

A-533

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

16/41-70



7 - 5334

В.С. Алфеев, Е.Д. Воробьев, Г.Н. Зориц,
Ю.П. Харитонов

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА α -ЧАСТИЦ,
ВЫВЕДЕННОГО ИЗ ДВУХМЕТРОВОГО
ИЗОХРОННОГО
ЦИКЛОТРОНА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ОИЯИ (У-200)

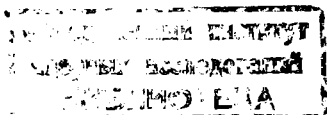
7 - 5334

8547/2 чр

В.С. Алфеев, Е.Д. Воробьев, Г.Н. Зорин,
Ю.П. Харитонов

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА α -ЧАСТИЦ,
ВЫВЕДЕННОГО ИЗ ДВУХМЕТРОВОГО
ИЗОХРОННОГО
ЦИКЛОТРОНА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ОИЯИ (У-200)**

Направлено в АЭ



Введение

При выполнении физических экспериментов на ускорителе необходимо точное знание выходных параметров выведенного пучка ускоренных ионов, используемых в эксперименте.

Основными параметрами выведенного пучка являются энергия частицы E , степень монохроматичности ΔE и интенсивность частиц в единицу времени J . В работе описывается методика и результаты измерения степени монохроматичности и энергии выведенных из двухметрового изохронного циклотрона (У-200) ^{/2/} α -частиц методом перезарядки, впервые предложенным Г.Н. Флеровым и др. ^{/1/}.

1. Описание методики эксперимента

Блок-схема установки измерения параметров выведенных из циклотрона α -частиц приведена на рис. 1.

Перед началом эксперимента с помощью экрана, светящегося под воздействием падающих на него ускоренных ионов, и портативной телевизионной установки (ПТУ) подбирались условия фокусировки пучка.

Чтобы убрать частицы, рассеянные во время транспортировки пучка, и обеспечить достаточно малую расходимость его перед попаданием на мишень, пучок пропусклся через коллимирующую систему.

Коллимирующая система состояла из трех коллиматоров ^{/3/} с соответствующими расстояниями между ними и мишенью 450 мм, 220 мм и 125 мм. Первые два коллиматора в отличие от последнего и мишени, находившихся в реакционной камере, помещались перед входом в нее на сильфоне. Коллиматоры изготовлялись из меди с цилиндрическим отверстием 10 мм в каждом.

Материал и профиль отверстия коллиматоров выбирались на основании результатов работы ^{/4/}, в которой исследовалась зависимость "хвостов", обусловленных рассеянием частиц на краях, от материала и профиля отверстия коллиматоров при прохождении пучка протонов 20 Мэв и α -частиц с энергией от 50 до 80 Мэв с $\Delta E/E = 0,02\%$.

Геометрическая соосность коллиматоров, мишени, цилиндра Фарадея и степень фокусировки пучка контролировались различными способами и, в частности, методом прожигания пучком бумаги, которая вводилась вместо мишени в такой же оправе без нарушения вакуума в реакционной камере.

В качестве мишени бралась фольга из ¹⁹⁷Au толщиной 0,25 мкм, что соответствует потере в ней 40-50 кэв при прохождении α -частиц 40 Мэв ^{/5/}. Золото помещалось в оправу с отверстием диаметром 15 мм.

После прохождения коллимирующей системы и мишени пучок попадал в цилиндр Фарадея, сигнал с которого подавался на пульт управления ускорителем.

Настройка пучка велась по максимуму тока в цилиндре Фарадея и отношению тока в нем к току перед поворотным магнитом.

В результате резерфордского рассеивания на ¹⁹⁷Au α -частицы попадали в детектор, находящийся вне реакционной камеры, под углом 20° в лабораторной системе отсчета.

В качестве индикатора α -частиц брался полупроводниковый поверхностно-барьерный (далее п.-б.) детектор с площадью 27 мм², имеющий ряд преимуществ перед Li-дрейфовым детектором и, в частности, лучшую линейность сбора электронов при больших напряжениях смещения и лучшее энергетическое разрешение.

Чтобы обеспечить поглощение всей энергии ускоренных α -частиц в чувствительном слое, детектор изготовлялся из высокоомного кремния и располагался под углом 45° по отношению к рассеянному пучку.

Вольт-амперная и вольт-емкостная характеристики п.-б. детектора, используемого в работе, приводятся на рис. 2.

Высокоомный материал и угол детектора в 45° по отношению к рассеянному пучку обеспечивали чувствительный слой при напряжении смещения около 300 в порядка ≈ 800 мкм, что соответствует пробегу α -частиц с энергией ≈ 45 Мэв ^{/6/}.

Телесный угол, под которым детектор "смотрел" на мишень, был равен $3,3 \cdot 10^{-5}$ стерadian.

Выбор п.-б. детектора сделан на основании работы ^{/3/}, в которой показана высокая разрешающая способность п.-б. детекторов фирмы "ORTEC" с чувствительным слоем ≈ 2000 мкм по отношению к протонам.

Сигнал с детектора подавался на предусилитель с полевым транзистором на входе (УПЗ-51), разработанный в ЛЯРе В.Г. Субботиным с сотрудниками. Начальное разрешение предусилителя равно 5-7 кэв. Чтобы исключить вклад электроники за счет загрузок по интенсивности в энергетическое разрешение, ток пучка поддерживали на уровне, который соответствовал скорости счета α -частиц ≈ 100 импульсов/сек. /3/.

Сигнал из предусилителя подавался по кабелю РК-102 из физической кабины циклотрона в измерительный центр на согласованный с волновым сопротивлением кабеля вход транзисторного спектрометрического усилителя с активным формированием (УСТ-3) с интегрирующей и дифференцирующей цепочкой длительностью 0,5 мксек каждая /7/.

Из УСТ-3 сигнал подавался на один из двоекных кодировщиков на 1024 канала в стойке единого кодирования анализируемых параметров (СЕКАП-4), разработанной Л.П. Челноковым с сотрудниками, которая была сопряжена с одной из стоек многоканального анализатора "Тензор".

Информация накапливалась в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) анализатора. Контроль за накоплением ее велся визуально с помощью осциллоскопа, а затем информация выводилась на быструю печать (БЗ-22).

Время экспозиции выбиралось из соображений исключения "ползания" каналов из-за отсутствия специальной стабилизации в кодировщике, а также вследствие "плавания" частоты ВЧ генератора ускорителя.

Линейность тракта методики проверялась венгерским генератором точных амплитуд (ГТА) (точность 10^{-3} по отношению к используемой шкале), импульсы от которого подавались на вход УПЗ-51 с подключенным детектором, а также набором различных энергий α -линий от калибровочного α -источника при разных коэффициентах усиления (УСТ-3).

После снятия спектра рассеянных α -частиц развертка в 1024 канала градуировалась генератором точных амплитуд. ГТА калибровался по известным α -линиям от ^{212}Po (8,776 Мэв) и ^{216}Po (6,774 Мэв). Энергия, соответствующая максимуму пика рассеянных α -частиц, подсчитывалась по формуле

$$E(\alpha) = \frac{E(^{212}\text{Po}) - E(^{216}\text{Po})}{K(^{212}\text{Po}) - K(^{216}\text{Po})} (K(\alpha) - K(^{212}\text{Po})) + E(^{212}\text{Po}),$$

где $E(^{216}\text{Po})$, $E(^{212}\text{Po})$ и $E(\alpha)$ - значения энергий α -линий ^{216}Po , ^{212}Po и рассеянных α -частиц соответственно; $K(^{216}\text{Po})$, $K(^{212}\text{Po})$ и $K(\alpha)$ - значения шкалы генератора точных амплитуд, соответствующие максимуму α -пиков ^{216}Po , ^{212}Po и рассеянных α -частиц соответственно.

2. Результаты измерений и их обсуждение

Существуют различные способы измерения энергии.

В работе энергия α -частиц измерялась с помощью резерфордовского рассеяния на тонкой золотой фольге (0,25 мкм) под углом 20° л.с., так как в этой области углов для канала реакции $^{197}\text{Au}(\alpha, \alpha)^{197}\text{Au}$ сечение упругого рассеяния α -частиц в диапазоне энергий 30-40 Мэв на несколько порядков превышает сечение неупругих процессов и отношение теоретического сечения к экспериментальному близко к 1 /8/.

На рис. 3 приводятся энергетические спектры рассеянных под углом 20° л.с. на золотой фольге (0,25 мкм) α -частиц, выведенных из У-200, и калибровочные α -линии.

Значение энергии α -частиц, выведенных из У-200 с геометрического радиуса 860 мм, измеренное выше описанным методом, равно:
 $E(\alpha) = (36,5 \pm 1,0) \text{ Мэв.}$

Потери α -частиц с энергией 36,5 Мэв при прохождении золотой фольги толщиной 0,25 мкм (около 50 кэв) и на отдачу при упругом столкновении с ^{197}Au под углом 20° л.с. (около 90 кэв) не могли повлиять в пределах погрешности методики на значение энергии и степень монохроматичности первичных α -частиц, выведенных из циклотрона.

Для контроля измерений вводилась стопка 6 микронных алюминиевых фольг с общей поверхностной плотностью $(100 \pm 4) \text{ мг/см}^2$.

Значение энергии максимума α -пика после поглотителя равно 17,5 Мэв, что соответствует энергии первичных α -частиц $(36,0 \pm 1,4) \text{ Мэв}$ (рис. 4) ^{/5/}.

Измерение энергии с помощью поглотителей в пределах погрешности хорошо согласуется с измерениями с помощью ГТА.

Собственное разрешение методики измерялось тремя известными α -калибровочными линиями от ^{239}Pu (5,150 Мэв), ^{241}Am 5,482 Мэв) и ^{244}Cm (5,798 Мэв) (рис. 5).

Энергетическое разрешение детектора существенным образом зависело от напряжения смещения.

При смещении 200 в на детекторе разрешение равнялось 20 кэв, а при 300 в = 36 кэв для α -частиц с энергией $\approx 6 \text{ Мэв}$.

Существенного влияния на энергетическое разрешение детектора величины тока α -пучка, которое контролировалось с помощью линии от ГТА, не наблюдалось.

Степень монохроматичности выведенных из У-200 α -частиц с энергией $(36,5 \pm 1,0) \text{ Мэв}$ с учетом собственного разрешения методики равна $(350 \pm 50) \text{ кэв}$, что составляет около 1% от энергии α -пучка.

Установлено, что один из основных вкладов в разрешение вносит плавание частоты ВЧ генератора из-за отсутствия высокой стабилизации по частоте.

В заключение авторы благодарят академика Г.Н. Флерова за интерес к этой работе, С.М. Поликанова за обсуждение результатов и практические советы, Л.П. Челнокова и В.Г. Субботина за помощь в наладке электроники, лаборантов В.Н. Лабутина и А.А. Еропкина за помощь в работе. Авторы выражают благодарность также коллективу операторов У-200 .

Литература

1. Г.Н. Вялов, Ю.Ц. Оганесян, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ, 1884, Дубна, 1964.
2. И.А. Шелаев и др. Препринт ОИЯИ, 9-3988, Дубна, 1968; И.А. Шелаев и др. Препринт ОИЯИ, Р9-4831, Дубна, 1969.
3. G.Andersson-Lindstroem. Nucl. Instr. & Meth., 56, 309-318, (1967).
4. F.G.Resmini, A.D.Bacher, D.J.Clark, E.A.McClatchie and R.de Swiniarski. Nucl. Inst. and Meth., 74, 261-267 (1969).
5. L.C.Northcliffe. Ann.Rev.Nucl. Sci., 13, 67 (1963).
6. S.L.Blankenship, C.S.Borkowski. JRE Trans., NS-7, 2-3, 190 (1960).
7. А.М. Зубарева, Г.Г. Субботина, В.Г.Субботин. Препринт ОИЯИ, 13-4458, Дубна, 1969.
8. R.M.Eisberg, G.Jgo and H.E.Wegner. Phys. Rev., 99, 1606 (1955).

Рукопись поступила в издательский отдел
19 августа 1970 года.

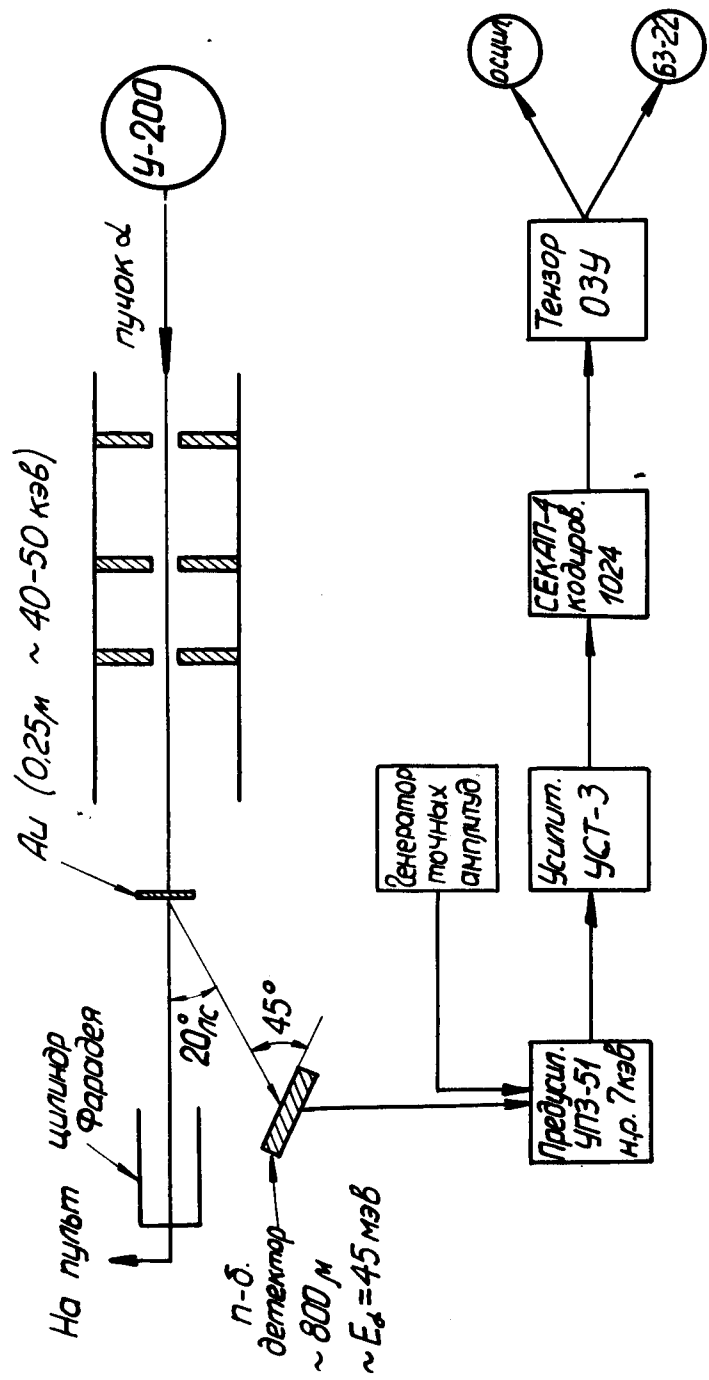


Рис. 1. Блок-схема установки определения параметров пучка α -частиц, выведенного из двухметрового изохронного циклотрона тяжелых ионов ОИЯИ (У-200).

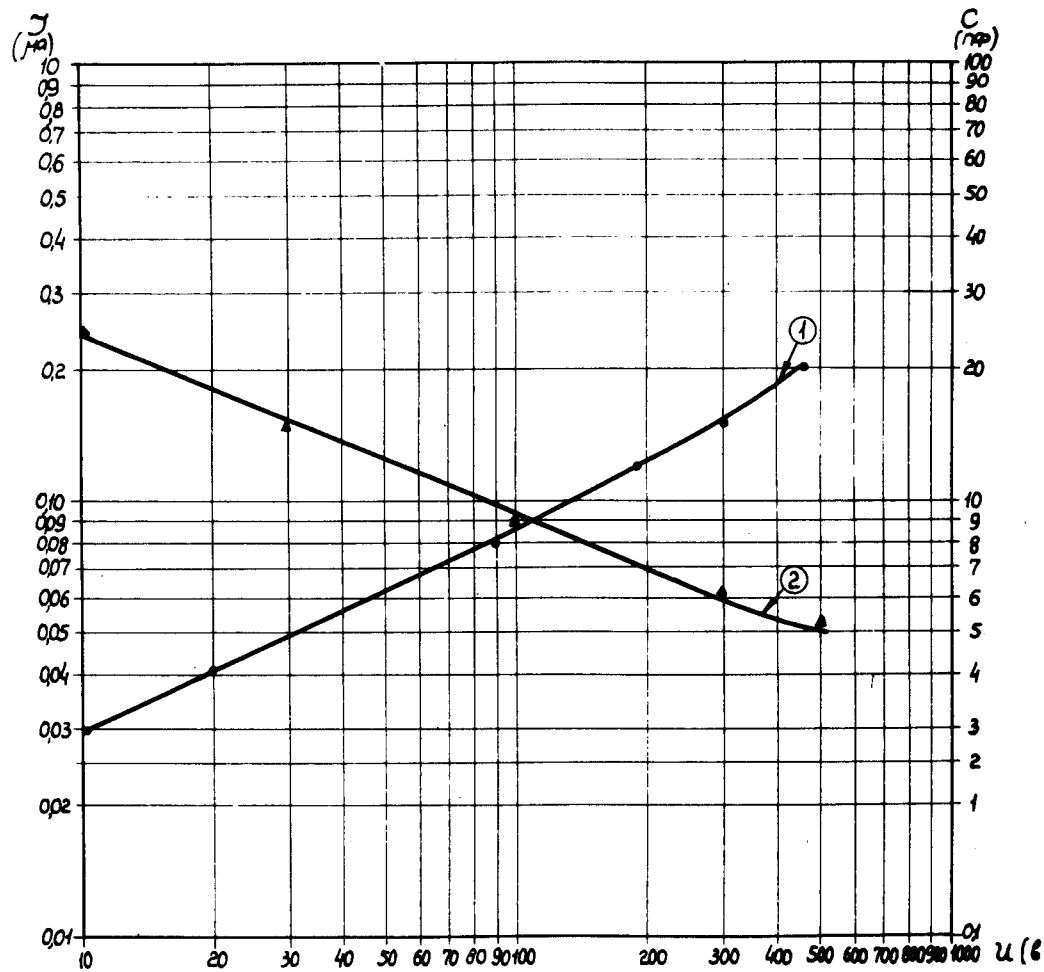


Рис. 2. Характеристики полупроводникового п.-б. детектора, изготовленного из высокоомного материала, используемого в работе. 1 - вольт-амперная характеристика п.-б. детектора, 2 - вольт-емкостная характеристика п.-б. детектора.

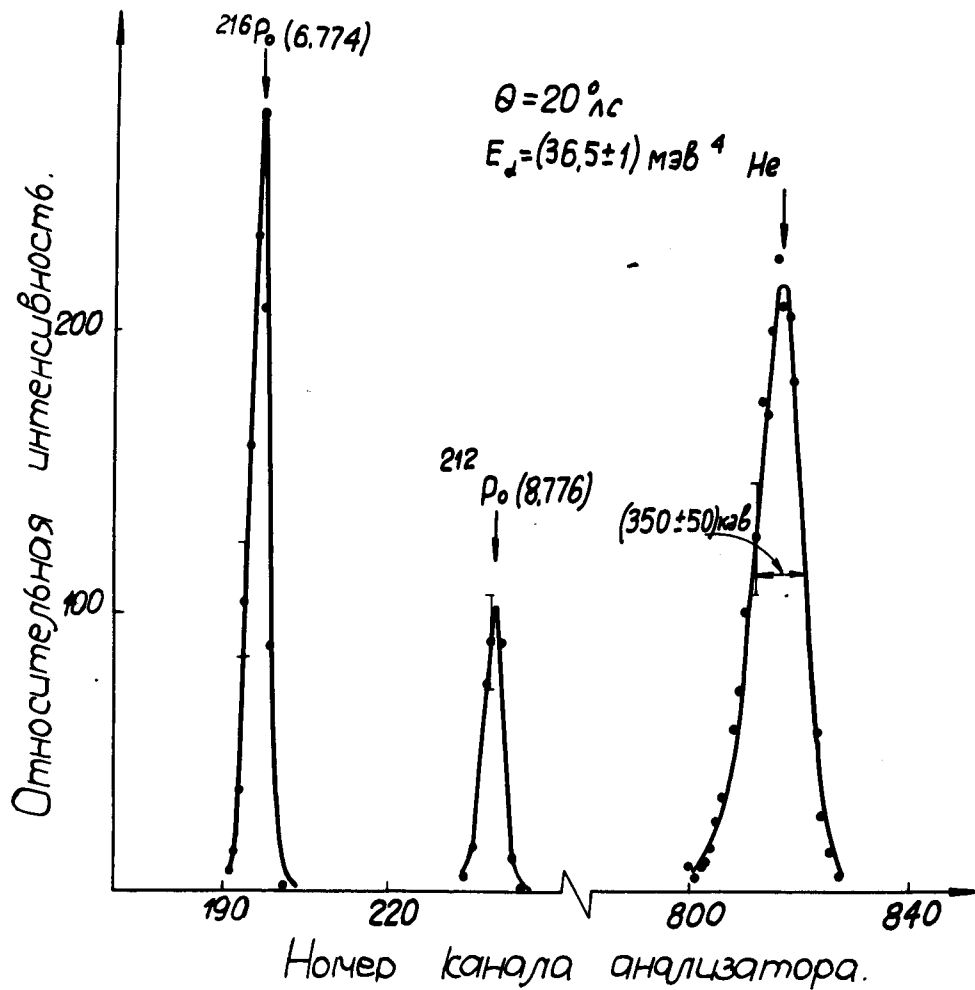


Рис. 3. Энергетические спектры рассеянных α -частиц пучка, выведенного из двухметрового изохронного циклотрона тяжелых ионов ОИЯИ (У-200) и α -калибровочных линий.

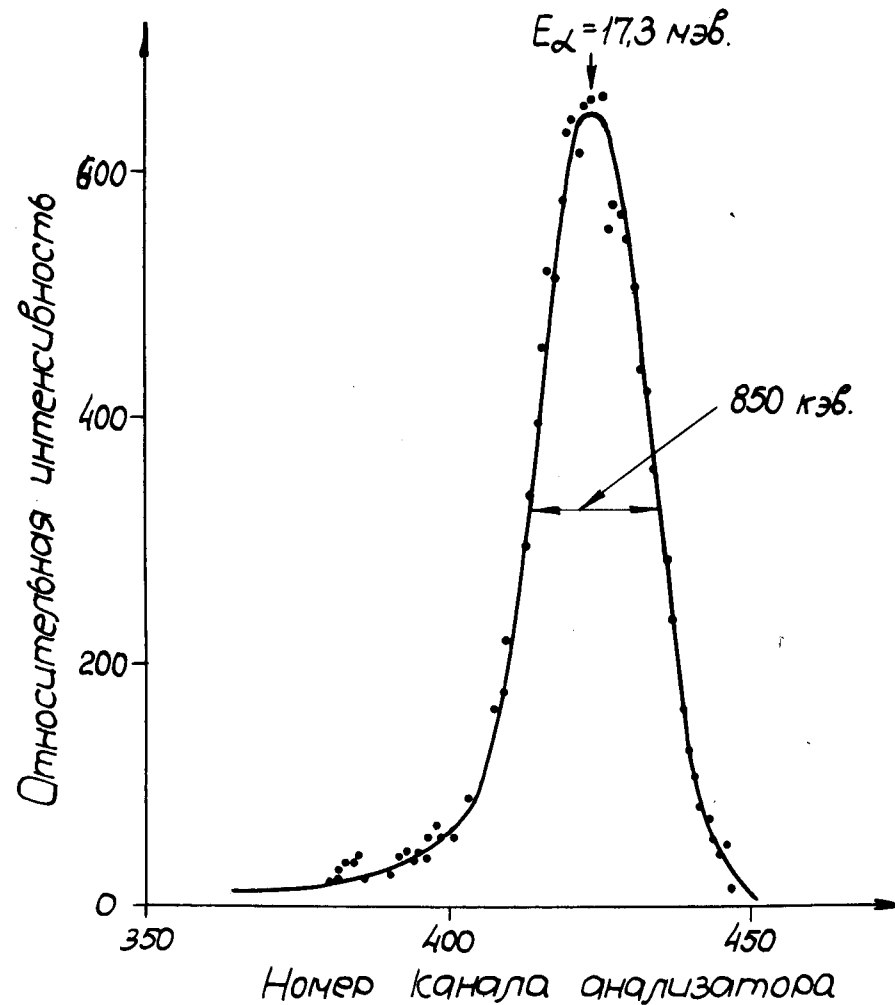


Рис. 4. Энергетический спектр α -частиц пучка, выведенного из У-200, после прохождения стопки алюминиевых фольг с общей поверхностной плотностью $(100 \pm 4) \text{ мг/см}^2$.

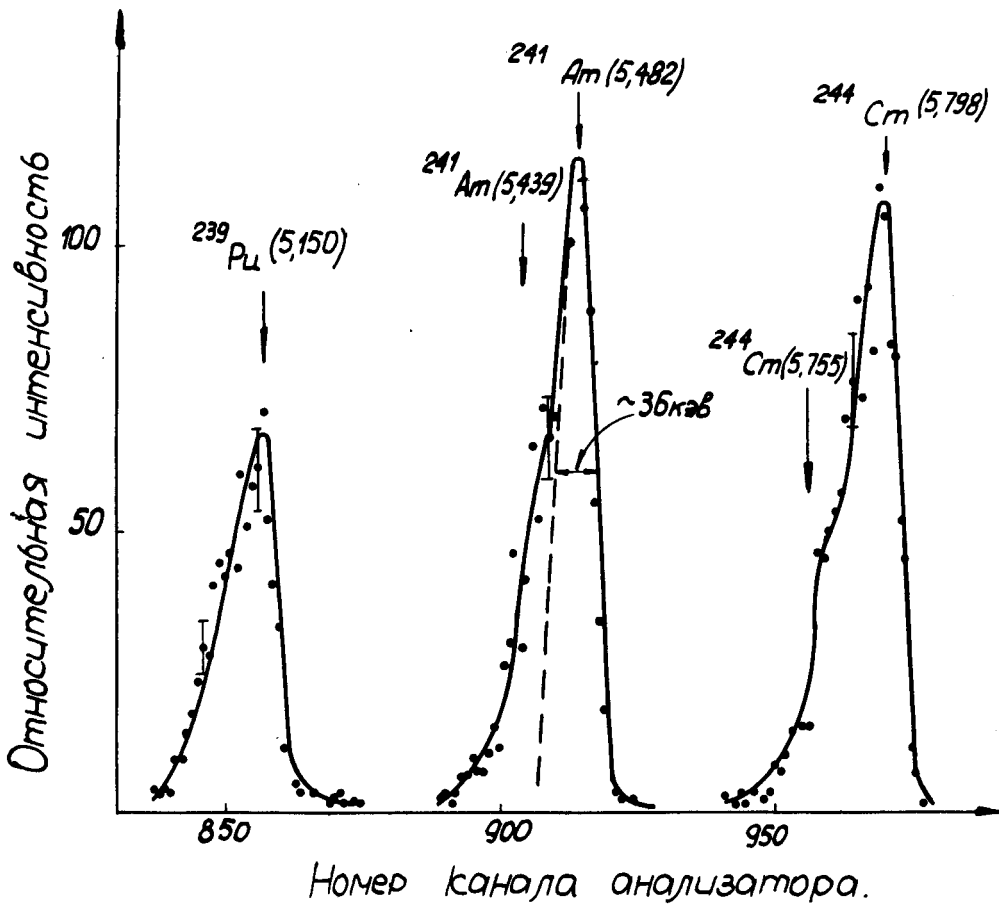


Рис. 5. Определение энергетического разрешения методики с помощью калибровочного α -источника.