

С 343Д

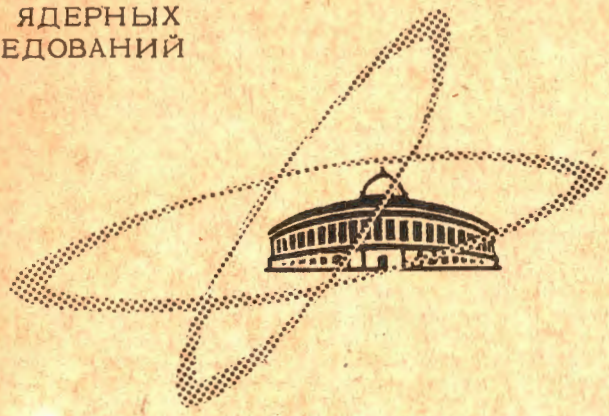
В-17

✓

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2038



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Ван Нэн-мин, Б.Г.Новацкий, Г.М.Осетинский,
Цзен Най-гун, И.А.Чепурченко

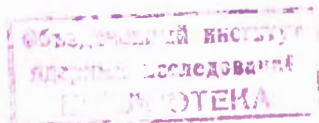
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $He^3 + T$

1965

P-2038

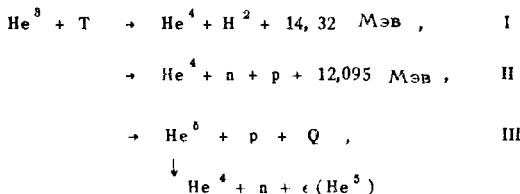
Ван Нэг-мин, Б.Г.Новацкий, Г.М.Осетинский,
Цэен Най-гун, И.А.Чепурченко

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $\text{He}^3 + \text{T}$



2124/3 нр.

Исследованию реакции



посвящено несколько экспериментальных работ^{/1,2,3,4,5/}.

Первая из них, опубликованная в 1951 году Алмквистом и др.^{/1/}, имела качественный характер. В работе Моука^{/2/}, выполненной в интервале энергий 100–800 кэв, были измерены полные сечения реакции, соотношения между ветвями реакции, определена энергия распада He^5 на α -частицу и нейтрон. Полные сечения реакции рассчитывались на основании измерения дифференциальных сечений выхода заряженных частиц по каналам I, II, III реакции в предположении о изотропности их распределения.

В 1959 году Ли Га Ен и др.^{/3/} произвели исследования этой реакции на тонкой газовой мишени. Полные сечения реакции определялись методом интегрального счета нейтронов из каналов II, III реакции с учетом соотношения между отдельными ветвями реакции. Это соотношение определялось измерением выхода заряженных частиц под углом 90° . Поскольку утверждение о сферической симметрии продуктов реакции, используемое в работах^{/2,3/}, не имело экспериментального подтверждения в широком интервале энергий, Кюн и Шленк^{/4/} провели это исследование. Ими показано, что при энергиях тритонов свыше 460 кэв изотропии в угловых распределениях нет.

В 1963 году Смит и др.^{/5/} измеряли энергетические распределения при $E_{\text{T}}=1,9 \text{ Мэв}$ для α -частиц под углом 30° и для протонов под углом 30° и 90° . Для этой же энергии получены данные по полным сечениям. Дается анализ спектра в предположении, что в сечение реакции вносится независимый вклад как от трехчастичного процесса, так и от нескольких двухчастичных процессов. Найдена нейтрон-протонная корреляция, соответствующая несвязанному синглетному состоянию дейтона. Настоящая работа является продолжением исследования этой реакции в более широком интервале энергий с использованием методики, позволяющей провести измерения с лучшей точностью.

Методика измерений

Измерения проводились на пучке ионов трития электростатического генератора (ЭГ) Объединенного института ядерных исследований. Схема опыта представлена на рис. 1.

Ионы трития, ускоренные ЭГ, проанализированные по импульсам, пройдя ряд ограничивающих диафрагм, в том числе коллиматор диаметром 1,5 мм, длиной 120 мм, падали на входное окно газовой мишени. Газовая мишень помещена в центре вакуумной камеры (конструкция камеры описана ранее^{/6/}). В работе использовались газовые мишени двух типов: "точечные" - для измерений угловых распределений - и "длинная" - для абсолютных измерений дифференциальных сечений под углом 90° .

Конструкция точечной мишени показана на рис. 2а. Она представляет из себя цилиндр диаметром 5 мм. На расстоянии 5 мм от запаянного конца на поверхности цилиндра с охватом 300° имеется щель шириной 5 мм, которая заклеивается фольгой из никеля толщиной 0,8 - 1,0 мг/см² или алюминиевой фольгой толщиной 4 мг/см². В этой фольге изготавливается входное окошко из Al_2O_3 толщиной 0,03 - 0,05 мг/см².

Конструкция длинной мишени показана на рис. 2б. Мишень состоит из корпуса со съемными передней и тыльной стенками. В передней стенке имеется отверстие, заклеиваемое такими же фольгами. Для вывода продуктов реакции в корпусе мишени под углом 90° изготовлена щель шириной $2,1 \pm 0,05$ мм, высотой 8 мм. Щель заклеивается никелевой фольгой толщиной 2 мг/см².

Газовая мишень изолировалась от корпуса, что позволяло проводить измерения тока ионов, падающих на нее. Внутрь объема мишени вводилась термopара, которая обеспечивала измерение температуры газа с точностью $\pm 1^\circ$. Наполнение мишени He^3 и откачка этого газа осуществлялись с помощью установки описанной ранее^{/3/}.

Мишень с входным окном из Ni наполнялась до давления 50-60 мм рт. ст. В мишенях с входным окном из Al_2O_3 давление составляло 15 ± 20 мм. Измерение давления производилось с помощью микроманометра. Ошибка измерения составляла $\pm 0,5\%$.

Толщины входных окошек газовой мишени определялись по прохождению их α -частицами полония^{/7/}, а также по смещению резонансного пика реакции $F(p,\alpha\gamma)$ при пропуске пучка протонов через это окно. Поскольку результаты измерений обоими этими методами в пределах ошибок ($\pm 4\%$) совпадали, в последующем толщины мишени определялись только по смещению резонансного пика. Потери энергии тритиев в Ni и газе мишени определялись согласно работам^{/8,9/}.

Измерение выхода заряженных частиц из реакции производилось поверхностно-барьерными детекторами из кремния р-типа, компенсированного литием. При измерении угловых распределений детектор устанавливался на вращающемся криоштейне на

расстоянии $77,3 \pm 0,05$ мм от центра газовой мишени. Положение детектора относительно пучка могло изменяться в пределах 0° - 135° с фиксацией через каждые 15° . Угловые распределения нормировались по отсчетам детектора такого же типа, установленного под углом 45° на расстоянии 155 мм от центра. Импульсы от каждого из детекторов через предусилителя направлялись на два 128-канальных амплитудных анализатора.

Система была проградуирована по энергиям. Градуировка производилась по α -частицам Pu^{239} , а также дейтонам и протонам различных энергий (от 4 до 18 Мэв). Этот набор энергий получался при измерении заряженных частиц из реакции $\text{He}^3 + \text{T}$, $\text{He}^3 + \text{d}$ под различными углами, а также замедлением их алюминиевыми фольгами толщиной 8, 36, 56, 84, 120 мг/см^2 . Набор фольг выполнен в виде незамкнутой цилиндрической поверхности, окружающей мишень. Он укреплен на кронштейне одного из изолированных вводов камеры и может перемещаться в вертикальном направлении. Указанный набор фольг использовался также для разделения пиков дейтонов ветви (1) и протонов ветви (3), обладающих при некоторых углах наблюдения близкими энергиями и не разрешаемых в связи с этим спектрометром. После прохождения алюминиевой фольги, вследствие различия в удельных потерях энергии, протоны и дейтоны будут иметь различие в энергии, достаточное для их разрешения. Из-за наличия упруго-рассеянных тритонов на He^3 и входном окошке газовой мишени при измерениях под всеми углами между мишенью и детектором находилась фольга из Al толщиной 8мг/см^2 , в которой они полностью поглощались. Кронштейн с набором фольг присоединялся к мишени, являясь совместно с ней ловушкой тока.

Результаты измерений

Вся информация по дифференциальным сечениям, угловым распределениям, соотношениям между ветвями реакции была получена на основании обработки энергетических спектров, измеренных при различных энергиях в интервале углов 0 - 135° . На рис. 3,4 представлены типичные спектры. Спектр имеет два пика, обусловленных α -частицами и дейтонами канала I. Между этими пиками находится непрерывный спектр протонов канала II. В интервале углов 30 - 120° протонный пик, соответствующий основному состоянию He^5 , по энергии близок к пику дейтонов канала I, и оба пика не разрешаются спектрометром. Необходимое разрешение, как уже указывалось, достигается установкой на пути пучка между мишенью и детектором алюминиевых фольг различных толщин (см. рис. 5). Получение информации об угловых распределениях каждого канала реакции, равно как и измерение соотношения между ними, может быть строго проведено только в том случае, если будет четко определена граница спектра каждого канала. Однако из-за наложения некоторых участков спектра друг на друга определение этих границ может быть сделано при определенных предположениях о форме спектра в начале и конце его. Как видно из рис. 3,4, без значительных ошибок можно определять площадь

спектра, соответствующую каналу I и сумме каналов II и III. Разделение же канала II и III весьма неопределенно и связано с большими ошибками. С учетом вышесказанного, мы все же сочли полезным привести данные по дифференциальным и полным сечениям всех трех каналов. Если обозначить (см. рис. 6):

S_1 - истинную площадь спектра,

S_2 - часть спектра, непосредственно измеряемую анализатором,

S_3 - площадь спектра, обусловленную вкладом дейтонов канала (1) и протонов канала (3),

S_5, S_6 - соответствующие пики дейтонов канала I и протонов канала III, получаемые на разделенном спектре,

то очевидно, что $S_1 = S_2 + S_{\text{экстр}}$, а S_4 , равное $S_1 - S_3$ будет определять вклад протонов от канала (2). Если обозначить сечения каналов реакции I, II, III соответственно $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, то очевидно

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{полн.}}} = \frac{S_3 S_5}{S_1 (S_3 + S_6)}; \quad \frac{\sigma_2}{\sigma_{\text{полн.}}} = \frac{S_1 - S_3}{S_1}; \quad \frac{\sigma_3}{\sigma_{\text{полн.}}} = \frac{S_3 S_6}{S_1 (S_3 + S_6)}.$$

Спектр, измеренный с фольгой 8 мг/см², позволяет найти площади S_1, S_2 и S_4 , а разделенный спектр (измеренный с фольгами 36, 56, 84, 120 мг/см²) - значение площадей S_5 и S_6 .

При определении S_1 принималось во внимание: а) наличие порога у регистрирующей аппаратуры (предуслитель-анализатор), наличие выходной фольги газовой мишени (толщиной 2 мг/см²); б) присутствие между мишенью и детектором фольги 8 мг/см², которая срезает часть сплошного спектра протонов; в) тот факт, что форма спектра в сторону малых энергий плоская до энергии, составляющей 20% от $E_{\text{max}}^{2,3,4}$. От этого значения велась экстраполяция к нулю в разумных пределах (линии AC и AD рис. 6).

Вычисленное в этих пределах среднее значение площади, ограничиваемой кривой спектра, принимается за истинную площадь, а отклонения предельных значений от среднего включаются в ошибку экстраполяции. Значение S_6 находилось как сумма S'_6 и S''_6 .

В таблицах 1,2, на рисунках 7,8,9 представлены угловые распределения протонов и дейтонов для ряда энергий бомбардирующих ионов трития.

Данные угловых распределений дейтонов для канала I были использованы для определения полных сечений этого канала реакции. С этой целью полученные экспериментальные данные в интервале углов 0 - 135° были аппроксимированы методом наименьших квадратов полиномами Лежандра с последующим интегрированием полученной аппроксимации от 0 до 180°. Принятая экстраполяция в интервале 135-180° вполне оправдана, поскольку экспериментально определена тенденция хода кривых к 180°, а характер

угловых распределений в широком интервале углов и энергий не указывает на наличие каких-либо особенностей.

В таблице 1 даются значения полных сечений канала I реакции. В таблице 2 приведены сечения каналов II и III реакции, полученных интегрированием угловых распределений, измеренных в лабораторной системе координат. Отдельно представлены значения полных сечений выхода протонов суммы каналов II и III этой реакции. На рис. 10 показаны графики полученных зависимостей.

Дифференциальные сечения

Абсолютные измерения дифференциальных сечений под углом 90° производились на длинной газовой мишени. Дифференциальные сечения $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ в л.с.к. в единицах $\frac{\text{мб}}{\text{стр.}}$ определялись по формуле:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{B(90^\circ) C_{\text{инт}}}{n L_T p G} \cdot \frac{760}{6,25 \cdot 10^{12}}$$

где $B(90^\circ)$ – выход продуктов реакции под углом 90° ,

$C_{\text{инт}}$ – постоянная интегратора тока,

L_T – число Лошмидта при температуре T ,

n – отсчеты интегратора тока,

p – давление мишени в мм рт. ст.,

G – геометрический фактор, $G = 3,17 \cdot 10^{-3}$.

При расчете вводилась поправка на изменение температуры газа газовой мишени. Поправка на нагревание газа мишени в объеме, где проходил пучок, не вводилась. При расчете принималось, что полупроводниковый детектор имеет эффективность счета протонов и дейтронов, равную 100%. Последнее проверялось экспериментально измерением дифференциального сечения в той же геометрии с помощью сцинтилляционного спектрометра, построенного на ФЭУ-35 с кристаллом CsI . Данные измерения совпали в пределах статистики измерений ($\pm 1\%$). Данные расчета дифференциальных сечений представлены в таблице 3. Они получены на основании усреднений нескольких серий измерений, выполненных в указанном интервале энергий. Квадратичная ошибка измерения без учета ошибки в определении энергии составляет 4%. Она складывается из следующих величин: а) определение геометрического фактора – 2%; б) определение числа частиц газовой мишени – 1%; в) определение числа налетающих частиц – 0,5%; г) определение выхода продуктов реакции 3%. Ошибка в определении энергии взаимодействия тритонов в центре мишени находится в пределах 3% – 1,5% при энергиях 500–1700 кэВ соответственно. Результаты измерений приведены на рис. 11. На этом же рисунке с целью сравнения

нанесены результаты Ли Га Ена и др.^{/3/}, полученные в интервале энергий 270–970 кэв. Как видно, результаты измерений хорошо согласуются между собой.

Определение энергии распада He^5

По экспериментально найденной энергии протонов от канала III реакции, была вычислена энергия распада He^5 на α -частицу и нейтрон. Значение энергии определялось по измерению положения пика протонов на энергетическом спектре, измеренном под углом 0° . Расчет производился по формуле:

$$\epsilon(He^5) = (12,095 + 0,4 E_T + 0,4 \sqrt{3 E_T E_p} - 1,2 E_p) \text{ Мэв},$$

где E_T – энергия налетающих тритонов в лабораторной системе координат,
 E_p – энергия протонов канала III реакции в лабораторной системе координат.

При расчете использовались экспериментальные данные при семи значениях энергии налетающих тритонов в интервале энергий 730–1570 кэв. Получены значения: $\epsilon(He^5) = 0,845 \pm 0,06$ Мэв, соответственно масса He^5 оказалась равной

$$m_{He^5} = 5,01218 \pm 0,00017 \text{ (} m_{C^{12}} = 12 \text{)}.$$

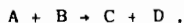
В таблице приведены для сравнения данные последних работ по определению $\epsilon(He^5)$.

Дата	Тип реакции	Q реакции	$\epsilon(He^5)$, Мэв	Работы
1953	$T(He^3, p)He^5$	$11,18 \pm 0,07$	$0,95 \pm 0,07$	Moak ^{/2/}
1954	$Li^6(n, d)He^5$	$-2,57 \pm 0,1$	$1,01 \pm 0,1$	Frve ^{/10/}
1955	$Li^6(d, He^3)He^5$	$0,91 \pm 0,09$	$0,88 \pm 0,09$	Levine et al. ^{/11/}
	$Li^7(d, \alpha)He^5$	$14,26 \pm 0,09$	$0,96 \pm 0,09$	Levine et al. ^{/12/}
1958	$Li^6(t, \alpha)He^5$	$15,15 \pm 0,04$	$0,97 \pm 0,04$	Levine et al. ^{/13/}
	$He^5(t, p)He^5$	$11,3 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	Craig et al.
1959	$He^5(t, p)He^5$	$11,3 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	Ли Га Ен и др. ^{/3/}
1963	$He^5(t, p)He^5$	$11,14 \pm 0,04$	$0,79 \pm 0,03$	Smith et al. ^{/5/}
1964	$He^5(t, p)He^5$	$11,25 \pm 0,06$	$0,845 \pm 0,06$	Настоящая работа

Обсуждение полученных результатов

Результаты измерений указывают на отсутствие изотропии в угловых распределениях для каждого канала реакции. Полные сечения реакции принимают значения 46,4 мбарн при энергии $E_T = 763$ кэв, достигая значения $\sigma = 71,3$ мбарн при энергии 1521 кэв. В области, где энергии перекрываются, наши данные находятся в хорошем согласии с результатами работы Ли Га Ена и др.^{/3/} и еще раз подтверждают, что данные по полным сечениям Моука^{/2/} ошибочны.

Представляет интерес рассмотреть полученные нами результаты по угловым распределениям продуктов реакций с точки зрения недавней работы Баршай и Теммера^{/15/}. Как отметили Баршай и Теммер, в общем случае произвольной ядерной реакции вида



где в начальном состоянии две частицы A, B относятся к одному мультиплету по изотопическому спину, а изотопический спин по крайней мере одной из частиц в конечном состоянии равен нулю, угловые распределения продуктов реакции в с.п.м. симметричны относительно угла $\theta = 90^\circ$. Такое свойство амплитуды реакции связано с тем, что из ряда возможных состояний начальной системы осуществляется переход лишь в состояние с одним значением изотопического спина системы.

Если представить результаты наших измерений угловых распределений в виде разложения по степеням косинуса угла

$$\sigma(\theta) = \sum_{\ell=0}^{\infty} a_{\ell} P_{\ell}(\cos \theta) ,$$

то анализ по χ^2 дает следующие значения коэффициентов разложения (см. таблицу 4).

Если характеризовать асимметрию величиной

$$a = \frac{\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) - \frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi - \theta)}{\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) + \frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi - \theta)} ,$$

то получим значения коэффициента a % при разных углах и энергиях (см. таблицу 5).

Данные, приведенные в таблице 5, указывают на наличие слабой асимметрии в области энергии порядка 1000 кэВ под малыми углами. Как видно из рис. 7, величина асимметрии находится в пределах точности эксперимента.

Угловые же распределения протонов от третьего канала (рис. 9) в том же интервале энергий оказываются очень далекими от симметрии относительно 90° . Ранее подобный эффект в области энергии 460–1087 кэВ наблюдали Кюн и Шленк^{/4/}.

Спектры протонов канала III реакции указывают на наличие сильного p - α взаимодействия в состоянии $P_{3/2}$, предсказываемого теорией Мигдала-Ватсона. Существование такого взаимодействия было экспериментально подтверждено Власовым и др.^{/14/} при исследовании реакции $He + d$. Результаты настоящей работы являются дополнительным подтверждением существования такого рода взаимодействия для реакции другого типа. В процессе работы выполнены измерения энергетических распределений протонов канала III реакции под углом 0° (типичный спектр представлен на рис. 3), которые будут использованы для расчета некоторых параметров взаимодействия (приведенная ширина, радиус взаимодействия) с учетом возможных механизмов реакции, приводящих к трехчастичному развалу в конечном состоянии.

Авторы приносят свою глубокую благодарность Л.И.Лапидусу, В.И.Фурману и И.В.Сизову за интерес к работе и ценные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. E. Almqvist, K.W. Allen, I.T. Devan, T.P. Pepper. *Phys. Rev.*, 83, 202 (1951).
2. C.D. Moak. *Phys. Rev.*, 92, 383 (1953).
3. Ли Га Ен, Г.М.Осетинский, Н.Содном, А.М.Говоров, И.В.Сизов, В.И.Салацкий. Препринт ОИЯИ, Р-428, 1959.
4. В. Kühn, В. Schlenk. *Nucl. Phys.*, 48, 353 (1963).
5. D. Smith, N. Jarmie, A.M. Lockett. *Phys. Rev.*, 129, No. 2 (1963).
6. Г.М.Осетинский, Цаен Най-гун, И.А.Чепурченко. Препринт ОИЯИ, 1172, Дубна, 1983.
7. Г.М.Осетинский, М.В.Савенкова. ПТЭ, №6 (1959).
8. Г.М.Осетинский. Приложение №5 к журналу "Атомная энергия", 1957, стр. 94.
9. S.K. Allison, S.D. Warchan. *Rev. of Mod. Phys.*, 25, 779 (1958).
10. G.M. Frye. *Phys. Rev.*, 93, 1086 (1954).
11. S.H. Levine, R.S. Bender, I.N. McGruer. *Phys. Rev.*, 97, 1249 (1955).
12. S.H. Levine, R.S. Bender, I.N. McGruer. *Phys. Rev.*, 97, 1254 (1955).
13. D.S. Craig, W.G. Crass. *Phys. Rev.*, 103, 1427 (1956).
14. Н.А.Власов, Н.В.Рыбаков, В.Н.Сидоров. *Nucl. Phys.*, 23, 491 (1961).
15. S. Barshay, G.M. Temmer. *Phys. Rev. Lett.*, 12, 728 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
2 марта 1985 г.

Таблица 1.

Угловое распределение реакции $He^3 + T$ ветви I в с.п.м. $He^3 + T \rightarrow He^4 + n^2 + 14,32 \text{ МэВ}$

$E_T = 763 \text{ кэВ}$		$E_T = 864 \text{ кэВ}$		$E_T = 1044 \text{ кэВ}$		$E_T = 1114 \text{ кэВ}$		$E_T = 1263 \text{ кэВ}$		$E_T = 1458 \text{ кэВ}$		$E_T = 1521 \text{ кэВ}$	
Угол в С.П.М.	дифферен. сеч. $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мб/стер	Угол в С.П.М.	дифферен. сечение $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мб/стер	Угол в С.П.М.	дифференц. сечение $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мб/стер	Угол в С.П.М.	дифферен. сечение $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мб/стер	Угол в С.П.М.	дифферен. сечение $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мб/стер	Угол в С.П.М.	дифферен. сечение $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мб/стер	Угол в С.П.М.	дифференц. сечение $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ мб/стер
0	0,969±0,048 0,885±0,044	0	0,908±0,045	0	0,898±0,045	0	0,784±0,039 0,860±0,043	0	0,694±0,035 0,687±0,034	0	0,627±0,031 0,632±0,032	0	0,564±0,028
16,7°	1,007±0,050	16,8°	0,985±0,049	17,0°	1,053±0,053	17,0°	0,957±0,048	17,2°	0,822±0,041	17,3°	0,761±0,038	17,4°	0,746±0,037
33,9°	1,208±0,060	33,5°	1,232±0,062	33,8°	1,385±0,069	33,9°	1,293±0,065	34,2°	1,128±0,061	34,5°	1,202±0,060	35,6°	1,173±0,059
49,6°	1,633±0,073	49,9°	1,637±0,082	50,4°	1,756±0,088 1,722±0,086	50,6°	1,670±0,088 1,669±0,083	50,9°	1,835±0,092 1,752±0,088 1,686±0,084 1,730±0,087	51,8°	1,853±0,093 1,827±0,091	51,4°	1,806±0,090
65,7°	1,849±0,093	66,0°	2,016±0,100	66,6°	2,325±0,116	66,8°	2,154±0,108	67,2°	2,239±0,112 2,385±0,119	67,7°	2,418±0,121	67,9°	2,494±0,125
81,3°	2,000±0,099	81,7°	2,139±0,107	82,4°	2,400±0,167	82,6°	2,491±0,125 2,449±0,122 2,618±0,131	83,1°	2,465±0,114 2,618±0,131	83,6°	2,78±0,139	83,8°	2,809±0,140
96,5°	1,987±0,099 1,988±0,099	97,0°	2,081±0,104	97,6°	2,424±0,121	97,9°	2,517±0,124 2,403±0,120 2,403±0,120	98,4°	2,477±0,124 2,488±0,124 2,477±0,124 2,547±0,127	99,0°	2,780±0,140 2,741±0,137	99,1°	2,894±0,145 2,798±0,140
111,3°	1,954±0,098	111,7°	2,074±0,103	112,4°	1,931±0,097	112,6°	2,203±0,110 2,121±0,106	113,1°	2,221±0,111 2,162±0,109	113,6°	2,380±0,120	113,8°	2,613±0,131
125,7°	1,650±0,083	126,0°	1,580±0,084	126,6°	1,815±0,091	126,8°	1,737±0,087 1,718±0,086	127,2°	1,716±0,086	127,7°	1,713±0,086	127,9°	1,995±0,100
139,6°	1,356±0,068	139,9°	1,314±0,066	140,4°	1,376±0,069	140,7°	1,285±0,064 1,298±0,065	140,9°	1,294±0,065 1,319±0,066	141,3°	1,361±0,068 1,354±0,068	141,4°	1,352±0,068
сум.	20,8±0,9	21,6±1	23,5±1	23,7±1,1	24,1±1,1	25,4±1,1	26,1±1,2						

Таблица 2

Угловое распределение реакции $\text{He}^3 + \text{T}$ в л.д.к. Ветвь II и ветвь III $\text{He}^3 + \text{T} \rightarrow \text{He}^4 + \text{p} - 12,095 \text{ МэВ}$ (II) $\text{He}^3 + \text{T} \rightarrow \text{He}^4 + \text{n}$ (III) $\text{L} \rightarrow \text{He}^3 + \text{T} (\text{He}^3)$

Энергия взаимо- действия (кэВ)	763 кэВ			864 кэВ			1044 кэВ			1114 кэВ			1263 кэВ			1458 кэВ			1521 кэВ									
	до дП	мбары стер	Омбона ±1%	до дП	мбары стер	Омбона ±1%	до дП	мбары стер	Омбона ±1%	до дП	мбары стер	Омбона ±1%	до дП	мбары стер	Омбона ±1%	до дП	мбары стер	Омбона ±1%	до дП	мбары стер	Омбона ±1%							
Угол изме- рения в л.с.к.	Ветвь		Ветвь		Ветвь		Ветвь		Ветвь		Ветвь		Ветвь		Ветвь		Ветвь		Ветвь		Ветвь							
	П	III	П	III	П	III	П	III	П	III	П	III	П	III	П	III	П	III	П	III	П	III						
0°	2,306	0,360	6,7	9,1	2,773	0,332	6,5	II	2,979	0,530	6,2	9	3,143	0,492	6,5	9,3	4,011	0,627	6,6	9,1	4,146	0,679	6,7	9,2	3,924	0,746	6,6	I3,5
	2,501	0,321											3,376	0,543			3,746	0,622			4,038	0,688						
15°	2,440	0,365	6,5	9,5	2,683	0,382	6,5	IO,5	2,962	0,554	6,0	9	3,215	0,544	6,4	II	3,741	0,628	6,4	8,4	3,967	0,717	6,5	IO,5	3,930	0,764	6,5	I2
30°	2,232	0,334	6,5	9,5	2,684	0,349	7,0	II	2,751	0,485	6,0	9	3,062	0,550	6,2	8,5	3,466	0,652	6,2	8,4	3,595	0,734	6,3	9	3,713	0,755	6	II
45°	2,170	0,330	6,5	9,7	2,441	0,359	6	II	2,790	0,524	6	9	2,919	0,577	6	8,5	3,400	0,674	6	7,5	3,381	0,738	6	7	3,477	0,704	6,3	9
									2,724	0,513			3,112	0,578			3,180	0,642			3,427	0,726						
																	3,383	0,616										
																	3,064	0,612										
60°	2,173	0,270	6,2	II	2,431	0,304	6	I2	2,669	0,443	6	9	2,691	0,552	6	9,5	3,151	0,592	6	7,5	3,285	0,758	6	8	3,335	0,660	6	IO,5
																	2,891	0,631										
75°	2,029	0,264	6,0	II	2,358	0,284	6	I3	2,413	0,402	6	9	2,707	0,441	6	9	2,877	0,538	6	7,5	3,150	0,622	6	7,6	3,100	0,582	6	IO
																	2,621	0,436			3,059	0,495						
90°	1,922	0,253	6,0	I2	2,253	0,251	6	I2	2,430	0,327	5,6	9,5	2,456	0,401	6	9	2,813	0,476	6	8,2	2,972	0,501	6,5	9,3	2,945	0,518	6	II
	1,967	0,207											2,585	0,384			2,802	0,476			3,024	0,488			3,059	0,499		
													2,585	0,385			2,858	0,431			2,773	0,447						
105°	1,931	0,173	6,0	I3	2,237	0,193	6	I9	2,222	0,274	5,6	II	2,447	0,311	6	9,4	2,597	0,381	6	IO	2,878	0,422	6	IO,3	3,148	0,409	6,3	I5
													2,383	0,296			2,600	0,371										
120°	1,826	0,147	6,0	I4,5	2,364	0,160	6,8	I9	2,200	0,222	6	I4	2,440	0,216	6,2	I4	2,695	0,302	6,3	II	2,886	0,336	6,4	15,5	2,861	0,357	6,4	I7
135°	1,990	0,114	6,2	I5,5	2,272	0,130	6,3	I7	2,361	0,181	6,3	I5	2,382	0,175	6,4	I3	2,606	0,237	6,5	I2	2,914	0,263	6,7	I8	1,932	0,288	6,6	I9
													2,384	0,176			2,623	0,243			2,795	0,282						
сум	24,6	2,7			29,0	3,0			30,4	4,1			32,4	4,6			35,6	5,5			38,2	6,4			38,5	6,4		

Таблица 3

Абсолютные измерения под углом 90° в л.с.к.

Энергия взаимо- действия E_T (кэВ)	Дифференциальное сечение	Тип детектора
733	$4,11 \pm 0,16$	Полупроводниковый счетчик
798	$4,31 \pm 0,17$	" "
	$4,65 \pm 0,19$	ФЗУ-35
868,5	$4,64 \pm 0,19$	Полупроводниковый счетчик
941	$4,66 \pm 0,19$	" "
945	$4,95 \pm 0,2$	" "
980	$5,09 \pm 0,2$	" "
1017	$5,01 \pm 0,2$	" "
	$5,10 \pm 0,2$	" "
	$5,10 \pm 0,2$	ФЗУ-35
1056	$5,09 \pm 0,2$	Полупроводниковый счетчик
1096	$5,16 \pm 0,2$	" "
1167	$5,58 \pm 0,22$	" "
1175	$5,41 \pm 0,22$	" "
	$5,42 \pm 0,22$	ФЗУ-35
1215	$5,66 \pm 0,23$	Полупроводниковый счетчик
1254	$5,85 \pm 0,24$	" "
	$5,62 \pm 0,22$	ФЗУ-35
1294	$5,63 \pm 0,22$	Полупроводниковый счетчик
1334	$5,93 \pm 0,24$	" "
	$5,63 \pm 0,22$	ФЗУ-35
1418	$6,11 \pm 0,24$	Полупроводниковый счетчик
1487	$6,13 \pm 0,24$	" "
1501	$6,34 \pm 0,25$	" "
	$6,18 \pm 0,24$	ФЗУ-35

Таблица 4

E_T	Число параметров	$\chi^2_{(n-m)}$	a_0	a_1	a_2	a_3
763	4	3,87	0,00458 $\pm 0,00008$	0,00004 $\pm 0,00012$	-0,00211 $\pm 0,00020$	0,00002 $\pm 0,00019$
864	4	2,2	0,00536 $\pm 0,00010$	0,00018 $\pm 0,00014$	-0,00295 $\pm 0,00026$	0,00020 $\pm 0,00024$
1044	4	7,46	0,00698 $\pm 0,00012$	0,00036 $\pm 0,00017$	-0,00385 $\pm 0,00033$	-0,00010 $\pm 0,00028$
1144	4	5,07	0,00736 $\pm 0,00010$	0,00038 $\pm 0,00013$	-0,00492 $\pm 0,00023$	+0,00048 0,00023
1263	4	5,96	0,00854 $\pm 0,00010$	0,00031 $\pm 0,00015$	-0,00598 $\pm 0,00025$	0,00024 $\pm 0,00023$
1458	4	7,7	0,0104 $\pm 0,00016$	0,00021 $\pm 0,00019$	-0,00790 $\pm 0,00039$	0,00052 $\pm 0,00035$
1521	4	0,96	0,0112 $\pm 0,0002$	0,000084 $\pm 0,000253$	-0,00922 $\pm 0,00046$	0,00120 $\pm 0,00042$

Таблица 5

E_T	$\theta_{ц.м.}$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
763	0,5	0	-2,4	0	1,1	0,3	0	0,2	0	
864	7,4	6,3	5,1	4,3	3,3	2,2	1,6	0,9	0,3	
1044	11,8	11,1	8,5	7,1	5,8	4,7	2,5	1,8	0,8	
1114	15,8	13,7	9,4	7,1	5,0	3,8	2,8	1,6	1,0	
1263	10,7	11,8	7,9	5,1	5,4	2,9	1,5	1,1	0,8	
1458	9,9	9,5	5,7	3,2	2,4	1,9	1,6	1,2	0,7	
1521	0	0	-0,6	-1,8	-0,7	-0,3	0	0,2	0	

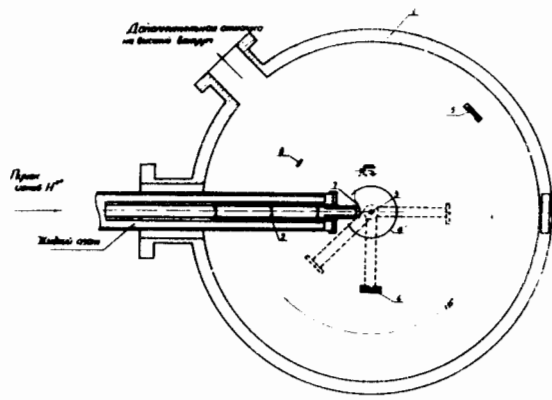


Рис. 1. Схема камеры измерений. 1 - корпус камеры, 2 - коллиматор 1,5 мм, 3 - газовая мишень, 4 - вращающийся детектор, 5 - монитор, 6 - набор фольг из Al, 7 - задерживающий электрод, 8 - α -источник.

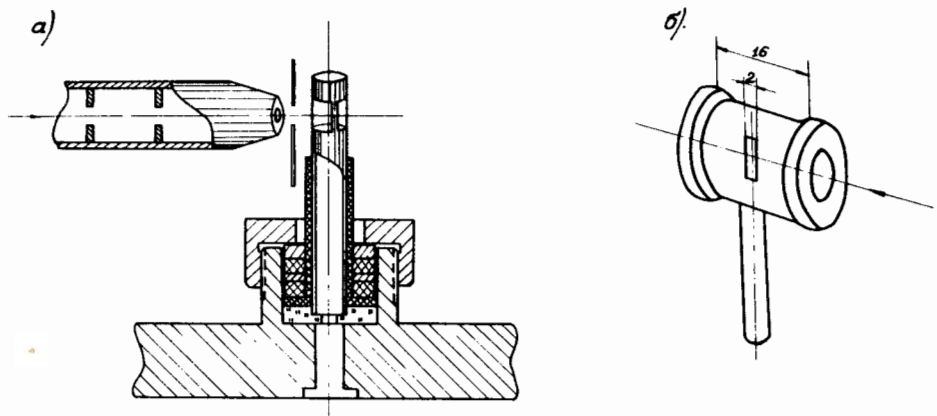


Рис. 2. Схема мишени, а) „Точечная“. б) „Длинная“.

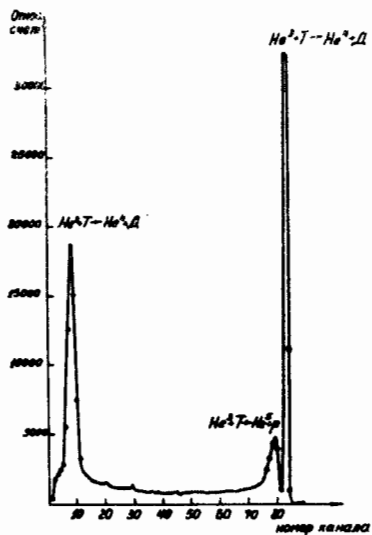


Рис. 3. Типичный спектр частиц реакции $\text{He}^3 + \text{T}$, $\theta = 0^\circ$ при $E_T = 886$ кэв.

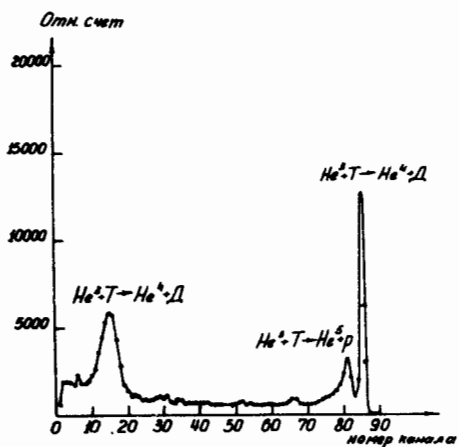


Рис. 4. Типичный спектр частиц реакции $\text{He}^3 + \text{T}$, $\theta = 15^\circ$ при $E_T = 1321$ кэв.

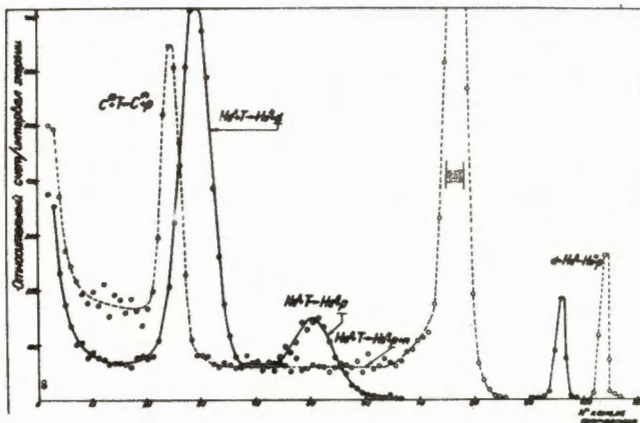


Рис.5. Типичный спектр частиц по энергии. $E_T = 864$ кэв, Угол θ лаб. $= 80^\circ$,
 o - фольга толщиной 8 мг/см^2 , e - фольга толщиной 84 мг/см^2 .

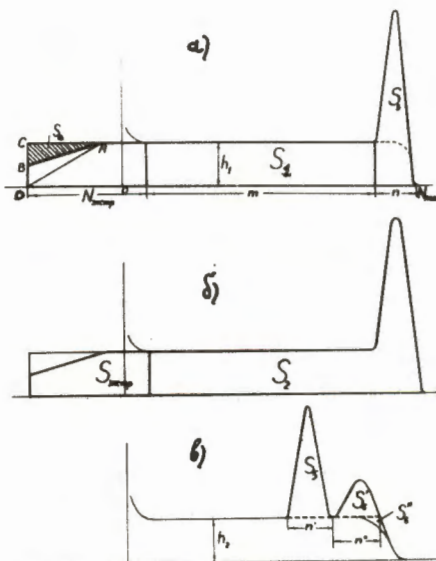


Рис. 6. К методу обработки спектров.

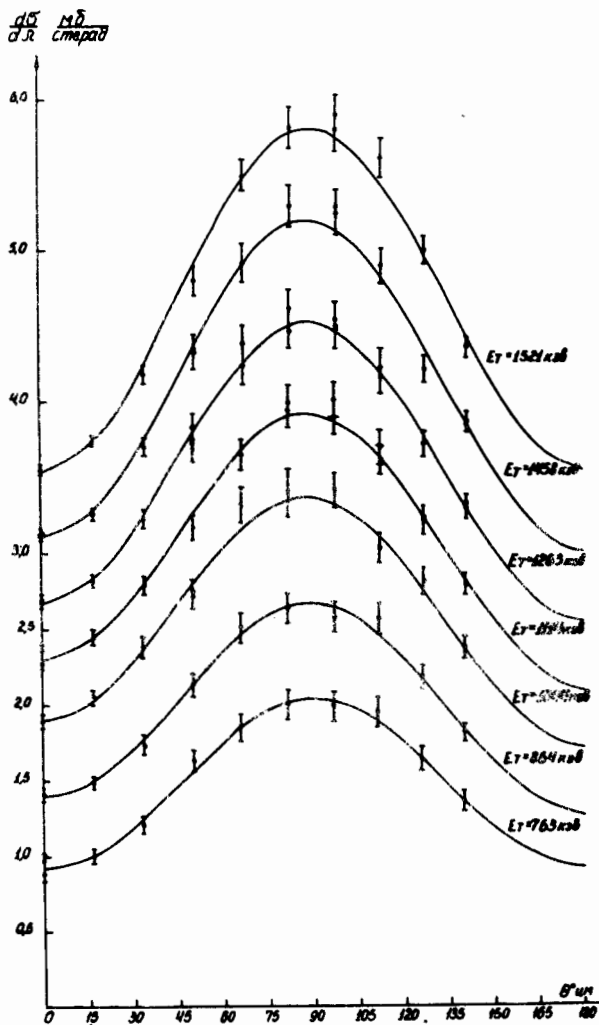


Рис.7. Угловые распределения дейтронов реакции $\text{He}^3 + \text{T}$ (канал I) в системе ЦМ. Начиная с энергии $E = 864$ кэВ, данные по оси ординат смещены друг относительно друга на 0,5 мбарна.

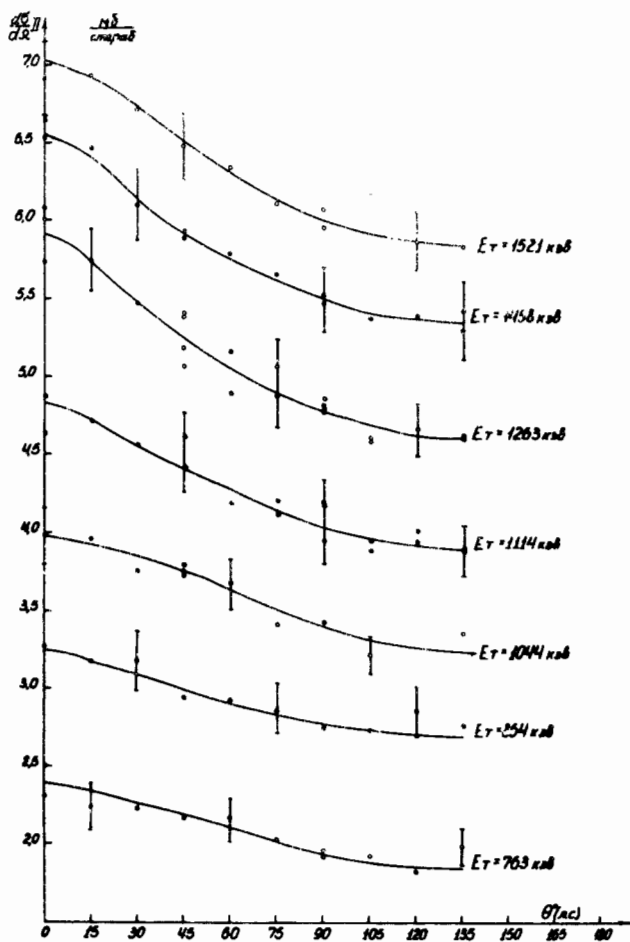


Рис. 8. Угловые распределения непрерывного спектра протонов (канал II) реакции $\text{He}^3 + \text{T}$ в лабораторной системе координат. Шкала сечений каждой кривой поднята относительно предыдущей на 0,5 мбарна.

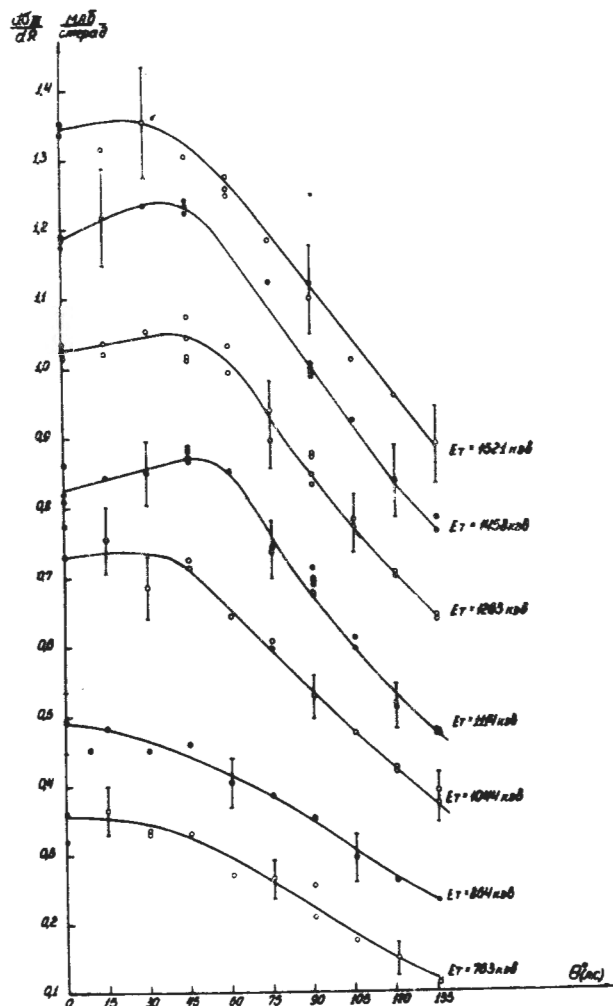


Рис. 9. Угловые распределения протонов канала III реакции $\text{He}^3 + \text{T}$ в л.с.к. Шкала сечений каждой кривой поднята относительно предыдущей на 0,1 мбарна.

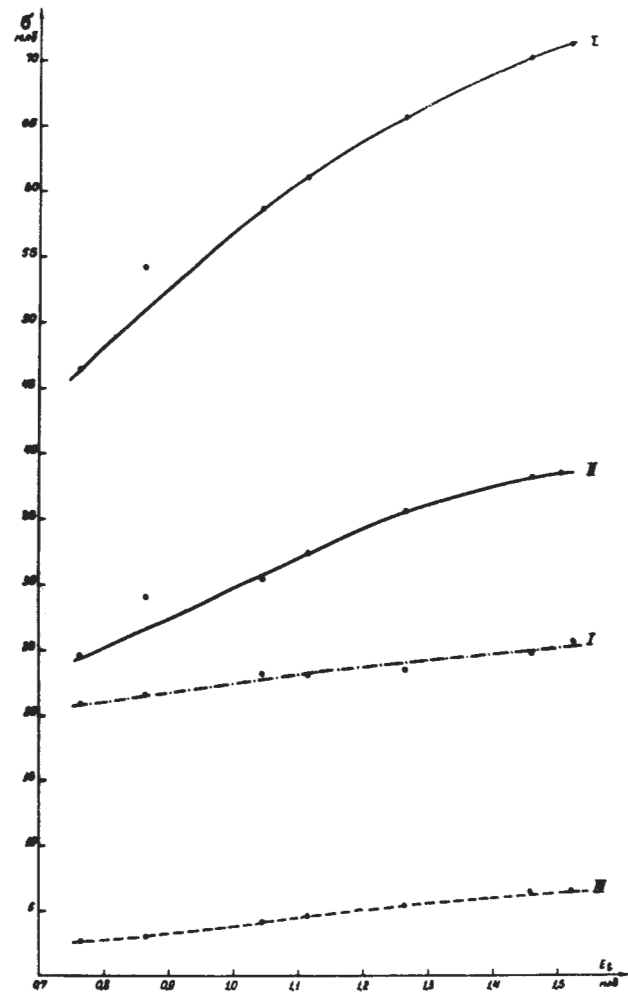


Рис. 10. Полные сечения реакции $\text{He}^3 + \text{T}$: кривая I - канал /1/, кривая II - канал /2/, кривая III - канал /3/, кривая I - полное сечение реакции $\text{He}^3 + \text{T}$.

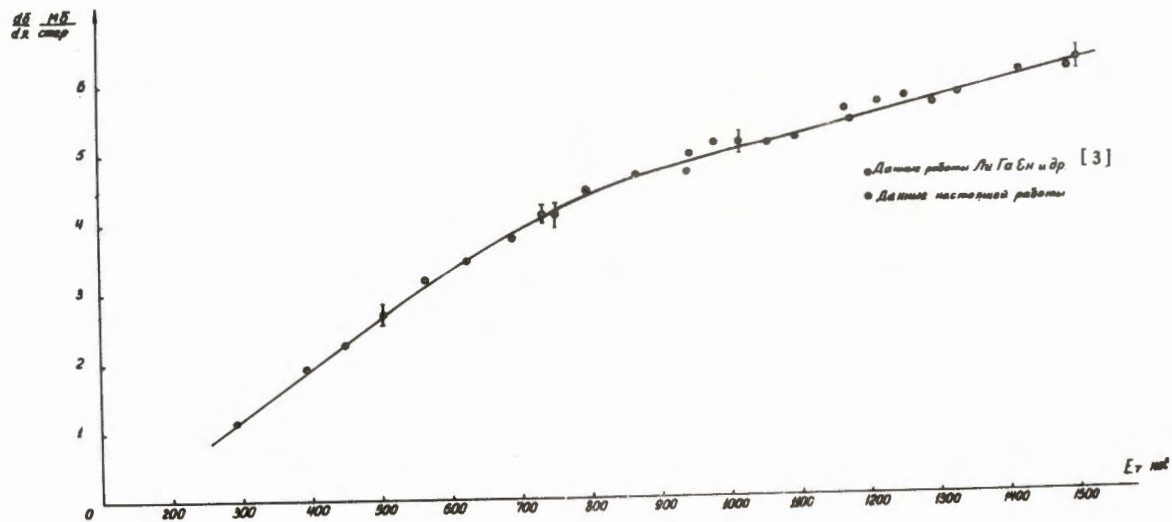


Рис. 11. Дифференциальные сечения реакции $\text{He}^8 + \text{T}$ под углом 90° .