

Г. 62

3

АКАДЕМИЯ НАУК СССР СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

препринт 183

П.И.Голубничий, А.П.Онучин

**Счетчик полного поглощения
типа сэндвич**

Новосибирск
1968

Голубничий П.И., Онучин А.П.

СЧЕТЧИК ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ТИПА СЭНДВИЧ

А Н Н О Т А Ц И Я

Описан счетчик полного поглощения с чередующимися пластинами из свинца и сцинтиллятора. Калибровка произведена монохроматическими γ -квантами в диапазоне энергий 40 - 127 Мэв. Приведены данные по зависимости разрешения от энергии, от общей толщины счетчика и от толщины свинцовых и сцинтилляционных пластин.



Для регистрации электронов и γ -квантов высоких энергий, начиная с работы Канца и Хофстадтера /1/, широко используются счетчики полного поглощения (СПП). Основными их достоинствами, по сравнению с магнитными спектрометрами, являются высокая эффективность, малые габариты и возможность регистрировать частицы в большом телесном угле. По энергетическому разрешению они значительно уступают магнитным спектрометрам.

По виду материала, из которого сделан радиатор, все СПП можно разделить на три типа: сцинтилляционные, черенковские и так называемые сэндвичи.

В сцинтилляционных спектрометрах в основном используются кристаллы иодистого натрия /2-4/. Размеры сцинтилляторов, связанные с практическими трудностями выращивания кристаллов, не превышают 25 см. При таких размерах энергетическое разрешение определяется флюктуациями энергии ливня, выходящей за пределы радиатора. Поэтому в экспериментах сцинтилляционные СПП используются в диапазоне энергий до 200 Мэв. В этой области энергий спектрометры на основе иодистого натрия по сравнению с другими СПП имеют лучшее энергетическое разрешение, составляющее 15-30%.

В черенковских СПП в основном используются тяжелые свинцовые стекла /5-12/. Стекла могут быть доведены по размерам до полуметра, когда практически поглощается весь ливень. Основная принципиальная трудность работы с такими счетчиками связана с малым количеством черенковского света. В области энергий, примерно, до 1 Гэв, разрешение счетчика определяется в основном флюктуациями числа фотоэлектронов с катода фотоумножителя. В целях уменьшения этих флюктуаций приходится ставить несколько фотоумножителей и сокращать размеры радиатора для уменьшения поглощения света в стекле. С ростом энергии количество света растет и разрешение улучшается как $E^{1/2}$. При энергии 1 Гэв разрешение таких счетчиков составляет 15-30%.

В счетчиках типа сэндвич чередуются пластины из свинца и сцинтиллятора /13-17/. Основная часть энергии ливня поглощается в свинце. Разрешение прибора определяется флюктуациями доли энергии, выделяющейся в сцинтилляторе. Для уменьшения этих

флюктуаций приходится чаще чередовать свинцовые и сцинтилляционные пластины. Как правило, используется 20-50 свинцовых пластин с общей толщиной счетчика 7-15 радиационных единиц. Энергетическое разрешение сэндвичей сравнимо с разрешением черенковских СПП. Но по сравнению с черенковскими счетчиками сэндвичи имеют ряд преимуществ. Сэндвич легче (по сравнению с черенковским счетчиком) сделать с большой входной апертурой, так как поглощение света в сцинтилляторе существенно меньше, чем в свинцовом стекле. Сцинтилляционного света значительно больше, чем черенковского, поэтому можно работать с одним фотоумножителем. Сэндвич прост в изготовлении, его конструкцию легко менять под конкретные геометрические условия эксперимента.

Настоящая работа посвящена выяснению ряда вопросов, определяющих энергетическое разрешение сэндвича.

Конструкция счетчика

В работе использовались пластины из полистирольной пластмассы размерами 200x200x5 мм³. Пластины полированы и со всех сторон, за исключением одного торца, обернуты ватманом. Бумага на 15% увеличивает коэффициент светосбора и позволяет вплотную ставить сцинтилляционные и свинцовые пластины.

Свинцовые пластины толщиной 2,5 мм и 1 мм были покрыты для удобства работы фольгой из нержавеющей стали толщиной около 0,3 мм. Максимальная толщина свинцовых и сцинтилляционных пластин, которые можно вставить в счетчик, составляет 25 см. Свет от сцинтилляционных пластин с помощью световода из плексигласа собирается на один фотоумножитель ФЭУ-65 с диаметром фотокатода 15 см. Длина световода около 20 см, световод тоже покрыт ватманом. Ватман увеличивает сбор света, примерно, на 15% и улучшает однородность светосбора.

Контакт сцинтилляционных пластин со световодом осуществляется через воздушную прослойку; применение масла увеличивает сбор света всего на 10%, но создает много неудобств в работе. ФЭУ со световодом соединен через масло, это увеличивает коэффициент светосбора в 2 раза.

Для защиты ФЭУ от магнитного поля счетчик вставляется в стальную трубу, покрытую внутри пермаллоем. Толщина перед-

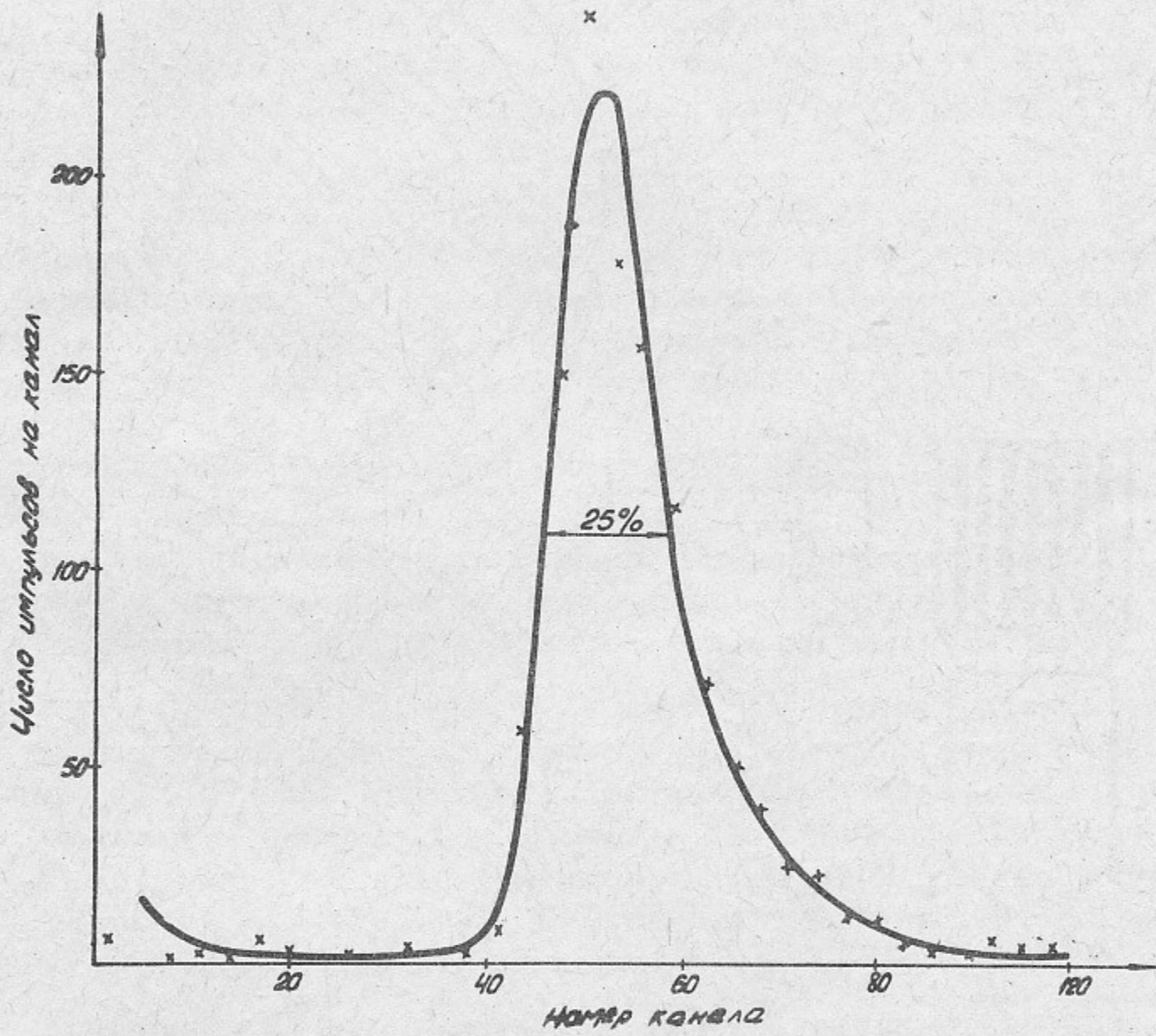


Рис.1. Спектр амплитуд импульсов сэндвича от космических частиц.

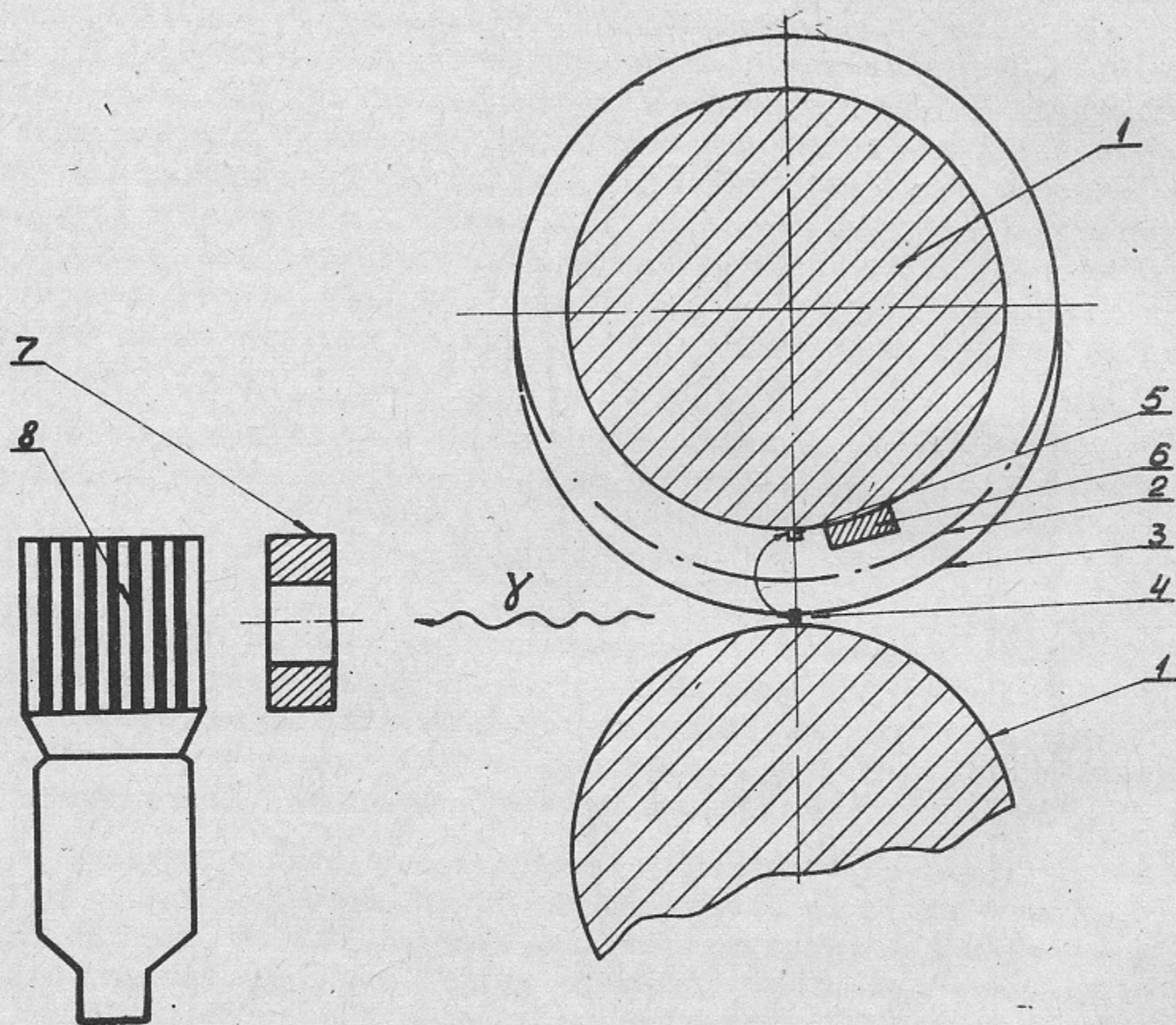


Рис.2. Геометрическая схема эксперимента: 1 - магниты накопителя, 2 - равновесная орбита в момент инжекции электронов, 3 - рабочая равновесная орбита, 4 - мишень, 5 - счетчик вторичных электронов, 6 - защита счетчика электронов, 7 - коллиматор, 8 - сэндвич.

ней стенки счетчика, через которую проходят γ -кванты, составляет 5,5 мм.

Были проведены измерения однородности условий собирания света. В работе использовался ФЭУ-65 с неоднородностью фотокатода $\pm 7\%$. Неоднородность сбора света с одной пластины в среднем составляет $\pm 35\%$. Различие в сборе света при разных положениях пластины на световоде не превышает $\pm 5\%$. Для работы были отобраны 30 сцинтилляционных пластин с различием по световому выходу не более $\pm 15\%$.

На рис.1 показан спектр амплитуд импульсов сэндвича от космических частиц, запуск анализатора производился сцинтилляционным телескопом. При смещении телескопа вдоль диагонали сэндвича из одного угла в другой положение максимума амплитудного распределения отличается на $\pm 10\%$.

Калибровка счетчика

Калибровка счетчика проводилась монохроматическими γ -квантами, полученными на электронном накопителе ВЭП-1 /4,18/. Геометрическая схема эксперимента показана на рис.2.

Пучок γ -квантов через выходное окно накопителя (стекло толщиной 10 мм) и свинцовый коллиматор с диаметром отверстия 90 мм попадал в центр счетчика. При наличии совпадений импульсов со счетчика вторичных электронов и сэндвича производился амплитудный анализ импульсов сэндвича. Основное изучение счетчика проводилось при энергии γ -квантов 127 Мэв, некоторые измерения проведены при меньших энергиях.

При конструировании сэндвичей обычно возникает требование иметь минимальную толщину счетчика и минимальное количество слоев сцинтиллятора и свинца. Первое требование связано с габаритами, а второе - в основном с тем, что трудно делать большое количество тонких сцинтилляционных пластин хорошего качества. Для выяснения этих вопросов были проведены измерения амплитудных спектров нескольких вариантов сборки сэндвича. Измерения проводились при энергии γ -квантов 127 Мэв. Результаты представлены в таблице 1.

Буквой t обозначена общая толщина сэндвича, выражен-

Таблица 1

№ ва- рианта	t, X_0	Число перио- дов	В периоде содержится	$\eta, \%$	$K\%$	Ам отн.ед.	δ %
1	13	27	0,48 X_0 Pв + 5 мм сц.	95	25	53	67
2	7	30	0,22 X_0 Pв + 5 мм сц.	80	43	60	47
3	7	15	0,44 X_0 Pв + 2x5мм сц.	80	-//-	56	59
4	7	7	0,88 X_0 Pв + 4x5мм сц.	80	-//-	50	76
5	7	15	0,44 X_0 Pв + 5 мм сц.	80	21	23	77
6	5	32	0,13 X_0 Cu + 5 мм сц.	70	29	63	52

ная в радиационных единицах /19/ ($Pb \ 1X_0 = 6,4 \text{ г/см}^2$,
 $Fe \ 1X_0 = 13,9 \text{ г/см}^2$, $Cu \ 1X_0 = 13 \text{ г/см}^2$, сцинтиллятор
 $1X_0 = 44,4 \text{ г/см}^2$).

Коэффициент ζ выражает долю энергии ливня, поглощенной в сэндвиче; данные вычислены на основании работы /1/.

Буквой K обозначена доля энергии, поглощенная в сцинтилляторе, от полной поглощенной энергии в сэндвиче. Коэффициент K находился по формуле

$$K = \frac{t_{сц} \cdot E_{сц}}{t_{сц} \cdot E_{сц} + t_{Pb} \cdot E_{Pb}},$$

где $t_{сц}$ и t_{Pb} - соответственно толщины сцинтиллятора и свинца, выраженные в X_0 , а E - критические энергии этих веществ /19/.

A_m и δ соответственно обозначают измеренные положения максимума амплитудного распределения и энергетическое разрешение сэндвича (относительная ширина на полувысоте).

В варианте 1 поглощается около 95% энергии, а в варианте 2 - около 80%. Несмотря на это разрешение во втором варианте заметно лучше. Это связано с тем, что свинцовые пластины тоньше, а толщина сцинтилляционных пластин прежняя, поэтому во втором варианте в сцинтилляторе выделяется больший процент энергии.

Для выяснения вклада в разрешение эффектов от толщины свинцовых и сцинтилляционных пластин проведены измерения вариантов 2-5. Из сравнения вариантов 2, 3 и 4 с одинаковым количеством сцинтиллятора видно, как улучшается разрешение с уменьшением толщины свинцовых пластин.

Варианты 3 и 5 имеют одинаковое число периодов, но в 5 варианте толщина сцинтилляционных пластин вдвое меньше, чем в 3 варианте. Видно, что уменьшение сцинтиллятора привело к заметному ухудшению разрешения. Причем это обусловлено отнюдь не недостатком света, собираемого на фотоумножитель. Получая от генератора световых импульсов такой же сигнал, как в варианте 5, имеем амплитудное разрешение 25%. Отсюда

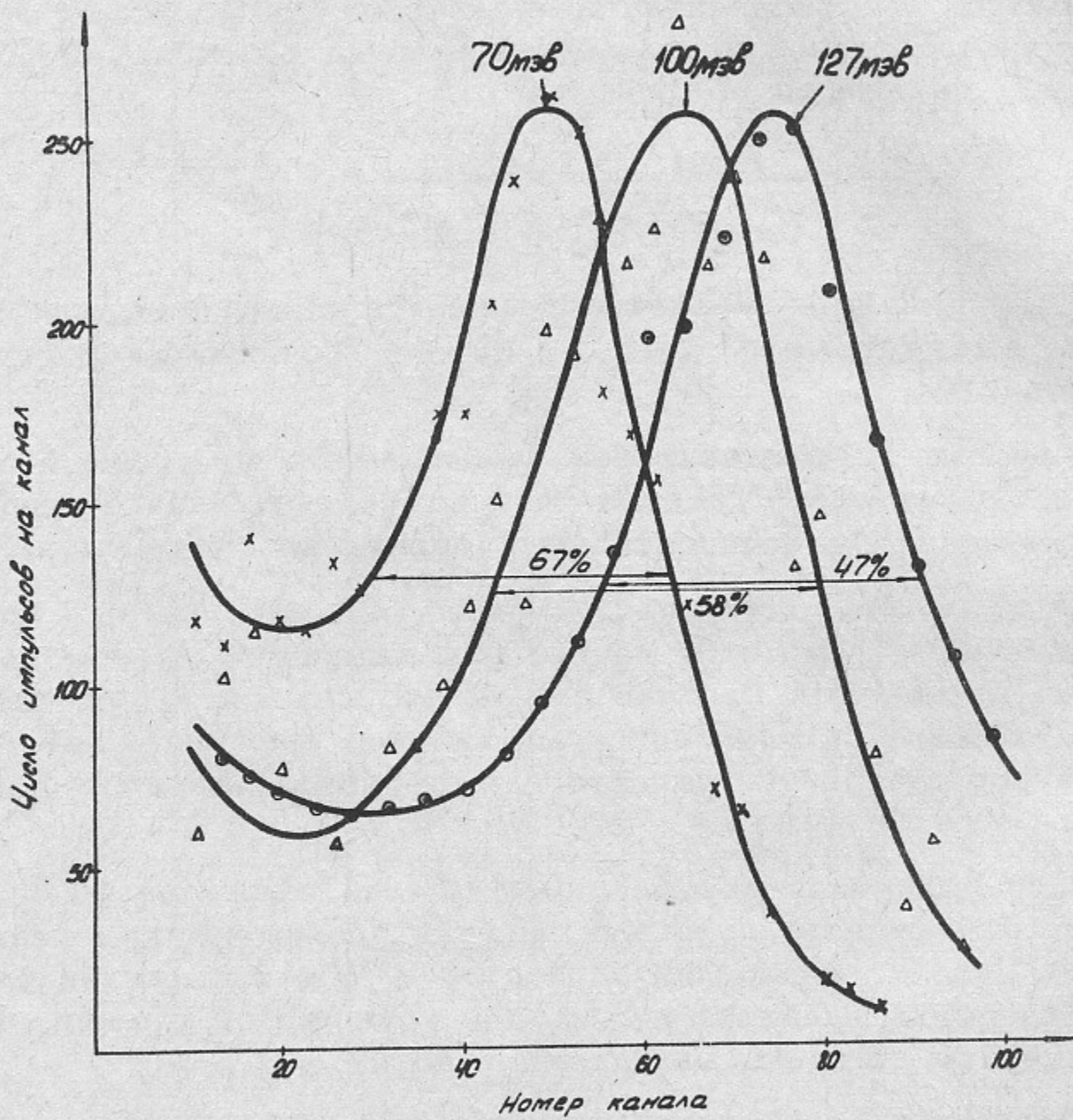


Рис.3. Спектры амплитуд импульсов сэндвича в варианте 2 от монохроматических γ -квантов.

можно заключить, что ухудшение разрешения обусловлено только увеличением флюктуаций потери энергии в сцинтилляторе.

Из сравнения вариантов 2-5 видно, что уменьшение толщины сцинтилляционных пластин от 10 к 5 мм даёт такой же эффект в разрешение, как и увеличение толщины свинцовых пластин от $0,25 X_0$ к $0,5 X_0$ и от $0,5 X_0$ к $1 X_0$.

Вариант 6 набран из медных пластин толщиной $0,13 X_0$ (со свинцовыми пластинами такой толщины неудобно работать). Этот вариант трудно корректно сравнивать с предыдущими, так как меньше доля поглощенной энергии в сэндвиче и другой материал радиатора.

Из других экспериментальных результатов отметим, что калибровка сэндвича в вариантах 1 и 2 γ -квантами энергии 70, 100 и 127 Мэв показала в пределах точности измерений линейную зависимость амплитуды от энергии γ -квантов. На рис. 3 приведены спектры амплитуд импульсов сэндвича в варианте 2.

При попадании пучка γ -квантов на 6 см выше и ниже центра сэндвича амплитудное распределение не изменялось; эти измерения проводились с коллиматором $\varnothing = 30$ мм. Величины разрешения, полученные с интервалом между включениями счетчика в 4 месяца, практически не отличаются друг от друга.

На рис. 4 представлены результаты измерения энергетического разрешения сэндвичей, полученные в нескольких лабораториях. Видно, что почти для всех счетчиков в том диапазоне энергий, в котором размеры сэндвича позволяют поглотить не менее 80% начальной энергии, угол наклона прямых примерно одинаков. С ростом энергии, когда доля поглощенной энергии становится меньше, разрешение резко ухудшается. Различие абсолютных значений разрешения связано с конструктивными особенностями счетчиков, числом периодов и толщиной сцинтилляционных пластин, данные о которых приведены в подписи к рисунку.

В заключение авторы выражают благодарность коллективу установки ВЭП-1, обеспечившему возможность проведения калибровок счетчика полного поглощения на накопителе.

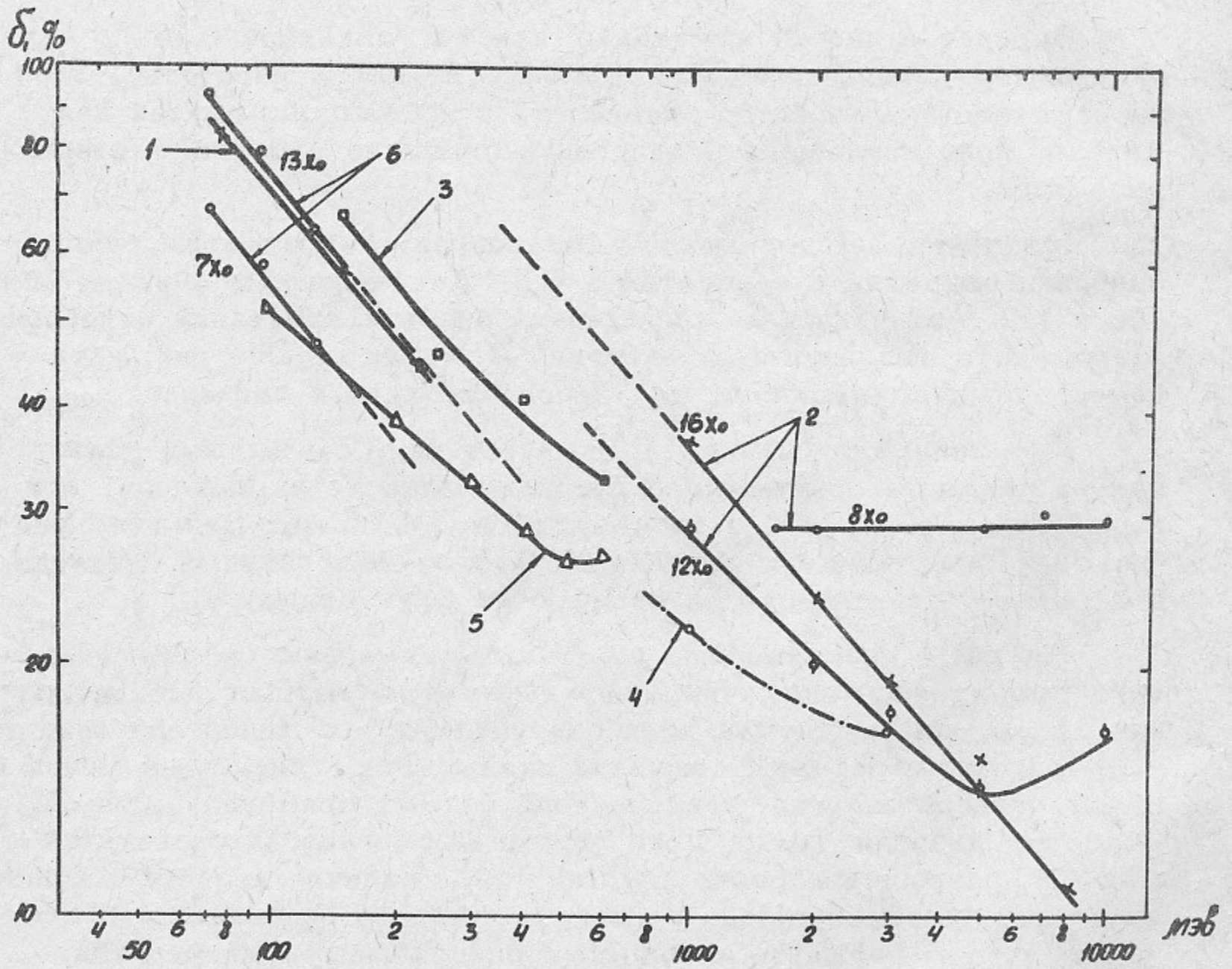


Рис.4. Зависимость разрешения сэндвичей от энергии по резуль-

татам следующих работ:

Кривая	Автор, литература	t, X_0	Число периодов	Толщина сцинтилляторы, мм	Поперечн. размеры, см	Число ФЭУ
1	Пух /13/	11	50	2,5	$\phi = 20$	
2	Баккенштосс /14/	8,12,16	20	10	40x30	20
3	Хомма и др. /15/	9	17	10	25x20	4
4	Волкер и др./16/	10	10	10	15x15	4
5	Августин и др./17/	12	43	6; 3	17,5x17,5	2
6	Наст. работа	7,13	30	5	20x20	1

Пунктиром продолжены кривые в область, где измерения не проводились.

Кривые 2 и 6 относятся к нескольким вариантам сборки сэндвичей, цифрами на этих кривых указаны соответственно толщины радиатора.

Л и т е р а т у р а

1. A. Kautz, R. Hofstadter *Nucleonics* № 3, 36, 1954.
2. J. Ashkin, T. Fazzini, G. Fidegato, N. H. Lipman, A. W. Merrison, H. Paul *Nuovo Cimento* 14, 1266, 1959
3. G. Pondrom, A. Stelzoff *Rev. Sci. Instr.* 34, 362, 1963

4. Л.С.Коробейников, Л.М.Курдадзе, А.П.Онучин, С.Г.Попов,
Г.М.Тумайкин. ЯФ, 6, 85, 1967.
5. T. Yamagata, Thesis, University of Illinois, 1956
6. J. Brabant, B. Mayer, R. Wallace
Rev. Sci. Instr. 28, 421, 1957.
7. J. Cassels, G. Fidegano, A. Wetherell, J. Wormald
Proc. Phys. Soc. A, 70, 405, 1957.
8. J. Fischer, R. March, L. Marshall
Phys. Rev. 109, 533, 1958.
9. В.Ф.Грушин, В.А.Запелалов, Е.М.Лейкин, ПТЭ № 2, 27, 1960.
10. М.Н.Хачатурян, В.С.Пантуев, ПТЭ № 6, 29, 1963.
11. G. Gatti, G. Glacomelli, W.A. Love, W.C. Middelkoop
T. Yamagata Rev. Sci. Instr. 32, 949, 1961.
12. D. Hickey Proc. Int. Symp. on Electr. and
Photon Interact., Hamburg, 1965, vol. II, p. 397.
13. G. E. Pugh, D. H. Frisch, H. Gomez.
Rev. Sci. Instr. 25, 1124, 1954.
14. G. Backenstoss, B.D. Hyams, G. Knop,
U. Stierlin Nucl. Instr. Meth. 21, 155, 1963
15. S. Homma, R. Kikuchi, T. Kitagaki
Rev. Sci. Instr. 35, 506, 1963.
16. J. K. Walker, T. M. Knazel
Rev. Sci. Instr. 37, 913, 1966.

17. J. E. Augustin, J. Buon, J. Maissinsky,
P. Laplanche, P. S. Marin, F. Rumpf, E. Silva
Intern. Symp. on electr. and positr. storage
rings., Saclay, 1966
18. Г.И.Будкер, А.П.Онучин, С.Г.Попов, Г.М.Тумайкин,
ЯФ, 6, 775, 1967.
19. О.И.Довженко, А.А.Поманский, ЖЭТФ 45, 268, 1963.

Ответственный за выпуск П.И.Голубничий

Подписано к печати 14.П -1968 г.

Усл. 0,8 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно.

Заказ № 183.

Отпечатано на ротапинтере в ИЯФ СО АН СССР.