

14  
Г-57  
725



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

---

А.М. Говоров, Ли Га Ен, Г.М. Осетинский, В.И. Салацкий, И.В. Сизов

P-725

ТОРМОЗНЫЕ СПОСОБНОСТИ СЛЮДЫ  
ДЛЯ ПРОТОНОВ И  $\alpha$ -ЧАСТИЦ

Дубна 1961 год

А.М. Говоров, Ли Га Ен, Г.М. Осетинский, В.И. Салацкий, И.В. Сизов

P-725

ТОРМОЗНЫЕ СПОСОБНОСТИ СЛЮДЫ  
ДЛЯ ПРОТОНОВ И  $\alpha$ -ЧАСТИЦ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

1025/5 48

### А н н о т а ц и я

В работе определены удельные тормозные способности слюды для протонов с энергией от 30 до 1000 Кэв с помощью двух магнитных анализаторов. Результаты измерений вверху энергетического интервала хорошо согласовались с данными Кана<sup>/1/</sup> и Мадсена<sup>/2/</sup>. Зависимость пробег-энергия (и удельные тормозные способности) в слюде для  $\alpha$ -частиц с энергией до 5 Мэв получена при измерении энергетического спектра  $\alpha$ -частиц от плутониевого препарата и от реакции  $D-T$  после прохождения ими ступенчатого набора из тонких слюдяных пленок одинаковой толщины. Детектором  $\alpha$ -частиц в этом случае был пропорциональный счетчик. Амплитуда импульсов измерялась с помощью пятидесятиканальных амплитудных анализаторов импульсов. В результате измерений были получены новые сведения по торможению  $\alpha$ -частиц в слюде.

## В в е д е н и е

Настоящая работа возникла в связи с тем, что для выяснения характера силовых энергетических спектров заряженных продуктов реакций в области малых энергий понадобились равномерные по толщине и очень тонкие окна на газовых мишенях и пропорциональных счетчиках.

Наиболее простым в наших условиях оказалось получение таких пленок из слюды высшего сорта (мусковит марки МА), так как их получение не связано с применением даже простейших средств и инструментов.

Поскольку в настоящее время известны всего две работы<sup>/1,2/</sup>, в которых хорошо измерены потери энергий в слюде лишь для протонов с энергией выше 350 Кэв, то появилась необходимость произвести подобные измерения, включая также и область более низких энергий. Отсутствие же непосредственно полученных экспериментальных сведений по торможению  $\alpha$ -частиц в слюде заставило восполнить и этот пробел.

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

### 1. Определение удельных тормозных способностей слюды для протонов

Измерения потерь энергий в слюдяных пленках производились для протонов и ионов трития, ускорившихся на электростатическом генераторе и ускорительной трубке Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований. Обои ускорителями охватывался интервал энергий от 20 до 1000 Кэв.

Тонкие слюдяные пленки устанавливались на пути коллимированного пучка ионов между магнитными анализаторами. С помощью первого магнитного анализатора пучок ускоренных ионов разделялся по импульсам, а в случае измерений на генераторе этот анализатор служил и для определения энергии бомбардирующих частиц. Второй анализатор служил для определения энергии выходящих из пленки частиц. Энергия частиц на ускорительной трубке находилась по величине тока, протекающего через калиброванный столб сопротивлений<sup>/3/</sup>.

Перед работой была тщательно проверена энергетическая калибровка обоих ускорителей и установлена связь между энергиями ускоренных частиц и электрическими токами в катушках магнитных анализаторов.

Методика измерения потерь энергий в пленках принципиально не отличалась от методики, описанной в работе<sup>/4/</sup>.

Применение ускоренных ионов трития, наряду с протонами, позволило существенно продлить кривую удельных тормозных способностей для протонов в область малых энергий без увеличения искажений за счет конечности толщины слюдяных пленок, так как отношение потери энергии к бомбардирующей энергии при этом уменьшалось в три раза.

Толщина рабочих пленок определялась путем многократного сравнения потерь энергий протонов в них с потерями в толстой калиброванной пленке (вдали от максимума кривой потерь энергий). Толщина же калиброванной пленки с известной площадью была найдена путем взвешивания ее на микроаналитических весах (в Московском институте мер и измерительных приборов) и составляла  $0,529 \pm 0,011$  мг/см<sup>2</sup>.

Измерения потерь энергий производились на нескольких образцах слюдяных пленок разной толщины от 0,08 до 0,18 мг/см<sup>2</sup>.

Вычисленные на основании этих измерений значения удельных тормозных способностей (рис. 1) в пределах ошибок согласовались между собой. Удовлетворительное согласие получено и с данными Кана<sup>/1/</sup> и Мадсена<sup>/2/</sup>.

Стандартная ошибка отдельных экспериментальных точек заключена в пределах от 4 до 6,5%.

Ниже приводится таблица усредненных значений удельной тормозной способности слюды для энергий протонов от 30 до 900 КэВ.

Т а б л и ц а 1

$E_p, \text{КэВ}$	30	50	70	90	110	130	150	170	190
$\frac{dE}{dx}, \frac{\text{КэВ} \cdot \text{см}^2}{\text{мг}}$	429 $\pm$ 16	473 $\pm$ 15	493 $\pm$ 14	504 $\pm$ 14	507 $\pm$ 14	503 $\pm$ 14	494 $\pm$ 14	480 $\pm$ 13	458 $\pm$ 13
$E_p, \text{КэВ}$	210	230	250	300	350	400	450	500	550
$\frac{dE}{dx}, \frac{\text{КэВ} \cdot \text{см}^2}{\text{мг}}$	433 $\pm$ 12	410 $\pm$ 12	390 $\pm$ 11	350 $\pm$ 10	322 $\pm$ 9	298 $\pm$ 9	278 $\pm$ 8	259 $\pm$ 8	243 $\pm$ 8
$E_p, \text{КэВ}$	600	650	700	750	800	850	900		
$\frac{dE}{dx}, \frac{\text{КэВ} \cdot \text{см}^2}{\text{мг}}$	229 $\pm$ 7	217 $\pm$ 7	207 $\pm$ 7	199 $\pm$ 7	192 $\pm$ 7	186 $\pm$ 6	180 $\pm$ 6		

## 11. Измерение потерь энергий $\alpha$ -частиц в слюде

Для проведения ядерных исследований были нужны сведения по торможению в слюде  $\alpha$ -частиц с энергией от 0 до 5 Мэв. Методика предыдущих измерений не могла быть применена при определении потерь энергий  $\alpha$ -частиц, поскольку в распоряжении авторов не имелось ускорителя, способного сообщать ионам гелия энергию в указанном интервале.

Необходимо было найти достаточно надежный и точный метод экспериментального получения тормозных кривых, применяя лишь моноэнергетические  $\alpha$ -частицы.

Для решения этой задачи было использовано то обстоятельство, что слюдяные пленки обладают высоким постоянством толщины по всей площади, если все ее участки дают одинаковую интерференцию света, т.е. если на пленках нет ступенек скола.

Опыт ставился следующим образом (рис. 2а). Между источником  $\alpha$ -частиц и детектором в вакууме устанавливался ступенчатый набор из слюдяных пленок равной толщины ( $0,6 \text{ мг/см}^2$ ). С его помощью поток моноэнергетических частиц разделялся на группы с разными энергиями. Импульсы, получавшиеся в детекторе, усиливались и подавались на пятидесятиканальные амплитудные анализаторы импульсов. На выходе каждого анализатора получались спектры, состоящие из нескольких пиков, каждому из которых можно было приписать энергию и суммарную толщину слюдяных пленок, пройденную  $\alpha$ -частицами.

В качестве источника  $\alpha$ -частиц применялись слабый препарат плутония 239 и тонкая твердая дейтериевая мишень, бомбардируемая пучком ионов трития с энергией  $E_T \sim 150 \text{ Кэв}$ .

Детектором являлся большой пропорциональный счетчик (с тонким слюдяным окном  $0,18 \text{ мг/см}^2$ ), наполненный до 0,5 атмосферы чистым аргоном с добавкой  $\text{CO}_2$ . Счетчик имел разрешающую способность  $\sim 5\%$  (включая разрешающую способность радиотехнической аппаратуры) и сохранял свои характеристики в течение нескольких месяцев без заметных изменений.

Ступенчатый набор пленок изготовлялся из большого куска ( $\sim 30 \text{ см}^2$ ) равномерной слюдяной пленки. Толщина этой пленки подбиралась с таким расчетом,

чтобы  $\alpha$ -частицы от плутониевого препарата, проходившие в счетчик через нее и минуя ее, давали на выходе анализаторов хорошо разрешаемые пики. Большая пленка разрезалась на прямоугольники в  $1,5-2 \text{ см}^2$ , которые наклеивались на круглую диафрагму так, что они образовывали ступенчатый веер, сходящийся к центру диафрагмы. Принцип расположения пленок на диафрагме показан на рис. 2/б/ для случая трех ступенек. Один сектор "веера" оставался незаклеенным, а соседние с ним сектора имели одну толщину пленки, далее - две толщины и т.д., вплоть до пяти толщин пленки.

Симметричное расположение секторов с одинаковой толщиной относительно направления биссектрисы незаклеенного сектора позволяло удвоить число экспериментальных точек на кривой путем наложения на одну из симметричных половин "веера" дополнительной пленки с толщиной, примерно в два раза меньшей толщины основной пленки. Эта мера была полезной в области малых энергий  $\alpha$ -частиц, где расстояние между основными пиками было велико.

Толщины пленок измерялись так же как и в предыдущем разделе, т.е. методом сравнения потерь энергий в них с потерями энергий в калиброванной пленке.

Для повышения надежности измерений импульсы от счетчика анализировались сразу двумя пятидесятиканальными анализаторами импульсов (разных систем).

Линейность обоих анализаторов проверялась двумя методами: с помощью генератора нарастающих импульсов и путем измерения зависимости между номерами каналов и калиброванными значениями усиления на усилителе импульсов. Отклонения от линейности на обоих анализаторах не превышали  $\pm 1\%$  по всем каналам за исключением первых трех на первом анализаторе и первых семи - на втором.

Для уменьшения влияния нелинейности на первых каналах измерения повторялись при разных усилениях усилителя импульсов, в результате чего пики, попадавшие на первые каналы, смещались в линейную область, где можно было определять относительное положение пиков с ошибкой  $\pm 0,1$  канала.

В таблице 11 приведены типичные результаты двух измерений при различных усилениях на одном из анализаторов (с механическими счетчиками).

Т а б л и ц а 11

Число слоев в наборе пленок	Положение пика в числах каналов при усилении 7900	Положение пика в числах каналов при усилении 12000	Отношение чисел каналов при разных усилен. для одно- именных пиков
0	32,1	49,3	0,651
1	27,1	41,6	0,651
2	21,2	32,5	0,652
3	14,2	21,8	0,651
4	6,2	9,4	0,660

На рис. 3 приведены два спектра, полученные при аналогичных условиях на втором анализаторе (с осциллографической трубкой). Каждый спектр имеет грубое изображение в линейном масштабе, а ниже - отсчеты по каналам в двоичной системе.

Используя  $\alpha$ -частицы от плутония и от реакции  $D-T$ , мы повторяли измерения несколько раз. После обработки их результатов была получена зависимость пробег - энергия для  $\alpha$ -частиц в слюде (рис. 4). Абсолютизация этой кривой по энергетической шкале осуществлялась на основе знания следующих факторов: относительного хода кривой, толщины слюдяного окна счетчика, линейности анализаторов и энергий незаторможенных  $\alpha$ -частиц. Ошибка абсолютизации составила не более 30 Кэв при  $E_{\alpha} \sim 5$  Мэв.

Для нахождения нуля по шкале пробегов понадобились дополнительные измерения, при которых определялась граничная энергия ускоренных ионов гелия, когда они переставали проникать в газовый объем счетчика, после рассеяния на тонкой газовой мишени, наполненной аргоном, и прохождения слюдяных пленок известной толщины.

Ошибка привязки нуля по шкале пробегов составила около  $0,04 \text{ мг/см}^2$ . Это самая большая ошибка, связанная с относительным ходом кривой.

Погрешность абсолютизированной кривой по шкале пробегов составила  $\sim 0,05 \text{ мг/см}^2$  (внизу) и  $0,16 \text{ мг/см}^2$  (вверху шкалы). Погрешность по шкале энергий во всем интервале энергий не более 30 Кэв.



Усредненные значения пробегов и энергий для  $\alpha$ -частиц в слюде приведены в таблице 111.

Т а б л и ц а 111

$E_{\alpha}$ , МэВ	$R$ слюды мг/см <sup>2</sup>	$E_{\alpha}$ , МэВ	$R$ слюды мг/см <sup>2</sup>	$E_{\alpha}$ , МэВ	$R$ слюды мг/см <sup>2</sup>
0,30	0,372±0,056	2,00	1,590±0,094	4,00	3,850±0,139
0,50	0,487±0,061	2,25	1,830±0,100	4,25	4,180±0,144
0,70	0,595±0,065	2,50	2,082±0,105	4,50	4,520±0,150
0,90	0,720±0,070	2,75	2,345±0,111	4,75	4,870±0,155
1,10	0,854±0,074	3,00	2,625±0,116	5,00	5,230±0,160
1,30	1,003±0,078	3,25	2,915±0,122	5,25	5,600±0,165
1,50	1,160±0,083	3,50	3,217±0,127		
1,75	1,365±0,089	3,75	3,525±0,133		

Путем дифференцирования кривой пробег - энергия была получена зависимость удельной тормозной способности слюды от энергий  $\alpha$ -частиц, которая показана на рис. 5. Строгая оценка ошибок этой кривой затруднительна, но в области энергий более 1 МэВ, они, видимо, не превосходят 10%, а при низких энергиях (особенно в районе 0,5 МэВ), где заметно сказываются даже малейшие неточности в проведении интегральной кривой, возможны и несколько большие ошибки.

В заключение авторы выражают благодарность А.П.Кобзеву, П.П.Костромину, Н.И.Линькову, М.В.Савенковой и Е.С.Смирнову за помощь в работе.

#### Л и т е р а т у р а

1. D.Kahn. Phys. Rev., 90, 503 (1953).
2. C.E.Madsen and Vankateswarlu. Phys.Rev., 76, 1782 (1948).
3. В.И.Салацкий, И.В.Сизов. Препринт ОИЯИ, Р-367, Дубна, 1959 г.
4. Г.М.Осетинский. Приложение № 5 к журналу "Атомная энергия", стр. 94, 1957г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 апреля 1961 года.

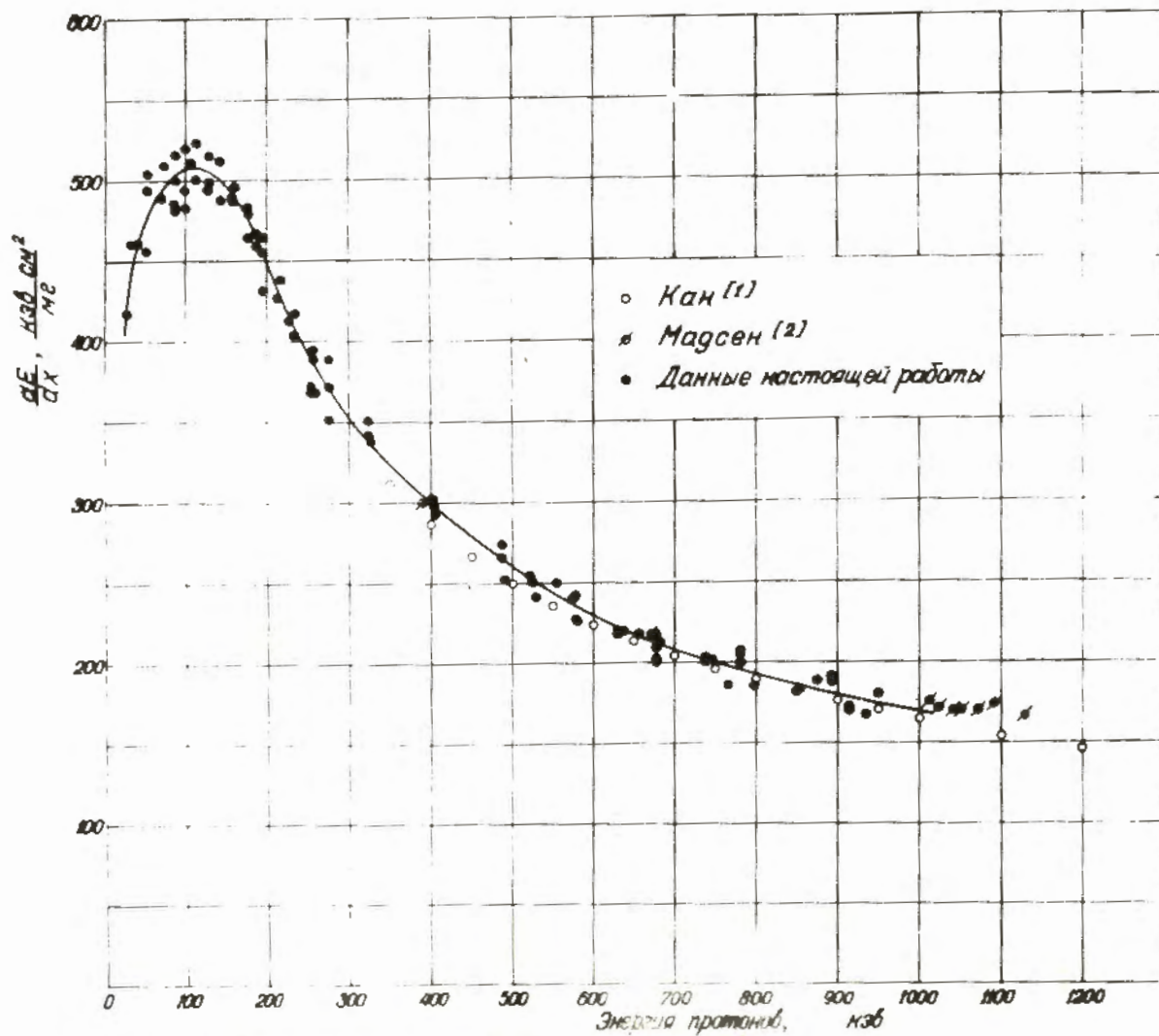
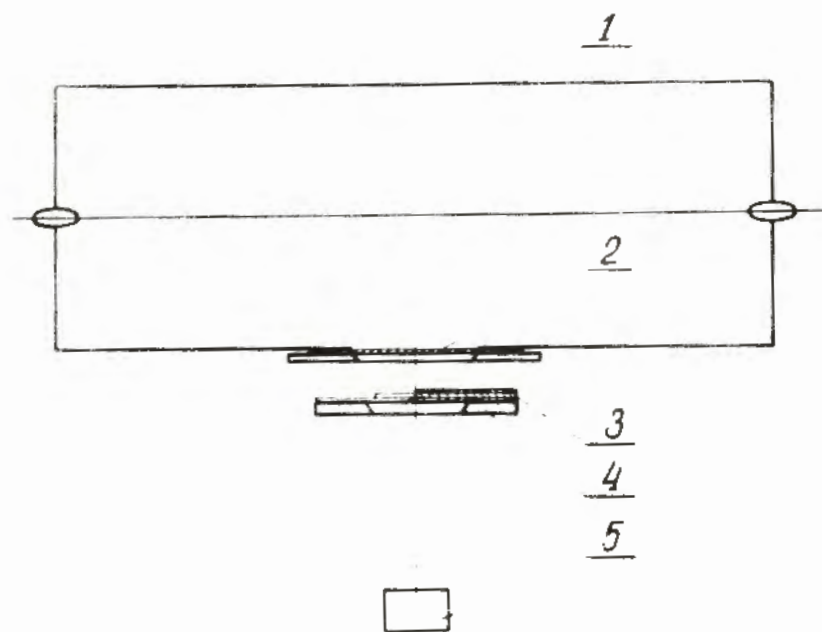
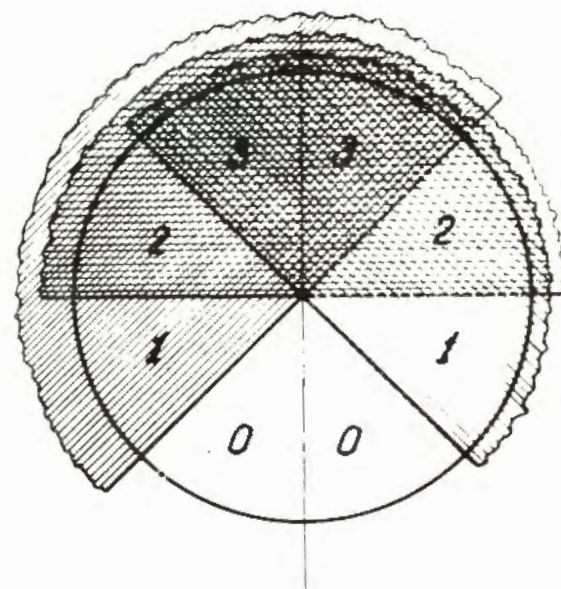


Рис 1. Удельные тормозные способности слюды для протонов.



(а)

- 1 - пропорциональный счетчик
- 2 - слюдяное окно счетчика
- 3 - ступенчатый набор слюдяных пленок
- 4 - круглая диафрагма
- 5 - плутониевый препарат или мишень



(б)

- 0,1,2,3 - количества слоев слюдяной пленки одинаковой толщины

Рис. 2. Схема измерения и схема наклейки пленок в ступенчатом наборе.

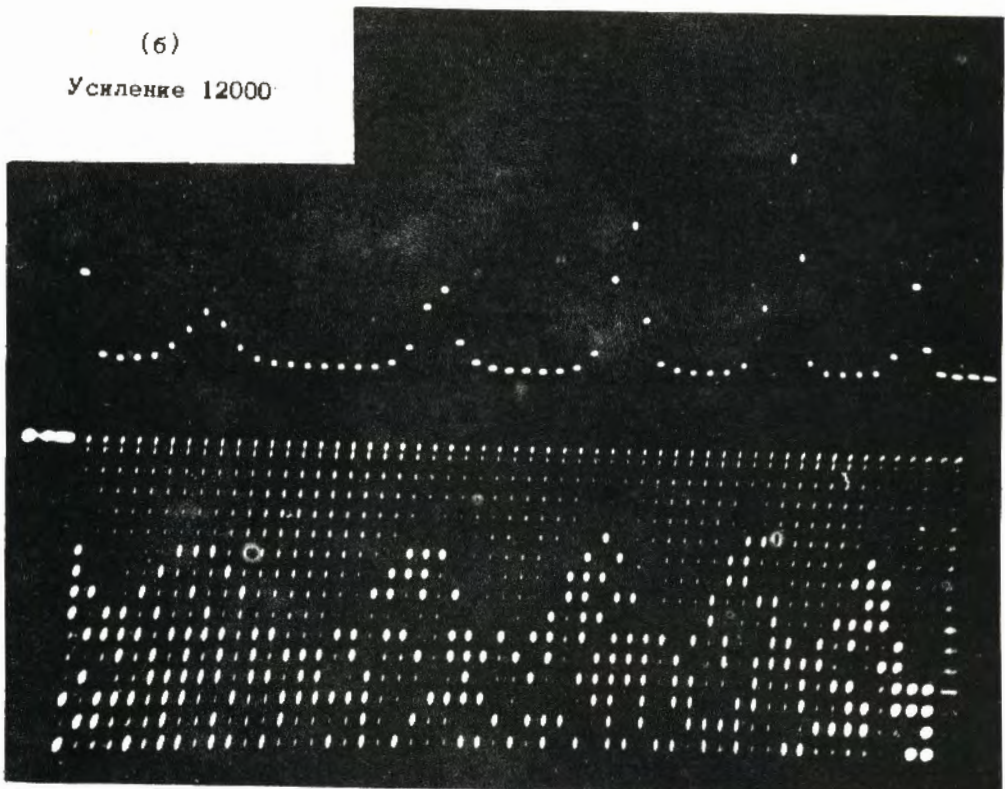
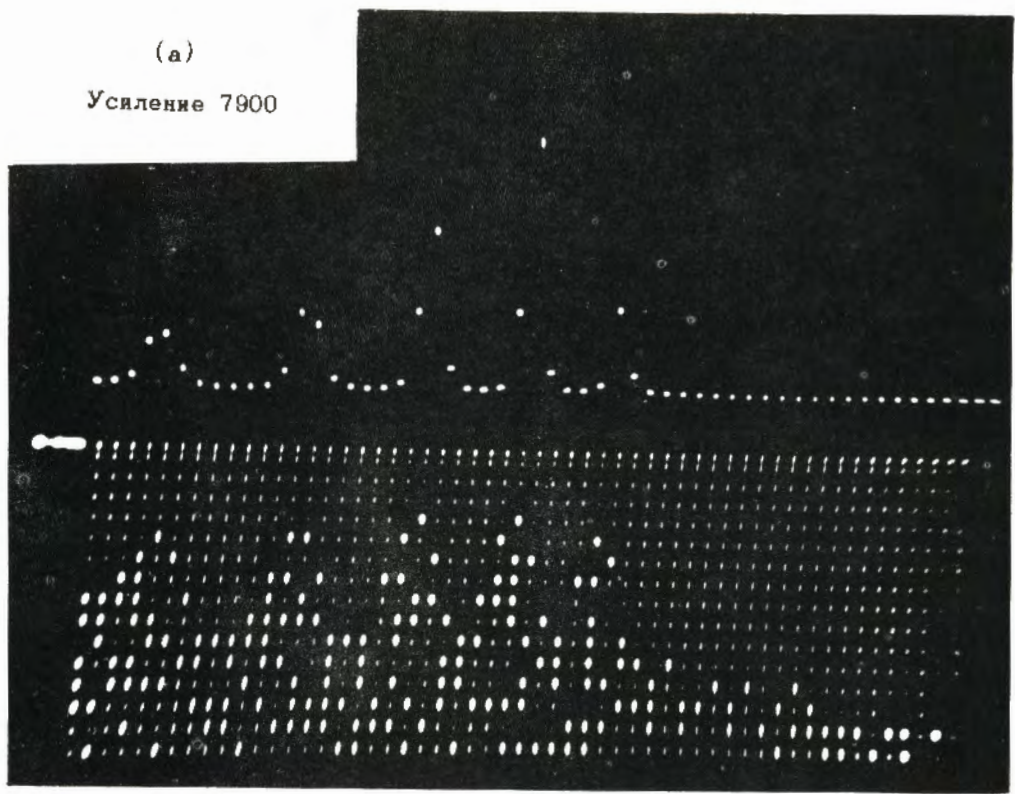


Рис. 3.

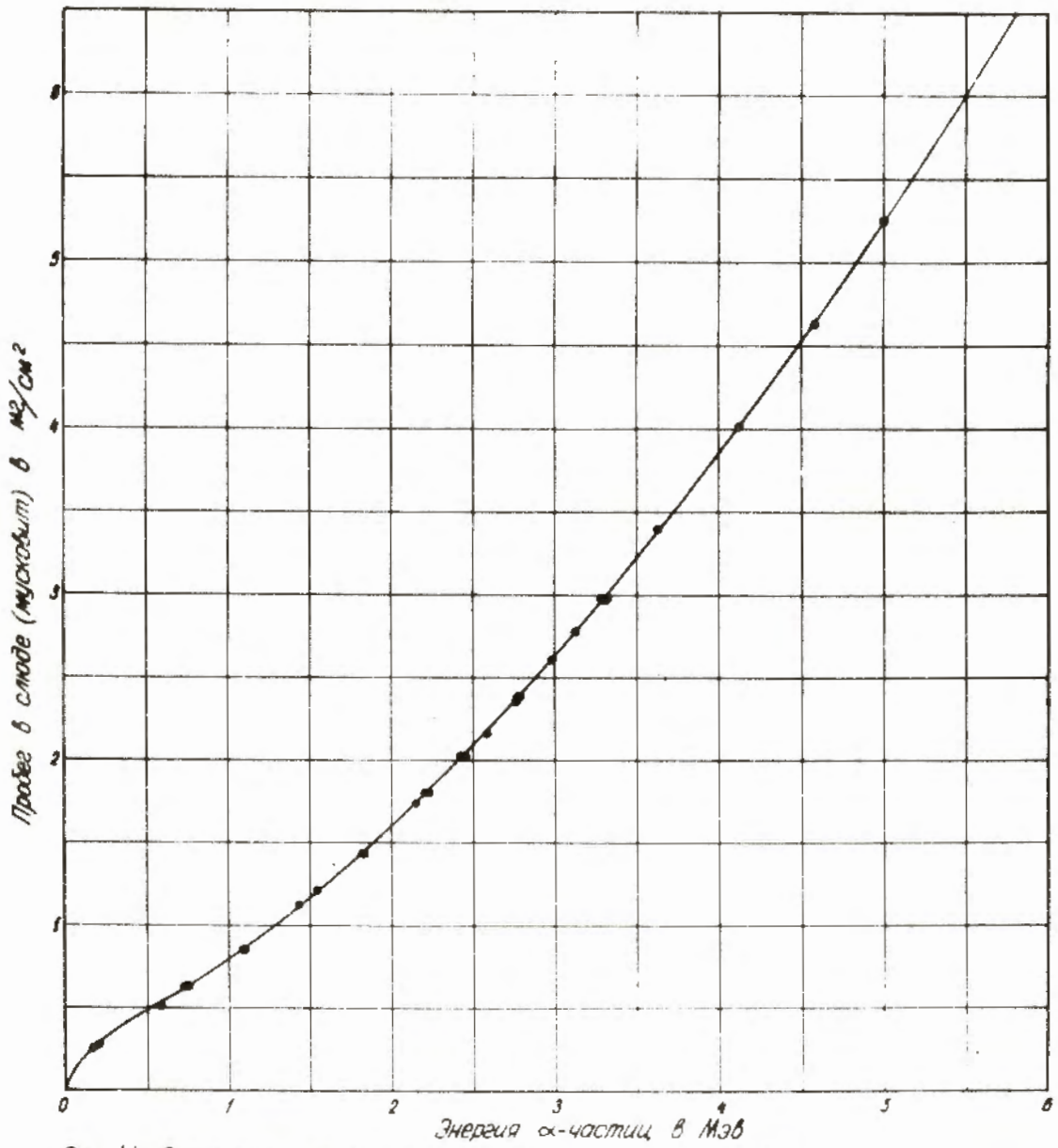


Рис 4. Зависимость пробег-энергия для α-частиц в слюде.

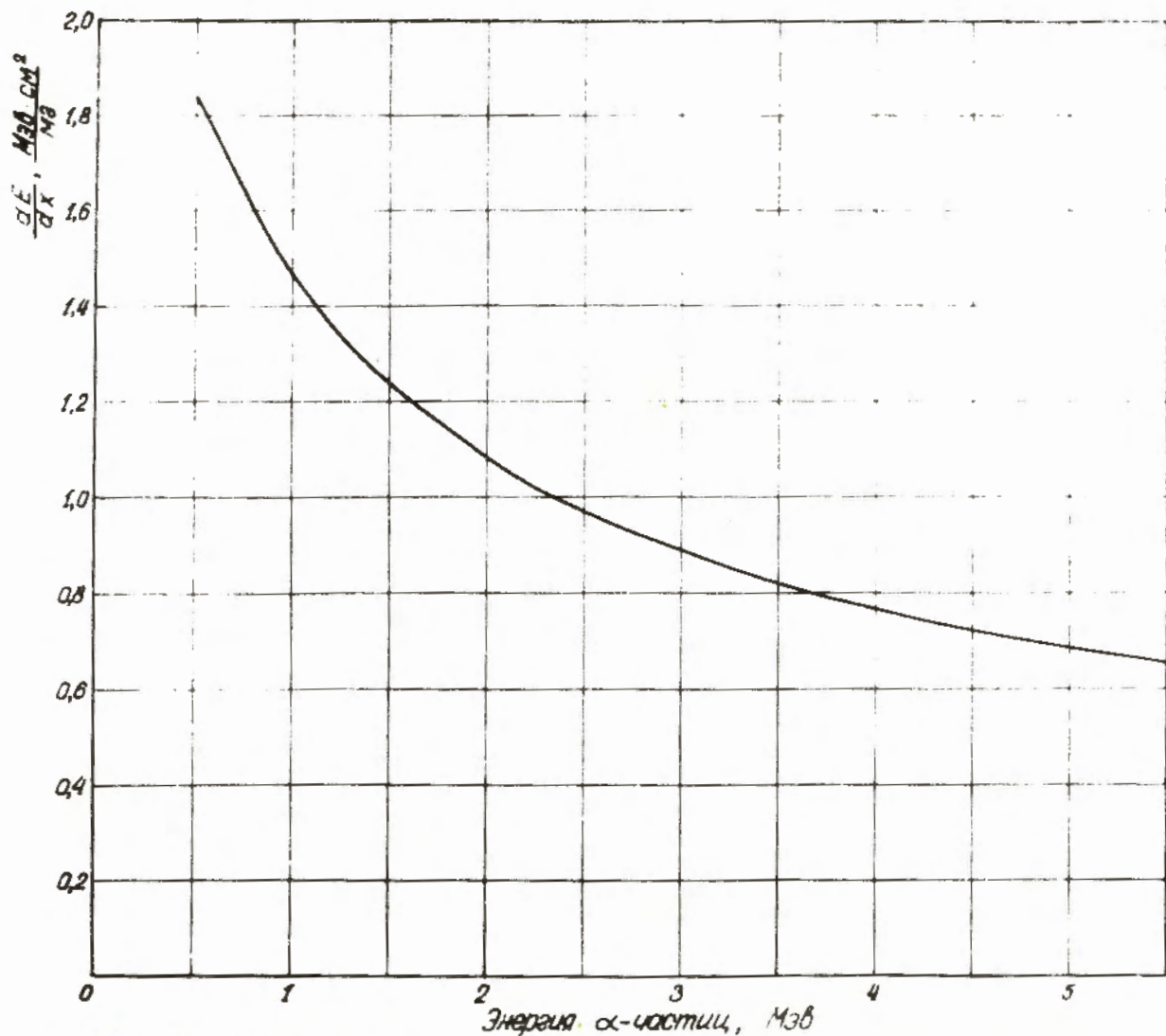


Рис. 5. Удельная тормозная способность слюды для  $\alpha$ -частиц.