

Т. Н. МИХАЛЕВА, Д. Л. ЧУПРУНОВ

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДАТЧИК С РАЗРЕШЕНИЕМ 2,1% ДЛЯ 6,6 МэВ ПРОТОНОВ

Изложены результаты по улучшению разрешающей способности сцинтилляционного датчика. Дано описание сцинтилляционного датчика с улучшенной разрешающей способностью и результаты его использования на заряженных частицах, ускоренных на циклотроне НИИЯФ МГУ.

Несмотря на то что полупроводниковые детекторы находят все большее распространение, до последнего времени широко используются и сцинтилляционные датчики для регистрации заряженных частиц.

Сцинтилляционный детектор, используемый нами [1], состоит из кристалла CsI(Tl) и ФЭУ. На первом месте среди факторов, влияющих на разрешающую способность сцинтилляционного детектора, стоят [2] световой выход фосфора и эффективность собирания света. В [2] отмечается, что «значительное количество света, отражаясь от стекла ФЭУ, возвращается обратно в фосфор. Этот свет не должен теряться и должен быть возвращен на поверхность выхода в пределах угла полного внутреннего отражения». Для цилиндрического кристалла [3] CsI(Tl) доля света, выходящего через боковую поверхность, в 3,6 раза больше, чем через каждую торцевую поверхность. Следовательно, для того, чтобы свет, попавший из светового пятна (~ верхняя поверхность кристалла) на нижнее основание кристалла, не отражался обратно в кристалл, нужно, чтобы угол падения света был меньше угла полного внутреннего отражения, а для того, чтобы свет из светового пятна, попавший на боковую поверхность кристалла, отражался в кристалл, нужно, чтобы угол падения света на боковую поверхность был больше угла полного внутреннего отражения. Основываясь на этих замечаниях, можно написать соотношения между размерами кристалла, обеспечивающего наилучшее собирание света

$$R + r = h \operatorname{tg} \alpha_c, \quad R - r = h \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где h — толщина кристалла, R — радиус нижнего основания кристалла, r — радиус верхнего основания кристалла, α — угол полного внутреннего отражения для боковой поверхности кристалла, α_c — угол полного внутреннего отражения для поверхности кристалл—масло.

Учитывая, что $\sin \alpha = \frac{1}{n_{\text{крист}}}$ и $\sin \alpha_c = \frac{n_{\text{масло}}}{n_{\text{крист}}}$, а $n_{\text{CsI(Tl)}} = 1,79$;

$n_{\text{масло}} = n_{\text{стекло}} = 1,5$, выражение (1) можно переписать для кристалла CsI(Tl) в удобном для использования виде

$$\begin{aligned} r &= 0,43 h, & R &= 2,55 r, \\ R &= 1,1 h \quad (2) \text{ или} & H &= 2,32 r. \end{aligned} \quad (3)$$

Выражения (2) удобны тогда, когда заданным размером кристалла является высота кристалла h . Выражения (3) удобны тогда, когда заданным размером является r , т. е. размер коллиматора для регистрируемых частиц. Употребление r большего, чем нужно, размера увеличивает регистрируемый γ -фон. Нужно учитывать, что r является предельным размером и, следовательно, радиус коллиматора r_k должен быть несколько меньшим.

Нужного размера заготовки кристаллов вырезались нами из стандартного (диаметр 30 мм, высота 20 мм) счетного монокристалла CsI(Te) производства Харьковского завода. После придания кристаллам выбранных размеров они полировались с водой и потом тщательно доводились с изобутиловым спиртом на атласе. Оптический контакт кристалла с ФЭУ осуществлялся тонким слоем вазелинового масла. Делитель для ФЭУ изготавливался согласно паспорту из проволочных сопротивлений. Высокое напряжение на ФЭУ подавалось от стабилизированного высоковольтного выпрямителя СВВ-10. Регистрация спектра частиц производилась на 100-канальном анализаторе АИ-100-1, входной усилитель которого был заменен лучшим по стабильности во времени усилителем от дискриминатора «Сирень». Амплитудная характеристика системы «Сирень» + «Радуга» приведена на рис. 1.

Для выяснения влияния на разрешающую способность размера и формы кристалла измерения производились с α -частицами на ФЭУ-29. В качестве источника α -частиц использовался серийно изготовленный градуировочный препарат Pu^{239} с активностью 10^6 расп./мин и диаметром активного пятна 10 мм. Пучок α -частиц диафрагмировался расположенной непосредственно на кристалле диафрагмой диаметром 1,5 мм. Источник помещался на расстоянии 10 мм от диафрагмы. И источник α -частиц и кристалл, укрепленный на торце ФЭУ, находились в вакуумной камере, давление в которой было $\sim 5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. Результаты таких измерений приведены в таблице (изменение размеров и формы кристалла производилось в последовательности 1—4—2—5—3).

Изменение разрешающей способности при изменении размеров и формы кристаллов

Порядок изменения формы кристалла	Форма кристалла	Размеры кристалла			Ширина максимума на 0,5 высоты, относ. ед.	Амплитуда импульса, относ. ед.
		$2R$, мм	h , мм	$2r$, мм		
1	Цилиндр	12	1,9	12	1	1
3	Цилиндр	8	1,5	8	0,97	1
5	Цилиндр	4	1,1	4	0,94	1
2	Усечен. конус (34°) не расчетн.	12	1,8	6,66	0,83	1,2
4	Усечен. конус (34°) не расчетн.	8	1,4	3,84	0,86	1,2
	Почти расчетн. усечен. конус (34°)	6,2	2,9	2,3	0,80	1,35
	Почти расчетн. усечен. конус (34°)	4,8	2,1	1,9	0,80	1,35

Из таблицы видно, что с уменьшением размеров цилиндрического кристалла разрешающая способность медленно убывает. Переход от

цилиндрического кристалла к кристаллу, имеющему форму усеченного конуса, синус угла которого равен $\frac{1}{n_{\text{CsI(Tl)}}$, но высота не является расчетной, существенно улучшает разрешающую способность. Кроме этого нужно отметить, что переход от цилиндрической формы кристалла к конической (но нерасчетной) дает увеличение амплитуды сигнала на 20%. Для кристаллов, размеры которых являются почти расчетными, амплитуда сигнала увеличивается на 35%.

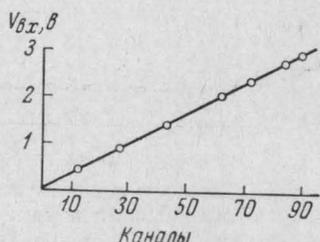


Рис. 1. Амплитудная характеристика системы «Сирень» + «Радуга»

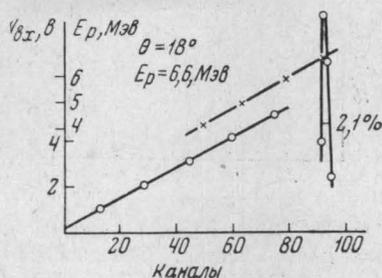


Рис. 2. Энергетическое разрешение для протонов. Пик протонов упруго рассеянных на Au. O — проверка линейности амплитуды при помощи генератора импульсов, x — на пучке протонов

После выяснения влияния формы кристалла на разрешающую способность при регистрации α -частиц Pu^{239} были изготовлены конические кристаллы, размеры которых удовлетворяют условиям (1) для работы на циклотроне НИИЯФ МГУ. Сцинтилляционный датчик (расчетный кристалл с тонким слоем вазелинового масла, укрепленный на стекле ФЭУ) помещается в алюминиевый кожух, через один торец которого осуществляется электрический ввод питания ФЭУ и вывод сигнала, а на другом торце помещается съемный коллиматор изучаемых частиц. Кожух с датчиком укрепляется на подвижном кронштейне, расположенном внутри полутораметровой камеры рассеяния. ФЭУ-29 было заменено ФЭУ-38, так как спектральная чувствительность Sb—Cs фотокатода значительно меньше в области спектра люминесценции CsI(Tl) , чем Sb—K—Na—Cs фотокатода, и интегральная чувствительность ФЭУ-38 значительно выше, кроме того, ФЭУ-38 имеет существенно меньшую чувствительность к изменению загрузки (практически нечувствительно при рабочих нагрузках). Проволочный делитель ФЭУ так же, как и катодный повторитель, размещен снаружи камеры рассеяния.

Измерение разрешающей способности датчика производилось на упруго рассеянных на 18° на золотой мишени ($0,25 \text{ мг/см}^2$) протонах и α -частицах, ускоренных на 120-сантиметровом циклотроне ($E_p = 6,6 \text{ Мэв}$, $E_\alpha = 26,4 \text{ Мэв}$). Ток пучка частиц, падающих на мишень, составлял несколько десятых мкА . Телесный угол был порядка 10^{-5} стерад. Результаты измерений с лучшим кристаллом $r=2,0$; $R=5,1$ и $h=4,6 \text{ мм}$ приведены на рис. 2 и 3. Вместе с наблюдаемыми максимумами упруго рассеянных частиц на этих рисунках приведены результаты измерения линейности регистрирующей системы, полученные как для системы катодный повторитель—анализатор (радиотехническая проверка), так и для системы датчик—анализатор. В последнем случае изменение энергии ускоренных частиц производилось с помощью фильтров.

Необходимо отметить, что для расчетных кристаллов мы не наблюдали изменения разрешения с изменением размеров кристалла. Кристалл имеет несколько худшее разрешение, если его размеры не точно совпадают с расчетными, что легко может осуществляться при полировке оснований, т. е. в случае, когда полученный кристалл «сместен» по высоте конуса.

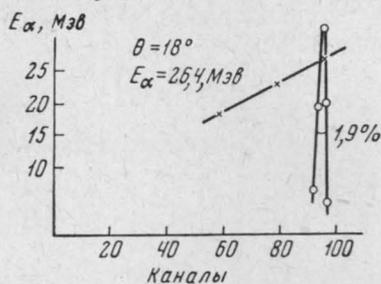


Рис. 3. Энергетическое разрешение для α -частиц. Обозначения те же, что на рис. 2

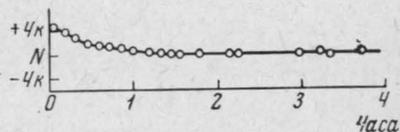


Рис. 4. Стабильность работы установки. По оси ординат дано положение максимума упруго рассеянных протонов

Стабильность работы установки во времени показана на рис. 4, из которого видно, что после прогрева установки (делителя) в течение 1,5 часов положение максимума изменяется в пределах меньше 1 канала и $\frac{\Delta N}{N} 100$ составляет $\pm 0,2\%$.

Как видно из приведенных результатов, сцинтилляционный датчик имеет разрешение (ширину на половине высоты максимума) для упруго рассеянных на 18° на мишени из сусального золота 6,6 МэВ протонов — 2,1% и 26,4 МэВ α -частиц — 1,9%. Описанный датчик эксплуатируется с 1963 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев С. С., Михалева Т. Н., Чупрунов Д. Л. «Изв. АН СССР», сер. физич., 29, 181, 1965; ЖЭТФ, 47, 1585, 1964; «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ., астрон., № 4, 87, 1964.
2. Бета и гамма спектроскопия, под ред. К. Зигбана. М., Физматгиз, 1959, стр. 144, 145.
3. Анкенбрандт, Лент. «Приборы для научных исследований», 34, № 6, 34, 1963.

Поступила в редакцию
8. 7 1965 г.

НИИЯФ