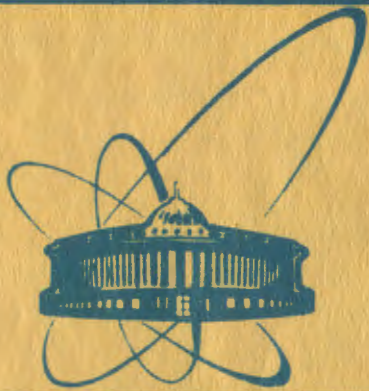


9/vi-80

†



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2478/2-80

P13-80-84

Г.А.Шелков, К.Шпиринг

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СВЕТОСБОРА
В СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКАХ
БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ

1980

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ на базе стримерной камеры, позволяющей измерять первичную ионизацию релятивистских частиц ^{1/}, создан пятиметровый магнитный спектрометр - установка РИСК ^{2/}. Одним из основных достоинств этого прибора является управляемость, то есть возможность отбирать для регистрации из всего многообразия процессов, происходящих при взаимодействии первичных частиц с веществом мишени спектрометра, события интересующего класса. Для выделения этих событий в спектрометре помимо стримерной камеры используется целый ряд дополнительных детекторов, в том числе и сцинтилляционные годоскопы. К конструкции некоторых из них предъявляется ряд специальных требований.

- Счетчики годоскопа должны иметь световоды длиной до 3 м, так как сцинтиллятор счетчиков годоскопа расположен в магнитном поле напряженностью ~13 кГс и необходимо вынести ФЭУ за пределы магнитного поля.

- В качестве светоотражающего покрытия сцинтилляторов и световодов нельзя применять алюминизированный лавсан, используемый обычно, так как сцинтиллятор и световоды расположены в объеме стримерной камеры, то есть в импульсном электрическом поле напряженностью ~15 кВ/см, и применение металлизированного покрытия приводило бы к появлению пробоев в камере или по крайней мере к сильному искажению электрического поля.

- Для обеспечения разборности стримерной камеры и упрощения процесса монтажа водородной мишени в объеме стримерной камеры технологически удобно иметь по крайней мере в одном месте "сухой" быстроразъемный контакт, то есть контакт двух частей сцинтилляционного счетчика без применения каких-либо клеев или замазок.

В данной работе приводятся результаты исследований, которые были выполнены для выяснения этих проблем. Был изучен вопрос о роли качества обработки поверхности сцинтиллятора и световода большой длины, влияния материала, который окружает сцинтиллятор и световод счетчика, на параметры счетчика, вопрос о величине потерь, возникающих при стыковке сцинтилляторов и световодов, а также о работоспособности изогнутых сцинтилляционных счетчиков.

Схема установки и принцип измерений показаны на рис.1. Исследуемый образец сцинтиллятора облучался электронами от

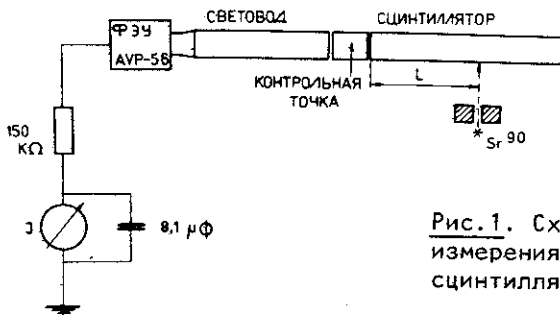


Рис. 1. Схема установки для измерения характеристик сцинтилляторов.

β -источника (^{90}Sr), который можно было перемещать вдоль сцинтиллятора. Для того, чтобы уменьшить влияние изменения телесного угла, в пределах которого ФЭУ "видит" зону сцинтиллятора, облучаемую электронами, был использован световод длиной 1,2 м, через который свет от сцинтиллятора поступал на фотокатод ФЭУ. Измерения производились в токовом режиме работы ФЭУ. Для контроля стабильности установки использовался небольшой сцинтиллятор, который всегда помещался между исследуемым сцинтиллятором и световодом.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ

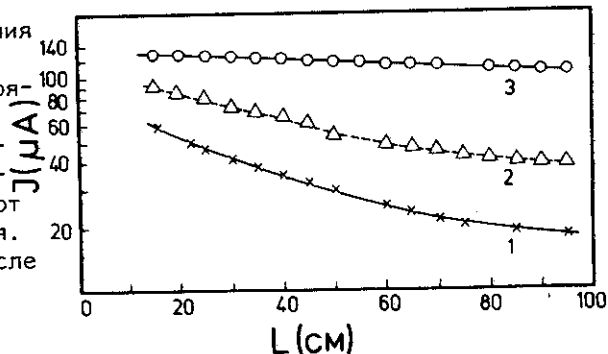
Качество сцинтиллятора характеризуется его временными характеристиками, световыходом и прозрачностью. В данных измерениях мы исследовали лишь последнюю характеристику. Прозрачность сцинтиллятора определяется его химическим составом, формой, материалом, в который он упакован, и качеством его поверхности. Если свет собирается только с одной стороны сцинтиллятора, как изображено на рис. 1, а противоположный торец сцинтиллятора закрыт некоторой зеркальной поверхностью, то зависимость величины тока ФЭУ от положения β -источника будет определяться суммой двух экспонент

$$J_{(L)} \sim \exp(-L/\lambda) + A \exp[(-2l - L)/\lambda], \quad (1)$$

где L - расстояние β -источника от ближайшего к ФЭУ торца сцинтиллятора, l - полная длина сцинтиллятора, λ - прозрачность сцинтиллятора, A - коэффициент отражения зеркала.

На рис. 2 приведено три кривых, снятых при исследовании одного и того же образца сцинтиллятора размером $1000 \times 50 \times 20$ мм на основе ПММА /полиметилметаакрилата/. Исходная кривая /1/ была получена на образце, который внешне выглядел вполне удовлетворительно, хотя полировка была сделана достаточно давно, а сцинтиллятор многократно брали руками и хранили без

Рис. 2. Кривые поглощения света в сцинтилляторе в зависимости от состояния поверхности. 1 - исходный образец, длительное время находившийся в работе. 2 - тот же образец после мытья. 3 - тот же образец после переполіровки.



всякой упаковки. После того, как мы вымыли сцинтиллятор бензином, мыльной водой и 50%-ным раствором этилового спирта, его прозрачность значительно увеличилась /2/. Затем сцинтиллятор был отполирован и вымыт еще раз. Как видно из кривой /3/, таким образом удалось увеличить количество света, доходящего до ФЭУ из самой дальней точки одного и того же сцинтиллятора, в 5 раз! Этот пример достаточно наглядно говорит о том, сколько аккуратно нужно обращаться с длинными сцинтилляторами и световодами. Здесь следует отметить, что лучшая поверхность получается при полимеризации сцинтиллятора в сосуде из зеркального стекла /3/. Это означает, что с пластиками, изготовленными таким образом, следует обращаться как можно осторожней, чтобы не возникла необходимость переполіровки.

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА УПАКОВКИ НА ПРОЗРАЧНОСТЬ СЦИНТИЛЛЯТОРА

Для изучения этого вопроса один и тот же образец сцинтиллятора /сечение $50 \times 20 \text{ мм}^2$ / был помещен в различные упаковки, которые перечислены в табл. 1. Результаты измерений приведены на рис. 3. Кривые 1 и 2 описываются формулой /1/. Алюминизированный лавсан на торце сцинтиллятора несколько лучше белой бумаги, поскольку коэффициент отражения алюминизированного лавсана для света в диапазоне длин волн $400 \div 500 \text{ нм}$ выше, чем коэффициент отражения бумаги /4-6/. Полученные в наших измерениях величины $A_{\text{бумаги}} \approx 0,7$ и $A_{\text{Al}} \approx 0,77$. Для кривых 3-6 коэффициент отражения от торца сцинтиллятора близок к нулю, и в формуле /1/ можно пренебречь вторым членом, что существенно упрощает процедуру определения прозрачности λ . Величины прозрачности для случаев 3, 4 и 5 равны соответственно $/160 \pm 5/$; $/158 \pm 3/$ и $/150 \pm 5/ \text{ см}$, то есть λ очень слабо зависит от вида упаковки, если эта упаковка не находится в оптическом контакте с поверхностью сцинтиллятора. Это означает, что практически весь свет, достигающий ФЭУ, отражается за счет полного внут-

Таблица 1

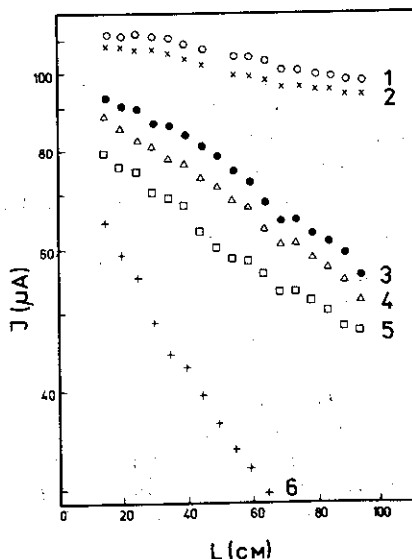
№ измерения	Характер покрытия боковых сторон сцинтиллятора	Характер покрытия торца сцинтиллятора
1	алюминизированный лавсан	алюминизированный лавсан
2	- " -	белая бумага
3	- " -	черный материал в оптическом контакте
4	белая бумага	- " -
5	черная бумага	- " -
6	алюминизированный лавсан в оптическом контакте со сцинтиллятором с помощью масла	- " -

Таблица 2

№ измерения	Способ соединения	Потеря света в месте соединения / % /
1	оптический клей NE 580	6
2	сухой контакт	21
3	зазор (D) 1 мм	24
4	D = 5 мм	33
5	D = 10 мм	40

ренного отражения /ПВ0/ на границе сцинтиллятор-воздух, а также что практически невозможно передать с больших расстояний на фотокатод ФЭУ свет, который вышел за пределы конуса определяемого углом ПВ0. Малая величина прозрачности $\lambda = 363,2 \mu\text{см}$,

Рис. 3. Кривые поглощения света в сцинтилляторе в зависимости от вида оболочки, окружающей сцинтиллятор /см. табл.1/.



полученная в случае зеркального покрытия поверхности сцинтиллятора /кривая 6/, служит хорошим подтверждением преимущества сцинтиллятора с ПВО по сравнению со сцинтилляторами, имеющими светоотражающие покрытия, которые исключают ПВО.

Несмотря на то, что наклон кривых 3,4 и 5 совпадает, эти кривые несколько сдвинуты относительно друг друга. Тот факт, что кривые 3 и 4 /белая бумага и алюминизированный лавсан/ несколько выше кривой 5 /черная бумага/, говорит о том, что незначительная доля света /~10%/, вышедшего из сцинтиллятора, может все-таки вернуться в сцинтиллятор и попасть в конус ПВО. Суммируя эти результаты, можно утверждать, что алюминизированный лавсан является оптимальным материалом для отражателя сцинтилляционного счетчика. Белая бумага также может с успехом использоваться для упаковки, так как она лишь незначительно /на $5 \pm 10\%$ / хуже, чем лавсан. Более того, для "длинного" сцинтилляционного счетчика, то есть в том случае, когда сцинтилляционный свет прежде чем достичь фотокатода должен претерпеть свыше десятка отражений от стенок, количество света, достигающего фотокатода ФЭУ, не зависит практически /в пределах ~10%/ от вида упаковки, а определяется только качеством полировки и чистотой поверхности при условии, что световод и сцинтиллятор прямые или изгибаются адиабатически.

ПОТЕРЯ СВЕТА ПРИ СТЫКОВКЕ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

Для изучения этого вопроса были измерены зависимости величины тока ФЭУ от положения β -источника для двух одинаковых кусков сцинтилляторов /размерами 1100x46x15/ мм³, стыкуемых торцами друг с другом. Разные варианты исследуемых оптических контактов приведены в табл. 2. В той же таблице приведены величины потерь света в месте соединения двух сцинтилляторов, полученные на основании данных, приведенных на рис. 4. Во всех случаях область соединения была окружена белой бумагой.

Из этих результатов следует, что:

- тщательная склейка двух сцинтилляторов хорошим оптическим клеем снижает потери света до $\leq 10\%$,

- соединение двух поверхностей без всякого клея /"сухой" контакт/ приводит к потере света $\sim 20\%$, что вполне допустимо во многих случаях,

- потеря света при увеличении зазора между частями сцинтиллятора или световода растет линейно в зависимости от величины зазора. В нашем случае $\Delta J = (21 + 2 \cdot D \cdot l / \text{мм}) \%$.

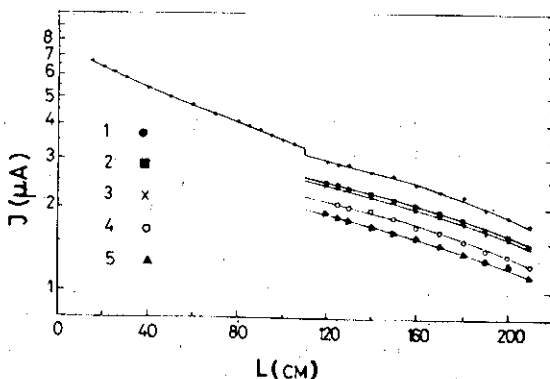


Рис. 4. Потеря света в месте стыковки двух сцинтилляторов. /См. табл. 2/.

СОЕДИНЕНИЕ СЦИНТИЛЛЯТОРА И СВЕТОВОДА РАЗНЫХ СЕЧЕНИЙ

Теоретически этот вопрос определялся теоремой Лиувилля^{7/}, которая в нашем случае гласит, что если I_1 и I_2 - количество света /однородно распределенного/ на выходе сцинтиллятора и на входе световода соответственно, а F_1 и F_2 - площади сечений сцинтиллятора и световода, то в случае идеального контакта

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{F_2}{F_1}.$$

При плохо изготовленном контакте I_2 может быть только меньше. В нашем случае мы столкнулись с необходимостью вывода света

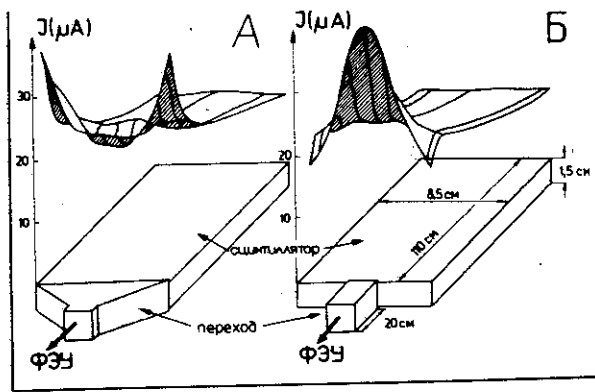


Рис. 5. Кривые поглощения света в сцинтилляторе для двух видов перехода от сцинтиллятора в световод.

от сцинтиллятора сечением $8,5 \times 1,5$ см² с помощью световода сечением $1,8 \times 1,8$ см². Несмотря на то, что теорема Лиувилля полностью отвечает на вопрос о том, сколько света мы теряем в рассматриваемом случае, широко распространено мнение, основанное на интуитивном опыте, относящемся к направленным пучкам света, что из двух вариантов переходов, приведенных на рис. 5 и 6, предпочтительней плавный переход от сцинтиллятора к световоду. При использовании уже освоенной методики были измерены оба варианта перехода. Результаты исследований приведены на рис 5 и 6. Оба варианта отличаются только в области сцинтиллятора, близкой к световоду, для которой еще нельзя рассматривать свет полностью однородным /теорема Лиувилля в данном случае неприменима/. На рис.6 приведена зависимость величины тока ФЭУ от расстояния β-источника от световода для средней части сечения сцинтиллятора. Из рисунка видно, что при расстоянии 20 см оба варианта становятся неразличимы /в пределах точности

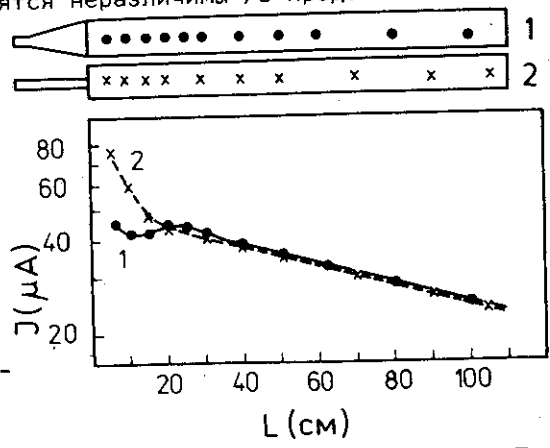


Рис.6. То же, что и на рис.5, но в зависимости от расстояния источника от световода в случае, когда источник перемещается вдоль оси сцинтиллятора.

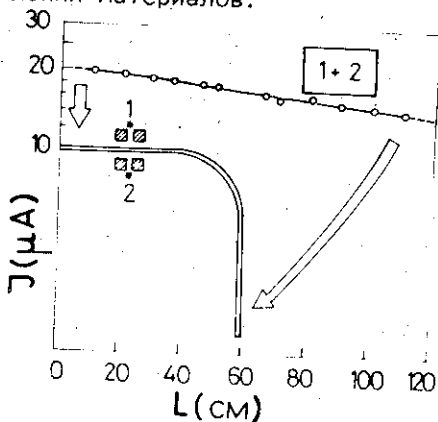
калибровки $\pm 3\%$, что, как уже упоминалось, находится в согласии с теоремой Лиувилля.

ПОТЕРИ СВЕТА НА ИЗГИБЕ СЦИНТИЛЛЯТОРА

На рис. 7 приведена кривая поглощения света в сцинтилляторе размерами $1100 \times 85 \times 15$ мм³, который был согнут под прямым углом в струе горячего 130°C воздуха /радиус изгиба сцинтиллятора ~ 200 мм/. Измерения проводились при перемещении источника как вдоль внутренней, так и вдоль внешней стороны изгиба. Как видно из рис. 7, дополнительных потерь, связанных с изгибом сцинтиллятора, в пределах точности наших измерений не наблюдается. Это соответствует расчетам, проведенным в работе ^{8/}, согласно которой потери в нашем случае не должны превышать $3-5\%$.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить В.И.Петрухина за интерес и поддержку, С.М.Малиновскую и Л.П.Ветренко за творческое обсуждение и быстрое изготовление высококачественных образцов сцинтилляторов, Л.С.Вертоградова, А.В.Желамкова, Нгуена Данг Ньюана за помощь в работе и Анну Сабо за помощь при оформлении материалов.

Рис. 7. Кривые поглощения света в изогнутом сцинтилляторе.



ЛИТЕРАТУРА

1. Давиденко В.А. и др. ЖЭТФ, 1968, 55, с.426.
2. Bohm G. et al. First International Conference of Streamer Chamber Technology, Argonne, 1972.
3. Kettnering G. Nucl. Instr. and Meth., 1975, 131, p.451.
4. Турыгин И.А. Прикладная оптика. "Машиностроение", М., 1966.
5. Heavens O.S. Optical Properties of Thin Solid Layers. London, 1955.
6. Handbook of Chemistry and Physics, Cleveland, 1962.
7. Ritson D.M. Technique of High Energy Physics, New York, 1961.
8. Massam T. Nucl. Instr. and Meth., 1977, 141, p.251.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1980 года.