

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P16 - 6059



Л.Н.Зайцев, Л.Р.Кимель, Я.Н.Расцветалов,  
В.П.Сидорин

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ФОРМАГНИТ СИСТЕМЫ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА  
ПРОТОНОВ КАК ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

1971

P16 - 6059

Л.Н.Зайцев, Л.Р.Кимель, Я.Н.Расцветалов,  
В.П.Сидорин

ФОРМАГНИТ СИСТЕМЫ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА  
ПРОТОНОВ КАК ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ОИЯИ

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

Зайцев Л.Н., Кимель Л.Р., Расцветалов Я.Н.,  
Сидорин В.П.

P16-6059

Формагнит системы медленного вывода протонов как источник  
вторичного излучения на синхрофазотроне ОИЯИ

В режиме сброса ускоренного пучка протонов при 10 Гэв/с на сеп-  
тум формагнита получены экспериментальные данные об угловом распре-  
делении вторичных радиоактивных частиц вблизи септума и пространствен-  
ном распределении вторичных частиц по длине вакуумной камеры синхро-  
фазотрона.

Эти данные могут быть использованы при определении радиационной  
обстановки и в расчётах локальной защиты синхрофазотрона ОИЯИ при  
увеличении интенсивности ускоренного пучка протонов.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1971

Zaitsev L.N., Kimel L.R., Rastsvetalov Ya.N.,  
Sidorin V.P.

P16-6059

Formagnet of the Slow Proton Extraction System as a  
Source of the Secondary Radiation in the JINR  
Synchrophasotron

The experimental data on the angular distribution of the second-  
ary radioactive particles near the septum and on the space distri-  
bution of these particles along the vacuum chamber of the synchro-  
phasotron are obtained in the regime of dumping of the accelerated  
proton beam at 10 GeV/c to the septum of the formagnet.

These data can be used by determining the radiation situation  
and in calculating the local shielding at the JINR synchrophasotron  
at decreasing intensity of the accelerated proton beam.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1971

В связи с предстоящей работой синхрофазотрона в режиме медленного  
вывода протонов для определения радиационной обстановки на ускорителе  
и расчётов защиты изучалось пространственное распределение вторичных  
частиц, генерируемых на септуме формагнита системы вывода.

Были созданы условия эксперимента, имитирующие действующий фор-  
магнит системы вывода протонов. Для этого в вакуумной камере был  
установлена модель формагнита (без подключения возбуждающих обмоток)  
которая по местоположению, материалу и размерам отвечала реальным ус-  
ловиям. Размеры септума 0,3 x 7 x 90 см<sup>3</sup> (см. рис. 1); материал - медь.  
Если на септум сбрасывать пучок протонов с интенсивностью -  $5 \cdot 10^{10}$   
прот/цикл, то эта величина будет соответствовать 5%-ным потерям пучка  
протонов с интенсивностью  $10^{12}$  прот/цикл при работающем выводе

Мониторирование интенсивности ускоренного пучка протонов осущест-  
влялось с помощью пикап-электрода в момент начала сброса пучка на  
септум. В этот момент интенсивность составляла  $(3-4) \cdot 10^{10}$  прот/цикл.  
Абсолютное число взаимодействующих с септумом протонов не контролиро-  
валось, так как это число зависит от условий заброса пучка в зазор фор-  
магнита и должно измеряться при работе системы вывода.

В режиме сброса ускоренного пучка протонов на септум формагнита  
были измерены плотности потоков вторичных частиц различных энергетиче-  
ских групп на поверхности вакуумной камеры. По измеренным плотностям  
потоков вторичных частиц получены: а) функция углового распределения

вторичных ядерноактивных частиц, генерируемых на атомах материала септума; б) функция пространственного распределения вторичных частиц по длине вакуумной камеры.

Для регистрации излучения использовались активационные пороговые детекторы, ядерные эмульсии и рентгеновские пленки (табл. 1). Для стандартной маркировки детекторов (что важно при обработке результатов) была выбрана постоянная схема точек, показанная на рис. 1. Количество различных типов детекторов и места их установки определялись из условий получения достаточной информации и технической возможности обсчета активности данного количества детекторов. Место установки зависело также от чувствительности детекторов.

Например, детекторы  $^{31}\text{P}$ ,  $^{32}\text{S}$  и  $^{27}\text{Al}$  устанавливались только на прямолинейном промежутке вблизи септума (точки 1-57), так как в других точках плотность потока вторичных частиц лежит ниже предела чувствительности этих детекторов. Детекторы из полистирола помещались почти во всех точках, указанных на схеме (рис. 1). Однако они не могли быть помещены дальше от септума также из-за их низкой чувствительности. По всему периметру кольца синхрофазотрона устанавливались только ядерные фотоэмульсии К-20. Они были помещены в 28 точках вакуумной камеры по азимуту по 9-10 штук в каждой точке (см., например, сечения А-А и Б-Б, рис. 1). Измеренные плотности потоков вторичных частиц для некоторых типов детекторов приведены в табл. 2.

Функция углового распределения вторичных частиц, возникающих при взаимодействии ускоренных протонов с септумом (рис. 2), получена по измеренным плотностям потоков детекторами  $^{12}\text{C}$ , помещенными в точки: 11; 11'; 21; 31; 31'; 41; 51; 51' (рис. 1). В данном эксперименте только для одной этой партии детекторов измерения были выполнены при наличии септума и без него. В этом случае разность в показаниях детекторов представляет собой плотность потока вторичных частиц, обусловленных только взаимодействием ускоренных протонов с септумом. Вторичные частицы, возникающие в результате взаимодействия протонов со стенками камеры (без септума), дают заметный вклад в показания детекторов только при углах  $\Theta > 90^\circ$ . Угол  $\Theta$  отсчитывается от направления движения протонов от середины септума.

Таблица I

## КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТЕКТОРОВ

Детектор	Используемая реакция	Эффективная область регистрации, Мэв	Размеры и вес
Полистирол с добавками терфинала и РОРОР	$^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{C}$	> 50 (пионы) > 20 (нуклоны)	диаметр - 45 мм, толщина 10 мм, вес 20 г.
Толуол со сцинтиллирующими добавками	$^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{C}$	> 50 (пионы) > 20 (нуклоны)	в алюминиевом бачке объемом 1 л.
Фосфор	$^{31}\text{P}(n, p)^{31}\text{S}$	$2 < E < 20$	4,9 г., диск
Сера	$^{32}\text{S}(n, p)^{32}\text{S}$	> 2,3	11,5 г., диск
Алюминий	$^{27}\text{Al} \rightarrow ^{24}\text{Na}$	> 6,7 (нейтроны) > 35 (протоны)	10 г., диск
Ядерная эмульсия К-20	протоны отдачи	$0,5 < E < 50$	толщина 20 микрон
Рентгеновская пленка РМ5-1	почернение (гамма-кванты и заряженные частицы)	-	толщина 20 микрон

Таблица 2

ПЛОТНОСТЬ ПОТОКОВ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ,  
(частиц/см<sup>2</sup>сек) / (протон/сек) x 10<sup>6</sup>

№ точек (рис. I)	Нуклоны E > 20 Мэв, Пионы E > 50 Мэв		Нейтроны 2 < E < 20 Мэв	Нейтроны E > 2,3 Мэв
	1	2	3	4
I	0,20 ± 0,01		0,7 ± 0,2	-
4	0,40 ± 0,03		1,5 ± 0,5	-
7	0,50 ± 0,04		2,0 ± 0,5	-
8	2,7 ± 0,1		-	-
9	18,0 ± 2		-	-
10	1,70 ± 0,03		-	-
11	0,20 ± 0,01		2,0 ± 0,5	-
14	3,6 ± 0,4		2,5 ± 0,5	-
15	2,5 ± 0,2		-	-
17	0,40 ± 0,03		4,5 ± 0,5	-
18	9,7 ± 0,2		-	-
19	15,0 ± 1,0		-	-
20	11,0 ± 0,1		-	-
21	0,20 ± 0,01		7,0 ± 0,5	9 ± 1
22	0,20 ± 0,01		5,0 ± 0,5	-
23	0,40 ± 0,02		14,0 ± 0,5	19 ± 2
24	0,10 ± 0,01		21,0 ± 1	6 ± 1
25	0,50 ± 0,02		9,0 ± 0,5	16 ± 2
27	-		7,0 ± 0,5	9 ± 1
28	33,0 ± 1,0		14,0 ± 0,5	17 ± 2
29	39 ± 2		16 ± 1	15 ± 2
30	0,60 ± 0,03		13,0 ± 0,5	-
31	0,40 ± 0,01		8 ± 1	11 ± 1
32	0,20 ± 0,01		5,0 ± 0,5	-
33	75 ± 2		13 ± 1	3 ± 0,5
34	1,70 ± 0,2		23 ± 1	9 ± 1
35	53 ± 3		15 ± 1	4 ± 1
37	-		8,0 ± 0,5	11 ± 1
38	29,0 ± 0,5		7,0 ± 0,5	8 ± 2
39	36,0 ± 0,5		9,0 ± 0,5	11 ± 1
40	17,0 ± 0,2		7,0 ± 0,5	7 ± 1

Продолжение  
таблицы 2

I	2	3	4
4I	0,50 ± 0,0I	5,0 ± 0,5	8 ± I
43	23,0 ± 0,2	10,0 ± I	12 ± I
44	2,0 ± 0,I	12,0 ± 2	20 ± 3
45	-	8,0 ± 0,5	11 ± I
47	36,0 ± I	9,0 ± I	8 ± I
48	3,0 ± 0,I	6,0 ± 0,5	7 ± I
49	31,0 ± 0,3	8,0 ± 0,5	8 ± I
50	18,0 ± I	6,0 ± 0,5	7 ± I
5I	0,40 ± 0,02	5,0 ± 0,5	-
53	30,0 ± I	5,0 ± 0,5	-
54	0,50 ± 0,0I	9,0 ± 0,5	2 ± 0,2
55	53,0 ± I	7,0 ± I	-
57	33,0 ± 0,3	6,0 ± I	-
59	8,3 ± 0,4	-	-
60	6,I ± 0,3	-	-
6I	2,6 ± 0,2	-	-
62	10,0 ± 0,4	-	-
63	3,3 ± 0,2	-	-
64	1,2 ± 0,I	-	-
67	3,2 ± 0,3	-	-
68	8,0 ± I	-	-
69	1,0 ± 0,I	-	-
70	1,0 ± 0,I	-	-
7I	7,5 ± 0,3	-	-
72	0,5 ± 0,05	-	-
75	0,4 ± 0,05	-	-
76	0,50 ± 0,05	-	-
77	12,0 ± I	-	-
78	2,0 ± 0,2	-	-
79	11,0 ± 0,5	-	-
80	7,2 ± 0,3	-	-
8I	0,60 ± 0,05	-	-
82	0,20 ± 0,02	-	-
84	0,30 ± 0,02	-	-
85	0,90 ± 0,I	-	-
86	7,0 ± 0,5	-	-
87	0,5 ± 0,05	-	-

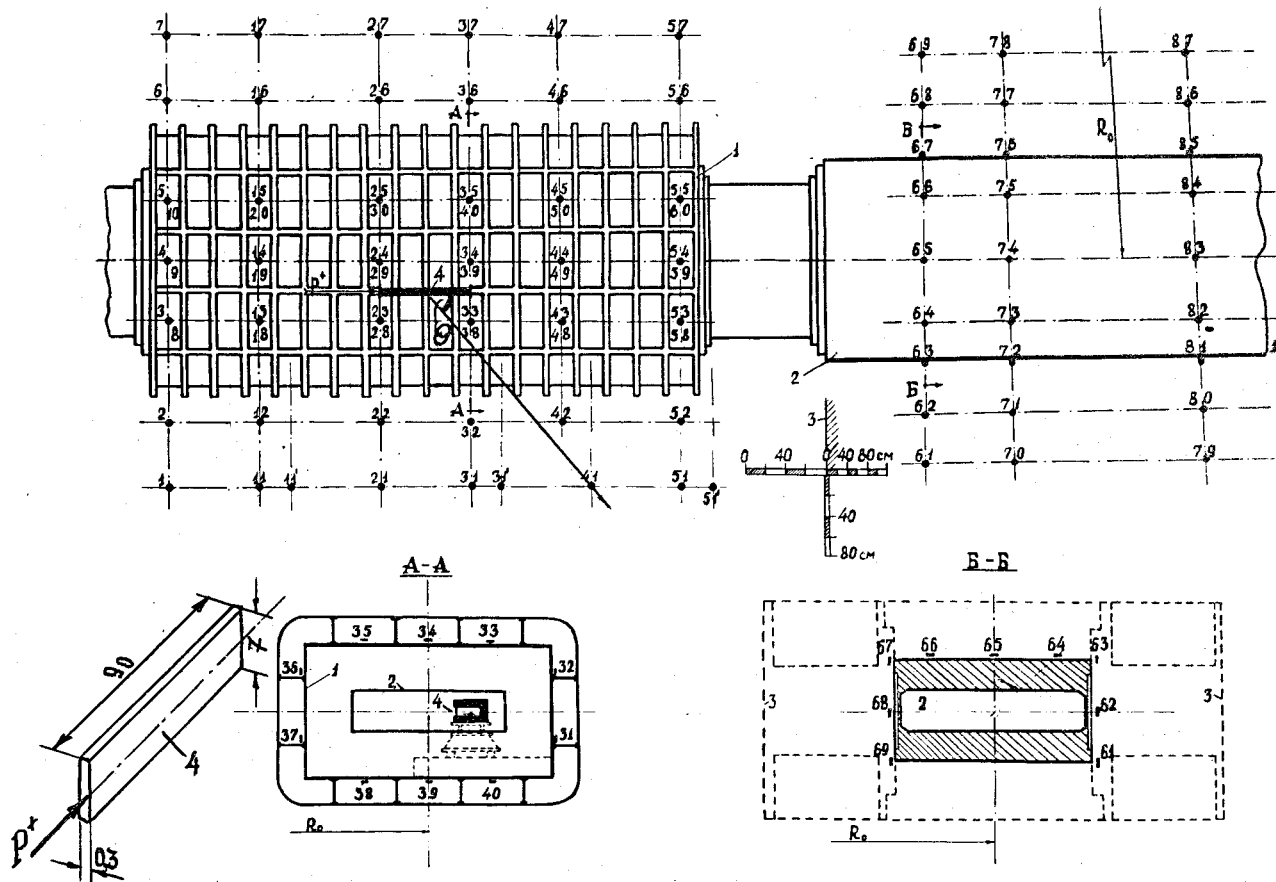


Рис. 1. Схема расположения детекторов; 1 - прямолинейный промежуток; 2 - вакуумная камера; 3 - край квадранта магнита; 4 - септум формагни-та.



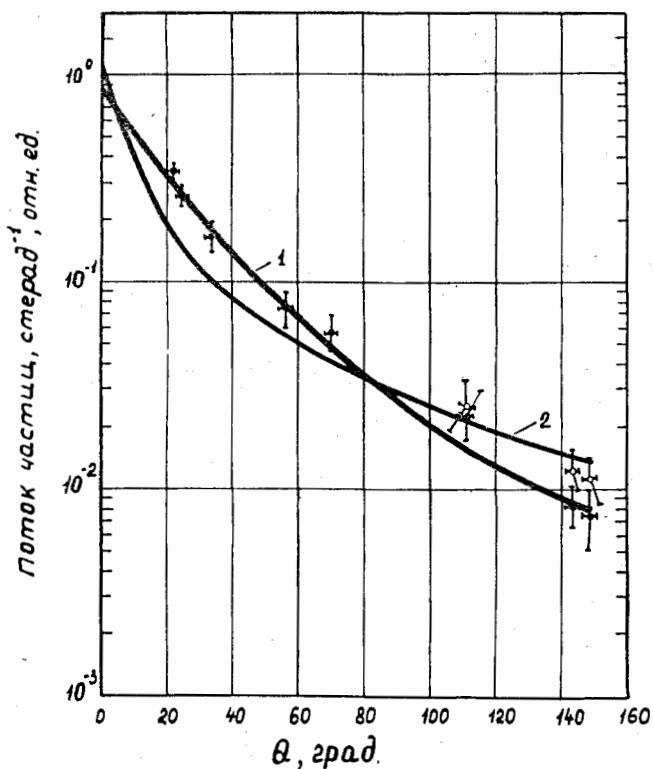


Рис. 2. Угловое распределение вторичных частиц от септума формамгнита.  
 ●, ○ - измерения настоящей работы с септумом и без септума, соответственно; 1 - эмпирическая зависимость (1); 2 - эмпирическая зависимость (2).

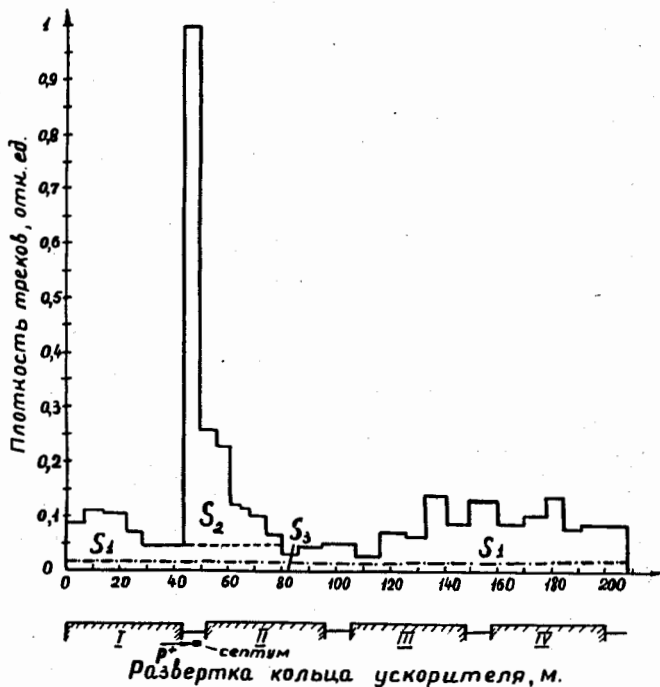


Рис. 3. Распределение вторичных частиц по кольцу синхрофазотрона (измерено с помощью ядерных эмульсий К-20).

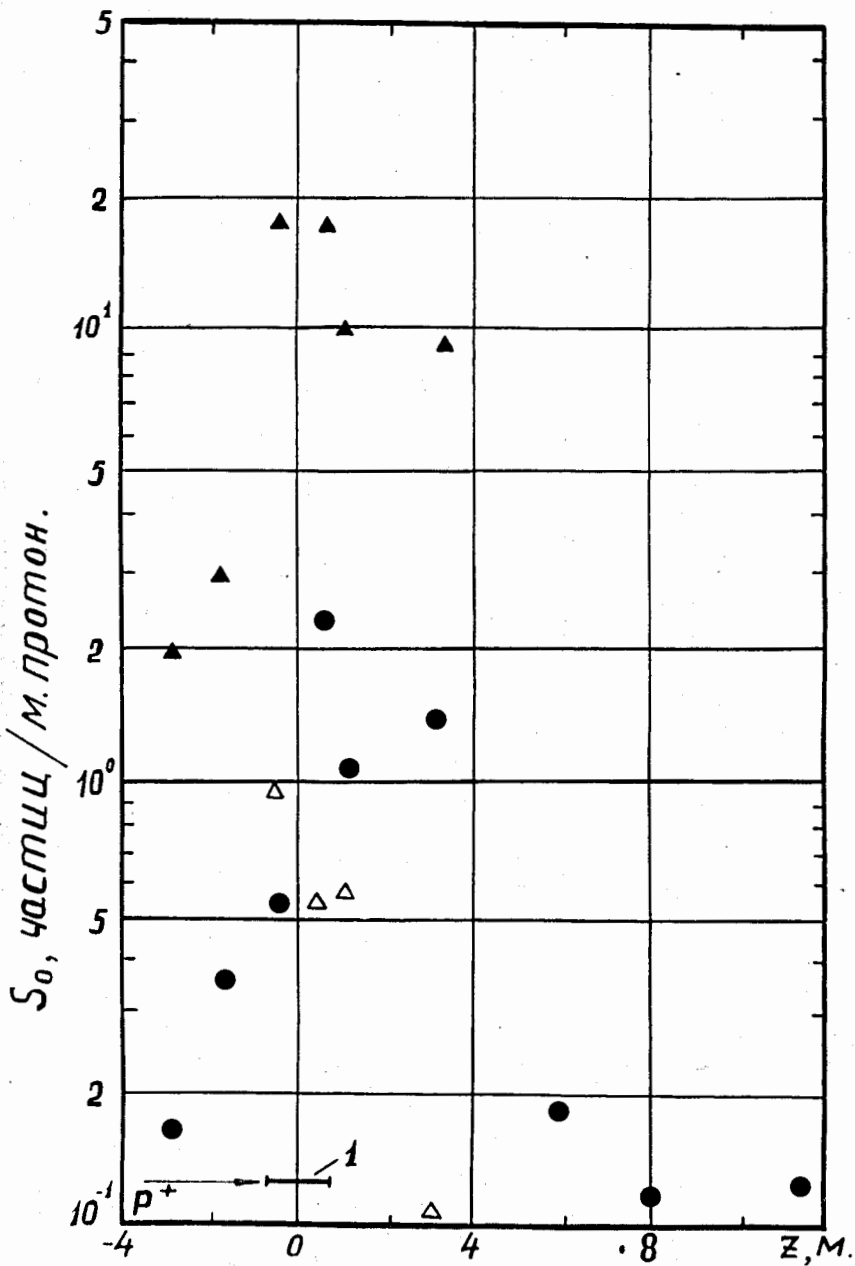


Рис. 4. Функция пространственного распределения вторичных частиц по длине вакуумной камеры. ▲ - <sup>31</sup>P, △ - <sup>32</sup>S, ● - <sup>12</sup>C, - 1 септум.

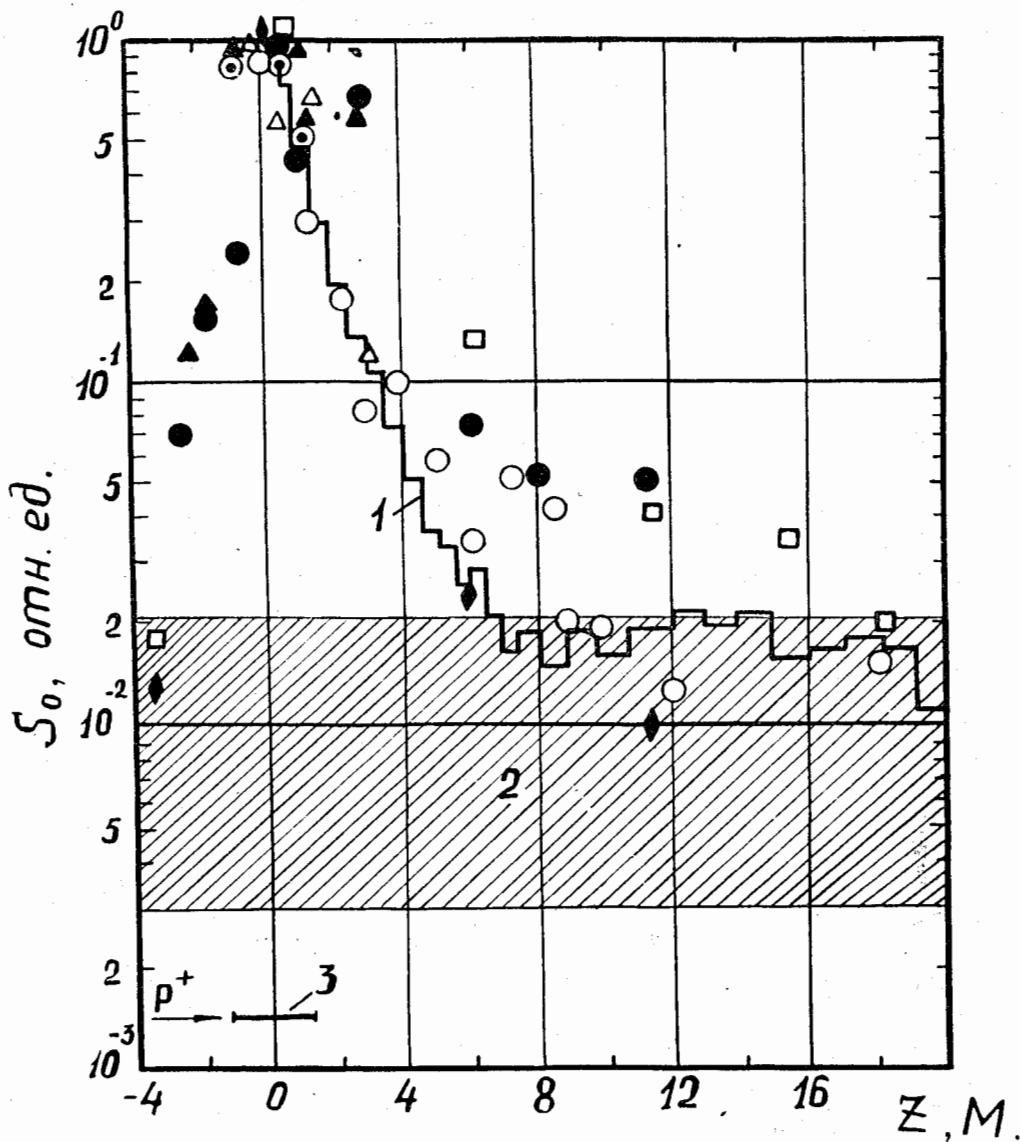


Рис. 5. Сравнение функции пространственного распределения вторичных частиц по длине вакуумной камеры с расчётом  $\bullet$   $^{12}\text{C}$ ,  $\blacktriangle$   $^{31}\text{P}$ ,  $\Delta$   $^{32}\text{S}$ ,  $\odot$   $^{27}\text{Al}$ ,  $\circ$   $^{27}\text{Al} / 2$ ;  $\blacklozenge$  - рентгеновские пленки;  $\square$  - эмульсии К-20; 1 - расчёт методом Монте-Карло<sup>/3/</sup>; 2 - функция  $S_1(z) + S_3(z)$ ; 3 - септум.

Приведенные на рис. 2 экспериментальные результаты можно описать эмпирической зависимостью вида:

$$F(\Theta) = \exp(-0,07 - 2,9\Theta + 0,4\Theta^2). \quad (1)$$

Для сравнения на этом же рисунке приведена функция углового распределения вторичных частиц от медной мишени размерами  $3 \times 3 \times 9 \text{ см}^3$ , полученная в  $\sqrt{1}$ . Авторы этой работы аппроксимировали экспериментальные результаты функцией вида:

$$F(\Theta) = k(\Theta + 0,157)^{-1,6}, \quad (2)$$

где  $k$  — нормирующий множитель.

Функция пространственного распределения вторичных частиц по длине вакуумной камеры  $S_0(Z)$ , где  $Z$  — расстояние, отсчитываемое от любой точки кольца ускорителя по направлению движения протонов, получена по данным измерений ядерными эмульсиями К-20 (рис. 3). При взаимодействии с септумом ускоренных протонов с энергией  $E_0$  образуются вторичные частицы разного сорта со своими спектрально-угловыми распределениями. Заряженные частицы с энергией, близкой к  $E_0$ , и вылетающие из септума в угловом интервале от  $\Theta_1 = 0^\circ$  до  $\Theta_2$ , равном нескольким градусам, "оседают" на стенках камеры по всему кольцу ускорителя и определяют функцию  $S_1(Z)$ .

Остальные вторичные частицы от полного числа частиц, возникающих при взаимодействии протонов с септумом, оседают на стенках камеры вблизи септума и определяют функцию  $-S_2(Z)$  на некотором участке от  $Z_1$  до  $Z_2$  периметра ускорителя. Кроме того, существует пространственное распределение вторичных частиц, образующихся от потерь протонов с переменной энергией  $E_0'$  в процессе ускорения (до момента сброса на мишень). Эти вторичные частицы определяют функцию  $-S_3(E_0', Z)$ . Таким образом, функция распределения всех вторичных частиц по кольцу ускорителя равна:

$$S_0(Z) = S_1(Z) + S_2(Z) + S_3(Z), \quad (3)$$

где

$$S_3(Z) = \int_{(E'_0)} S_3(E'_0, Z) dE'_0 ; E_0 = \text{const.}$$

Если принять предположение, выдвинутое в работе<sup>/2/</sup>, что  $S_0 = \int_{(Z)} S_0(Z) dZ$ , где  $S_0(Z)$  - функция распределения вторичных частиц, регистрируемых детекторами, пропорционально потерям протонов на ускорителе, то по данным рис. 3 можно оценить потери протонов на синхрофазотроне на отдельных участках. При  $S_0 = 1$ ;  $S_1 + S_3 = 0,628$ ;  $S_2 = 0,372$ , а

$$\int_{(Z)} S_3(Z) dZ \quad \text{на рис. 3 показан условно.}$$

Функция пространственного распределения вторичных частиц  $S_0(Z)$  на участке камеры вблизи септума была получена также по измерениям плотности потока вторичных частиц различными типами детекторов, установленных по сечениям вакуумной камеры. Показания детекторов умножали на длину участка сечения камеры между детекторами и суммировали их по всему сечению. Следовательно,  $S_0(Z)$  - число вторичных частиц на единицу длины камеры, которое мы нормировали на один ускоренный протон. На рис. 4 приведена функция  $S_0(Z)$  при  $Z_1 = -4\text{м}$ ,  $Z_2 = 12\text{м}$  ( $Z$  отсчитывается от середины длины септума). На рис. 5 характер функции  $S_0(Z)$  на данном участке сравнивается с расчётом аналогичной функции методом Монте-Карло<sup>/3/</sup>.

В заключение отметим, что полученные функции  $F(\theta)$  и  $S_0(Z)$  при соответствующей нормировке на выход частиц могут быть использованы для определения радиационной обстановки и в расчётах локальной защиты синхрофазотрона ОИЯИ при увеличении интенсивности ускоренного пучка протонов.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность: В.А. Григорьеву, Е.А. Степанову, В.Ф. Таусеневу, В.Б. Хвостову, Г.И. Старшиновой, В.Г. Жбанкову, а также сотрудникам отделов обслуживания синхрофазотрона за помощь при проведении эксперимента.

Литература

1. В.Е. Алейников и др. Препринт ОИЯИ, Р8-2933, Дубна, 1966.
2. Shielding experiment at the CERN Proton Synchrotron, Rep. UCRL-17941 (1968).
3. J. Ranft, Rep. CERN, mps/int, MU/EP, 67-5 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 сентября 1971 года.