

Б 2-16-5844

С349а

3-177



+

Зайцев Л.Н. и др.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б 2-16-5844

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1971

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Б2-16-5844  
С349а  
3-177

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

РАССЕЯННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

С.Ф. 3235

Рукопись поступила  
в ИИЯИ 28. VII 1971 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1971 г.

без набега

№ 281

Л.Н.ЗАЙЦЕВ, Л.Р.КИМЕЛЬ, Я.Н.РАСЦВЕТАЛОВ, В.П.СИДОРИН.

82-16-5844

РАССЕЯННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

итгс. 281

Результаты экспериментальных исследований некоторых характеристик полей излучения вокруг синхрофазотрона на 10 ГэВ приведены в работах [1-4]. Измерения были выполнены в режиме сброса ускоренного пучка протонов на "тонкие", внутренние мишени (толщина материала мишени менее одного пробега до ядерного взаимодействия протона с энергией 10 ГэВ). В этом случае основная часть ускоренных протонов равномерно рассеивается на стенках вакуумной камеры и создает источник вторичного излучения, распределенный по всему кольцу ускорителя. Такой источник практически определяет радиационную обстановку вокруг ускорителя, так как вклад вторичного излучения, возникающего от взаимодействия ускоренных протонов с тонкими мишенями, незначителен.

Потери ускоренных протонов на толстых мишенях или устройствах для вывода пучка протонов из камеры ускорителя образуют "локальные" источники излучения. В этом случае радиационная обстановка в зале ускорителя и прилегающих к нему помещениях зависит от расположения таких мишеней.

В ближайшем будущем на синхрофазотроне ОИЯИ планируется ввести в эксплуатацию систему медленного вывода протонов. Для моделирования условий радиационной обстановки, которые соответствовали бы действующему формагниту системы вывода протонов, в вакуумную камеру между I и II квадрантами магнита (рис.1) была установлена его модель (без подключения возбуждающих обмоток).

В работе [5] в режиме сброса ускоренных протонов на эту модель получены экспериментальные данные о пространственном распределении вторичных частиц по длине камеры синхрофазотрона.

В данной работе исследовалось пространственное распределение вторичного излучения на различных расстояниях от модели Формангита. Условия эксперимента подробно изложены в работе [5]. На рис. I показаны точки, в которых производились измерения характеристик полей излучения. Для получения данных о пространственном распределении вторичных частиц вблизи септума детекторы устанавливались параллельно траектории движения ускоренных протонов за стальным ярмом магнита (точки I-I6) и по направлению, перпендикулярному к направлению движения протонов (по линии А-А). Точки I7-23 выбраны для определения уровней излучения в экспериментальном зале. Измерения плотности потоков излучения в точках 24-34, удаленных от септума (в области распределенного источника), проведены с целью сравнения с данными работы [3], а измерения в точках 36-5I необходимы для определения выхода через верхнее перекрытие синхрофазотрона излучения различных энергетических групп.

Для регистрации плотностей потоков излучения в указанных точках применялись пороговые детекторы из полистирола и толуола (используемая реакция  $C^{12} \rightarrow C^{11}$ ), фосфора (используемая реакция  $P^{31}(\eta, p)S^{31}$ ), индия в чехле из кадмия (используемая реакция  $Jn^{115}(\eta, \gamma)Jn^{116m}$ ), а также пропорциональный  $BF_3$  - счетчик с полиэтиленовыми замедлителями [6-7]. Кроме того, для регистрации нейтронов в диапазоне энергий I-10 Мэв (по протонам отдачи) и с энергией более 130 Мэв (по "звездам" с числом

лучей более двух) использовались ядерные эмульсии толщиной 400 микрон БЯ-2 и БР-2, соответственно.

Плотность потока частиц с энергией более 130 Мэв может быть вычислена по формуле:

$$\Phi (E > 130 \text{ мэв}) = \frac{N \cdot \lambda_{3\beta}(E)}{V \cdot t} \quad \left[ \frac{\tau \text{ см}}{\text{см}^2 \text{ сек}} \right] \quad (1)$$

где  $N$  - число "звезд" в просмотренном объеме эмульсии  
 $V$ , [см<sup>3</sup>];

$\lambda_{3\beta}(E)$  - средний пробег частицы с энергией  $E$  в ядерной эмульсии до звездообразования, см;

$t$  - время облучения эмульсии, сек.

В таблице I приведены экспериментальные значения среднего пробега протонов и пионов в фотоэмульсии для интересующего нас интервала энергий 130 Мэв - 10 Гэв, которые показывают, что величина  $\lambda_{3\beta}(E)$  практически не зависит от энергии частиц.

На рис.2 и 3 приведены данные по распределению плотности потоков частиц различных энергетических групп от септума за стальным ярмом магнита и по линии А-А. Следует отметить, что распределение частиц с энергией более 20 Мэв и быстрых нейтронов ( $2 \text{ мэв} < E < 20 \text{ Мэв}$ ) по линии А-А (рис.3) можно приблизительно аппроксимировать функцией вида  $1/R^2$ . В формировании полей резонансных нейтронов ( $E \sim 1,44 \text{ эв}$ ) кроме септума участвуют и другие источники излучения и поэтому плотность потока таких нейтронов уменьшается значительно медленнее с увеличением расстояния от септума, чем плотность потока других энергетических групп.

В таблице 2 приведены плотности потоков частиц различных энергетических групп до и за защитной стеной экспериментального зала.

В таблице 3 приведены данные по плотностям потоков частиц в точках измерений, находящихся в помещении синхрофазотрона. Для сравнения в этой таблице приведены данные по потокам излучения, полученным в работе [3], в режиме сброса ускоренных протонов на "тонкие" внутренние мишени. Максимальное расхождение в плотностях потоков излучения в аналогичных точках измерения составляет - 2÷3 раза.

Для определения границ санитарно-защитной зоны, за пределами которой уровни излучения соответствуют принятым допустимым значениям [8], необходимо иметь данные о выходе частиц различных энергетических групп с полной поверхности защитных сооружений ускорителя. Наиболее важной с этой точки зрения является информация о выходе быстрых нейтронов и частиц высоких энергий ( $E > 20$  Мэв), пробег до взаимодействия которых в воздухе составляет 90-740 м [35].

На основании анализа экспериментальных данных по плотностям потоков частиц различных энергетических групп на внешней поверхности защитных сооружений синхрофазотрона [1-3] можно считать, что выход частиц из ускорителя в основном обусловлен выходом частиц через верхнее перекрытие площадью приблизительно  $6 \times 10^7 \text{ см}^2$  и толщиной в среднем 20 см бетона.

В табл.4 приведены данные, характеризующие потоки излучения различных энергетических групп на верхнем перекрытии синхрофазотрона ОИЯИ. На рис.4 приведены плотности потоков частиц различных энергетических групп по линии, проходящей через точ-

ки 36-40, которая является проекцией линии А-А на верхнее перекрытие синхрофазотрона.

По результатам измерений, приведенных в таблице 4, выход частиц высоких энергий ( $E > 20$  Мэв) через верхнее перекрытие составляет:

$$Q(E > 20 \text{ Мэв}) = 0,3 \text{ [част./сек]} / \text{[прот./сек]}$$

Выход нейтронов с энергией  $0,4 \text{ эв} < E < 20 \text{ Мэв}$  через верхнее перекрытие синхрофазотрона на основании данных работы [3] составляет:

$$Q(0,4 \text{ эв} < E < 20 \text{ Мэв}) = 0,8 \text{ [част./сек]} / \text{[прот./сек]}$$

В заключение, авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность <sup>Б. МАНЬКО,</sup> В. Григорьеву, В. Жбанкову, А. Никитину, А. Хвостову, Е. Степанову за помощь при проведении экспериментов.

Таблица I.

Экспериментальные значения среднего пробега частиц  
в фотоэмульсиях до звездообразования

П Р О Т О Н Ы			П И О Н Ы		
Энергия, ГэВ	$\lambda$ зв, см	Литература	Энергия, ГэВ	$\lambda$ зв, см	Литература
0,13	$32,6^{+2,5}_{-2,0}$	[9]	1,0	$38,0^{+3,0}_{-}$	[25]
0,24	$36,1^{+2,6}_{-2,1}$	[10]	1,5	$35,0 \pm 1,0$	[26],[27]
0,6	$33,7^{+3,0}_{-2,7}$	[11]	3,0	$35,5 \pm 5,0$	[14],[15]
0,95	$37,0 \pm 2,3$	[12]	4,2	$38,7 \pm 3,5$	[28]
2,2	$33,0 \pm 6,0$	[13]	4,3	$33,7 \pm 4,7$	[29]
5,7	$37,6 \pm 5,3$	[14],[15]	4,5	$39,7 \pm 1,2$	[30]
5,7	$35,6 \pm 2,4$	[16]	5,7	$41,0 \pm 6,0$	[31]
6,2	$34,7 \pm 3,4$	[17]	6,8	$35,0 \pm 3,0$	[32]
6,2	$38,2 \pm 1,5$	[18]	7,5	$38,4 \pm 1,0$	[33]
8,7	$35,0 \pm 1,3$	[19]	17,2	$39,2 \pm 1,1$	[34]
9	$36,9 \pm 0,9$	[20]			
9	$37,3 \pm 0,7$	[21]			
9	$35,7 \pm 0,7$	[22]			
9	$33,7 \pm 1,3$	[23]			
II	$37,0 \pm 2,0$	[24]			



Плотности потоков частиц перед и за защитной стеной экспериментального зала  
(част/см<sup>2</sup>сек)/(прот/сек) x 10<sup>10</sup>

Точки измерений	Частицы E > 130 Мэв <sup>1)</sup>	Частицы с E > 20 Мэв <sup>2)</sup>	Нейтроны		
			3) 1 < E < 10 Мэв	4) 0,1 < E < 20 Мэв	4) 0,4 < E < 0,8 Мэв
I7	230 ± 10	520 ± 200	900 ± 200	-	-
I8	34 ± 2,5	-	12 ± 3	-	-
I9	250 ± 30	-	800 ± 200	-	-
20	-	4,7 ± 1,5	-	4,0 ± 1,5	7,8 ± 1,6
21	-	5,6 ± 2,0	-	3,0 ± 1,2	9,2 ± 2,0
22	-	6,4 ± 2,0	-	4,0 ± 1,5	8,8 ± 2,0
23	-	6,2 ± 2,0	-	3,5 ± 1,5	8,5 ± 1,8

1) вычислено по формуле (1)

2) измерено детектором на основе реакции  $C^{12} \rightarrow C^{11}$

3) измерено ядерными эмульсиями (по протонам отдачи)

4) измерено с помощью пропорционального BF<sub>3</sub>-счетчика с замедлителями.

таблица 5.

Плотности потоков частиц в помещении синхрофазотрона  
(част/см<sup>2</sup>сек)/(прот/сек)

Точки измерений (рис.1)	Частицы с $E > 130$ Мэв $\times 10^{10}$ <sup>1)</sup>	Частицы с $E > 20$ Мэв <sup>2)</sup>		Нейтроны $1 < E < 10$ Мэв $\times 10^3$ <sup>3)</sup>	Нейтроны $0,1 < E < 20$ Мэв $\times 10^{10}$ <sup>3)</sup>	Резонансные нейтроны $E \sim 1,44$ эв $\times 10^3$
		данные настоящей работы	данные работы [3]			
I	740 $\pm$ 7,5	4500 $\pm$ 1000	-	-	-	90 $\pm$ 1,5
24 <sup>4)</sup>	-	70 $\pm$ 14	70	-	-	6,3 $\pm$ 2,0
25	-	4,3 $\pm$ 1,0	13	-	550	3,0 $\pm$ 1,0
26	-	0,87 $\pm$ 0,3	-	-	1650	2,5 $\pm$ 0,7
27 <sup>4)</sup>	1800 $\pm$ 120	-	-	-	-	-
28	-	1,0 $\pm$ 0,4	-	-	260	3,0 $\pm$ 1,0
29	-	-	-	-	-	6,0 $\pm$ 1,5
30	6 $\pm$ 0,4	-	2,0	2,8 $\pm$ 0,8	9,0	-
31	290 $\pm$ 3,5	-	5,4	200 $\pm$ 60	200	-
32	-	-	-	-	-	6,0 $\pm$ 2,0
33	-	7,3 $\pm$ 1,5	16,0	-	-	6,0 $\pm$ 1,5
34	4,0 $\pm$ 0,4	-	-	2,0 $\pm$ 0,3	-	-
35	3700 $\pm$ 170	4500 $\pm$ 1000	-	-	-	-

1) вычислено по выражению (1)

2) Измерено детектором на основе реакции  $C^{12} \rightarrow C^{11}$

3) измерено ядерными эмульсиями (по протонам отдачи)

4) точка находилась на вакуумной камере.

Подписи к рисункам

Рис.1 - Расположение точек измерений: а) в помещении синхро-  
фазотрона; б) на верхнем перекрытии.

Рис.2 - Распределение плотности потоков частиц параллельно  
траектории движения ускоренных протонов за стальным  
ярмом магнита (расположение точек измерений см. на рис.1;  
здесь указаны их проекции на ось вакуумной камеры).



- плотность потока частиц с энергией более 20 Мэв на на-  
ружной и внутренней стороне магнита;



- то же для резонансных нейтронов ( $E \sim 1,44$ эв)  
(плотности потоков умножены на  $10^{-3}$ ).



- плотность потока частиц с энергией более 20 Мэв на  
верхней части магнита.

Рис.3 - Распределение плотности потоков частиц по направлению,  
перпендикулярному направлению движения ускоренных  
протонов.



- плотность потока частиц с энергией более 20 Мэв;



- то же для нейтронов с  $2 < E < 20$  Мэв;



- то же для резонансных нейтронов ( $E \sim 1,44$ эв).

Рис.4 - Распределение плотности потока нейтронов на верхнем  
перекрытии синхрофазотрона (по проекции линии А-А на  
рис.1).



- плотность потока частиц с энергией более 130 Мэв;



- то же для частиц с энергией более 20 Мэв;

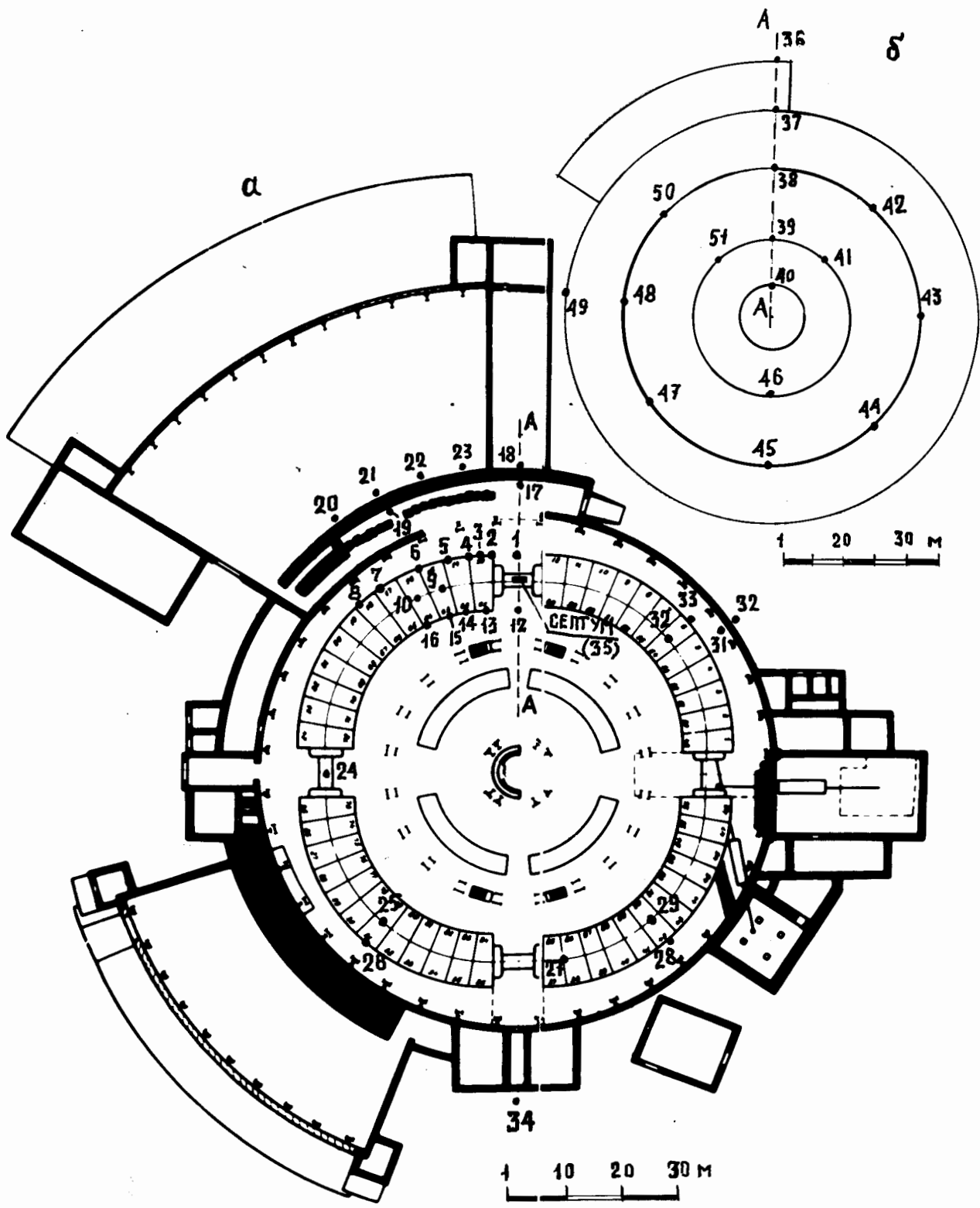


- то же для резонансных нейтронов ( $E \sim 1,44$ эв).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Н.Лебедев и др., Препринт ОИЯИ Р-2177, Дубна, 1965г.
2. Л.С.Золин и др., Препринт ОИЯИ 2251, Дубна, 1965г.
3. В.Н.Лебедев, Препринт ОИЯИ, Р-2446, Дубна, 1965г.
4. М.М.Комочков, В.Н.Лебедев, Препринт Р-2231, 1965г.
5. Л.Н.Зайцев и др. Сообщение ОИЯИ Р16-5697, Дубна, 1971г.
6. Л.С.Золин, Препринт ОИЯИ 2252, Дубна, 1965г.
7. В.Е.Алейников и др., Сообщения ОИЯИ, Р16-4727, Дубна, 1969г.
8. НРБ-69, Атомиздат, М., 1970.
9. C.F. Lees et al. *Phil. Mag.* 44, 304 (1953)
10. A.M. Perry, *Phys. Rev.* 85, 497 (1952)
11. W.O. Lock and P.V. March, *Proc. Roy. Soc.* A230, 222 (1955)
12. W.O. Lock et al. *Proc. Roy. Soc.* A230, 215 (1955)
13. L.W. Smith et al. *Phys. Rev.* 92, 851 (1953)
14. R.E. Cavanaugh et al. *Phys. Rev.*, 100, 1263 (1955)
15. M. Schein et al., *Nuovo Cim.*, 31, 131 (1956)
16. V.Y. Rajopadhye, *Phil. Mag.* 5, 537 (1960)
17. M.V.K. Appa Rao et al., *Proc. Ind. Acad. of Sci.* 43, 181 (1956)
18. H. Winzeler et al., *Nuovo Cim.*, 17, 8 (1960)
19. Г.Б.Жданов и др. *Ж ЭТФ*, 37, 620 (1959).
20. В.А.Кобзев и др. *Ж ЭТФ*, 41, 747 (1961).
21. Н.П.Богачев и др. *Ж ЭТФ*, 37, 1225 (1959).
22. Ван-Шу-Фень и др. *Ж ЭТФ*, 39, 957 (1960).
23. Б.П.Банник и др. *Ж ЭТФ*, 40, 1653 (1961).
24. D.J. Holthnizen et al., *Proc. of the 11<sup>th</sup> Intern. Conf. on High Energy Phys.*, CERN 1962, p. 298
25. W.D. Walker et al., *Phys. Rev.* 104, 526 (1956)
26. J.D. Greig, R.D. Hill, *Phys. Rev.* 110, 177 (1958)

27. W.D. Walner, J. Grussard, *Phys. Rev.* 98, 1416 (1955)
28. J.O. Clarke, J.V. Major, *Phil. Mag.* 2, 37 (1957)
29. A. Mazgias et al, *Nuovo Cim.* 5, 291 (1957)
30. S. Jannell, F. Mezzanazes, *Nuovo Cim*, 25, 469 (1962)
31. D. J. Holthuizen, B. Jongejans, *Nuovo Cim*, 14 Suppl 2, 469 (1959)
32. В.А.Беляков и др. *Ж ЭТФ*, 39, 937 (1960)
33. C. Grote et al, *Nucl. Phys.* 34, 677 (1962)
34. Proceedings of the eleventh Symposium on Cosmic Rays Astrophysics, Geophysics and Elementary Particle Physics, Univer. of Delhi, October 7-11, 1965, p 531
35. R. Wallace, *Nucl. Inst. and Methods*, 18-19, 405 (1962)



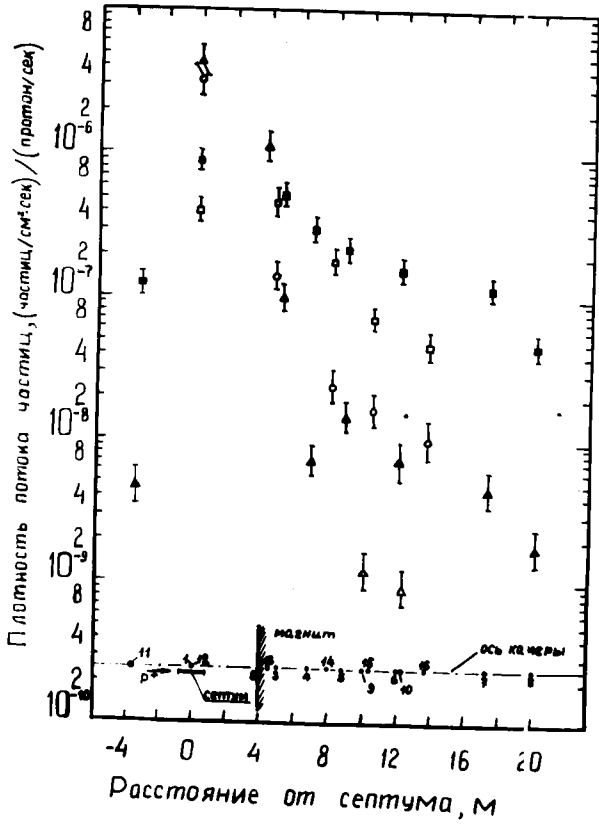
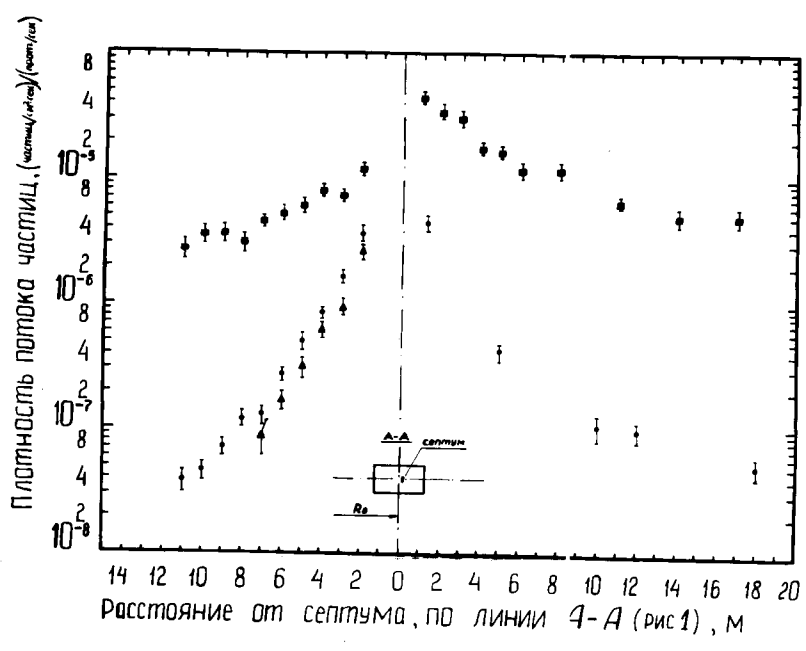


Рис. 2.



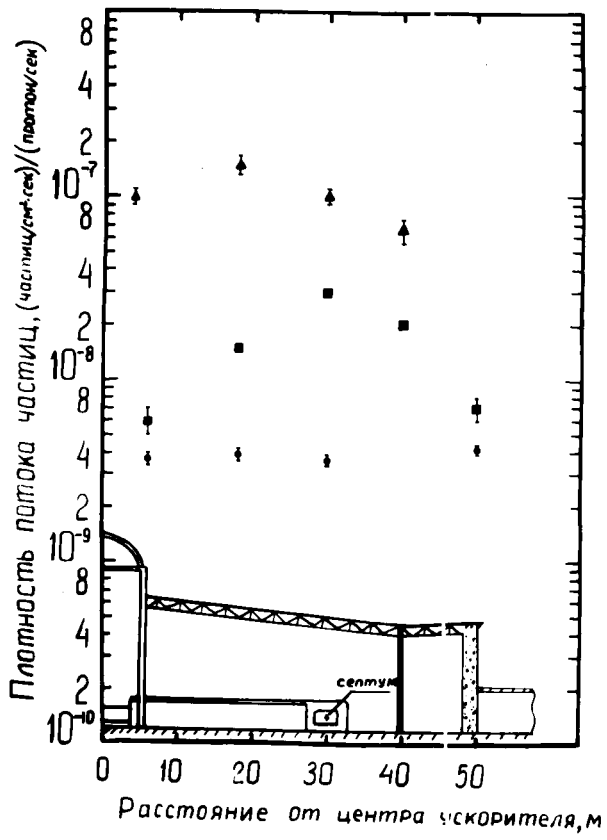


Рис. 4.