

В-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2913



В.Д. Володин, В.Н. Зубарев, С.В. Мухин,
В.А. Попов, С.В. Рихвицкий, А.П. Саенко,
И.Н. Семенюшкин, В.Л. Степанюк

ЗАПУСК ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА
ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ЛВЭ ОИЯИ

АЛБОМТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1966

2913

4475/3 нф

В.Д. Володин, В.Н. Зубарев, С.В. Мухин,
В.А. Попов, С.В. Рихвицкий, А.П. Саенко,
И.Н. Семенюшкин, В.Л. Степанюк

ЗАПУСК ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА
ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ЛВЭ ОИЯИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Успешная реализация обширной программы исследований в области физики высоких энергий во многом определяется возможностями проведения экспериментов на чистых пучках элементарных частиц таких как антипротоны, К-мезоны и др.

Получение чистых пучков элементарных частиц до энергий 5-8 Гэв в настоящее время не встречает принципиальных трудностей. В этом диапазоне энергий широко используется электростатический метод сепарации частиц по массам. Однако этот метод становится малоэффективным для энергий, превышающих указанную границу, поскольку величина пространственного разделения обратно пропорциональна кубу импульса сепарируемых частиц^{х)}.

За последние годы предложен ряд оригинальных схем сепарации частиц высоких энергий см., например,^{/1/}, где для анализа частиц по массам используется высокочастотное (в/ч) электрическое поле. Можно показать^{/2/}, что в этом случае величина пространственного разделения сепарируемых частиц ожидается в $10^2 - 10^4$ раз больше, чем в случае электростатического метода разделения частиц. Экспериментальное подтверждение такого рода принципов сепарации и создание на их основе сепараторов частиц, на наш взгляд, является в настоящее время одной из первостепенных задач.

Принцип действия электродинамического сепаратора Лаборатории высоких энергий ОИЯИ основан на методе разделения частиц по массам, предложенным В.И. Векслером и В.А. Петуховым^{/3/}. Этот метод наиболее пригоден для ускорителей с "мягкой" фокусировкой, имеющих большие размеры вакуумной камеры.

Основу электродинамического сепаратора составляют: система кратного ускорения и система вывода вторичных частиц из ускорителя, отклоняющее устройство, монооптическая система. Схема сепаратора приведена на рис. 1.

а) Система кратного ускорения и система вывода сепарируемого пучка из ускорителя.

Назначение системы кратного ускорения^{/4,5/} - создать требуемую для сепарации частиц в/ч структуру пучка. Это достигается путем перезахвата протонов из обычного

х) При напряжении электрического поля $= 10^5$ в/см, длине электростатического сепаратора $= 10$ м и базе несколько десятков метров величина пространственного разделения сепарируемых частиц ($pc \geq 5$ Гэв) будет составлять \approx несколько мм.

режима ускорения в режим кратного ускорения. Переход на кратное ускорение осуществляется в конце цикла ускорения, когда протоны имеют требуемую энергию. Рабочая частота системы кратного ускорения 150 мгц и соответствующая кратность $q = 104$.

Вывод вторичных частиц, возникающих при взаимодействии ускоренного пучка с мишенью, осуществляется путем создания на короткое время азимутальной асимметрии магнитного поля в синхрофазотроне^{/8/}.

б) Отклоняющее устройство.

Отклоняющее устройство^{/7/} обеспечивает отклонение частиц в горизонтальной плоскости. Оно выполнено в виде системы из шестнадцати независимо фазиремых резонаторов квазиторoidalного типа, работающих на частоте 150 мгц. Отклоняющее устройство имеет соответствующую аппаратуру для подстройки частоты в каждом резонаторе, поддержания заданных фаз как между отдельными резонаторами, так и между системой кратного ускорения и отклоняющим устройством и др.

Центр отклоняющего устройства находится на расстоянии 59 м от мишени, что соответствует разности времен пролета π -мезонов и антипротонов с импульсом 5 Гэв на этой базе, равной полупериоду изменения в/ч электрического поля.

в) Ионнооптическая система.

Ионнооптическая система^{/4/} состоит из трех объективов (рис. 1) и трех электромагнитов типа СП-12, СП-100. Каждый объектив представляет собой триплет из трех стандартных линз типа МЛ-17, МЛ-16^{/8/}.

Наладка отдельных систем и устройств электродинамического сепаратора с пучком частиц была завершена в течение первого полугодия 1985 года.

На рис. 2 представлена характеристика пучка π -мезонов с импульсом $p_c = 4,95$ Гэв в районе магнита СП-100 (на расстоянии 80 м от мишени). Интенсивность пучка в этом месте составляет $\approx 10^4$ π -мезонов на 10^{11} протонов, сбрасываемых на мишень. Интервал импульсов: $\frac{\Delta p}{p} = 0,005$.

На рис. 3 представлена в/ч структура пучка π -мезонов у магнита СП-100 при работе системы кратного ускорения. Напряжение на резонаторе системы кратного ускорения $V_q = 60$ кв, эффективность перезахвата ускоренных протонов в режиме кратного ускорения $\sigma = 0,7$, время взаимодействия пучка с мишенью 2 мсек. Измерение в/ч структуры пучка проводилось с помощью управляемых ФЭУ типа СКР-1^{/8,10/}, разрешающее время которых равно $8 \cdot 10^{-10}$ сек.

На рис. 4 представлено пространственное распределение пучка π -мезонов, не имеющего в/ч структуры при работе отклоняющего устройства. Отклонение обеспечивалось восьмью резонаторами. Вводимая в резонаторы мощность $P = 1$ Мвт, напряженность электрического поля $E \approx 30$ кВ/см, длительность в/ч импульса 4 мсек.

Проведенные испытания показали надежную работу всех систем и устройств электродинамического сепаратора в отдельности. Полученные результаты близки к расчетным. Все это позволило в декабре 1965 года осуществить комплексный запуск всех систем электродинамического сепаратора ЛВЭ.

На рис. 5 приведено пространственное распределение пучка у магнита СП-100 для случаев:

I - работают все системы сепаратора и сдвиг фаз между системой кратного ускорения и отклоняющим устройством равен ϕ .

II - тот же режим, что и I, но сдвиг фаз равен $\phi + \pi$.

Для сравнения показано положение пучка, когда в/ч системы сепаратора не работают.

Проведенные измерения показали, что даже при относительно грубой настройке очистка пучка антипротонов равна ≈ 200 . При этом напряжение на резонаторе системы кратного ускорения было равно $V_q = 80$ кВ, время взаимодействия пучка с мишенью 2 мсек, отклонение пучка обеспечивалось восьмью резонаторами, вводимая мощность $P = 1$ Мвт, напряженность электрического поля $E \approx 30$ кВ/см.

В настоящее время проводятся работы по доведению всех параметров до проектных.

В заключение можно указать, что осуществление режима работы синхрофазотрона на высокой кратности с высоким коэффициентом перезахвата протонов и полученная при этом в/ч структура вторичного пучка частиц, по-видимому, могут оказаться весьма интересными для ряда экспериментов, где требуется "мигающий" пучок вторичных частиц, например, для разделения нейтральных частиц по времени пролета.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность академику В.И. Векслеру за постоянный интерес к работе.

Мы благодарны главному инженеру ЛВЭ Н.И. Павлову, оказавшему большое содействие в создании сепаратора.

Мы приносим глубокую благодарность сотрудникам группы антипротонного канала и всем службам синхрофазотрона ОИЯИ, обеспечившим осуществление успешного запуска электродинамического сепаратора; коллективам мастерских, отдела главного энергетика ЛВЭ, оказавшим большую помощь в подготовке запуска.

На разных этапах работы большую помощь нам оказали сотрудники Электротехнического института Словацкой Академии наук (Братислава, ЧССР) т.т. И. Гласник, М. Высочанский, М. Полак, Ю. Бетко, И. Пузьяк, И. Фолтин.

Л и т е р а т у р е

1. В.А. Вагин, В.И. Котов, И.Н. Семенюшкин. "Методы сепарации частиц высоких энергий". УФН т. XXXII, 724, 1964 (708-748).
2. M. Bell, P. Bramham, R.D. Fortune, E. Keil, W.W. Montague. RF Particle Separators
Труды Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1963.
3. В.И. Векслер. "О запуске синхрофазотрона на 10 Гэв и первых результатах физических исследований". Труды Второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Доклады советских ученых. Ядерная физика, Атомиздат, Москва, 1959, стр. 253.
4. В.А. Вагин, В.И. Векслер, В.Н. Зубарев, А.Б. Кузнецов, С.В. Мухин, В.А. Петухов, В.А. Попов, Н.Б. Рубин, И.Н. Семенюшкин, В.Л. Степанюк, К.В. Чехлов. "Электродинамический сепаратор антипротонов с импульсом 5 Гэв/с". Труды Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1963.
5. Н.Г. Борисов, В.А. Вагин, В.Д. Володин, В.И. Зайцев, Н.Н. Пляшкевич, А.П. Саенко, И.Н. Семенюшкин, В.Л. Степанюк. "Система кратного ускорения электродинамического сепаратора частиц высоких энергий". Препринт ОИЯИ Р-2375, Дубна 1965.
6. К.П. Мызников, И.Н. Яловой. "Вывод пучка на мишень в синхрофазотроне посредством возбуждения азимутальной асимметрии магнитного поля", ПТЭ, 4, 19, 1963.
7. М.С. Давыдов, Л.Г. Дорфман, В.Б. Залманзон, Г.А. Зейтленок, В.В. Екимов, В.М. Левин, И.Ф. Малышев, И.Г. Петелин, В.И. Петрунин, В.А. Попов, Н.Ф. Трушин, И.Г. Уманский, И.И. Финкельштейн. "Отклоняющая система антипротонного канала на 5 Гэв", Труды Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1963.
8. Электрофизическая аппаратура промышленного изготовления, М. Госатомиздат, 1963.
9. S.V. Muchin, H.J. Pohl, S.V. Richwizky, I.N. Semenushkin and I. Foltin Über die Erprobung eines Steuerbaren Kurzzeit-Photovervielfachers SKP-1 Nucl. Instrum. and Meth. 33, 1965. 339.
10. M. Vysochansky, L. Nagy, L. Ondris, F. Lehotay. Electrotechnicky casopis (Bratislava) .

Рукопись поступила в издательский отдел
31 августа 1966 г.

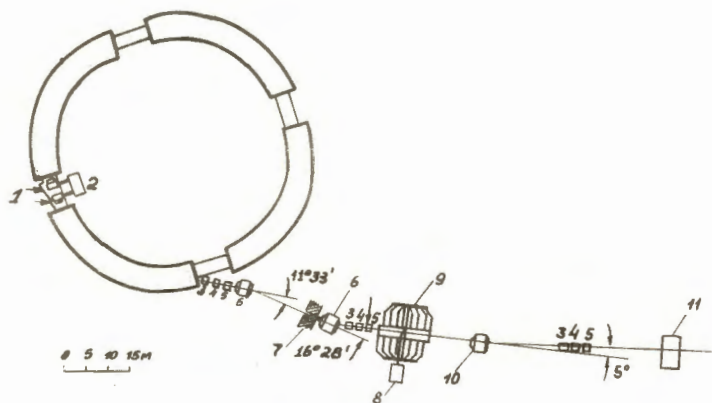


Рис. 1. Схема электродинамического сепаратора Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.
 1 - система кратного ускорения; 2 - в/ч генератор системы кратного ускорения;
 3,5 - линзы типа МЛ-17; 4 - линза типа МЛ-1в; 8 - магнит типа СП-12,
 7 - коллиматор; 8 - в/ч генератор отклоняющего устройства; 9 - отклоняющее
 устройство; 10 - магнит типа СП-100; 11 - водородная пузырьковая камера.

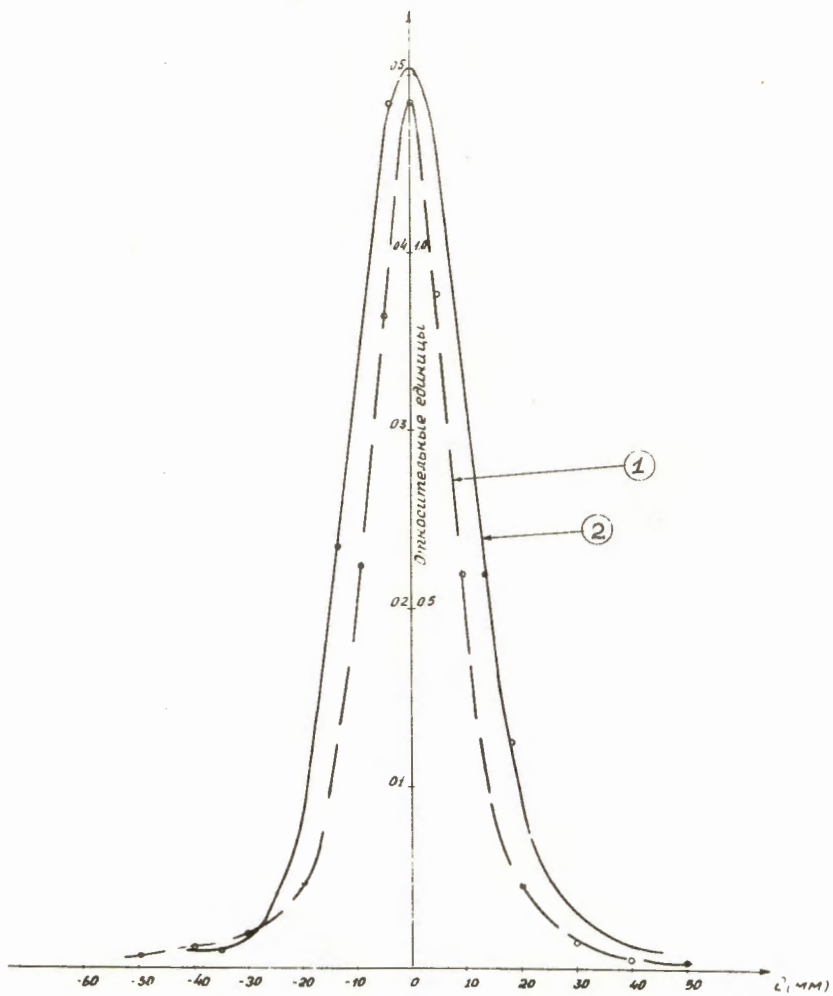


Рис. 2. Пространственное распределение пучка π -мезонов у магнита СП-100.
 1 - горизонтальное распределение (измерения проводились с помощью счетчиков, размер сцинтиллятора 5 мм); 2 - вертикальное распределение (измерения проводились с помощью счетчиков, размер сцинтиллятора 10 мм).

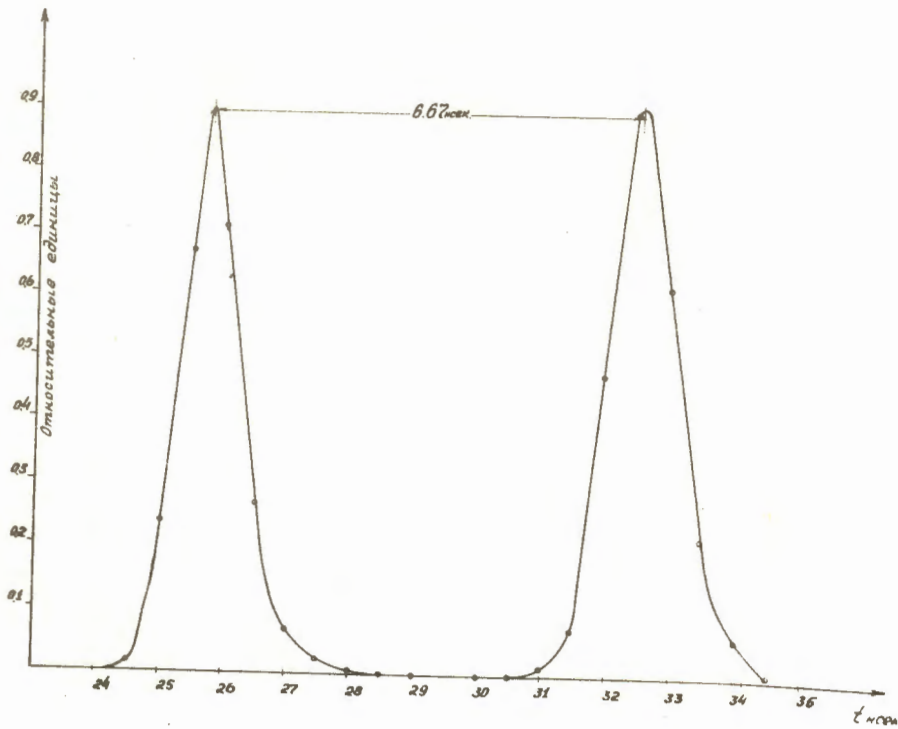


Рис. 3. Высокочастотная структура частиц с импульсом $p_e = 5,0$ Гэв.

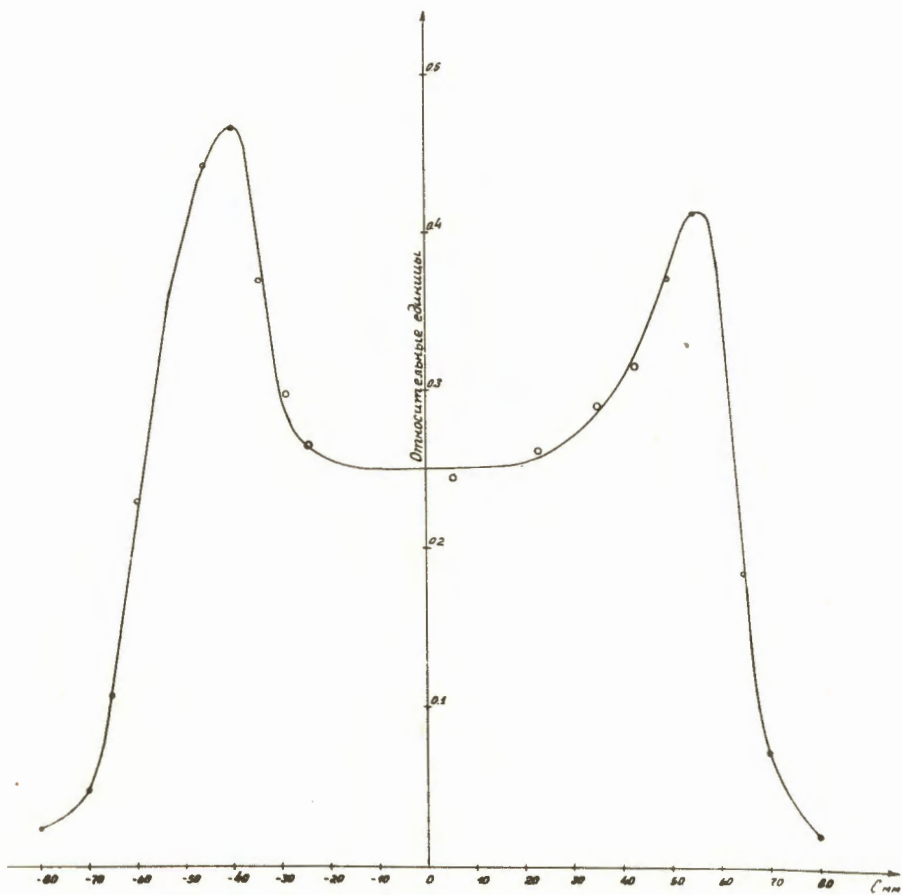


Рис. 4. Горизонтальное распределение пучка у магнита СП-100 при работе отклоняющего устройства.

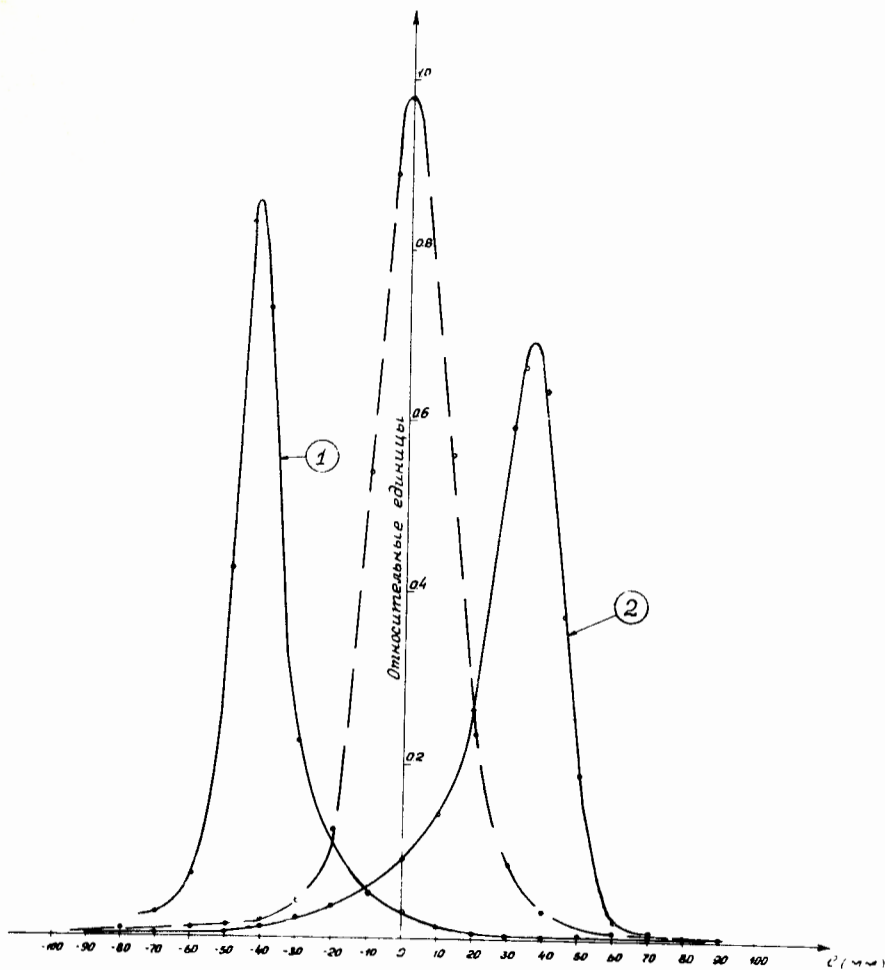


Рис. 5. Горизонтальное распределение пучка у магнита СП-100. I - при работе всех систем электродинамического сепаратора и сдвиге фаз ϕ между системой кратного ускорения и отклоняющим устройством. II - то же, что и I, но при сдвиге фаз $\phi + \pi$.