

Нерезонансный медленный вывод протонов на установку Комплекс меченых нейтрино*

А.А. Асеев, М.Ю. Горин

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Введение

В данной работе приводятся результаты вывода в канал 23 пучка протонов, упруго рассеянных внутренними мишенями [1]. Этот метод обеспечил вывод $\geq 5 \cdot 10^{10}$ протонов в течение ≈ 1.7 с на плоской части магнитного цикла, что более чем на порядок выше достигнутого до сих пор при нерезонансном медленном выводе (НМВ) пучка, например, в канал 22 для установок ФОДС-2 и СВД [2,3].

Достоинство использования НМВ в данном случае в том, что он дает возможность начать новую программу исследований на установке Комплекс меченых нейтрино, обеспечивая вывод ускоренных протонов необходимой интенсивности одновременно с генерацией вторичных частиц с 3–4 внутренних мишеней для других экспериментов. Это дополнительно повышает эффективность использования ускорителя при выводе частиц в этом режиме на 25–30%. Кроме того, высокие качество и стабильность параметров выводимого пучка при достигнутой интенсивности не могут быть получены другими известными методами вывода пучков.

Приводится оценка эффективности вывода протонов, полученная из реального распределения ускоренной интенсивности в цикле У-70 между потребителями.

1. Схемы вывода

В процессе исследований требовалось изучить принципиальную возможность вывода пучка интенсивностью $\sim 10^{10}$ протонов/цикл для нового эксперимента. В аналогичном режиме такой интенсивности не было достигнуто при выводе протонов в направлении канала 22. Следующим этапом исследований было получение максимальной интенсивности, достижимой в этом режиме с использованием всех дефлекторов системы медленного вывода пучка У-70. Поэтому при выводе протонов использованы две схемы. Первая, у которой вывод пучка осуществляется магнитными дефлекторами, установленными в прямолинейных промежутках (ПП) 18; 20; 22; 26, используется в ИФВЭ много лет [2,4]. Первым дефлектором этой схемы является септум-магнит SM-18 с толщиной токовой перегородки ≈ 0.5 мм [5].

Вторая схема включает в себя все септум-магниты первой, а первым элементом является электростатический дефлектор (ED), установленный в ПП-106. Перегородка дефлектора, имеющего длину 3 м, состоит из проволок диаметром 0.1 мм [6].

Если принять в качестве элемента раскачки “толстую” мишень (Be, толщина по пучку 30 мм) и предположить, что выводятся в основном протоны, упруго ядерно рассеянные в мишени, то даже с учетом сдвига равновесной орбиты частиц из-за потери энергии при взаимодействии с мишенью величина зазора между циркулирующим и

*Результаты, представленные в данной работе, получены при частичной поддержке Международного научного фонда и правительства России (гранты RМК000 и RМК300)

выводимым пучками на азимуте SM-18 будет составлять 2.36–4.40 мм. Это больше толщины септума первого магнитного дефлектора, и при правильной настройке режима обеспечивается существенное снижение потерь частиц на его перегородке.

Правильный учет процессов, имеющих место при взаимодействии ускоренного пучка с мишенями, показывает, что можно добиться больших (по сравнению с толщиной токовых перегородок дефлекторов) приростов амплитуд бетатронных колебаний частиц, что является необходимым условием вывода.

Полная схема вывода приведена на рис.1, где показаны локальные искажения замкнутой орбиты (бампы) на участках ЭД-106, септум-магнитов и мишеней T_1, T_2 (кривые 1, 1'), а также траектории выводимого пучка после его заброса в апертуру ЭД-106 (кривые 2, 2').

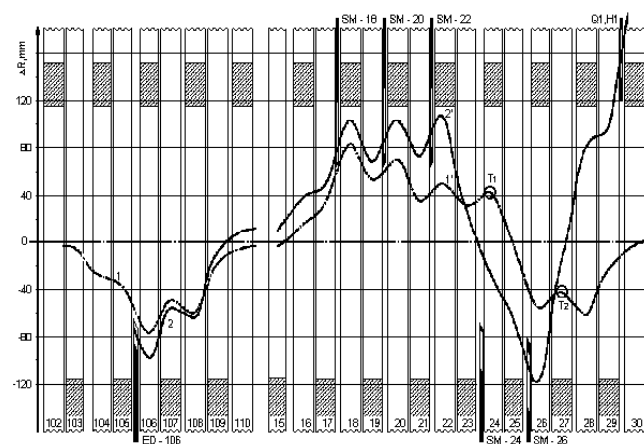


Рис. 1: Полная схема вывода протонов. ED-106, SM-18,20,22,26 — электростатический и магнитные дефлекторы; Q_1, H_1 — первые элементы тракта фокусировки; T_1, T_2 — внутренние мишени каналов 2 и 4 соответственно.

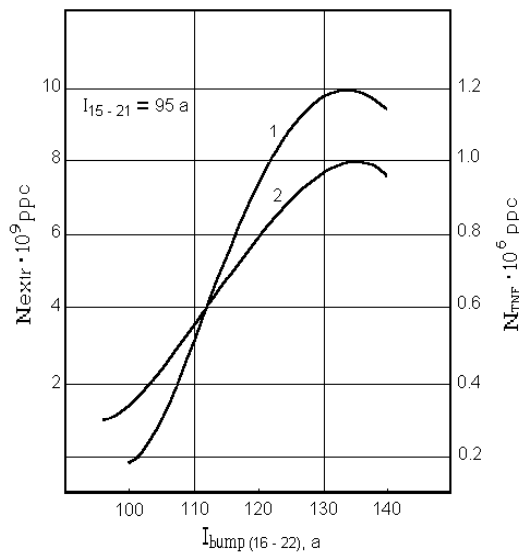
2. Экспериментальные результаты

На рис.2 представлена зависимость интенсивности протонов в начале канала (кривая 1) и К-мезонов после мишени экспериментальной установки (кривая 2) при выводе пучка по схеме 1 (SM-18 в качестве первого дефлектора) от тока бампа, формируемого с помощью обмоток блоков 16, 22. Видно, что достигнута интенсивность $\sim 10^{10}$ протонов/цикл. Это дает $\sim 10^6$ К-мезонов после внешней мишени, что достаточно для начала экспериментов по новой программе.

В случае использования схемы 2 длительность вывода составляла ~ 1.7 с — практический максимум, достижимый на плато магнитного цикла. В данном эксперименте, несмотря на пониженное на $\sim 20\%$ значение тока SM-18, зафиксировано значение интенсивности выведенного пучка $\geq 5 \cdot 10^{10}$ протонов/цикл, а на установке КМН — $\sim 5 \cdot 10^6$ К-мезонов. Коэффициент $\sim 10^{-4}$, характеризующий порядок величины сечения рождения К-мезонов в данном режиме, хорошо согласуется с данными предыдущего эксперимента (см. рис. 2).

Здесь следует также отметить, что кроме двух упомянутых параметров выведенного пучка интенсивности и длительности растяжки, еще один параметр имеет большое значение, так как непосредственно влияет на эффективность работы экспериментальной установки. Это временная структура выводимого пучка. Как было показано ранее (см., например, [3]), пульсации временной структуры не превосходят 10%, что обеспечивается работой тонкой мишени из углеродной ткани. В этом случае обеспечиваются наилучшие условия для набора статистики в эксперименте.

Рис. 2: Зависимость интенсивности пучка в канале 23 от тока бампа 16–22 в конце вывода. 1 — для выведенных из У–70 протонов, 2 — для К–мезонов после мишени установки КМН.



3. Оценка эффективности вывода

Эффективность вывода протонов при НМВ оценивалась, исходя из данных об интенсивности ускорителя, интенсивности пучка, неупругого взаимодействующего с внутренними мишенями, числе частиц, испытавших раскачку мишенями и интенсивности, зафиксированной в канале. Эти данные сведены в таблицу.

Таблица 1. Распределение интенсивности пучка при НМВ (в единицах 10^{11} протонов за цикл).

I_{Σ}	Сброс на внутренние мишени				$\Delta I_{НМВ}$	$\Delta I_{выв.}$
	У–70	ΔI_{24}	ΔI_{27}	ΔI_{35}		
24.0	11.0	10.0	1.0	22.0	2.0	$\geq 0.5^*$

*) Предел измерения, выше которого отмечено насыщение ионизационной камеры, использовавшейся в эксперименте.

Обозначения в таблице: $I_{\Sigma У-70}$ — интенсивность ускорителя; ΔI_i — интенсивность, потребляемая мишенями (i — номер мишени); $\Delta I_{НМВ}$ — интенсивность частиц, участвующих в НМВ; $\Delta I_{выв.}$ — интенсивность выведенного пучка протонов.

Эффективность вывода оценивалась следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{\Delta I_{выв.}}{\Delta I_{НМВ}} \geq \frac{5 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 10^{11}} \geq 25\%.$$

Такое значение эффективности для НМВ на ускорителе ИФВЭ получено впервые. Ожидается, что после оптимизации режимов ускорителя и элементов вывода (в том числе при работе SM–18 с номинальным током) можно достичь интенсивности выведенных протонов $\geq 10^{11}$ за цикл. При высоком качестве временной структуры выведенного пучка это полностью удовлетворит требования новой программы исследований на установке КМН.

Необходимо отметить, что максимальное значение выводимой интенсивности, предсказанное для этого режима на основе расчетов, выполненных в работе [7], составляет 10^{10} частиц за цикл. Это более чем в 5 раз отличается от интенсивности, полученной экспериментально в нашем режиме, и примерно на порядок — от ожидаемой интенсивности при условии работы SM-18 с номинальным током.

Основная из ошибок работы [7] заключается в рассмотрении гипотетических случаев использования мишеней из Al и Cu. Такие материалы, как и приведенные в табл. 2 их комбинации, не применяются в У-70 уже более 20 лет. Упомянутые там же реальные комбинации мишеней из Be и C (или Be и Be) позволяли предсказать более близкий к экспериментальному результат. Например, комбинация мишеней M24(C) + M27(Be) позволяла предсказать интенсивность $1.2 \cdot 10^{11}$, а вариант M24(Be) + M27(Be) — даже $1.6 \cdot 10^{11}$ протонов за цикл. Это хорошо согласуется с результатами оценки интенсивности пучка, выводимого в нашем случае, $\geq 10^{11}$ частиц за цикл.

Заключение

Использование в качестве первого элемента системы вывода электростатического дефлектора с толщиной перегородки ~ 0.1 мм позволило в режиме нерезонансного медленного вывода снизить потери частиц и даже с ненормальным током SM-18 добиться интенсивности, выводимой на установку КМН, $\geq 5 \cdot 10^{10}$ протонов за цикл. Это примерно на порядок выше интенсивности, выводившейся в условиях, когда первым дефлектором системы вывода SM-18 с толщиной септума ≈ 0.5 мм. Оценки показывают, что в оптимальных условиях возможно достижение интенсивности выведенного пучка $\sim 10^{11}$ протонов/цикл при сохранении достигнутых $\pm(7 \div 12)\%$ параметров по временной модуляции. Пучки с интенсивностью $\geq 10^{10}$ протонов/цикл и высоким качеством временной структуры требуются также на установках ФОДС -2 и СВД канала 22 для получения электронных пучков высокой энергии.

Нерезонансный медленный вывод — пока единственный на У-70 метод, позволяющий осуществить вывод пучков протонов высокого качества с интенсивностью до $\sim 10^{11}$ за цикл параллельно с выводом вторичных частиц для других экспериментов. Другими методами пучки частиц с такой интенсивностью, большой длительностью и высоким качеством временной структуры, а также стабильностью других параметров получить не удавалось.

Список литературы

- [1] Адо Ю.М. и др. Препринт ИФВЭ 85-23. Серпухов, 1985.
- [2] Асеев А.А. и др.//ЖТФ, 1990, т.60, N9, с.70, Ленинград.
- [3] Asseev A.A. et al.//Proceed. of the 3-d European Part. Accel. Conf., Berlin, 1992, v.2, p.1486.
- [4] Мызников К.П. и др. Препринт ИФВЭ 70-51. Серпухов, 1970.
- [5] Адо Ю.М., Людмирский Э.А. Препринт ИФВЭ 87-30. Серпухов, 1987.
- [6] Афонин А.Г.и др.//Труды XII Всесоюзного Сопещения по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1992, т.1, с.371.
- [7] Максимов А.В. Препринт ИФВЭ 94-38. Протвино, 1994.