

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



К-844

13 - 7466

З.В.Крумштейн, Т.Семярчук, М.Шавловски

581/2-74
СПЕКТРОМЕТР НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРАХ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИИ
МЕЖДУ ДВУМЯ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 7466

З.В.Крумштейн, Т.Семярчук, М.Шавловски

**СПЕКТРОМЕТР НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРАХ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИИ
МЕЖДУ ДВУМЯ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ**

Направлено в Nucleonica

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

ВВЕДЕНИЕ

Изучение корреляции в испускании пар заряженных частиц представляет большой интерес для исследования структуры ядра. Например, информация о процессах рассеяния протонов на нуклонных ассоциациях ^{1-3/} в ядрах с измерением полной кинематики дает сведения об импульсном распределении кластеров в ядрах. Из корреляционных экспериментов можно извлечь также важные данные о нестранных барион-барионных резонансах ^{4-9/}, имеющие фундаментальное значение для физики нуклон-нуклонного взаимодействия. Изучение угловых и энергетических корреляций тождественных частиц, испускаемых высоковозбужденными ядрами, дает представление о пространственно-временной структуре процесса испарения ^{10/} и т.п. Экспериментальная установка для исследования перечисленных проблем должна обладать способностью надежного и четкого разделения частиц по массам, а также возможностью многомерного и многоканального анализа событий.

В настоящей работе описывается экспериментальная установка на основе полупроводниковых кремниевых детекторов, обладающих высоким энергетическим разрешением ^{12,13/}, удовлетворяющая этим требованиям.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Расположение аппаратуры

Расположение экспериментальной аппаратуры показано на рис. 1. Выведенный из синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ пучок протонов с энер-

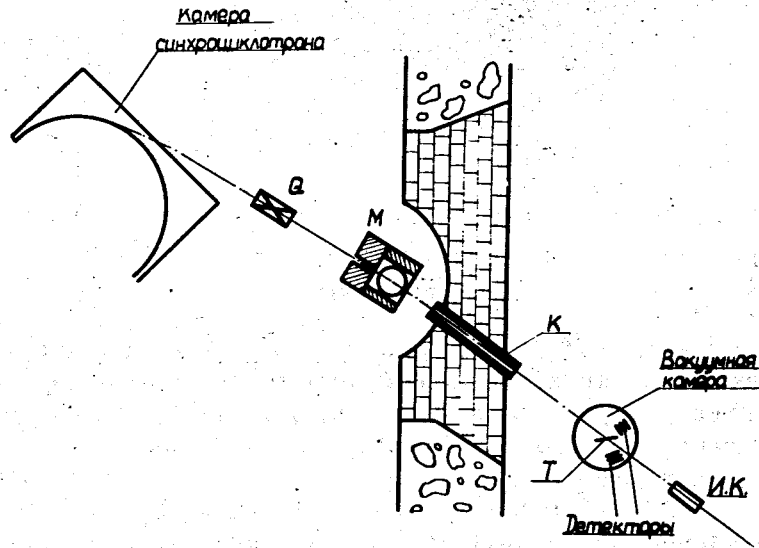


Рис. 1

гней 670 МэВ формируется с помощью квадрупольных линз Q и магнитом M отклоняется на заданное направление. Пройдя коллиматор K диаметром 10 мм в 4-метровой защитной стене, пучок попадает на мишень Т, расположенную в вакуумной камере диаметром 600 мм и высотой 200 мм. Диаметр входного и выходного окон камеры составляет 70 мм. Вторичные частицы, испускаемые из мишени, регистрируются расположенными в вакуумной камере двумя телескопами из полупроводниковых детекторов. Расстояние первого детектора телескопа от мишени составляет около 200 мм. Каждый из телескопов состоит из трех полупроводниковых кремниевых детекторов ($\Delta E_k, E_k, \Delta E_k$). Детекторы ΔE и E измеряют ионизационные потери и полную энергию вторичных частиц, вылетающих из мишени. Детекторы ΔE служат для подавления фона быстрых частиц, не останавливающихся в детекторах E . В качестве ΔE применяются поверхностно-барьерные кремниевые ΔE детекторы. Полная энергия вторичных частиц измеряется диффузионно-дрейфовыми детекторами Si(Li).

Блок-схема электроники

Блок-схема электронной аппаратуры приведена на рис. 2. Выбор такого варианта продиктован необходимостью работы с большими нагрузками, которые связаны с фоном в экспериментальном зале ускорителя при работе с выведенным пучком протонов, а также с макроструктурой пучка /скважность ~70/. Эти факторы накладывают жесткие требования на временное разрешение используемой аппаратуры.

Электронная аппаратура /рис. 2/ состоит из системы быстрых /временных/ и спектрометрических трактов. Во всех каналах $\Delta E_k, E_k, \Delta E_k$ используются идентичные электронные схемы и способы их включения. Сигналы с полупроводниковых детекторов поступают на зарядочувствительные предусилители, расположенные у камеры. Предусилитель имеет два выхода: спектрометрический /медленный/ и временной /быстрый/ - для амплитудного и временного анализа соответственно. Быстрый временной сигнал поступает на линейный фор-

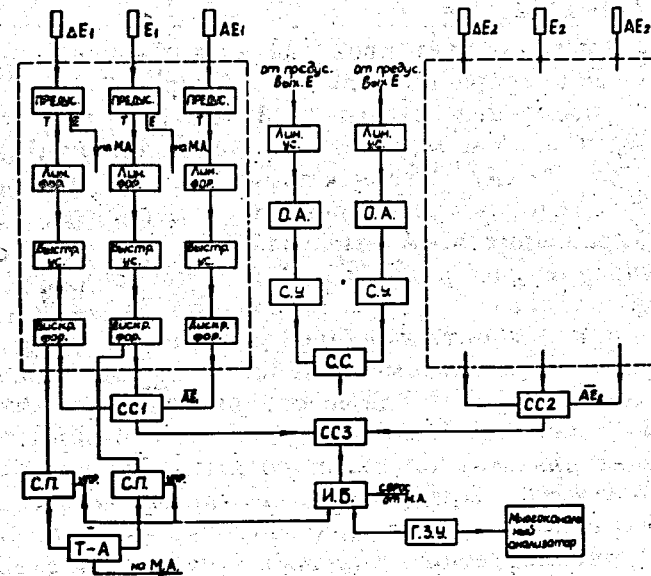


Рис. 2

мирователь ^{/14/} / RC-интегрирование и дифференцирование/, далее сигнал усиливается быстрым усилителем /БУ/ и подается на дискриминатор-формирователь, который работает по принципу дискриминации по переднему фронту импульса. Дискриминатор выдает логический сигнал /16 мана 50 ом/ и обеспечивает регулирование его длительности в пределах /10-200/ нсек. Далее сигнал поступает на схему совпадений СС ^{/15/}. Разрешающее время схемы совпадений определяется длительностью сигналов, поступающих на ее входы. На эти же схемы приходят сигналы антисовпадений от дискриминаторов счетчиков АЕ_к.

Выходные сигналы со схем СС1 /совпадения ΔЕ₁, Е₁, АЕ₁/ и СС2 /совпадения ΔЕ₂, Е₂, АЕ₂/ подаются на схему совпадений СС3; выходные сигналы схемы СС3 соответствуют совпадениям между телескопами /τ = 40 нсек/. Сигналы со схемы СС3 используются для управления амплитудным анализатором, работающим в режиме многомерного анализа, и для управления схемами пропускания /СП/, пропускающими сигналы с дискриминаторов ДФ1 и ДФ2 /ΔЕ_р, Е₁/ для временного анализа. Сигналы с выходов схем пропускания подаются на время-амплитудный преобразователь /Т-А/ типа "Старт-стоп". Сигналы управления схемы СС3 блокируются схемой блокировки в течение мертвого времени многоканального анализатора /МАО/. Это исключает искажение амплитудных и временных спектров из-за перегрузок МАО. Сигнал управления МАО вырабатывается схемой генератора управляющих сигналов /ГЗУ/, которая дает возможность подобрать соответствующую задержку, амплитуду и длительность импульса управления.

Сигналы со спектрометрического выхода предусилителя, несущие амплитудную информацию, усиливаются линейным усилением и подаются на блок амплитудного преобразователя многоканального амплитудного анализатора АИ-4096. Предусмотрена также возможность включения одноканальных анализаторов амплитуды для выделения исследуемого интервала энергетических потерь частиц. Сигнал с медленного выхода предусилителя /рис. 2/ подается на вход отдельного линейного

усилителя, а затем на одноканальный анализатор амплитуды /ОА/, который может работать в режиме интегрального дискриминатора. Логический выходной сигнал с ОА /амплитуда +5 в, длина 1 мксек/ поступает на согласователь уровня, который формирует его по амплитуде до стандарта, необходимого для работы схем совпадения. Включение одноканальных анализаторов в каналы ΔЕ_к позволяет путем быстро-медленных совпадений выделять частицы с удельной ионизацией в исследуемом нами диапазоне. Дискриминация в каналах Е_к дает возможность выделить только те частицы, которые находятся в исследуемом интервале энергии, и ведет к уменьшению фона и лучшему разделению частиц по массам.

НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ УСТАНОВКИ

Зарядочувствительный предусилитель

Применяемые в установке зарядочувствительные предусилители должны характеризоваться широким линейным диапазоном усиливаемых сигналов /большое энерговыделение в детекторах/, хорошими временными и шумовыми свойствами, возможностью работы при больших нагрузках. Обеспечение подвижности телескопов требует соединения детекторов с входом предусилителя при помощи кабеля. Это вносит дополнительную емкость на входе предусилителя, накладывая требование устойчивой и стабильной работы предусилителя при больших емкостях на входе. На рис. 3 показана схема применяемого нами предусилителя ^{/16/}. Транзистор Т7 осуществляет положительную локальную обратную связь, что обеспечивает независимость амплитуды выходных сигналов от изменений емкости на входе предусилителя в пределах /0-150/ пф. Сигнал для временного анализа берется с коллектора транзистора Т8.

Предусилители с использованием в первом каскаде транзисторов А508 имеют энергетическое разрешение в пределах /5-8/ кэв ± 0,03 кэв/пф при τ = 0,5 мксек.

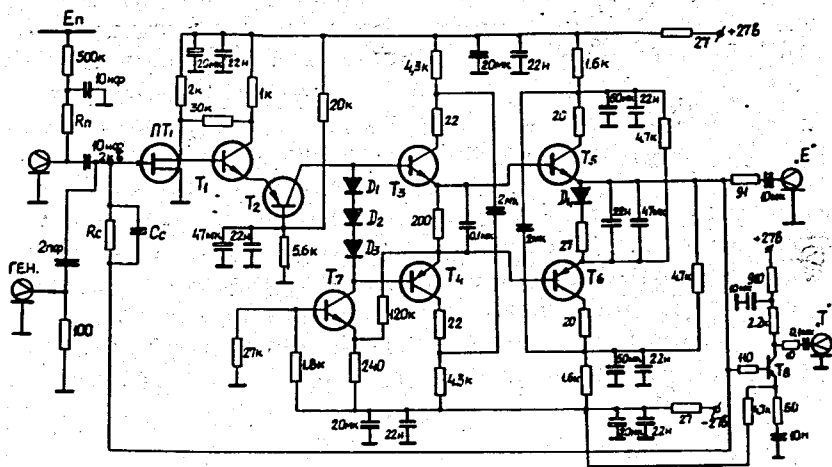


Рис. 3

Время нарастания импульса составляет $8 \text{ нсек} + 0,6 \text{ нсек/пф}$, линейность лучше чем $0,08\%$ в диапазоне выходных амплитуд ± 5 вольт.

Быстрый усилитель

Принципиальная схема усилителя показана на рис. 4. Усилитель состоит из двух инвертирующих секций с обратной связью. Схема отличается от опубликованных /17, 18/ введением в секцию усиления каскада усилителя тока /эмиттерные повторители T2, T6/. Такое решение увеличивает усиление по току в разомкнутой петле обратной связи и понижает емкость на коллекторе транзистора T1 /T5/, что ведет к увеличению произведения усиления на полосу секции. Время нарастания усилителя составляет $3,5 \text{ нсек}$, коэффициент усиления 50. Входное сопротивление $100 \text{ ом} \pm 10\%$, сопротивление нагрузки 100 ом . Время задержки выходного сигнала не более 8 нсек . Интегральная нелинейность передачи при выходном сигнале не более 5 вольт и частоте следования входных сигналов не более 80 Мгц не хуже 2% .

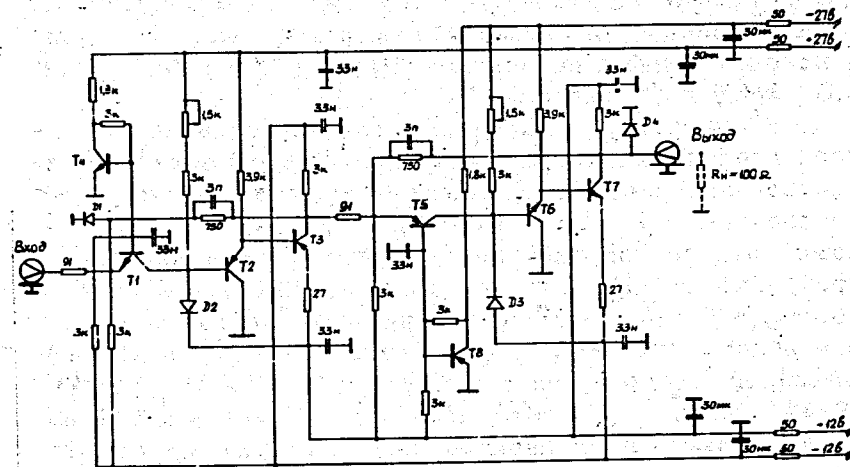


Рис. 4

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ВРЕМЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ АППАРАТУРЫ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧАСТИЦ

Измерение разрешающего времени и исследование качества разделения вторичных частиц по массам и заряду нашей установкой проводилось на пучке протонов с энергией 670 МэВ . В качестве мишеней использовались пластины из Рb и Ве диаметром 10 мм и толщиной $1,5 \text{ мм}$ и 200 мкм соответственно. Интенсивность протонного пучка изменялась от $1,5 \times 10^8$ до 4×10^8 протонов/сек и измерялась ионизационной камерой /ИК/. Во время измерения периодически определялось отношение фон/эффект /счет совпадений с мишенью и без нее/. Для бериллиевой мишени эта величина, при используемых нами интенсивностях пучка протонов, не превышала 10% .

Энергетическое и временное разрешение аппаратуры

Энергетическое разрешение для детекторов ДЕ /толщина $80-200 \text{ мкм}$ / было порядка $40-60 \text{ кэВ}$,

для детекторов E /толщина 3-3,5 мм/ - не хуже 100 кэВ. Энергетическое разрешение измерялось на α -частицах с использованием источников ThC+C' (^{212}Bi) /8,78 МэВ; 6,07 МэВ/ и ^{238}Pu /5,5 МэВ/.

В настоящих экспериментах ионизационные потери вторичных частиц измерялись кремниевым поверхностно-барьерным детектором толщиной 182 мкм, поверхностью $\sim 1 \text{ см}^2$ и мертвым слоем $< 1,5 \text{ мкм}$. Для измерений полной энергии E применялся диффузионно-дрейфовый Si(Li) детектор толщиной 3,5 мм и поверхностью $\sim 2 \text{ см}^2$. Диапазон измеряемых энергий протонов, дейтронов, тритонов и α -частиц, обусловленный толщиной детекторов, был равен: p: /5-25/ МэВ; d: /9-34/ МэВ; t: /13-40/ МэВ; α : /19-93/ МэВ. В основных измерениях одноканальные анализаторы в спектрометрических трактах не использовались.

Схема измерения временного разрешения аппаратуры показана на рис. 2. Телескоп из детекторов ΔE , E был расположен под углом $\sim 90^\circ$ к оси пучка. На старт T-A подавался сигнал со схемы пропускания канала ΔE , на стоп - сигнал со схемы пропускания канала E. Измерения проводились в режиме одномерного анализа и двумерного анализа: время - энергия, выделенная в детекторе E. На рис. 5 приведены спектры временного разрешения телескопа в полном интервале потерь энергии /черные точки/ и два спектра, полученных при двумерном анализе, соответствующие выделения энергии в детекторе в интервалах: /7,7-8,4/ МэВ /светлые точки/ и /17,5-18,2/ МэВ /крестики/.

Видна сильная асимметрия временного спектра в полном диапазоне потерь энергии частиц /хвост в сторону больших времен/. Этот эффект связан с собиранием заряда в дрейфовом плоском детекторе E и применяемым нами методом временной привязки по переднему фронту импульса. Полная ширина на полувысоте спектра составляет 7,7 нсек, а на десятипроцентном уровне - 17 нсек. Из этого следует, что выбранное нами разрешающее время схем совпадений $\tau = 40 \text{ нсек}$ дает эффективные совпадения в исследуемом диапазоне энергий. Это подтверждается и тем, что величина счета совпадений

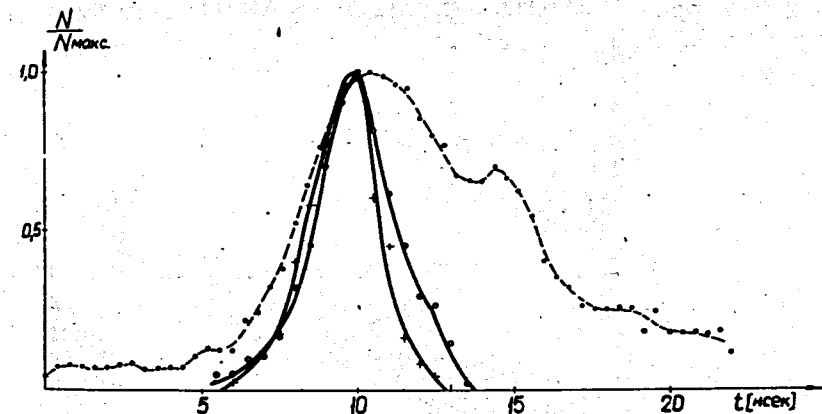


Рис. 5

($N - N_{\text{случ}}$) не изменялась при увеличении разрешающего времени схем совпадений /более 40 нсек/. Временное разрешение, измеренное в узком диапазоне энергии, равно 2,7 нсек для диапазона энергий /7,7-8,4/ МэВ и 2,4 нсек для диапазона энергии /17,5-18,2/ МэВ. Из полученных данных следует, что уширение интегрального временного спектра связано с разбросом энергий, выделяемых частицами в детекторе E. Поэтому целесообразно применять другой метод временной привязки, компенсирующий влияние амплитудного разброса и изменения фронта импульсов /19/.

Идентификация частиц

На рис. 6а показан двумерный спектр вторичных частиц в переменных E- ΔE , ΔE , полученный при облучении мишени из свинца. На спектре видно, что события группируются в трех областях плоскости E- ΔE , ΔE , соответствующих протонам, дейтронам и ядрам трития. Данные этих же измерений показаны на рис. 6б, на котором приведена зависимость выхода вторичных частиц от величины E- ΔE , являющейся функцией заряда и массы частицы. Из этого рисунка видно, что пики, соответствующие протонам, дейтронам и ядрам трития,

Рис. 6 /а/

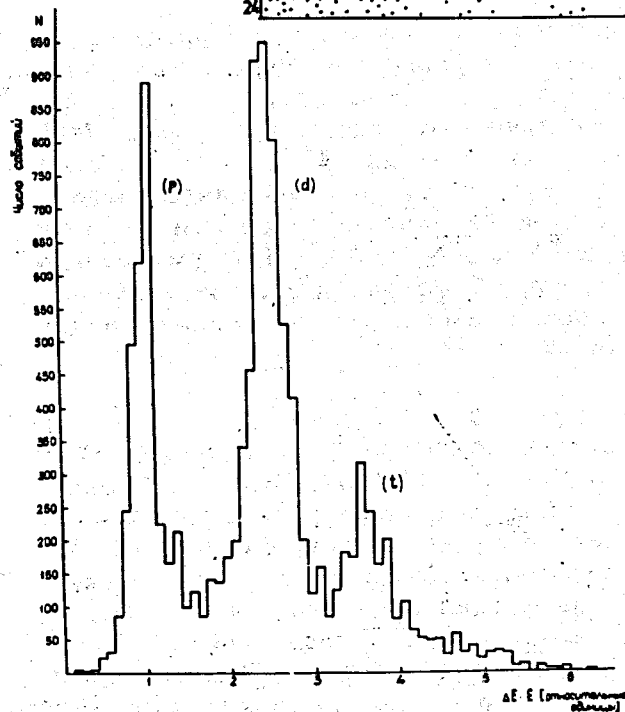
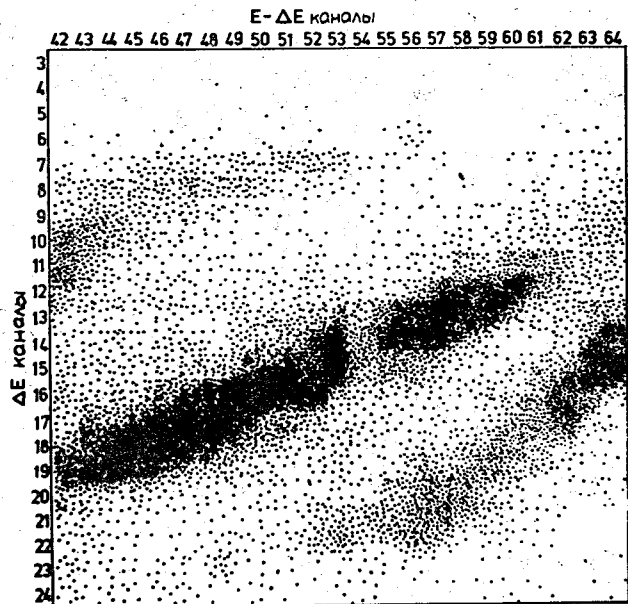


Рис. 6 /б/

Рис. 7/а/

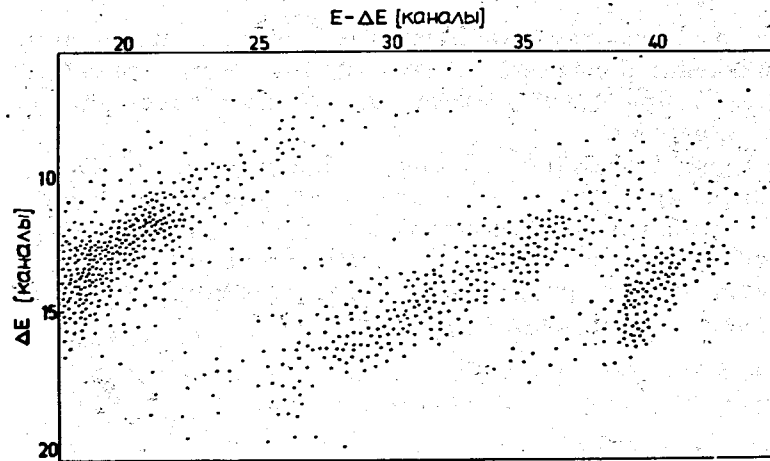
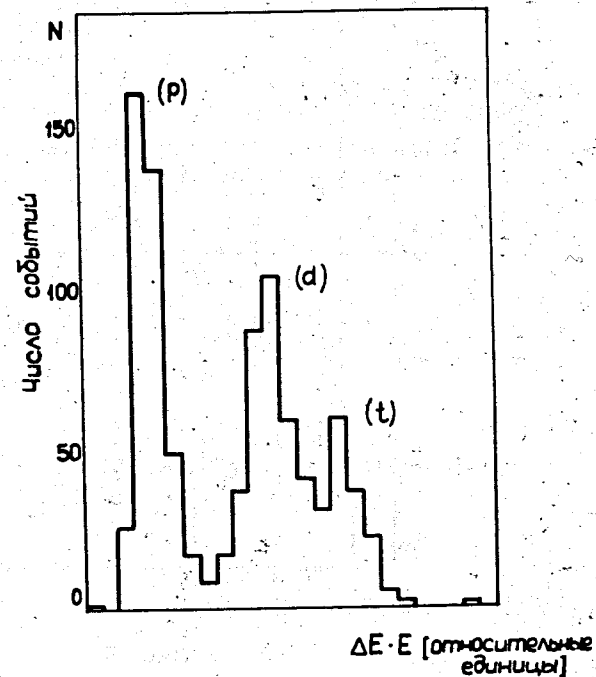


Рис. 7/б/



хорошо разделяются. Аналогичные спектры, полученные при облучения бериллиевой мишени, показаны на рис.7а,б. На рис. 8 приведен спектр, на котором присутствует пик от α -частиц.

Авторы выражают глубокую благодарность проф. П.Зелинскому /Институт ядерных исследований в Варшаве/ и В.И.Петрухину за поддержку и постоянный интерес к работе, а также Б.Мадейчик /Варшавский политехнический институт/ за изготовление поверхностно-барьерных кремниевых детекторов.

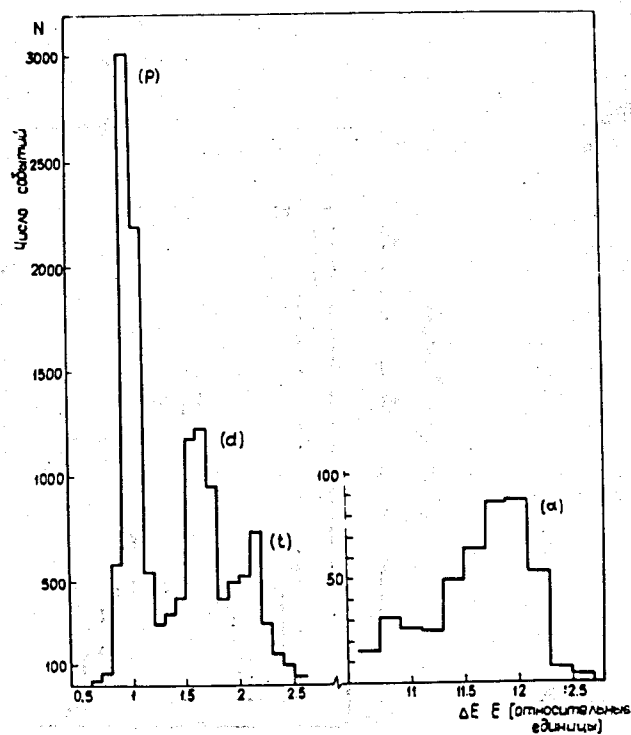


Рис. 8

Литература

1. Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, В.П.Зрелов, М.Г.Мещеряков, Б.С.Неганов, А.Ф.Шабудин. ЖЭТФ, 33, 1185 /1957/.
2. R.J.Sutter, J.L.Friede, H.Palevsky, G.W.Bennet, C.J.Igo, W.D.Simpson, G.C.Phillips, D.M.Corley, N.S.Wall, P.L.Stearns. Phys.Rev.Lett., 19, 1189 (1967).
3. Л.С.Ажгирей, О.Д.Далькаров, З.В.Крумштейн, Ю.П.Мереков, З.Мороз; Нго Куанг Зуй, В.И.Петрухин, А.И.Ронжин, Г.А.Шелков, З.Цисек. Препринт ОИЯИ, P1-6308, Дубна, 1972.
4. T.Siemiarczuk and P.Zelinski. Phys.Lett., 24B, 675 (1967).
5. С.А.Азимов, М.Азимова, К.Р.Игнатбердиев, Х.А.Ризаев, А.А.Юлдашев. Доклады Академии наук УзССР, 11, 25 /1970/.
6. Р.Я.Зулькарнеев, А.М.Розанова. Препринт ОИЯИ, P2-5058, Дубна, 1970.
7. И.С.Шапиро. Труды школы по физике высоких энергий, ЛФТИ, Л. /1969/.
8. F.Y.Dyson, Nguen-Huu Xuong. Phys.Rev.Lett., 3, 815 (1964).
9. W.Gale, I.Duck. Nucl.Phys., B8, 109 (1968).
10. Г.И.Копылов, М.И.Подгорецкий. Препринт ОИЯИ, P4-5927, Дубна, 1971.
11. F.S.Goulding et al. Nucl. Instr. & Meth., 31, 1 (1964).
12. W.L.Hausen and B.V.Jarrett. Nucl. Instr. & Meth., 31, 301 (1964).
13. H.J.Langmann and O.Meyer. Nucl.Instr. & Meth., 30, 135 (1964).
14. В.Ф.Борейко, Ю.Г.Будяшов, Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов, Б.С.Краснобородов. Препринт ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
15. З.Цисек. Препринт ОИЯИ, 13-5723, Дубна, 1971.
16. N.W.Hill and W.P.Albritton. Nucl.Instr.&Meth., 75, 18 (1969).
17. Ch.J.Rush. Rev.Scient.Instrum., 35, 149 (1964).
18. С.Г.Басиладзе. Препринт ОИЯИ, 13-5413, Дубна, 1970.
19. A.Hofmann, G.Philipp, K.Thomas and F.Vogler. Nucl. Instr. & Meth., 101, 467 (1972).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 сентября 1973 года.