

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

83-6-314

高工研図書室

ЕФИ-620(10)-83

С.С. ДАНАГУЛЯН, Г.М. ЭЛБАКЯН, Ю.Н. АДИЩЕВ,
А.А. КУРКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ КРИСТАЛЛОВ $\text{NaI}(\text{Tl})$ и $\text{CsJ}(\text{Tl})$
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ШИРОКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ОБЛАСТИ

ԵՐԵՎԱՆ 1983 ԵՐԵՎԱՆ

УДК.539.12.539.124.164

С.С.ДАНАГУЛЯН, Г.М.ЭЛБАКЯН, Ю.Н.АДИШЕВ,*
А.А.КУРКОВ*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ КРИСТАЛЛОВ NaI(Tl) и CsI(Tl)
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ШИРОКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ОБЛАСТИ

Изучалась возможность использования кристаллов NaI(Tl), размерами $130 \times 130 \times 300$ мм³ и CsI(Tl) диаметром 100 мм и длиной 200 мм для измерения энергии электронов в энергетической области 50 + 1000 МэВ. Результаты измерений показывают, что кристаллы NaI(Tl) данного размера пригодны для измерения энергии электронов в области энергий 50 + 600 МэВ, а кристаллы CsI(Tl) - в области энергий 50 + 800 МэВ при каком-то одном подобранном направлении.

Ереванский физический институт
Ереван 1983

* ЦИИЯФ, г.Томск

S.S.DANAGULIAN, G.M.ELEKIAN, YU.N.ADISHCHEV*,
A.A.KURYUKOV*

USE OF LARGE NaI(Tl) AND CsI(Tl) CRYSTALS
FOR ELECTRON ENERGY MEASUREMENT
IN WIDE ENERGY RANGE

The possibility of using NaI(Tl) crystals with the dimensions $130 \times 130 \times 300$ mm³ and CsI(Tl) of the diameter 100 mm and length 200 mm for the electron energy measurement in 50+1000 MeV energy range is discussed. The measurement results show that NaI(Tl) crystals of the given dimensions can be used for the electron energy measurement in 50+600 MeV energy range, and CsI(Tl) crystals in 50+800 MeV energy range, at some given voltage.

Yerevan Physics Institute
Yerevan 1983

* Institute of Nuclear Physics, Tomsk

ЕФИ-620(10)-83

С.С. ДАНАГУЛЯН, Г.М. ЭЛБАКЯН, Ю.Н. АДИЩЕВ,
А.А. КУРКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ КРИСТАЛЛОВ NaI(Tl) и CsJ(Tl)
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ШИРОКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ОБЛАСТИ

Ереван 1983

© Ереванский физический институт, 1983г.

С целью изучения возможности применения кристаллов NaJ(Te) и CsI(Tl) для измерения энергии электронов или γ - квантов в широкой области энергий (50 ± 1000 МэВ) регистрируемой частицы были проведены калибровочные измерения на вторичном электронном пучке Томского синхротрона.

Используя одно плечо парного магнитного спектрометра был создан калибровочный канал и, учитывая реальные условия, проведен расчет энергетического разрешения магнитного спектрометра для разных энергий регистрируемого электрона. Блок-схема расчета и геометрия тракта приведены на рис. I.

Как показали расчеты, энергетическое разрешение канала существенно зависит от размера "пятна" пучка гамма-квантов на конвертере спектрометра и, следовательно, и от радиального распределения частиц в пучке. Радиальное распределение гамма-квантов в пучке учитывалось функцией

$$L = \exp(-z^2/2\sigma^2), \quad (I)$$

где z - координата точки образования электрона на конвертере, разрываемая с помощью датчика случайных чисел в диапазоне,

определяемом размерами пучка на конвертере.

Функция [I], при $\epsilon = 1$ см, хорошо описывает реальное радиальное распределение гамма-квантов в пучке, измеренное экспериментально. Также учитывалась угловая расходимость первичного гамма-пучка и многократное рассеяние вторичных электронов в конвертере спектрометра по формуле (I).

$$I(\epsilon) = \frac{0,85 \cdot \theta_1^2 R + 0,15 \theta_2^2 R_2}{0,85 \theta_1^2 \ln\left(1 + \frac{440t}{\theta_1^2 \mu^2 + 2E^2 \theta_K^2}\right) + 0,15 \theta_2^2 \ln\left(1 + \frac{440t}{\theta_2^2 \mu^2 + 2E^2 \theta_K^2}\right)}, \quad (2)$$

где

$$R = E_i \left(\frac{\alpha^2 E^2}{440t + \theta_1^2 \mu^2 + 2E^2 \theta_K^2} \right) - E_i \left(\frac{\alpha^2 E^2}{\theta_1^2 \mu^2 + 2E^2 \theta_K^2} \right),$$

$$R_2 = E_i \left(\frac{\alpha^2 E^2}{440t + \theta_2^2 \mu^2 + 2E^2 \theta_K^2} \right) - E_i \left(\frac{\alpha^2 E^2}{\theta_2^2 \mu^2 + 2E^2 \theta_K^2} \right)$$

$$\mu = 0,511 \text{ (МэВ)}; \theta_1^2 = 0,533 \text{ (рад}^2\text{)}; \theta_2^2 = 2,85 \text{ (рад}^2\text{)};$$

α - угол вылета электрона из конвертера в горизонтальной плоскости, (учет движения вторичных электронов в вертикальной плоскости не оказывает влияния на величину определяемого разрешения); t (в рад. длинах) - толщина конвертера; E (МэВ) - энергия электрона; $E = E_0(1 + \epsilon)$, где E_0 - равновесная энергия электрона, соответствующая определенному значению магнитного поля; ϵ - относительное отклонение от равновесной энергии; E_i - интегральная экспонента. Величины L и I вычислялись для электронов, прошедших выходной коллиматор спектрометра и попавших в детектор. Это условие рассчитывалось по формулам:

$$\Delta Z = \frac{(x_1 - x) \operatorname{ctg}(\psi_1 - \alpha) + (y - y_1) + l_2 \sin(\psi_1 - \psi - \alpha)}{(\operatorname{ctg}(\psi_1 - \alpha) + \operatorname{tg} \psi) \cos \psi}, \quad (3)$$

$$\text{где } X_1 = \frac{[(R'+z)(\cos d - \sin d \cdot \operatorname{tg} \theta_3) - a \operatorname{tg} \theta_3]}{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_3}$$

$$- \frac{\sqrt{(R'+z)^2(\cos d - \sin d \operatorname{tg} \theta_3)^2 - 2a(R'+z)(\sin d + \cos d \operatorname{tg} \theta_3) - z(z+2R')(1+\operatorname{tg} \theta_3) - a^2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_3}$$

$$Y_1 = a + X_1 \operatorname{tg} \theta_3$$

$$\left. \begin{array}{l} R' = R(1+\epsilon); X_1 \rightarrow X \\ Y_1 \rightarrow Y \\ \varphi_1 \rightarrow \varphi \end{array} \right\} \text{при } R' \rightarrow R \quad z=0, d=0$$

$$\varphi_1 = a z c \sin \left(\frac{Y_1 - \cos d - X_1 \sin d}{R'} \right)$$

a, θ_3 - параметры парного спектрометра (см. рис. I).

$$a = 68,2 \text{ см.}, \quad \theta_3 = 0,349 \text{ рад.} \quad R = 229 \text{ см.}$$

$$t = 0,0028 \text{ рад.длин}$$

l_2 - расстояние от эффективной границы магнитного поля до плоскости детектора, $l_2 = 80,3 \text{ см.}$

Для расчета величины отклонения частицы Δz от равновесной траектории на входе и выходе коллиматора в формуле (3) брались соответственно $l_4 = 24,6 \text{ см.}$ и $l_3 = 44,6 \text{ см.}$

Расчет осуществлялся следующим образом: рассчитывалось определенное количество траекторий электронов, для каждой траектории, с помощью датчика случайных чисел, разыгрывалась координата точки образования и угол вылета электрона из конвертера; затем учитывалось условие прохождения частицей коллиматора и условие попадания ее в детектор. Величина $W(\epsilon) = L \times I(\epsilon)$ есть относительная вероятность электрона с энергией $E_0(1+\epsilon)$ быть зарегистрированным детектором. Она суммировалась для всех электронов, попавших в детектор с данным ϵ . В результате получали гистограмму энергетического разрешения $W(\epsilon)$ для определенной энергии E_0 (рис. 2). На рис. 3 приведена зависимость собственного

энергетического разрешения магнитного спектрометра от энергии регистрируемого электрона.

В расчетах не учитывалось рассеяние электронов в воздухе и в счетчиках парного спектрометра, а также и собственное энергетическое разрешение калибруемого детектора.

В качестве калибруемого детектора использовались 2 кристалла $\text{NaJ}(\text{Tl})$ прямоугольной формы, размерами $130 \times 130 \times 300 \text{ мм}^3$, имеющих окно с одной стороны, которое осматривалось одним спектрометрическим фотоэлектронным умножителем (ф.э.у.) типа ФЭУ-110 и детектор, представляющий оптическую склейку из двух кристаллов $\text{CsJ}(\text{Tl})$ диаметром 100 мм и длиной 100 мм каждый, которая осматривалась также одним спектрометрическим ф.э.у. типа ФЭУ-110 или ФЭУ-82. Размеры пучка, падающего на центр фронтальной поверхности детекторов, определялись апертурным счетчиком, имеющим размеры $15 \times 10 \times 5 \text{ мм}^3$, исходя из этого, были выбраны такие поперечные размеры кристаллов, чтобы свести к минимуму потери энергии регистрируемого электрона, связанные с уходом части иницированного им ливня через боковые стороны, при любой энергии начального электрона в исследуемом интервале. Аналогично были выбраны и продольные размеры.

Блок-схема электронной логики и методика измерения аналогична (3,2) с той разницей, что для амплитудного анализа брался сигнал с последнего диода ф.э.у.

Измерения проводились при разных напряжениях на ф.э.у. и для каждого напряжения определялась область линейности регистрируемой энергии. На рис.4 приведены результаты этих измерений для кристаллов $\text{NaJ}(\text{Tl})$. При всех напряжениях на ф.э.у. нижний предел измеренной энергии электрона равнялся 50 МаВ.

Как видно из рис.4, области линейности не очень отличаются для разных кристаллов $\text{NaJ}(\text{Tl})$ при одном и том же напряжении и зависят, в основном, от величины напряжения.

Полученное энергетическое разрешение ($FWHM$), как функция от энергии регистрируемых электронов, приведено на рис.5 и 6 и в таблице. При вычислении собственного разрешения детекторов учитывался энергетический разброс падающего пучка, определенный расчетным путем (см.рис.3). Прямые на графиках проведены по методу наименьших квадратов.

Триггерный сигнал, служащий для запуска генератора ворот (2,3) получался от совпадения "быстрых" сигналов от двух счетчиков парного спектрометра, апертурного счетчика, сделанного на основе пластического сцинтиллятора, и "медленного" сигнала от кристалла $\text{NaJ}(\text{Tl})$ или $\text{CsJ}(\text{Tl})$. Поэтому представляло интерес исследование зависимости величины средней задержки триггерного сигнала от энергии регистрируемой частицы (табл.1). Изменение задержки, связанное с изменением энергии, сильно зависит от напряжения на ф.э.у. и составило ± 15 нс при $U_{\text{ф.э.у.}} \sim 1000$ В и ± 5 нс при $U_{\text{ф.э.у.}} \sim 1300 + 1400$ В. На рис.4 также приведены результаты исследования зависимости относительной эффективности регистрации кристаллов $\text{NaJ}(\text{Tl})$ и $\text{CsJ}(\text{Tl})$ от загрузки самого кристалла, при одной и той же энергии регистрируемой частицы. За величину эффективности ϵ было взято отношение $N_{123n\alpha J} / N_{123}$, где N_i - число трех- и четырехкратных совпадений. Как видно из рис.4, эффективность регистрации практически не меняется вплоть до мгновенной загрузки ~ 60 кГц. Результаты калибровочных измерений показывают, что кристаллы $\text{NaJ}(\text{Tl})$, данного размера, т.е. $130 \times 130 \times 300$ мм³ можно использовать для

измерения энергии электронов и γ - квантов в области энергий 50 + 600 МэВ, а кристаллы CsY(Tl) , диаметром 100 мм и длиной 200 мм - для энергий 50 + 800 МэВ, при каком-то одном подобранном напряжении.

Таблица

Тип кристалла, U фэу	50	100	200	300	400	500	600	700	800	$\Delta \tau$ (нс)
Кр. NaI (Тл) 1. U фэу=1400В	21,5%	12,2%	6,1%							± 5
Кр. NaI (Тл) 2. U фэу=1300В	26,8%	9,15%	7,1%	4,6%						± 5
Кр. NaI (Тл) 3. U фэу=1200В	18,3%	15,9%	11,1%	5,25%						± 7
Кр. NaI (Тл) 4. U фэу=1100В	16%	14%	11,7%	10,3%	8,65%	8,3%				± 15
Кр. NaI (Тл) 5. U фэу=1250В	20,5%	11,6%	6,7%							
Кр. NaI (Тл) 6. U фэу=1000В	10,9%	12,2%	9,1%	7,4%	8,8%					± 7
Кр. NaI (Тл) 7. U фэу=900В	10,8%	12,9%	12,2%	8,1%	6,1%	8,1%	7,5%			± 18
Кр. CsI (Тл) 8. U фэу=1200В		16,1%	12,2%	41,1%	9,75%	9,60%	9,45%	7,64%		± 5
Кр. CsI (Тл) 9. U фэу=1300В	20,5%	15,8%	14,64%	12,2%	8%	6,1%				

Полученное разрешение детекторов (FWHM) при различных энергиях регистрируемого электрона: $\Delta \tau$ - изменение средней задержки триггерного сигнала при изменении энергии электрона в линейной области регистрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Suzuki S., Tsuru T., Katayama T. et al. Collimation of the Internal Electron beam in a Synchrotron Nucl.Instr. and Methods. III (1973), 39-47.
2. Авакян Р.О., Аветисян А.О., Бахлециан Р.А. и др. Исследование амплитудных и временных характеристик спектрометра полного поглощения на основе кристалла $\text{NaI}(\text{Tl})$. Препринт ВФИ-223(15)-77, Ереван, 1977.
3. Авакян Р.О., Аветисян Э.О., Вартапетян Г.А. и др. Аппаратура для регистрации электронов и γ - квантов (АРЭГак) на основе кристаллов $\text{NaI}(\text{Tl})$. Изд.АН Арм.ССР, Физика, 1979, т. 14, с. 50-53.

Рукопись поступила 27 ноября 1982 г.

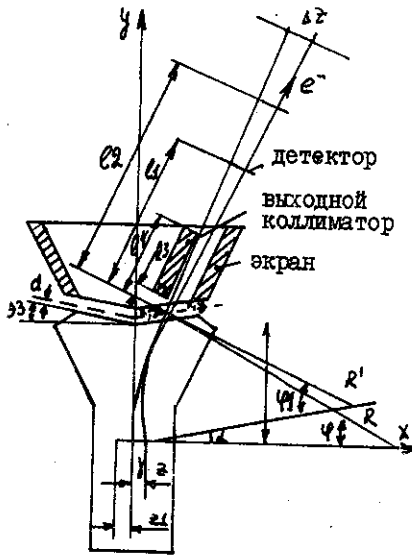


Рис. I

- Ввод исходной информации
1. Параметры пучка гамма-квантов Θ, C, Z
 2. Параметры спектрометра t, a
 3. Параметры детектирующей системы R, l_2, l_3, l_4

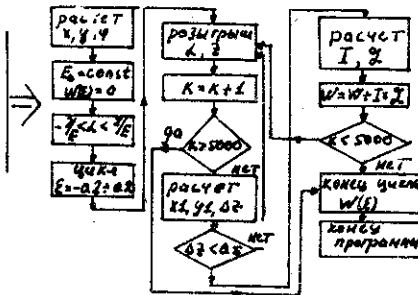


Рис. 2

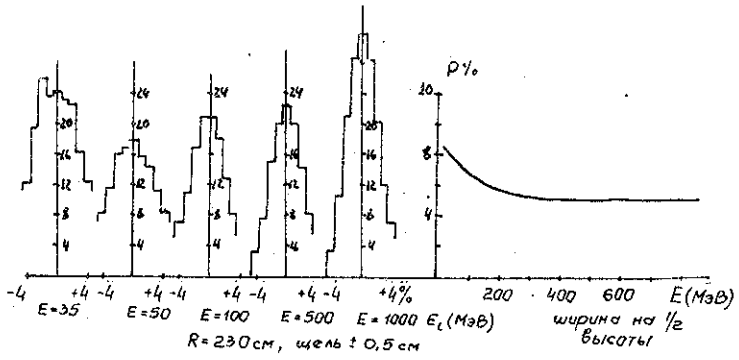


Рис.3

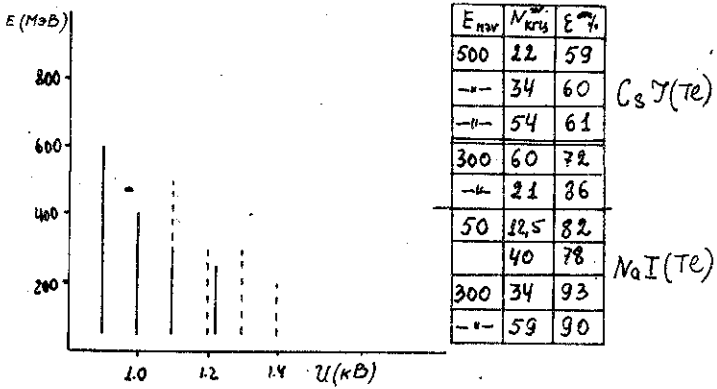


Рис.4

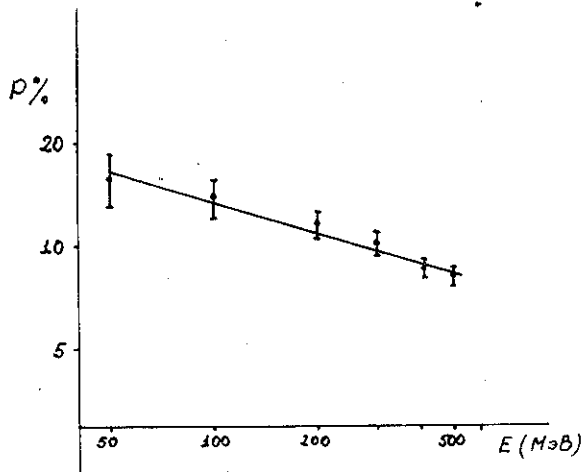


Рис. 5

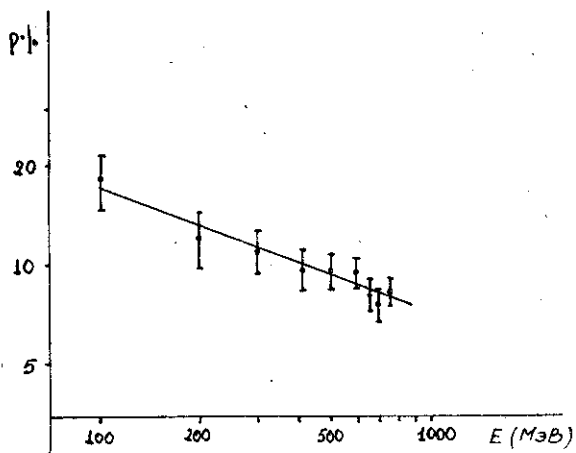


Рис. 6

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 Геометрия и параметры одноплечевого магнитного спектрометра.
- Рис.2 Блок-схема расчета собственного энергетического разрешения магнитного спектрометра.
- Рис.3 Слева: гистограммы собственного энергетического разрешения магнитного спектрометра $W(\xi)$ для различных энергий электрона (E_0); справа: зависимость полученного разрешения от энергии регистрируемого электрона.
- Рис.4 Области линейности по энергии для кристаллов $NaI(Tl)$, при разных напряжениях на ф.э.у.; сплошная линия для кристалла № 1; пунктирная - для кристалла № 2. Справа: результаты измерения эффективности регистрации (ξ) от загрузки детекторов ($N_{заг}$) при разных энергиях электрона (E) для кристаллов $NaJ(Tl)$ и $CsJ(Tl)$.
- Рис.5 Зависимость энергетического разрешения (FWHM) от энергии электрона для кристалла $NaI(Tl)$ - 2. $U_{фэу}=900В$.
- Рис.6 Зависимость энергетического разрешения (FWHM) от энергии электрона для склейки кристаллов $CsJ(Tl)$ с ФЭУ-82 $U_{фэу}=1200В$.

Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 65

ВФ- 04267

Тираж 299

Препринт ВФИ

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 10/III-83

I.0 уч-изд.л.Ц.15 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван 36, Маркарян 2

индекс 3624.