

С 344.3а
А - 391

3/iv-72

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 6236

1057/2-72



Ю.К.Акимов, К.Андерт, А.Е.Банифатов, П.Дойчев,
А.И.Калинин, М.М.Петров, В.К.Тюпиков,
В.Н.Шуравин.

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ ПРОТОНАМИ НА МАЛЫЕ УГЛЫ

1972

13 - 6236

**Ю.К.Акимов, К.Андерт, А.Е.Банифатов, П.Дойчев,
А.И.Калинин, М.М.Петров, В.К.Тюпиков,
В.Н.Шуравин.**

**ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ ПРОТОНАМИ НА МАЛЫЕ УГЛЫ**

**Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА**

Исследование упругого рассеяния электронов протонами на малые углы дает важную информацию о поведении электрического формфактора протона в области малых передаваемых импульсов и позволяет сделать прямые заключения о радиусе протона. С этой целью было проведено исследование такого процесса на электронном ускорителе Ереванского физического института /1/.

Блок-схема установки приведена на рис. 1. Внутренний пучок электронов проходит через тонкую полиэтиленовую мишень /2/. Протоны отдачи, вылетающие под углами, близкими к 90° , регистрируются полупроводниковыми детекторами /3/. Спектрометрический тракт для детектора состоит из предусилителя (ПУ), линейного усилителя (ЛУ) и линейного дискриминатора (ЛД).

Измерение спектров производится двумя амплитудными анализаторами, память в каждом из которых разбита на четыре группы. Разбиение осуществляется командными сигналами со смесителя, собирающего сигналы с четырех каналов в одну линию. В результате используется только один амплитудный кодировщик, и каждому детектору отводится своя четверть каналов. Анализаторы управляются синхроимпульсами от ускорителя, которые следуют с частотой сети. Сброс пучка частиц на мишень длится около одной миллисекунды. Примерно в течение этого времени анализаторы принимают сигналы с детекторов. В формирователе (Ф)

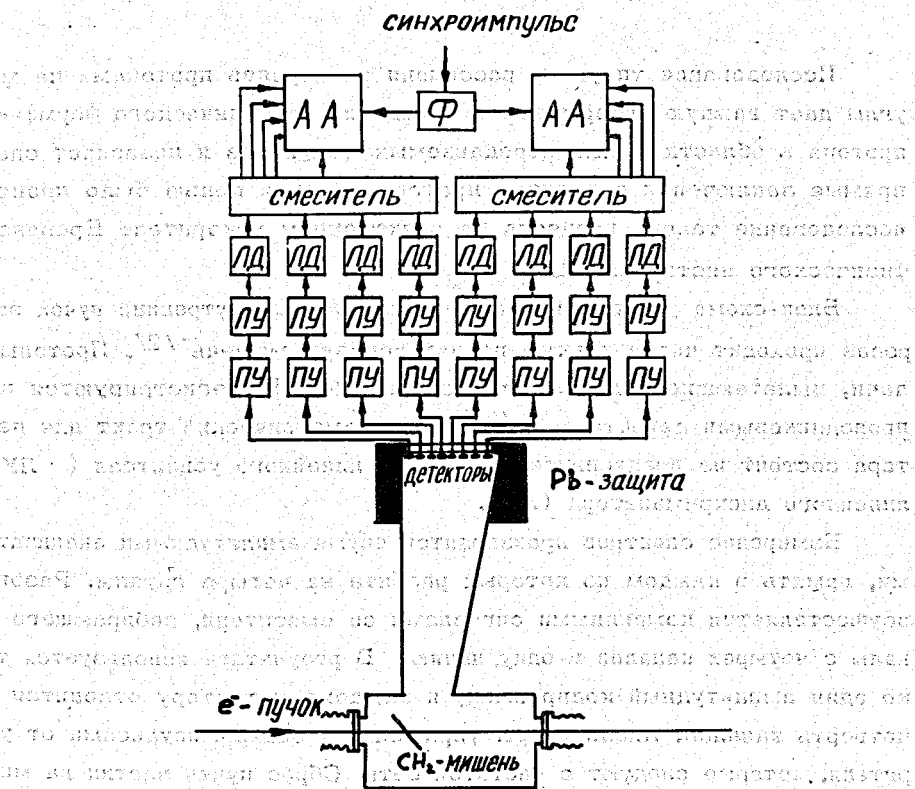


Рис. 1. Схема опыта по исследованию e^- - рассеяния.

предусмотрена регулировка длительности и задержки управляющих сигналов. Это позволяет выбрать наиболее благоприятные интервалы времени для регистрации частиц и отбросить участки с большими помехами от высокочастотных генераторов ускорителя, а также от соседних мишеней при работе в параллельном режиме.

Отличительной особенностью эксперимента является очень высокий уровень фона от мишени в области энерговыделений ниже одного Мэв. По фоновым импульсам на экране осциллографа, подключенного к выходу линейного усилителя, удобно наблюдать за работой ускорителя и мишени и устанавливать необходимую интенсивность пучка электронов.

Существенным в эксперименте было введение линейных дискриминаторов, без которых анализатор сильно перегружался, в результате чего показания оставались в области младших каналов, заполнявшихся фоновыми импульсами. Дискриминация импульсов обеспечила нормальный режим работы анализатора - примерно один импульс за цикл. Важно, что дискриминация производилась перед смесителем, иначе возросли бы амплитудные искажения из-за наложения фоновых и шумовых импульсов разных каналов.

В эксперименте применялись детекторы разной площади и толщины. Существенным было использование длинных детекторов - 40×10 мм. Изготовленные из кремния n -типа с удельным сопротивлением $\rho = 6$ ком, эти детекторы при напряжении 350в имели толщину 0,8 мм, что соответствовало пробегу протонов с энергией около 11 Мэв. Регулировка напряжения на детекторах производилась в измерительном зале, где находился источник питания и вся остальная аппаратура, кроме предусилителей. Связь с детекторами осуществлялась по экранированным проводам. Из-за помех от действующего ускорителя пришлось отказаться от выпрямителя, подключенного к сети, и перейти к питанию от батарей.

Для этого был изготовлен прибор с десятью индивидуальными выходами и ступенчатым изменением напряжения с десятью положениями (см. рис. 2). Важно, что использован набор небольших батарей и отсутствует омический делитель, потребление тока через который приводило бы

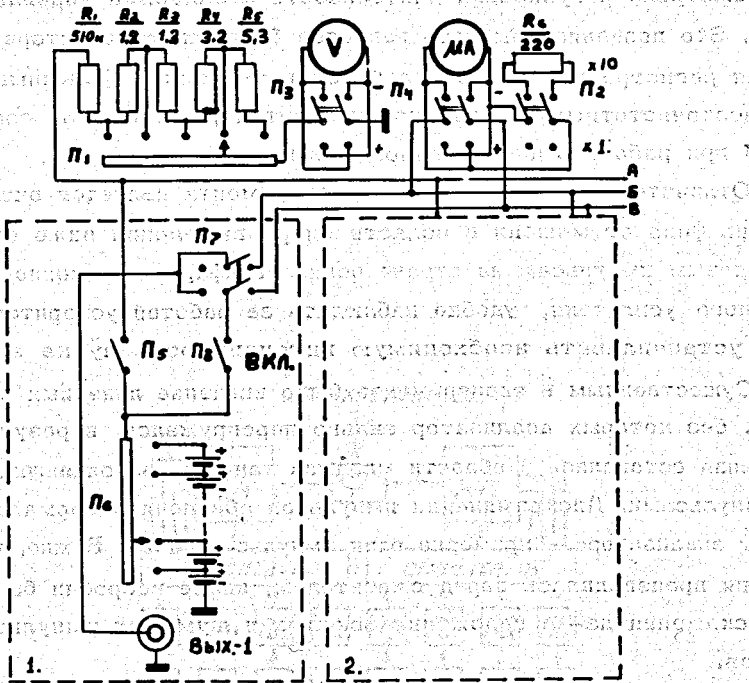


Рис. 2. Электрическая схема блока питания детекторов.

к сильному сокращению срока службы батарей. Ток самих детекторов невелик — 2–4 мка при комнатной температуре и ниже микроампера, если делается охлаждение сухим льдом. Скачки напряжения, возникающие в моменты переключения, для детектора и предусилителя не опасны, потому что постоянная времени цепи питания на входе детектора сделана достаточно большой — около секунды. На рис. 2 изображена схема только одного канала, остальные — аналогичны; верхняя часть, относящаяся к вольтметру и микроамперметру, является общей для всех каналов, соединяющихся в точках А, Б и В.

Емкость поверхностно-барьерного детектора обратно пропорциональна приложенному к нему напряжению. Для работы удобно иметь такой

предусилитель, выходная амплитуда которого слабо реагирует на изменение входной емкости, составлявшей в нашем случае 100 + 200 пф. Этому требованию удовлетворяет схема, представленная на рис. 3. Для работы с большими емкостями в схеме использован полевой транзистор с высокой крутизной (TIS -75 или КП-302). Отличительной особенностью первой секции предусилителя ($T_1 - T_6$) является применение в качестве нагрузки ячейки на двух транзисторах (T_4 и T_6), обладающей отрицательным входным сопротивлением^{/4/}. Последнее достигается введением положительной обратной связи с выхода эмиттерного повторителя (T_6) на эмиттер T_4 через сопротивление $R = 27$ ком. Это позволяет получить очень высокий коэффициент усиления при разомкнутой обратной связи (порядка 10^4) практически при любых транзисторах в секции. Зависимость амплитуды выходных импульсов от входной емкости показана на рис. 4. При отсутствии обратной связи ($R = \infty$) выходная амплитуда с увеличением емкости падает, в оптимальном случае ($R = 27$ ком) не зависит от емкости и, наконец, при очень глубокой обратной связи ($R = 12$ ком) с увеличением емкости возрастает. Это возникает, когда абсолютная величина входного сопротивления ячейки T_4, T_6 становится меньше выходного сопротивления каскада с общей базой, что делает коэффициент усиления отрицательным и приводит к росту выходной амплитуды с увеличением емкости. С эмиттерного повторителя T_5 снимается сигнал с коротким фронтом для схемы совпадений.

Вторая секция предусилителя ($T_7 - T_{11}$) представляет собой двойку с обратной связью по напряжению. Импульсы передаются через предусилитель линейно до амплитуды ± 6 в; интегральная нелинейность не превышает 0,1%.

Зависимость собственного разрешения усилительного тракта от входной емкости приведена на рис. 5. При этом в основном спектрометрическом усилителе типа УСТ-1^{/5/} постоянные формирования составляли $\tau_{и} = 0,2$ мксек и $\tau_{д} = 0,5$ мксек. Разрешение при емкости 100 пф равняется 7 кэв для TIS - 75 и 11 кэв при использовании КП302.

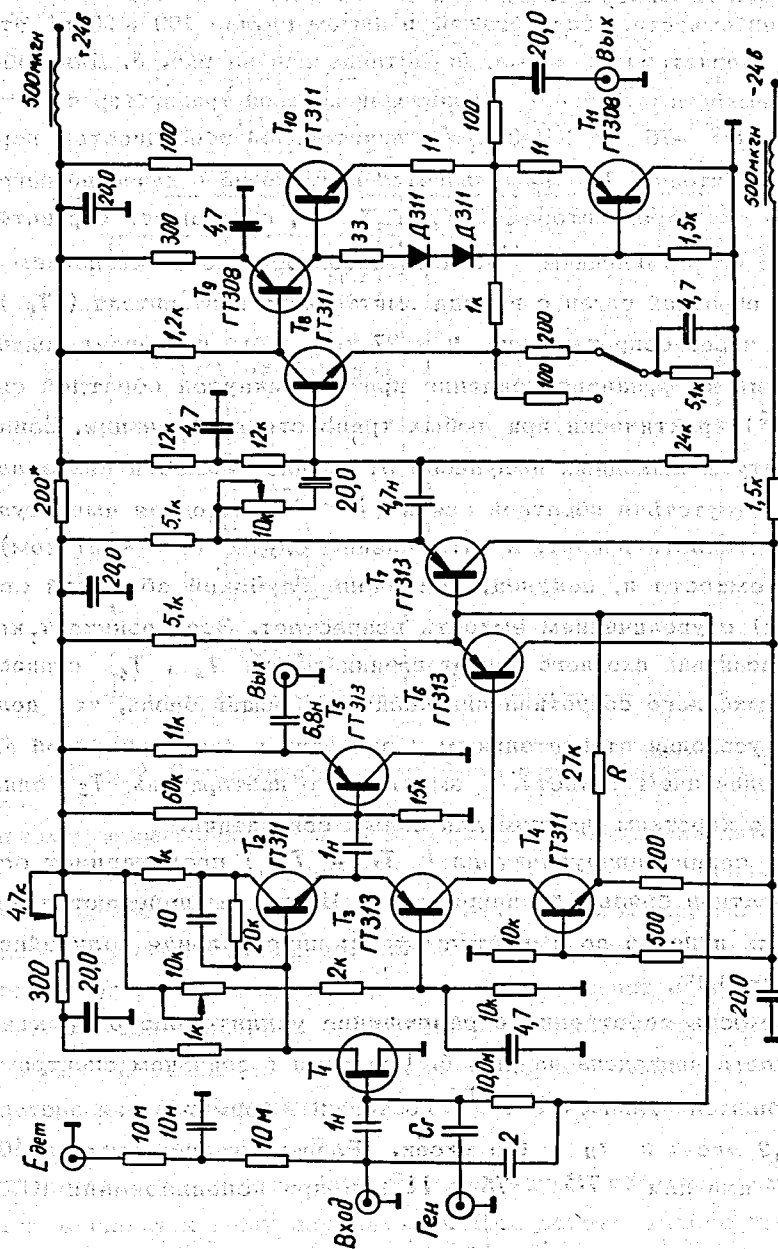


Рис. 3. Принципиальная схема предусилителя.

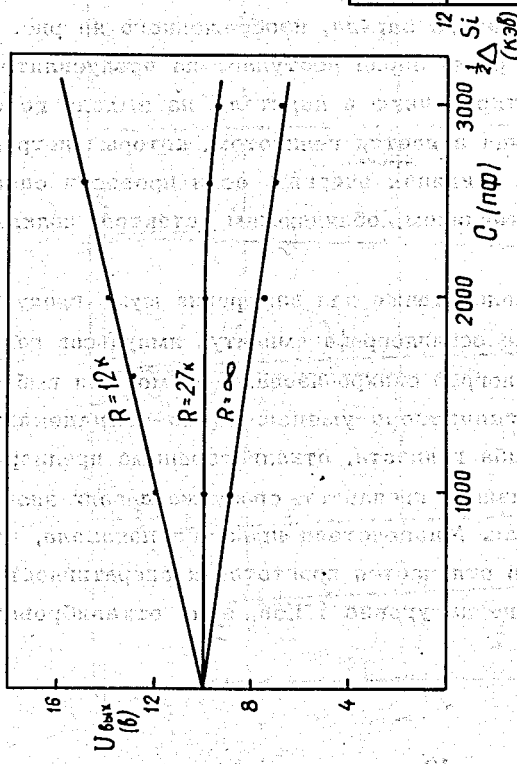


Рис. 4 Зависимость амплитуды выходных импульсов от входной емкости.

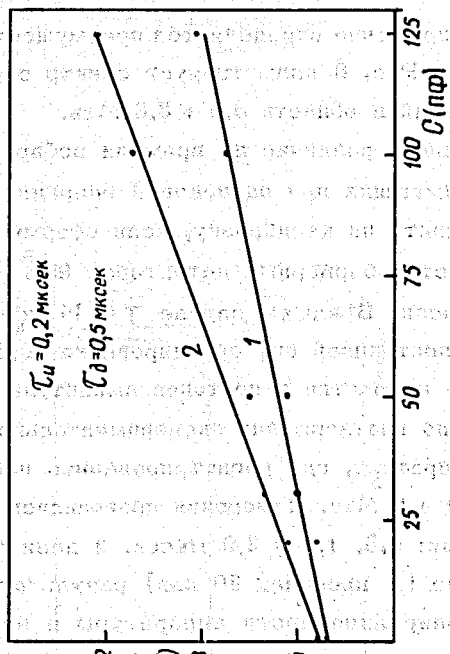


Рис. 5 Зависимость разрешения усилительного тракта от входной емкости: 1 - для транзистора ТИС -75, 2 - для КП302.

В целом разрешение определяется преимущественно детектором и составляет 60 кэв. Рис. 6 иллюстрирует спектр от α -источника, содержащего набор линий в области 5,3 + 8,8 Мэв.

Небольшое различие во времени собирания заряда для α -частиц и протонов, имеющих при одинаковой энергии разные пробеги, в принципе может повлиять на калибровку, если сформированные импульсы коротки. В поверхностно-барьерных детекторах 90% заряда собирается за время $T = 2,3 \rho$ нсек. В нашем случае $T = 14$ нсек, что значительно меньше выбранной постоянной дифференцирования (0,5 мксек), и при одной и той же энергии α -частиц и протонов амплитуды сигналов должны быть равны. Это было подтверждено экспериментально в опытах на электростатическом генераторе, где регистрировались протоны с известной энергией в области 5 + 9 Мэв. Измерения проводились при трех постоянных дифференцирования: 0,5, 1,0 и 3,0 мксек, и дали для α -частиц и протонов совпадающие (в пределах 30 кэв) результаты.

Изучение линейности аппаратуры и ее калибровка при настройке осуществлялись с помощью генератора заряда, изображенного на рис. 7. Генератор выполнен на ртутном реле. Заряд поступает на предусилитель через эталонную емкость, вмонтированную в делитель на выходе генераторного кабеля. Величина заряда задается гелипотом, который нетрудно откалибровать в абсолютных единицах энергии, если провести одновременные измерения с α -источником, облучающим детектор, подключенный к входу предусилителя.

Генератор заряда использовался также для измерения шума предусилителя путем сравнения на экране осциллографа амплитуд импульсов генератора и шумов. При этом осциллограф синхронизовался шумовыми выбросами, а амплитуду импульсов генератора уменьшали до совпадения с этими выбросами; показания лимба гелипота, откалиброванные предварительно с привлечением радиоактивного препарата, сразу же давали значение шума в килоэлектронвольтах. Многолетняя практика показала, что такая методика измерения шумов отличается простотой и оперативностью и позволяет измерять разрешение на уровне 1 кэв, если откалибровать

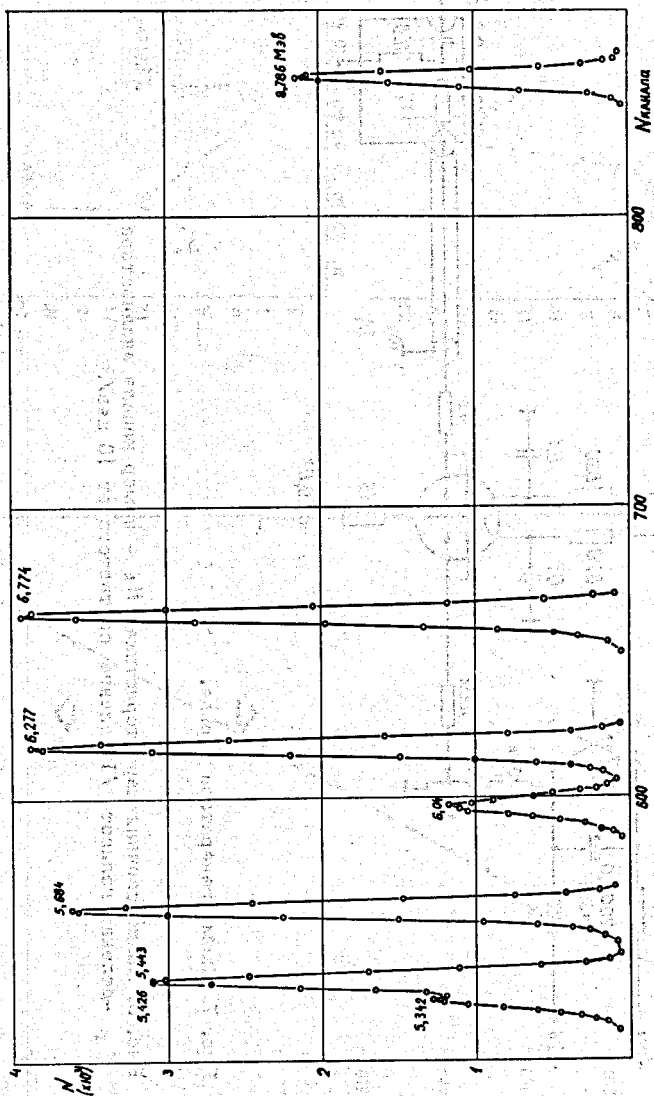


Рис. 6. Спектр α -частиц ^{228}Th .

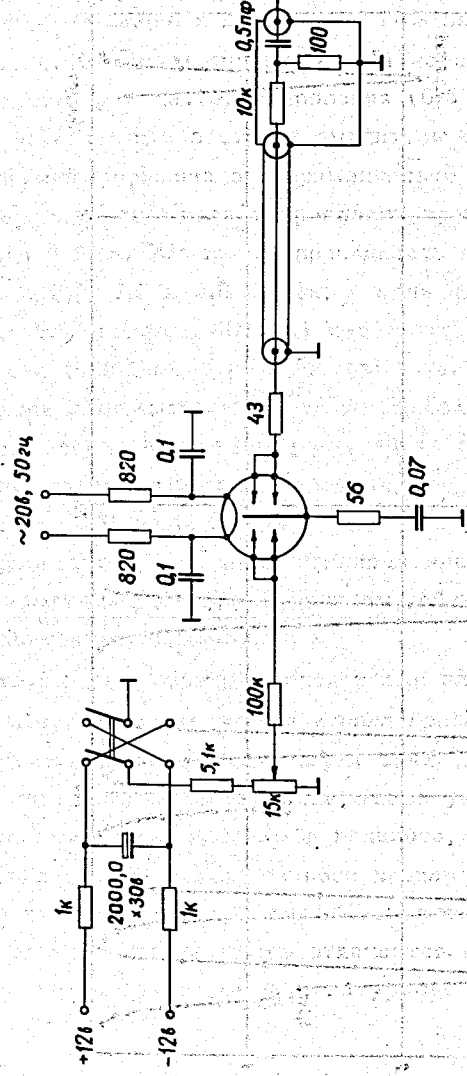


Рис. 7. Схема генератора эаряда.

Рис. 8. Калибровочная характеристика: N_k - номер канала анализатора, $N_{г}$ - деления гелипола / 1 деление соответствует 18 кэВ/.

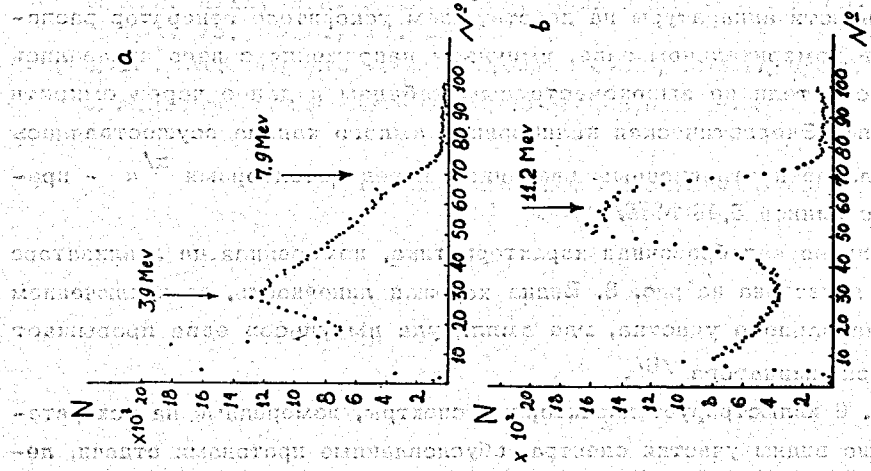
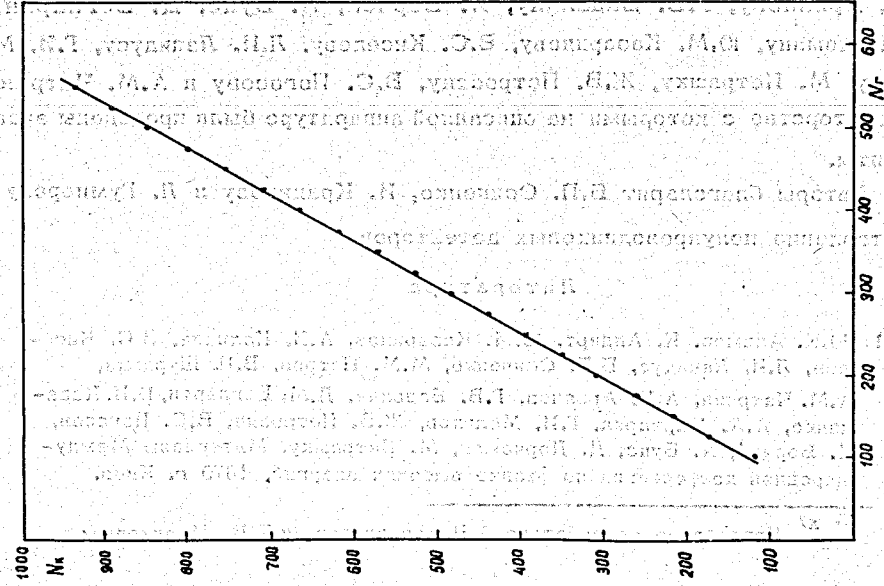


Рис. 9. Спектры вторичных частиц, вылетающих из мишени.

генератор в диапазоне низких энергий, пользуясь гамма-источником и германиевым детектором.

Для оперативной калибровки и периодической проверки линейности и стабильности аппаратуры на действующем ускорителе генератор располагался в измерительном зале, импульсы напряжения с него подавались на предусилители по высокочастотным кабелям и далее через емкости $C = 1$ пф. Энергетическая калибровка каждого канала осуществлялась индивидуально дистанционным введением перед детекторами x/a - препаратов с линией 5,48 Мэв.

Типичная калибровочная характеристика, измеренная на анализаторе "Дидак", приведена на рис. 8. Видна хорошая линейность, за исключением самого начального участка, где амплитуда импульсов едва превышает порог дискриминатора /6/.

Рис. 9 иллюстрирует характерные спектры, измеренные на ускорителе. Хорошо видны участки спектра, обусловленные протонами отдачи, лежащие на некотором уровне фона. Верхний спектр измерен длинным (40мм) детектором, а нижний - более узким (15 мм) детектором.

В заключение авторы выражают свою искреннюю признательность А.Н. Арванову, Г.В. Бадалян, К. Борчеа, А. Буца, Д. Бегларян, Д. Дорчоману, Ю.М. Казаринову, В.С. Киселеву, Л.И. Лapidусу, Г.И. Меликову, М. Петрашку, Ж.В. Петросяну, В.С. Погосову и А.М. Чатрчяну, в соавторстве с которыми на описанной аппаратуре были проведены эксперименты.

Авторы благодарят Б.П. Осипенко, И. Крацикову и Л. Гумнерову за изготовление полупроводниковых детекторов.

Литература

1. Ю.К. Акимов, К. Андерт, Ю.М. Казаринов, А.И. Калинин, В.С. Киселев, Л.И. Лapidус, Б.П. Осипенко, М.М. Петров, В.Н. Шуравин, А.М. Чатрчян, А.Н. Арванов, Г.В. Бадалян, Д.М. Бегларян, В.И. Коваленко, А.А. Маркарян, Г.И. Меликов, Ж.В. Петросян, В.С. Погосов, К. Борчеа, А. Буца, Д. Дорчоман, М. Петрашку. Материалы Международной конференции по физике высоких энергий, 1970 г. Киев.

$x/$ Устройство разработано А.Н. Арвановым и Г.И. Меликовым.

2. Ю.К. Акимов, Г.И. Селиванов. Сообщение ОИЯИ, Е13-5621, Дубна, 1971.
3. Ю.К. Акимов, А.И. Калинин, В.А. Никитин, В.С. Пантуев, В.А. Свиридов, М.Н. Хачатурян. ЖЭТФ, 48, 767, 1985.
4. N.W. Hill, W.P. Allbritton. Nucl. Instr. and Meth., vol. 75, No. 1, 18, 1969.
5. В.Г. Субботин, Б.В. Фефилов. Препринт ОИЯИ, 13-3111, Дубна, 1967.
6. М.Н. Дражев. Сообщение ОИЯИ, 13-5174, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 января 1972 года.