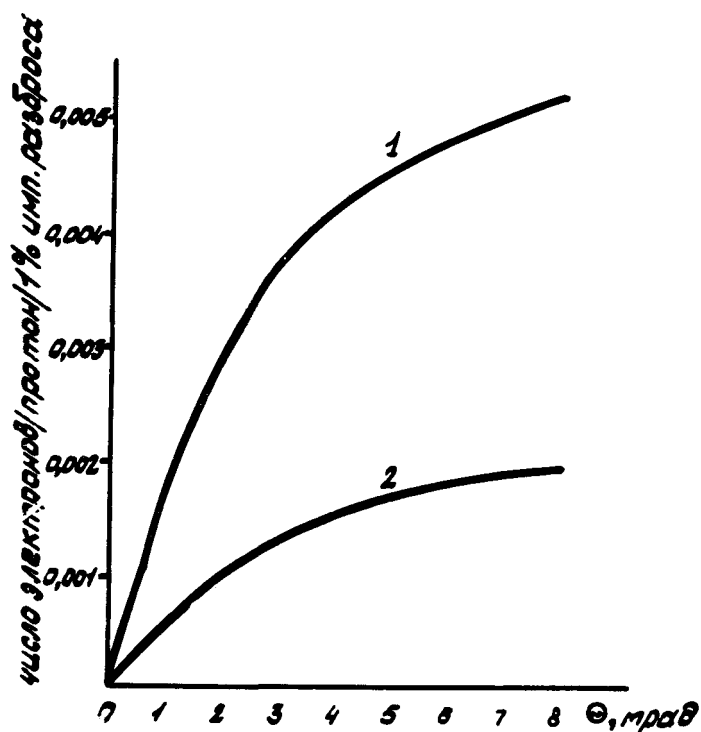


Рис.2. Выход электронов с энергией 20 ГэВ $\pm 0,5$ % в зависимости от угла полураствора конуса в расчете на 1 протон с энергией 3 ТэВ.

По-видимому, эти данные несколько занижены, так как не был учтен ядерный каскад, а также образование γ -квантов и электронов в результате распада других нестабильных частиц (η^0 и т.д.).

Ожидаемый эмиттанс пучка протонов в УНК при энергии 3 ТэВ составляет 0,05 мм·мрад. Для того чтобы сфокусировать такой пучок на мишени в пятно радиусом, например, 1 мм, потребуется оптическая система с β -функцией в районе мишени ~ 20 м. Тогда, как видно из рис.2, около 70 % электронов будут сосредоточены в пучке с эмиттансом 4 мм·мрад. Для согласования такого пучка с накопителем необходима оптическая система, обеспечивающая на мишени β -функцию ~ 25 см. Все эти требования легко выполнимы.

Электронный накопитель УНК, имеющий камеру с апертурой $120 \times 65 \text{ мм}^2$, обеспечивает захват пучка с эмиттансом 4 мм·мрад и импульсным разбросом ± 1 %. Интенсивность протонного синхротрона УНК примем равной $5 \cdot 10^{14}$ при длительности цикла $78 \text{ с}^{1/4}$. Согласно рис.2 скорость накопления электронов при этом составит $3 \cdot 10^{12}$ е/мин. Таким образом, за 30 мин. можно накопить $\sim 10^{14}$ электронов, что обеспечивает светимость в ер-столкновениях на уровне $\sim 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Реализация предлагаемого метода требует решения серьезной проблемы, связанной с разогревом мишени при ее облучении интенсивным протонным пучком. Тепловой режим мишени в значительной степени определяет допустимый размер протонного пучка, следовательно, эмиттанс электронного пучка и в конечном итоге скорость накопления электронов. Один из возможных способов борьбы с перегревом мишени – вывод протонного пучка короткими импульсами, содержащими $\sim 10^{13}$ частиц, с интервалами в несколько секунд при интенсивном охлаждении мишени. В таком режиме потребуются многократное срабатывание системы быстрого вывода в каждом цикле протонного синхротрона. Эта и другие возможности в настоящее время изучаются.

Наряду с этим рассматривается и традиционный метод накопления электронов в УНК с помощью синхротрона-инжектора на энергию $\sim 3 \text{ ГэВ}$ с последующим ускорением в накопителе. Помимо значительной стоимости инжектора этот метод имеет еще один недостаток, а именно, низкое поле инжекции в накопителе – 50 Гс при энергии электронов 3 ГэВ. Возможность обойти эти трудности, используя в качестве инжектора мишень, кажется весьма привлекательной. В этой связи необходимо отметить, что мишень с равным успехом можно

использовать как источник позитронов. Это расширяет физические возможности комплекса, обеспечивая программу встречных пучков e^+p и e^+e^- .

В заключение авторы выражают искреннюю признательность Б.Е.Штерну за помощь в выполнении расчетов электромагнитных ливней.

Л и т е р а т у р а

1. S.S.Gershtein, A.V.Samoylov et al. Nucl. Instr. and Methods, 112, 477 (1973); "Атомная энергия", 35, 18 (1973).
2. CERN Courier, 14, 427 (1974).
3. Б.Б.Говорков, К.А.Беловинцев. Материалы XXI сессии Научно-координационного Совета при ИФВЭ, Серпухов, 1977, стр.124.
4. В.И.Балбеков и др. Ускорительно-накопительный комплекс ИФВЭ. Доклад на данной конференции.
5. В.Н.Фоломешкин. ЯФ, 15, 383 (1972).
6. А.К.Лиходед, А.Н.Толстенков. Препринт ИФВЭ 75-57, Серпухов, 1975.
7. M.Fidecaro, G.Finocchiaro et al. Nuovo Cim., 24, 73 (1962).
8. В.А.Майшеев, В.П.Сахаров, А.М.Фролов. Препринт ИФВЭ 75-116, Серпухов, 1975.