

+

Голохвастов, А.И. и др.



Б1-13-83-249.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С344.1.ис
Г-617

3306/83

Б1-13-83-249

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1983

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

Б1-13-83-249

А.И.Голохвастов, Ю.Дукстиныш, С.А.Хорозов

СЗ44.12с.
Г-617

"СВЕТОВЫХОД И ЛИНЕЙНОСТЬ СВЕТОВОХОДА
ПЛАСТИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ".

18. 04. 1983

Дубна, 1983 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория высоких энергий

А Н Н О Т А Ц И Я

Исследовался световыход и линейность световыхода пластического сцинтиллятора на основе полистирола с добавками терфенила (2%) и PPOP (0,04%). Оценка световыхода, полученная при сравнении сигналов с анода ФЭУ-30 с пластиком, кристаллом $CsI(Tl)$ и шлексигласом (черенковский свет) в пучке релятивистских ядер неона, а также полученная при сравнении анодных токов ФЭУ-30 при облучении пластика и кристалла $CsI(Tl)$ гамма-квантами, приводит к заключению, что в пластическом сцинтилляторе для образования одного фотона необходима энергия $250 + 300$ эВ.

Исследование линейности световыхода пластического сцинтиллятора от выделенной в нем энергии в пучке релятивистских ядер с разными зарядами Z показало, что до $Z = 7$ выход света растет пропорционально выделенной энергии, а для $Z > 7$ линейность нарушается. Выход света из кристалла $CsI(Tl)$ пропорционален выделенной в кристалле энергии по крайней мере до $Z = 10$.

Толчком к проведению этой работы была предпринятая нами не очень удачная попытка изготовить сцинтилляционный счетчик с пластическим сцинтиллятором, который имел бы хорошее амплитудное разрешение.

Одной из причин, приводящих к расхождению между расчетом и результатом экспериментального измерения энергетического разрешения, может быть несоответствие приведенной в литературе и реальной оптической эффективности пластического сцинтиллятора. Впрочем даже данные об оптической эффективности сцинтилляторов, приведенные в монографиях и справочниках [1 ÷ 5], отличаются в 1,5 + 2 раза. Этот разброс в значительной мере обусловлен разными условиями проведения измерений. Поэтому нужно было провести измерения с тем же типом пластиков и фотоумножителей, которые использовались нами в конструкции счетчика полного поглощения.

Пусть $i(t)$ - зависимость от времени анодного тока ФЭУ т.е. форма импульса при прохождении через сцинтиллятор заряженной частицы. Тогда $A \equiv \int i(t) dt$ есть величина заряда, пришедшего на анод, и эта величина $A \sim \Delta E_{cs} \cdot \mathcal{E}_{cs} \cdot K_{cb} \cdot K_{fk}$ (1)

где ΔE_{cs} - энергия, выделенная в сцинтилляторе,

\mathcal{E}_{cs} - оптическая эффективность сцинтиллятора, т.е. количество фотонов на единицу выделенной в сцинтилляторе энергии,

K_{cb} - коэффициент светосбора,

K_{fk} - квантовая эффективность фотокатода.

С целью измерения \mathcal{E} пластического сцинтиллятора, сравнивались значения A для кристалла CsI (7e) (30 x 40 x 4,7 мм³) и пластического сцинтиллятора (30 x 40 x 10 мм³) при прохождении через сцинтиллятор релятивистских ядер неона (импульс 4,1 ГэВ/с нуклон). Значения A определялись визуально по площади сигнала ФЭУ, наблюдавшегося на экране осциллографа. Сцинтилляторы устанавливались не-

посредственно на катоде фотопомножителя большой гранью перпендикулярно пучку. Сверху на них одевался светособирающий "домик" из алюминизированного лавсана. Величину потерь энергии ΔE в сцинтилляторах нетрудно рассчитать. Сложнее обстоит дело с величиной K_{cb} и особенно $K_{фк}$. Данные о спектре излучения $CsI(Te)$, приведенные в [5], говорят о том, что максимум спектра излучения приходится на длину волны 560 нм, в то время как по данным [2] он располагается на ~ 420 нм, т.е. приблизительно там же, где и у пластического сцинтиллятора. В последнем случае $K_{фк}^{CsI} \approx K_{фк}^{пл}$, в первом $K_{фк}^{CsI} < K_{фк}^{пл}$, поскольку максимум чувствительности ФЭУ с сурьмяно-цезиевым катодом лежит в области длин ~ 400 нм (спектральная характеристика С-6) [6].

Что касается K_{cb} , то принимая во внимание идентичность систем светосбора при работе с CsI и пластиком, а также то обстоятельство, что в видимой части спектра коэффициент отражения от алюминия слабо зависит от длины волны излучения, получаем $K_{cb}^{CsI} \approx K_{cb}^{пл}$. Дополнительным аргументом в пользу правильности учета коэффициента светособирания является результат измерения амплитуд сигнал от неполированного и полированного пластика, оказавшийся равным 1,25, что хорошо согласуется с расчетным значением 1,30.

Таким образом

$$R \equiv \frac{\alpha_{CsI}}{\alpha_{пл}} \approx \frac{A_{CsI}}{A_{пл}} \cdot \left(\frac{\Delta E_{CsI}}{\Delta E_{пл}} \right)^{-1} \quad (2)$$

Экспериментально полученное значение R оказалось равным $5,5 \pm 1$ (с учетом нелинейности выхода света из сцинтиллятора - $\sim 10\%$ см. ниже).

Принимая наиболее распространенное [2-5] значение энергии, необходимой для образования одного фотона, ~ 50 эВ для $CsI(Te)$, по-

лучаем, что соответствующая величина для пластика ≥ 275 ЭВ/фотон.

Измерение амплитуд сигналов ФЭУ с пластиками, изготовленных в ЛВЭ ОИЯИ в разное время, а также с заводским пластиком показало, что различие между использованными образцами не превосходит 20%.

Чтобы исключить влияние методики измерений на результат был определен относительный световыход кристалла $CsI(Tl)$ и пластика измерением среднего анодного тока ФЭУ при облучении сцинтиллятора источником Co^{60} ($E_{\gamma} = 1,17$ МэВ и $1,33$ МэВ). Сцинтилляторы (кристалл $CsI(Tl)$ размером $30 \times 40 \times 4,7$ мм³ и пластик $30 \times 40 \times 10$ мм³) укладывались большой гранью на фотокатод ФЭУ-30, верхняя и боковые грани закрывались отражателем из алюминизированного лавсана, а радиоактивный Co^{60} устанавливался на высоте 15 см. над центром сцинтиллятора.

Формула (I) и обсуждение влияния отдельных множителей в ней на конечный результат остаются в силе. Детали расчета энерговыделения в сцинтилляторах от гамма-квантов приведены в приложении. В результате измерений мы получили $R = 5 \pm 0,5$, что хорошо согласуется с приведенным выше результатом, полученным в пучке ядер неона.

И, наконец, было проведено сравнение амплитуд сигналов ФЭУ при установке на фотокатоде неполированного пластика и неполированной пластинки из плексигласа (обе размером $30 \times 40 \times 10$ мм³) и облучении их ядрами неона. Расчет числа черенковских фотонов, излучаемых в плексигласе ядрами неона, труда не представляет. Однако ввиду того, что большая часть черенковского излучения лежит в области длин волн $300 + 400$ нм, в которой и плексиглас и стекло фотокатода может иметь ограниченную прозрачность, надежно оценить коэффициент светосбора трудно. Если принять, что поглощение голубой части черенковского света мало, то измеренное отношение амплитуд сигналов ФЭУ (~ 40 с учетом нелинейности световыхода пластика) приводит к значению ≈ 200 ЭВ/фотон для пластика. Более реальной оценкой будет,

по-видимому, значение $\alpha^{-1} \approx 250 + 300$ эВ/фотон, что хорошо согласуется с приведенными выше результатами.

Суммируя результаты всех трех измерений, приходим к выводу, что на образование одного фотона в сцинтилляторе на основе полистирола с добавками терфенила (2%) и PPOP (0,04%) требуется $250 + 300$ эВ.

Нами также были проведены исследования линейности световых кристаллов $\text{CsI}(\text{Te})$ и пластического сцинтиллятора. Измерения проводились на пучке ядер ^{20}Ne (4,1 ГэВ/с нуклон). В измерениях использовался фотоумножитель ФЭУ-30. $\text{CsI}(\text{Te})$ размером $30 \times 40 \times 4,7 \text{ мм}^3$ и пластик $30 \times 40 \times 10 \text{ мм}^3$ устанавливались на катоде ФЭУ так, что большая грань сцинтилляторов была перпендикулярна пучку. В 2,5 м перед детектором устанавливалась свинцовая мишень (5 см). На рис. 1 и 2 приведены амплитудные спектры фрагментов ядер ^{20}Ne , зарегистрированные соответственно кристаллом $\text{CsI}(\text{Te})$ и пластиком. На рис. 3 и 4 построены зависимости средней амплитуды сигнала от фрагментов с разным зарядом Z от величины Z^2 , пропорциональной которой происходит выделение энергии в сцинтилляторе. Рис. 3 и 4 показывают, что выход света из кристалла $\text{CsI}(\text{Te})$ пропорционален потерям энергии в сцинтилляторе, а пластик обнаруживает нелинейность, достигающую $\sim 10\%$ для $Z = 10$. Амплитуда сигнала ФЭУ с пластическим сцинтиллятором от ядер неона была ~ 60 МВ на нагрузке 50 ом. Это обстоятельство, а также совпадение результата измерения нелинейности при двух разных напряжениях на ФЭУ (1,50 кв и 1,60 кв) дают основание считать, что указанный эффект нелинейности связан именно со световыходом пластического сцинтиллятора, а не с фотоумножителем.

Авторы благодарны сотрудникам химической группы ЛВЭ и особенно Е.Н. Матвеевой, Л.Я. Жильцовой, И.С. Голутвиной и Т.Д. Пилипенко за изготовление сцинтилляторов и обсуждение вопросов, рассмотренных в этой работе.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Расчет отношения энергий, выделенных гамма-квантами ^{60}Co в пластике и кристалле $\text{CsI}(\text{Tl})$.

Используя данные [7] по массовым коэффициентам поглощения энергии, получаем для величины $\Delta E_{\text{CsI}}/\Delta E_{\text{пл}}$ значение 1,9.

Учитывая, что полные вероятности взаимодействия гамма-квантов в CsI и пластике $\sim 0,1$ и $0,05$ соответственно, можно оценить вклад повторных взаимодействий в величину ΔE_{CsI} и $\Delta E_{\text{пл}}$. Эта поправка не превосходит 5%, а вклад ее в отношение энергий $\Delta E_{\text{CsI}}/\Delta E_{\text{пл}}$ и того меньше. Вторая поправка может быть связана с тем, что не все пробеги комптоновских и фотоэлектронных укладываются в сцинтилляторах. Учитывая отношение сечений фотоэффекта и комптоновского рассеяния, которое даже для $\text{CsI} \sim 0,1$ [7] и соотношение пробег-энергия [1] для комптон-электронов (средняя энергия $\sim 0,5$ МэВ), получаем, что эта поправка не может изменить полученной величины $\Delta E_{\text{CsI}}/\Delta E_{\text{пл}}$ более, чем на 10%.

Севин
Гин

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Roos M. et, al Rev. Part. Prop., CERN, Geneva, 1982.
- 2 Birks, J.B. The theory and practice of scintillation counting. Pergamon Press, 1964.
- 3 Акимов Ю.К. "Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий", Москва. 1963.
- 4 "Сцинтилляторы" Проспект треста "Союзреактив", Москва, 1960
- 5 Вяземский В.О. и др. "Сцинтилляционный метод в радиометрии", Москва, 1961
- 6 Берковский А.Г., Гаванин В.А., Зайдель И.Н. "Вакуумные фотоэлектронные приборы". Москва 1973
- 7 Сторм Э, Израэль Х. "Сечение взаимодействия гамма-излучения", Москва, 1973.

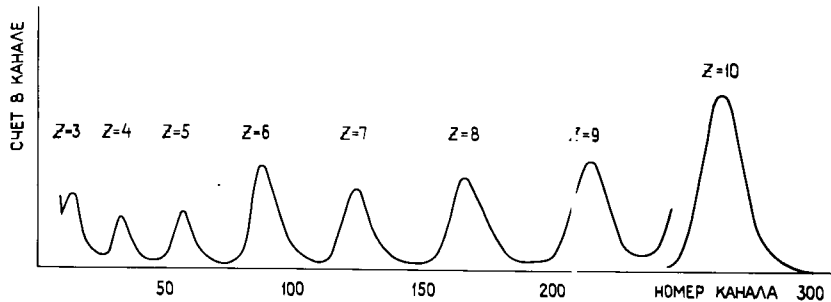


Рис. 1 Амплитудный спектр, полученный с кристаллом $CsI(Te)$ в пучке Ne^{22} за толстой мишенью.

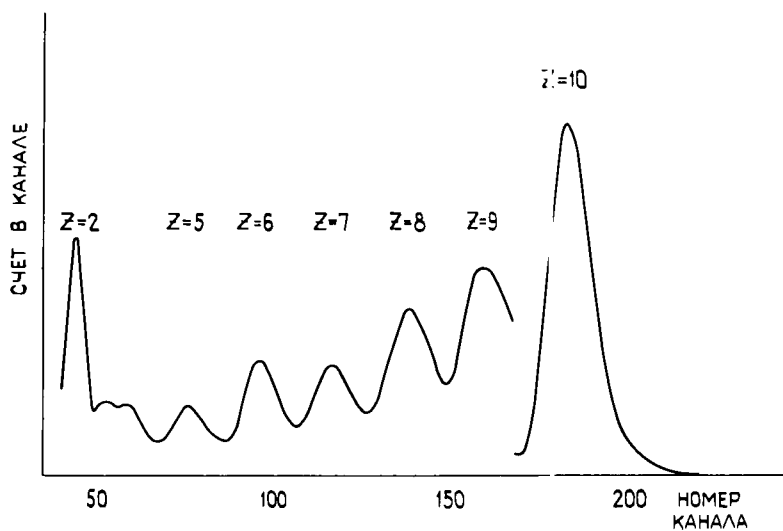


Рис. 2 Амплитудный спектр, полученный с пластическим сцинтиллятором в тех же условиях, что и на рис. 1

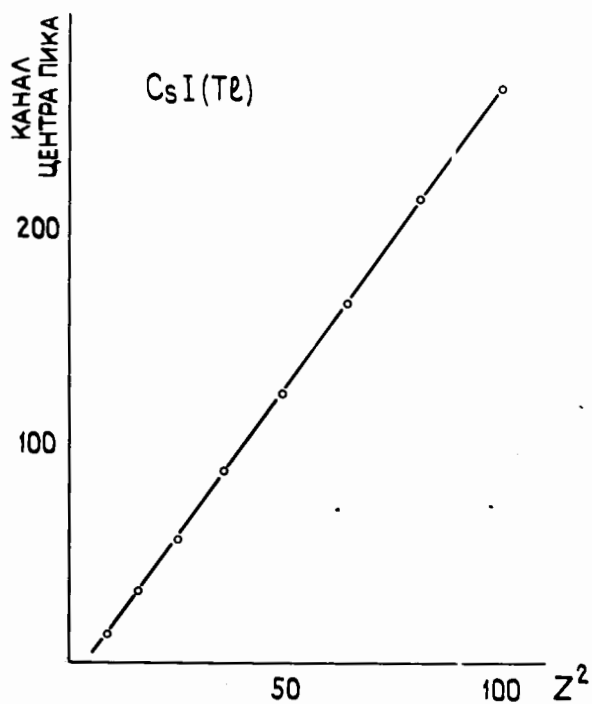


Рис. 3 Зависимость средней амплитуды импульса ФЭУ с кристаллом $CsI(Te)$ от квадрата заряда регистрируемого ядра.

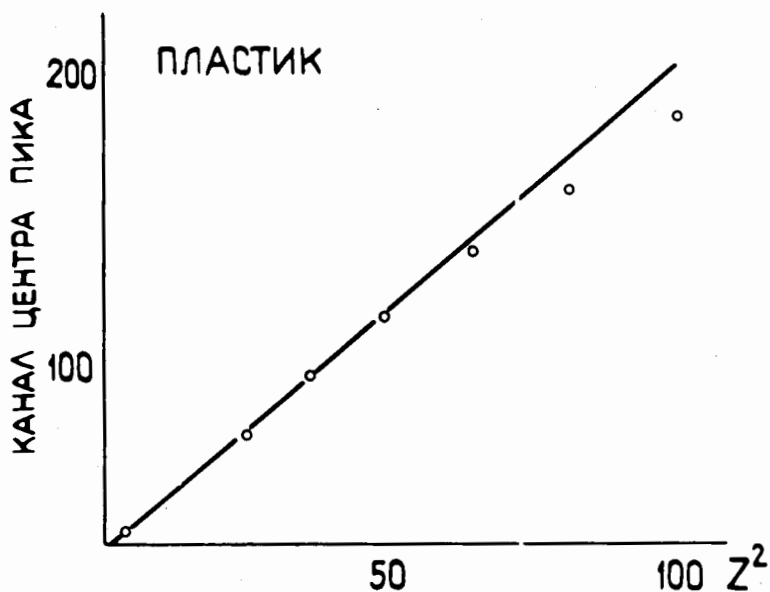


Рис. 4 Зависимость средней амплитуды импульса ФЭУ с пластическим сцинтиллятором от квадрата заряда регистрируемого ядра.