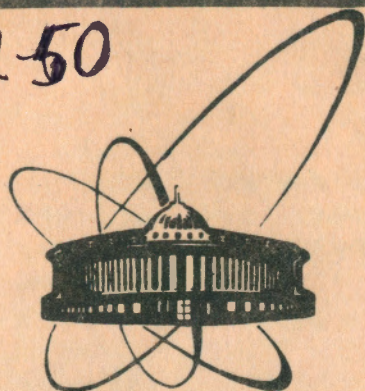


92-50



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

P15-92-50

А.С.Фомичев, Х.-Г.Ортлепп, Ю.Э.Пенионжкевич,
К.Хербх, И.Давид, В.Вагнер¹, Г.Пауш¹,
Х.Зодан¹, В.А.Витенко²

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ФОСФИЧ-ДЕТЕКТОРОВ
4π-УСТАНОВКИ ФОБОС

¹ЦИ, Россендорф, ФРГ

²РИАН, С.-Петербург

Основные характеристики сцинтиляционных
фосфич-детекторов 4 π -установки ФОБОС

Описаны основные характеристики сцинтилляционной части многодетекторной 4 π -установки ФОБОС. Обсуждаются выбор материала сцинтиллятора и тип фотоумножителя, приведено описание механической и электронной конструкций. Представлены первые экспериментальные результаты, полученные этим прибором. Для большого и малого модулей, состоящих из CsI(Tl) $\phi 200 \times 3$ мм² + ФЭУ-173 и CsI(Tl) $\phi 22 \times 3$ мм² + ФЭУ-176, соответственно, были получены совместимые результаты детектирования и идентификации легких заряженных частиц.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод авторов

Fomichev A.S. et al.

P15-92-50

Main Characteristics of Scintillation
Phoswich-Detectors for the 4 π -Experimental
Setup PHOBOS

The main characteristics of a scintillation part for the 4 π -multidetector PHOBOS are described. The choice of the scintillator material and type of photo-multiplier are discussed and the description of the mechanical and electronic design is given. First experimental results obtained with this device are presented. A compatible detecting and identifying light charged particles were obtained for the large and small modules consisting of CsI(Tl) $\phi 200 \times 3$ мм² + FEU-173 and CsI(Tl) $\phi 22 \times 3$ мм² + FEU-176 respectively.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Введение

Сцинтилляционная часть установки ФОБОС является продолжением газовой детектирующей системы^{1/}, состоящей из плоскопараллельных лавинных счетчиков и Брегговских ионизационных камер. Она позволяет дополнить диапазон регистрируемых частиц средних и тяжелых масс измерением легких частиц с их идентификацией по Z и A ($p, d, t, {}^3\text{-}^4\text{He}, {}^6\text{-}^7\text{Li}, \dots$) в области энергий $2+60$ МэВ на нуклон. Сто девяносто сцинтилляционных детекторов позволяют определить среднюю множественность частиц и их угловое распределение с точностью $6+7\%$. Регистрация легких частиц в совпадении с более тяжелыми фрагментами может дать недостающую информацию о некоторых основных проблемах ядерно-ядерных столкновений при промежуточных энергиях:

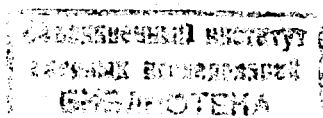
- передаче поперечного и продольного импульсов, массы, энергии и т.д. в начальной стадии реакции;
- распаде высоковозбужденной ядерной материи посредством эмиссии предравновесных и испарительных частиц;
- определении количества "взаимодействующей" и "наблюдающей" материи.

Для этих и некоторых других целей в крупных научных центрах созданы и строятся разнообразные 4π -системы с использованием фосфич-детекторов^{1-3/}. В данной работе изложены основные характеристики сцинтилляционной части установки ФОБОС.

1. Выбор сцинтилляторов

Детектирующие модули в установке с геометрией, близкой к 4π , необходимо конструировать таким образом, чтобы суммарная площадь мертвых зон была минимальна. Эффективная площадь регистрации обычно достаточно велика, чтобы использовать полупроводниковые телескопы. Именно поэтому сцинтилляционные фосфич-детекторы нашли свое широкое применение при создании 4π -установок.

Как и полупроводниковые телескопы, фосфич-детекторы имеют ограниченный диапазон регистрации по энергии. Низкоэнергетические частицы полностью останавливаются в тонком слое сцинтиллятора, а для высокоэнергетических частиц толщины этого слоя недостаточно для идентификации по разнице ионизационных потерь dE/dx . Так, например, для ΔE слоя из $0,6$ мм CaF_2 сцинтиллятора нижний энергетический порог регистрации составляет порядка 9 МэВ/нуклон, а верхний ~ 50 МэВ/нуклон. Используя пластический сцинтиллятор в качестве ΔE слоя, можно существенно снизить нижний предел, например, до 1 МэВ/нуклон для пластика толщиной $30+40$ мкм. Однако, в этом случае будет только идентификация по Z без массового разрешения^{4/}. Альтернативным является использование одного



сцинтиллятора без ΔE слоя, у которого форма импульса свечения зависит от сорта детектируемых частиц в области $Z=1+4$. Среди таких сцинтилляторов наиболее используемыми являются BaF_2 , $NaI(Tl)$, $CsI(Tl)$. Схема информации при этом может быть в точности идентичной той, которая применяется в случае комбинированного сцинтилляционного телескопа, то есть интегрирование сигнала с фотоумножителя ведется в двух разных временных окнах, разделенных между собой линией задержки. Для увеличения диапазона регистрируемых частиц следует добавить к данным сцинтилляторам тонкий слой пластика, при этом информацию от него можно получать в третьем временном окне.

Кристалл BaF_2 имеет две постоянные компоненты времени высвечивания быструю, которая составляет порядка 1 нс, и медленную - порядка 600 нс^{/5/}. Основное достоинство кристалла - его быстродействие - часто используется в целях получения высокого временного разрешения детектора. Обе компоненты высвечиваются в фиолетовой области 220-300 нм, что требует кварцевого окна для ФЭУ, специальных световодов и светосоединяющих материалов, и это приводит к значительному удорожанию детектора. Применение различных "шифтеров" спектра в видимую область дает неплохие результаты - зарядовое разделение $Z=1,2$ и массовое разделение для $Z=1^{/6,7/}$. Однако было обнаружено, что ионы ^{12}C , ^{16}O , ^{32}S генерируют линии между $Z=1$ и $Z=2^{/6/}$. Кроме того, световой выход кристалла BaF_2 не превышает 10% относительно $NaI(Tl)$ на 1 МэВ γ -квантов.

Для $NaI(Tl)$ сцинтиллятора постоянные времена высвечивания быстрой и медленной компонент соответственно составляют ~ 60 нс и 230 нс^{/8/}. Авторы работы^{/9/} показали хорошее p,d,t- и α -разделение для $NaI(Tl)$ кристалла в широком энергетическом диапазоне. К недостаткам данного материала можно отнести высокую гигроскопичность, сложность механической обработки, высокий индекс отражения 1,85.

Для $CsI(Tl)$ зависимость флюоресценции от сорта частиц была установлена еще в 1958 году^{/10/} и долгое время не находила своего применения. Для быстрой компоненты были получены следующие постоянные времена высвечивания - 425, 520 и 720 нс для $E_\alpha=4,8$ МэВ, $E_p=8,6$ МэВ, $E_\gamma=0,66$ МэВ, соответственно. Медленная компонента имеет время высвечивания около 7 мкс и слабо зависит от сорта частиц. Так, авторы работы^{/11/} добились хорошей идентификации γ , p, d, t, 3He , 4He , Li, Be для кристалла $CsI(Tl)$ $\phi 50 \times 30$ мм², интегрируя сигнал с ФЭУ в интервалах (0,400) нс и (1600,1000) нс (первая цифра означает задержку, вторая длительность). К достоинствам $CsI(Tl)$ также относятся слабая гигроскопичность, пластичность и следовательно, пригодность для механической обработки. Недостатками считаются медленная компонента высвечивания, индекс отражения 1,8, высвечивание в красной области спектра $\lambda_{max}=565$ нм.

Важным достоинством $CsI(Tl)$ при конструировании многодетекторных

установок является тот факт, что относительная высота импульса высвечивания не зависит от концентрации Tl, если эта концентрация превышает 0,1%. Следовательно, дисперсия активатора Tl по объему сцинтиллятора не внесет дополнительного вклада в дисперсию светового выхода. Это особенно важно для кристаллов большого диаметра. Так, например, для кристаллов $CsI(Tl)$ диаметром до $\phi \sim 200$ мм для установки ФОБОС получена неоднородность световых выходов в зависимости от места попадания частиц менее 3%. Измерения проводились при облучении диска $CsI(Tl)$ $\phi 200 \times 7$ мм² альфа-частицами от точечного ^{241}Am источника (диаметр дифракции 2 мм) с шагом 20 мм при сканировании от центра к краю. Фотоприемник ФЭУ R3082 фирмы HAMAMATSU с диаметром фотокатода 20 мм также перемещался от точки к точке совместно с источником.

Высокая однородность активатора в кристаллах CsI достигается, если использовать вместо Tl другое вещество - CO_3 . В этом случае спектр свечения приближен к видимой области ($\lambda_{max}=460+480$ нм), световой выход составляет 120% относительно $CsI(Tl)$, время высвечивания равно 2,5 мкс. На рис.1 приведены результаты испытаний сцинтиллятора $CsI(CO_3)$ диаметром 60 мм и толщиной 10 мм, свидетельствующие о хорошем зарядовом разделении частиц с $Z=1+4$. Однако зависимость импульса свечения от массы столь слабая, что затруднительно получить p,d,t разделение.

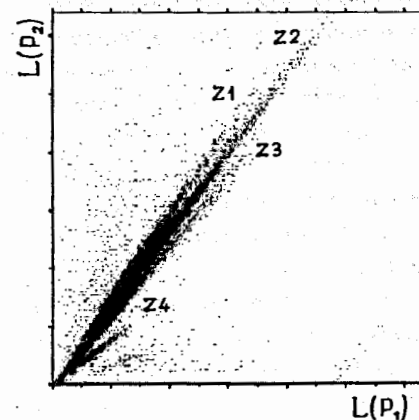
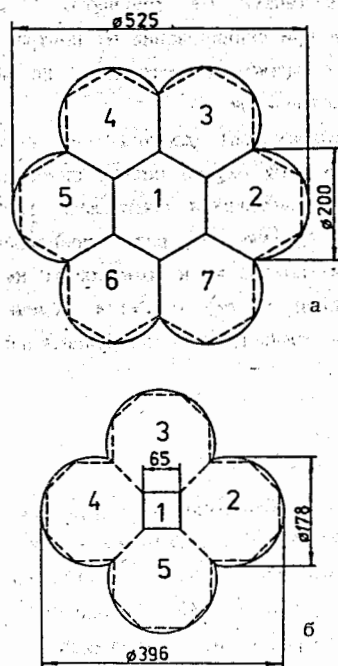


Рис.1. Сепарация частиц детектором $CsI(CO_3)$ $\phi 60 \times 10$ мм² + ФЭУ-143 в реакции $^{58}Ni + ^{20}Ne(176$ МэВ) под углом $\theta = 45^\circ$. По оси "X" - интегрирование сигналов в интервале (0,400 нс), по оси "Y" - (600,1000 нс).

2. Сцинтилляционная часть установки ФОБОС

Предполагается, что диапазон энергий регистрируемых легких частиц на установке ФОБОС составит от 1+2 МэВ/нуклон до ~ 60 МэВ/нуклон. В связи с этим толщина сцинтиллятора $CsI(Tl)$ выбрана 10 мм для 155 детекторов, расположенных под углами $53^\circ + 180^\circ$, что соответствует пробегу протонов с энергией ~ 50 МэВ и альфа-частиц с $E_\alpha \sim 200$ МэВ. $CsI(Tl)$ толщиной 14 мм предполагается установить для передних углов в диапазоне $15^\circ + 52^\circ$ ($5 \times 7 = 35$ детекторов) с пороговой энергией

для протонов 63 МэВ и 236 МэВ - для альфа-частиц. Размеры кристаллов во фронтальной плоскости predetermined геометрии газовых камер и элементами крепления детекторов. Для двух типов газовых камер диаметры входных окон сцинтилляционной части составляют 525 мм и 396 мм. Конфигурация кристаллов CsI(Tl), показанная на рис.2, обеспечивает геометрическую эффективность 75% для больших камер и 72% для малых. Таким образом, общее количество



сцинтилляционных детекторов для 20 больших и 10 малых камер равно 190. Полная геометрическая эффективность газовой части с учетом мертвых зон и прозрачности самих детекторов составляет 65% от 4π , а для CsI(Tl) детекторов эта цифра равна 47%. Расчеты показывают, что данная эффективность обеспечивает регистрацию легких частиц средней множественности $\langle M \rangle = 10$ с вероятностью 80%.

В качестве сцинтилляционной стены под передними углами $4,5^\circ + 15^\circ$ будет использована часть установки ARGUS^{3/}. Это четыре кольца фосфич-детекторов (60 штук), состоящих из тонкого слоя пластика NE102A (500 мкм), кристаллов ВГО толщиной 20±25 мм и фотоумножителей R3082 (НАМАМАТСУ). Все детекторы полностью помещаются внутри реакционной камеры ФОБОСа на расстоянии 25 см от мишени.

Для 180 детекторов установки ФОБОС предполагается использование маломощных ФЭУ-173 с диаметром фото катода 150 мм и спектральной чувствительностью в области $\lambda = 300 + 800$ нм. Вместо традиционных световодов из оргстекла планируется собирать свет от CsI(Tl) через

Рис.2. Конфигурация и размеры детектирующих модулей во фронтальной плоскости для большой (а) и малой камер (б) установки ФОБОС.

воздушную прослойку 120 мм, экранируя боковые поверхности каждого модуля зеркальным материалом. Это существенно облегчит вес всей сцинтилляционной части. Кроме того, воздушная среда более пригодна, чтобы устранить перерасcеяние нейтронов, а эффект полного внутреннего отражения света от

боковых сторон будет значительно больше, чем в случае с оргстеклом. Так, например, для световода конусоидальной формы высотой 120 мм с диаметрами при основании и вершине 200 и 150 мм, соответственно, было получено, что амплитуда сигнала с ФЭУ при сканировании альфа-источником от центра к краю по поверхности CsI(Tl) изменяется на 60%, в то время как воздушный световод дает гораздо меньшее отклонение в пределах 15%.

Десять центральных модулей малых камер (см.рис.2б) предполагается создать в виде "трисвич"-детекторов, состоящих из тонкого слоя пластика типа NE102 толщиной 60 мкм, CsI(Tl) размером 65x65 мм² и толщиной 10 мм и стилибена толщиной 50 мм. Данные триггерные детекторы позволят получить зарядовое разделение частиц в области $Z=1+20$ по ионизационным потерям, массовое разделение по времени пролета на базе 720 мм ($Z \geq 2$) и по форме импульса свечения CsI(Tl) для самых высокоэнергетических легких частиц ($Z \leq 2$), а также идентификацию нейтронов низких и средних энергий. В этих модулях будут применены ФЭУ-176 ($\phi_{\text{ок}} = 50$ мм) с хорошим временным разрешением (~1,5 нс) и низкими собственными шумами (темновой ток менее 1 нА).

3. Результаты испытаний

Тестовые измерения опытных образцов сцинтилляционных детекторов проводились на циклотроне У-200 ЛЯР ОИЯИ в реакциях $^{58}\text{Ni} + ^{20}\text{Ne}$ (176 МэВ) и $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$ (176 МэВ) под углом 45° по отношению к направлению пучка. Были испытаны детекторы двух типов в зависимости от размеров сцинтиллятора и фотоумножителя: 1) CsI(Tl) $\phi 22 \times 3$ мм² и $\phi 40 \times 30$ мм² с ФЭУ-143, ФЭУ-176 и АУР-56; 2) CsI(Tl) $\phi 200 \times 3$ мм², $\phi 200 \times 5$ мм² и $\phi 200 \times 7$ мм² с ФЭУ-49Б, ФЭУ-167 и ФЭУ-173. Детекторы первого типа испытывались также в режиме, когда на фронтальной поверхности размещался тонкий слой пластика на полистирольной основе толщиной от 30 до 60 мкм. Таким образом, исследовались одновременно как свойство самого CsI(Tl), дающего разделение частиц с $Z=1+3$ по форме импульса свечения, так и способность фосфич-детектора разделять легкие заряженные частицы по разнице ионизационных потерь в тонком слое пластика. Аналогичные измерения для детекторов второго типа были осложнены тем, что временного разрешения фотоумножителей с большим диаметром фото катода (3-5 нс для ФЭУ-167, ФЭУ-173 и 10 нс для ФЭУ-49Б) было недостаточно для эффективного разделения быстрого сигнала от пластика из суммарного сигнала. Кроме того для обеспечения большей однородности светосбора с CsI(Tl) $\phi 200$ мм применялись различные световоды из оргстекла ($h=100 \pm 120$ мм) в зависимости от ФЭУ, что давало дополнительное размытие сигнала.

Наилучшее разделение было достигнуто для детекторов 1-го и 2-го типов, состоящих из CsI(Tl) $\phi 22 \times 3$ мм² + ФЭУ-176 и CsI(Tl) $\phi 200 \times 3$ мм² + ФЭУ-173. На рис.3

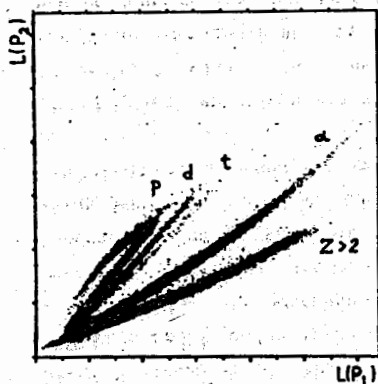


Рис. 3. Разделение частиц с помощью кристаллов CsI(Tl) с большой и малой площадью.

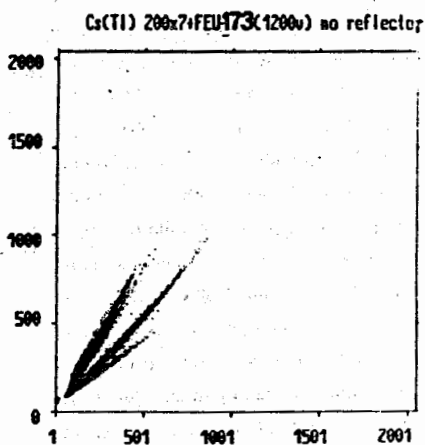


Рис. 4. Регистрация частиц детектором на основе CsI(Tl) $\varnothing 200 \times 7$ мм² без отражателя в фронтальной плоскости.

приведена типичная матрица, полученная для этих детекторов в реакции $^{58}\text{Ni} + ^{20}\text{Ne}$ (176 МэВ). По осям "X" и "Y" происходило интегрирование сигнала с анода ФЭУ ($R = 50 \Omega$) в интервалах $T_1 = 0,400$ нс и $T_2 = 600,2000$ нс, соответственно, где первая цифра означает задержку, а вторая - длительность интервала. Из калибровочных данных по альфа-источнику ^{238}Pu ($E_\alpha = 5,5$ МэВ) было установлено, что разделение частиц с $Z=1$ и $Z=2$ начинается при $E_\alpha > 6$ МэВ, загиб для протонов, обусловленный недостаточной толщиной CsI(Tl) для их полного поглощения, происходит при $E_p = 22$ МэВ. В обоих случаях на фронтальной поверхности сцинтиллятора устанавливался отражатель из алюминизированного майлара толщиной 10 мкм. Отсутствие отражателя несущественно ухудшало качество сепарации частиц, о чем свидетельствуют данные на рис. 4 и 5, полученные в той же реакции для детектора из CsI(Tl) $\varnothing 200 \times 7$ мм² + ФЭУ-173. В данном случае толщины 7 мм CsI(Tl) было достаточно, чтобы полностью остановить вылетающие в реакции протоны, и поэтому соответствующего загиба не наблюдалось. Кроме того, над протонной линией

отчетливо видна линия от γ -квантов и электронов. На рис. 6 приведены данные, полученные для этого детектора при работе фотомножителя

Рис. 5. Регистрация частиц детектором на основе CsI(Tl) $\varnothing 200 \times 7$ мм² при использовании алюминизированного майлара (10 мкм) в качестве отражателя во фронтальной плоскости.

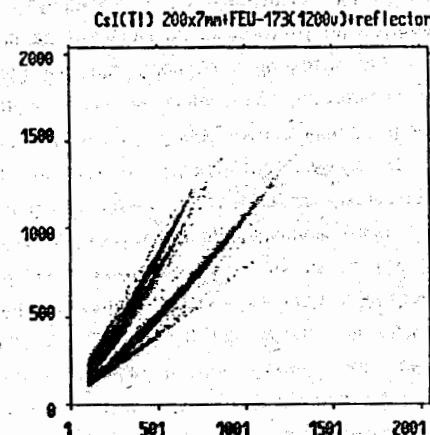
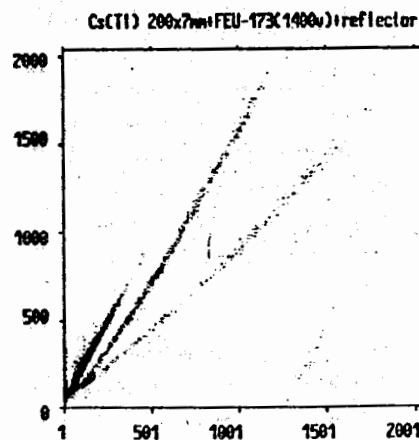


Рис. 6. Работа сцинтилляционного детектора в режиме большого усиления.



с большим коэффициентом усиления (напряжение питания было больше на 200 вольт) с целью определить нижний порог разделения частиц и гамма-квантов. На матрице в нижнем углу видна локализованная область событий, обусловленных собственными шумами ФЭУ. Линии гамма-квантов и протонов практически не пересекаются, а на линии альфа-частиц просматривается пятно от калибровочного источника ^{238}Pu . Таким образом, можно утверждать, что разделение частиц

начинается при энергиях 1+1,5 МэВ на нуклон, а гамма-кванты и шумы ФЭУ не вносят своего вклада в спектры частиц.

Испытания двух других типов фотоумножителей с CsI(Tl) $\varnothing 200$ мм показали, что для ФЭУ-49Б с делителем напряжений из работы^{12/} и для ФЭУ-167 с паспортным делителем было достигнуто наилучшее разделение частиц, однако значительно уступающее по качеству данным из рис. 4,5.

Для детекторов первого типа на основе CsI(Tl) малого диаметра (40 и 22 мм) результаты разделения частиц в зависимости от типа ФЭУ были получены без использования световодов. Все данные чуть лучше или близки по качеству данным рис.3. Худшее разделение частиц имели детекторы с ФЭУ-30 из-за больших собственных шумов фотоумножителя и невысокого энергетического разрешения ФЭУ.

Для комбинированного детектора, состоящего из пластика толщиной 60 мкм, CsI(Tl) $\varnothing 22 \times 5$ мм² и ФЭУ-30, была получена $\Delta E-E$ матрица, показанная на рис.7. Задержка и длительность временных интервалов при этом равнялись: $T_1=100,400$ нс, $T_2=0,50$ нс. Измерения проводились в реакции Ta+Ne (176 МэВ) под углом 30° . Видно, что спектр частиц ограничен по Z из-за кинематики реакции. Данный детектор испытывался также под углом $14,5^\circ$ в реакции $^{58}\text{Ni}+^{32}\text{S}$ (960 МэВ) на элементной базе установки ARGUS^{3/}, см. рис.8. Матрица содержит всего 15185 событий, поэтому не так наглядно просматриваются линии частиц с $Z>3$. Однако результаты сортировки

данных, полученных за ~1100 часов облучения свидетельствуют о возможности сепарации частиц до $Z = 15$. В эксперименте проводилось также измерение времени пролета заряженных частиц для получения массового разделения, база составляла 25 см.

Данный фосфич-детектор послужил прообразом центрального модуля малых камер, см. рис. 2, общее количество которых равно 10. Эти детекторы, имеющие неплохое зарядовое и массовое разрешение в широком диапазоне частиц, могут работать как

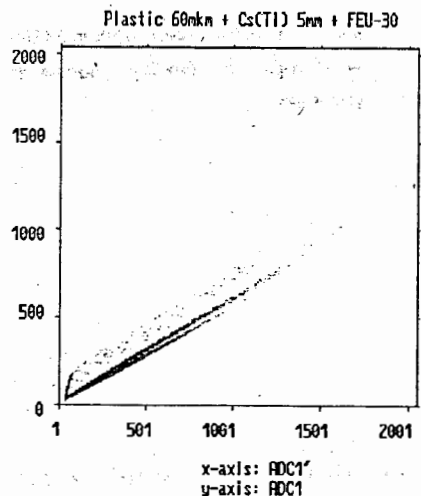


Рис. 7. Регистрация частиц фосфич-детектором в реакции Ta+Ne (176 МэВ).

триггерные для остальных 180, позволяя тем самым организовать разнообразные корреляционные измерения на установке ФОБОС.

Схема сбора информации состояла из двух зарядово-цифровых кодировщиков ADC-2248W, одного TDC-2228A, сдвоенного генератора ворот Dual gate 222, логического формирователя сигналов Quadro coincidence 662 (фирма Le Croy), дискриминатора со следующим порогом CFT (ZfK, Rossendorf), аналогового разветвителя сигналов и селектора наложений (производство ЛЯР ОИЯИ).

Date : 15-DEC-1991 00:18 0026
Ident : ALBR9 X : E5 Y : D15

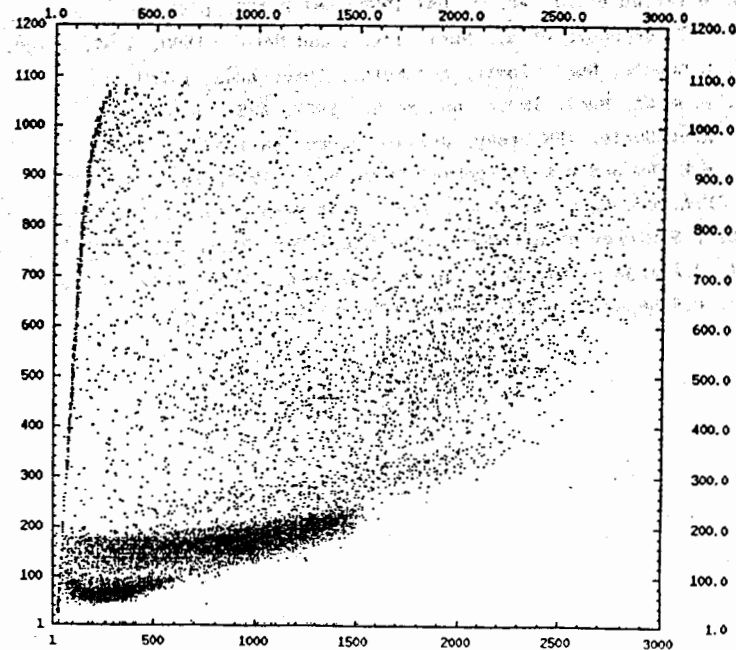


Рис. 8. Регистрация частиц фосфич-детектором на основе 60 мкм пластика и 5 мм CsI(Tl) в реакции Ni+S(960 МэВ)

Заключение

На основании проведенных испытаний опытных образцов сцинтилляционных фосфич-детекторов были получены ответы на ряд важных вопросов, касающихся серийного тиражирования детекторов для установки ФОБОС. Получены

совместимые результаты идентификации легких заряженных частиц детекторами с большим и малым диаметрами кристаллов CsI(Tl), выбраны необходимые типы фотоумножителей, решена проблема светосбора, идейно определена схема сбора информации для 190 работающих трактов и ее согласование с газовой частью.

В заключение авторы благодарят коллектив операторов циклотрона У-200 за предоставленное время работы на пучке.

Литература

1. А.Г.Ахперджян и др. Препринт ОИЯИ P13-87-760, Дубна, 1987.
2. G.D.Westfall et al. Nucl. Instr. and Meth., 1985, A238, p.347.
3. W.Terlau et al. Annual HMI 1989, HMI-B 482, p.93.
4. R.T. de Souza et al. Nucl. Instr. and Meth., 1990, A295, p.109.
5. S.Kubota, Nucl. Instr. and Meth., 1986, A242, p.291.
6. E.Dafni, Nucl. Instr. and Meth., 1987, A254, p.54.
7. B.Borderie, IPN Orsay, private communication.
8. F.S.Eby and W.K.Jentschke, Phys. Rev., 1954, 96, p.4.
9. P.A.Deyoung et al. Nucl. Instr. and Meth., 1984, 226, p.555.
10. R.S.Storey et al. Proc. Phys.Soc., 1958, 75, p.72.
11. J.Alarja et al. Nucl. Instr. and Meth., 1986, A242, p.352.
12. А.В.Берестов и Ф.Э.Зязюля, ПТЭ, 1983, № 5, с.47.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 февраля 1992 года.