

426

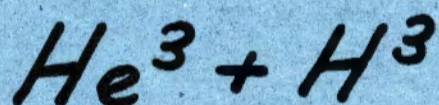
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-426

Ля Га Би, Г.М.Осетинский, Н.Содном, А.М.Говоров,
И.В.Сизов, В.И.Салацкий

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ

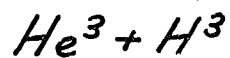


Дубна 1959 год

P-426

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ



Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

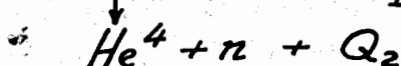
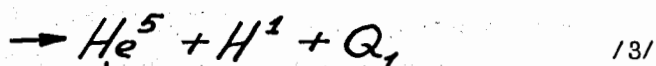
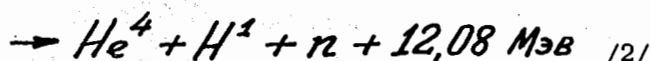
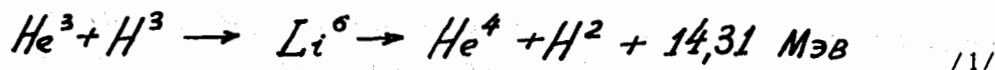
510/7 mp.

А н н о т а ц и я

Определены полные сечения реакций $He^3 + H^3$ в интервале энергий тритонов 150-970 Кэв. Измерения производились на тонкой газовой мишени. В указанном интервале энергий полное сечение монотонно возрастает от $3,2 \cdot 10^{-27}$ см² до $63,0 \cdot 10^{-27}$ см². Измерены соотношения сечений между ветвями реакции в зависимости от энергии, а также определена энергия распада He^5 на α - частицу и нейтрон.

§ 1. В в е д е н и е

Исследованию реакции



посвящены всего две экспериментальные работы. Первая из них, опубликованная в 1951 году Алмквистом и др.^{/1/}, имеет качественный характер. Работа выполнена при энергии 200 Кэв на неразделенном пучке He^4 с 10% примесью He^3 на твердой тритиевой мишени. Авторы впервые получили энергетический спектр протонов, дейтронов и α -частиц из их пробегов в фотоэмульсии Ильфорд С-2. Вторая работа, выполненная Моуком^{/2/} и опубликованная в 1953г, отличается большей полнотой. В ней получены значения полного сечения реакции $\text{He}^3 + \text{H}^3$, приводятся данные о соотношении сечений между ветвями реакции, определяется энергия распада He^5 на α -частицу и нейтрон. Полное сечение реакции рассчитывалось на основании измерения дифференциального сечения выхода протонов и дейтронов из ветвей реакции /1/, /2/, /3/ в предположении, что все частицы испускаются изотропно в системе центра масс. Измерения проводились на твердой тритиевой мишени. Точность определения полного сечения оценивается $\pm 20\%$.

Настоящая работа в отличие от предыдущих выполнена на тонкой газовой мишени. Полное сечение реакции определялось методом интегрального счета нейтронов от ветвей реакции /2/, /3/ с учетом соотношения между отдельными ветвями реакции. Это соотношение было найдено из спектров заряженных частиц, измеренных под углом 90° в лабораторной системе.

В качестве контрольного опыта интегральным методом в той же геометрии были измерены сечения реакции $\text{H}^2 + \text{H}^3$. На основании измеренных спектров реакции $\text{He}^3 + \text{H}^3$ производилась оценка энергии распада He^5 на α -частицу и нейтрон.

§ 2. Техника эксперимента

Ионы трития, ускоренные электростатическим генератором и проанализированные по импульсам магнитным анализатором, пройдя ряд ограничивающих диафрагм, попадали на входное окно газовой мишени /рис. 1/. Тонкая газовая мишень помещалась в вакуумной камере /рис. 2/, расположенной в центре бака с 2% водным раствором $KMnO_4$. Мишень изолировалась от корпуса вакуумной камеры и являлась ловушкой тока. Под углом 90° к направлению пучка тритонов был установлен фотоумножитель ФЭУ-25 с кристаллом CsJ , который служил монитором постоянства выхода продуктов реакции. Входное окно газовой мишени диаметром 7,5 мм заклеивалось никелевой фольгой толщиной 0,9-1,4 мг/см². Боковое окно мишени, обращенное к сцинтилляционному счетчику, заклеивалось никелевой фольгой толщиной 1 мг/см². Никелевые фольги изготовлялись методом распыления тетракарбонила никеля в вакууме. Потери энергии тритонов в фольгах определялись с помощью дополнительного магнитного анализатора /3/. При подготовке к эксперименту нами была разработана методика измерения толщины фольги в мг/см² /4/. По величине $\Delta E = f(E)$ и толщине фольги в мг/см² была найдена удельная тормозная способность в никеле для тритонов в интервале энергий 300-1000 Кэв. График этой зависимости представлен на рис. 3. Для определения температуры газовой мишени внутрь ее была введена термопара. Газовая мишень соединялась с интегратором тока, отсчеты которого регистрировались системой механических счетчиков, определявших как весь заряд, так и заряд, приносимый тритонами за каждые 2 минуты. Последнее необходимо для учета возможных флюктуаций тока пучка во времени. Газовая мишень наполнялась He^3 стопроцентной концентрации до давления 60 мм рт.ст. Проведение экспериментов с He^3 потребовало разработки специальной установки для наполнения и очистки He^3 . С помощью этой установки газ после окончания одного цикла облучения /60 минут/ откачивался из газовой мишени без потерь и вновь помещался в баллон первоначального хранения. Поскольку такой цикл работы производился ежедневно в течение многих месяцев, установка должна обладать большой надежностью и не загрязнять He^3 натечкой воз-

духа. Как показали масс-спектрометрические измерения, He^3 после трехмесячной работы примесей практически не имел^{x/}.

Потеря энергии тритонов в газе мишени, наполненной He^3 , определялась по расчетной кривой, полученной на основании данных, приведенных в обзоре Аллисона и Уоршоу по тормозным способностям протонов в He^4 /5/ /рис.4/.

Напряжение электростатического генератора стабилизировалось с точностью 0,1-0,2%. Роль индикатора напряжения выполнял ток магнитного анализатора, стабилизированный в пределах $\pm 0,02\%$. Напряжение генератора калибровалось по резонансным пикам реакции $F(p, \alpha)$. Ионы трития создавались высокочастотным ионным источником. Источник обеспечивал образование 80-85% атомарной компоненты. Газ, направленный в ионный источник, состоял из смеси 8% трития и 92% гелия-4. Выходящий из ионного источника газ собирался специальной системой улавливания, установленной на выходе ртутных насосов. Примесь ионов $H^+H^+H^+$ в пучке H^3+ определялась по соотношению выходов изучаемой реакции на пучке H^3+ и H^3H^3+ при эквивалентных энергиях.

Поток нейтронов, возникающий при взаимодействии ядер трития с He^3 в относительных единицах определялся измерением наведенной β - активности марганца в растворе $KMnO_4$. Абсолютное значение потока нейтронов от мишени получалось сравнением с потоком от стандартного $Ra-\alpha-Be$ источника в том же растворе. При таком сравнении необходимо учитывать различие в энергетических спектрах обоих источников нейтронов, так как доля нейтронов, выходящих из бака, для источников нейтронов с отличающимися энергетическими распределениями будет различной. Для определения доли нейтронов, выходящих из бака, измерялись кривые распределения нейтронов по радиусу бака с раствором $KMnO_4$ /кривые Бьерджа-Вескотта/. Измерения производились пропорциональным счетчиком, наполненным обогатченной B^{10} смесью BF_3 , до давления 600 мм рт.ст. Диаметр счетчика - 18 мм, длина - 300 мм. Кривые распределения представлены на рис. 5. Как видно из рисунка, число выходящих из бака нейтронов от реакции $He^3 + H^3$ и $Ra-\alpha-Be$ источника не превышает 1%. Поправки на различное поглощение нейтронов из реакции $He^3 + H^3$ и $Ra-\alpha-Be$ источника в стенках камеры и газе мишени вследствие их малости не вводились.

^{x/} Анализ He^3 производился в Лаборатории проф.Алексеевского Н.Е. /Институт Физ.пробл.АН СССР/, которому авторы приносят глубокую благодарность.

Измерения выхода нейтронов из реакции $He^3 + H^3$ производились по схеме: фон-эффект-фон. Фон определялся при бомбардировке мишени, наполненной He^4 . В расчетах принималось среднее значение фона. Раствор облучался в течение 60 минут при непрерывном его перемешивании. После облучения из раствора брались 5 проб по 1 литру. Каждая проба пропусклась через бумажный фильтр; β - активность осадка / Mn^{56} / измерялась на двух счетных установках типа "Б".

Расчет сечения производился по формуле:

$$\sigma = \frac{N \cdot Q \cdot \eta}{N_{cm} \cdot i \cdot 6,24 \cdot 10^{12} \cdot n},$$

где N , N_{cm} - активность, наведенная в растворе $KMnO_4$ нейтронами от реакции $He^3 + H^3$ и $Ra-\alpha-Be$ источником; i - ток падающих тритонов в мка; Q - число нейтронов, испускаемых стандартным источником / $Q = 4,9 \cdot 10^5$ н/сек на апрель 1957 г. / n - число атомов газа в мишени на 1 см^2

$$n = \frac{L_t \cdot l_{эф} P_{mm}}{760},$$

где L_t - число Лошмидта при температуре t , $l_{эф}$ - эффективная длина газовой мишени, P_{mm} - давление газа в мишени в мм.рт.ст.

η - поправка на неравномерность тока.

$$\eta = \frac{\sum \Delta M_i (1 - e^{-\lambda t_0})}{\sum \frac{\Delta M_i}{\Delta t_i} (1 - e^{-\lambda \Delta t_i}) \cdot e^{-\lambda t_i}},$$

где ΔM_i - отсчеты интегратора тока за время интервала Δt_i , t_i - время между концом Δt_i и концом облучения, t_0 - время полного облучения раствора $KMnO_4$, λ - постоянная распада марганца.

Эффективная длина мишени отличается от геометрической вследствие влияния эффекта многократного рассеяния при прохождении пучком тритонов сравнительно толстого входного окна газовой мишени. Величина $l_{эф}$ может быть определена из углового распределения тритонов после прохождения

никелевой фольги и геометрии мишени. Расчет производился по формуле:

$$l_{эф} = \frac{\sum J_i l_i \sin \theta_i}{\sum J_i \sin \theta_i},$$

где J_i - интенсивность рассеянных тритонов под углом θ_i , l_i - геометрическая длина мишени под углом θ_i .

Типичные экспериментальные кривые углового распределения тритонов, выходящих из никелевой фольги, представлены на рис. 6.

Для определения соотношения между ветвями реакции $He^3 + H^3$, а также измерения дифференциальных сечений, применялся спектрометр, состоящий из фотоумножителя ФЭУ-С и кристалла CsJ /рис. 7/. Диаметр кристалла - 20 мм, толщина - 1,8 мм. Спектрометр устанавливался под углом 90° относительно пучка ускоренных тритонов. При измерении спектров импульсы от фотоумножителя через катодный повторитель и усилитель направлялись на 50-канальный анализатор импульсов^{х/}. Собранная система была градуирована по энергиям и обладала хорошей линейностью. Градуировка производилась по дейтронам с энергиями 9,65 Мэв; 5,48 Мэв и 4,41 Мэв. Дейтроны с энергией 9,65 Мэв получались из реакции $He^3 + H^3$ при энергиях налетающих тритонов 636 Кэв, дейтроны последующих энергий получались в результате замедления 9,65 Мэв дейтронов алюминиевыми фольгами толщиной 59,08 мг/см², и 83,76 мг/см². В дополнение к проведенной градуировке проверялась линейность спектрометра при бомбардировке кристалла CsJ протонами с энергиями 7,37; 6,29; 4,41 Мэв, которые получались путем замедления протонов из ветви /3/ $E_H = 9,61$ Мэв/ в алюминиевых фольгах толщиной 59,08; 83,76 и 118,2 мг/см². График градуировки спектрометра представлен на рис. 8.

Оценка потери энергии протонов и дейтронов при прохождении алюминиевых фольг проводилась по таблице пробег - энергия Штернхаймера^{/6/}. Установка фольг разной толщины на пути частиц, летящих из газовой мишени к кристаллу CsJ , осуществлялась без нарушения вакуума посредством вращения барабана с набором этих фольг.

^{х/} В работе применялся анализатор с механическими счетчиками, разработанный и изготовленный группой Р.Г.Офенгендена в Институте физики АН УССР.

Измерение полного спектра частиц из реакции $He^3 + H^3$ и калибровка спектрометра производилась при диафрагме диаметром 9 мм. Для лучшего разрешения пиков ветвей /1/, и /3/ измерения производились на диафрагме диаметром 5 мм и алюминиевой фольге $59,08 \text{ мг/см}^2$.

При измерении дифференциальных сечений импульсы от фотоумножителя через катодный повторитель и усилитель направлялись по двум каналам: 1/ через дискриминатор на пересчетную установку и 2/ на 50-канальный анализатор импульсов. Измерение выхода реакции производилось при таком уровне дискриминации, при котором не считаются импульсы от α -частиц ветви реакции /1/ и импульсы шумов. Учитывалось, что при такой дискриминации пересчетное устройство не будет также считать часть импульсов от протонов с малой энергией из ветви /2/.

§ 3. Результаты измерений

1/ Сечение нейтронных ветвей реакции $He^3 + H^3$

В таблице 1 представлены результаты измерения сечений нейтронных ветвей реакции, полученные интегральным методом счета нейтронов. В приведенные результаты расчетным путем вводилась поправка на нейтрализацию пучка тритонов на пути между магнитным анализатором электростатического генератора и газовой мишенью. Ошибки, приведенные в таблице 1, складываются из погрешностей следующих измерений:

1. Измерения β - активности, наведенной в растворе нейтронами из реакции $He^3 + H^3 \sim 3\%$.

2. Измерения β - активности от нейтронов $Ra - \alpha - Be$ источника $\sim 1\%$.

3. Определения числа падающих тритонов $\sim 1\%$.

4. Числа атомов мишени $\sim 1,7\%$.

5. Градуировки $Ra - \alpha - Be$ источника $\sim 2,5\%$.

6. Определения энергии пучка тритонов внутри газовой мишени. Эта ошибка составляет 1,5 % при $E_{H^3} = 970 \text{ КэВ}$ и 8% при $E_{H^3} = 150 \text{ КэВ}$.

Т а б л и ц а I

Средняя энергия тритонов		Сечение нейтронных ветвей реакции $He^3 + H^3$		Полное сечение $\sigma = \sigma_n \cdot \frac{1}{0,59}$		Ошибка определения полного сечения с учетом ошибки в измер. энергии $\delta\sigma\%$
E_{H^3}	$\pm\delta E_{H^3}$	$\sigma_n \cdot 10^{27}$	$\pm\delta\sigma_n$	$\sigma \cdot 10^{27}$	$\pm\delta\sigma$	
кэВ	%	см ²	%	см ²	%	
149	7,5	1,9	31	3,2	31	35
240	5	5,58	7,7	9,5	8,6	13,6
292	3,5	9,0	5,0	15,3	6,3	8,2
344	3,1	10,2	7,1	17,3	7,8	9,6
382	3,0	12,6	4,6	21,4	6	7,3
390	4,5	13,4	5,7	22,8	6,9	9,5
439	3,4	15,5	6,2	26,4	7,3	9,2
449	2,5	18,0	4,8	30,6	6,2	7,4
456	2,9	15,7	4,7	26,7	6,1	7,5
521	3,5	19,9	5,5	33,8	6,7	8,2
545	2,4	20,3	5,1	34,5	6,4	7,1
556	2,4	20,1	5,5	34,1	6,8	7,6
580	2,0	20,7	4,8	35,2	6,1	6,7
592	3,1	22,3	5,1	37,9	6,4	7,4
626	2,0	25,4	4,6	43,1	6,0	6,4
646	2,2	21,1	4,5	35,8	6,0	7,0
659	2,9	25,0	5,0	42,5	6,3	7,0
684	2	25,7	5,0	43,6	6,4	6,9
692	1,9	28,4	4,6	48,3	6,1	6,4
706	1,8	25,7	4,7	43,6	6,1	6,5
841	1,7	34,5	6,1	58,6	7,2	7,4
900	1,6	38,6	4,5	65,5	5,9	6,2
969	1,6	37	4,9	62,8	6,3	6,4

2/. Соотношение между ветвями реакции $He^3 + H^3$

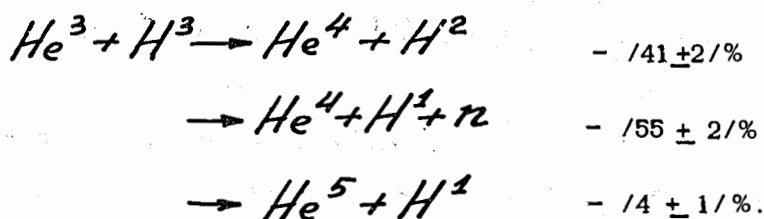
Для определения соотношения между различными ветвями реакции $He^3 + H^3$ /в зависимости от энергии налетающих тритонов/ измерялся энергетический спектр заряженных частиц под углом 90° в лабораторной системе координат. Один из таких спектров представлен на рис. 9. Спектр частиц имеет два пика, обусловленных α -частицами и дейтронами ветви /1/. Между этими пиками находится непрерывный спектр протонов от ветви /2/. Протонный пик, соответствующий основному состоянию He^5 , по энергии близок к пику дейтронов ветви /1/ и поэтому спектрометром не разрешается. Необходимое разрешение этих пиков можно получить, используя различие пробегов протонов и дейтронов ветвей /1/ и /3/ в каком-либо веществе. Для этого на пути частиц от газовой мишени к сцинтилляционному счетчику устанавливалась алюминиевая фольга толщиной $59,08 \text{ мг/см}^2$. После прохождения этой фольги частицы будут иметь существенно различные энергии /например, протоны $7,37 \text{ Мэв}$, а дейтроны $5,48 \text{ Мэв}$ при $E_{H^3} = 636 \text{ Кэв}$ / и могут быть легко разрешены. На рис. 10 представлен один из полученных спектров. Аналогичные спектры были сняты при одиннадцати значениях энергий бомбардирующих тритонов в интервале $150-950 \text{ Кэв}$.

Расчет соотношения между ветвями реакции $He^3 + H^3$ может быть осуществлен только в том случае, если будет четко определена граница спектра каждой ветви реакции. Установление границ спектров связано с определенными трудностями, так как на спектр частиц ветви /2/ в начале и в конце энергетической шкалы накладываются пики, соответствующие α -частицам и дейтронам ветви /1/, что приводит к неопределенности в экстраполяции этого спектра к нулю и к максимальному значению. Вследствие такой неопределенности было решено измерить границы непрерывного спектра протонов ветви /2/ в начале и в конце энергетической шкалы и от нее вести экстраполяцию к нулю в разумных пределах. Вычисленное в этих пределах среднее значение площади, ограничиваемой кривой спектра, принимается за истинную площадь, а отклонение предельных значений от среднего включается в ошибку экстраполяции. Такой метод обработки не вносит большой ошибки в определение отношения сечений ветвей /1/ и /2/ к полному сечению. Она велика лишь при определении этого отношения для ветви /3/, поскольку площадь, занимаемая этим пиком, мала по сравнению с площадью полного спектра.

Для определения $E_{мин}$, до которой продолжается непрерывный спектр ветви /2/ были измерены спектры частиц при нескольких энергиях налетающих тритонов, когда на пути частиц из газовой мишени устанавливалась фольга толщиной 8 мг/см^2 , которая не пропускала α -частицы от ветви /1/ и почти не поглощала протоны от ветви /2/. Таким образом было установлено, что плоская часть непрерывного спектра простирается от 1,8 - 2 Мэв до 8-8,2 Мэв.

Данные расчета соотношения между ветвями реакции в зависимости от энергии налетающих тритонов представлены в таблице 11.

Как видно из таблицы, в интервале исследуемых энергий соотношения между ветвями реакции $He^3 + H^3$ остаются неизменными и в среднем составляют:



Т а б л и ц а 11

№ № пп	Энергия тритонов в мишени E_{H^3} КэВ	$\frac{\sigma_1}{\sigma_{полн}}$	$\frac{\sigma_2}{\sigma_{полн}}$	$\frac{\sigma_3}{\sigma_{полн}}$
I.	293	0,41	0,56	0,03
2.	344	0,44	0,52	0,04
3.	394	0,42	0,53	0,05
4.	449	0,41	0,55	0,04
5.	506	0,38	0,58	0,04
6.	565	0,39	0,57	0,04
7.	565	0,43	0,52	0,05
8.	626	0,44	0,53	0,03
9.	692	0,43	0,53	0,04
10.	753	0,41	0,54	0,05
II.	826	0,37	0,57	0,06
Средний результат		0,41	0,55	0,04

Представленные в скобках ошибки измерений являются квадратичными ошибками, умноженными на коэффициент Стюдента-Фишера, обеспечивающий надежность 95%. Они состоят:

- 1/ Из ошибки экстраполяции спектров
- 2/ Ошибки многократных измерений площади спектра
- 3/ Статистической ошибки.

3/. Определение полных сечений реакции $He^3 + H^3$

Используя полученные результаты по определению сечений нейтронных ветвей /2/ и /3/ и соотношения вкладов от различных ветвей, было подсчитано полное сечение реакции $He^3 + H^3$. Данные расчета были представлены в таблице 1 и на рис. 11.

В ошибку полного сечения включены ошибки в определении сечений нейтронных ветвей и соотношения между ветвями.

4/ Определение сечения реакции $H^2(t, n)He^4$

В целях контроля работы всей аппаратуры было произведено измерение сечения реакции $H^2 + H^3$ интегральным методом. Сечение реакции $H^2 + H^3$ в широком интервале энергий известно с хорошей точностью /3-5% / и, естественно, совпадение результатов, полученных нашей методикой, с литературными данными явится убедительным доказательством ее надежности в определении сечений нейтронных ветвей реакции $He^3 + H^3$.

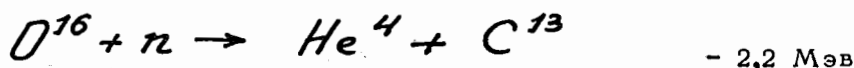
Абсолютное значение потока нейтронов от реакции $H^2 + H^3$ определялось, как и в опытах с реакцией $He^3 + H^3$, путем сравнения его с потоком от стандартного $Ra-\alpha-Be$ источника в том же растворе $KMnO_4$.

При вычислении сечения реакции $H^2 + H^3$ учитывалось два важных обстоятельства:

1. Количество нейтронов, выходящих из бака для реакции $H^2 + H^3$ больше, чем для $Ra-\alpha-Be$ источника.

2. Поглощение нейтронов из реакции $H^2 + H^3$ кислородом водного раствора $KMnO_4$ значительно превышает поглощение нейтронов от $Ra-\alpha-Be$ источника.

Поглощение происходит за счет реакции типа:



Полное сечение этих реакций для 14 Мэв нейтронов составляет 0,36 барна^{17/}.

Учет числа нейтронов, выходящих из бака, осуществляется экстраполированием экспериментальной кривой Бьерджа-Вескотта от границы бака до бесконечности /рис.5/. Экстраполяция производилась по формуле $N(R) = aR^2 e^{-bR}$, где R - расстояние от источника до детектора; a, b - некоторые постоянные, определяемые на основании данных 20 экспериментальных точек. Ошибки экстраполяции не превышают 2%.

Определение отношения числа нейтронов реакции $H^2 + H^3$, поглощенных кислородом раствора $KMnO_4$, к числу поглощенных нейтронов $Ra-\alpha-Be$ источника произведено путем сравнения интегралов распределения нейтронов в баке от обоих источников, когда этот бак наполняется сначала раствором $KMnO_4$, а затем некоторым веществом, не содержащим кислород. В качестве такого вещества использовалось кабельное масло С-200, имеющее малое количество легко окисляемых примесей. Измерение распределения нейтронов в растворе $KMnO_4$ и в масле производилось, как и раньше, тем же счетчиком нейтронов.

Из проведенных измерений было найдено, что эффект поглощения нейтронов из реакции $H^2 + H^3$ кислородом водного раствора $KMnO_4$ по сравнению с этим же эффектом поглощения для нейтронов $Ra-\alpha-Be$ источника больше на 18%.

Полные сечения реакции $H^2 + H^3$ в интервале энергии 190-900 Кэв представлены на рис. 12. Ошибка измерений не превышает $\pm 8\%$. Полученные результаты в пределах ошибок совпадают с данными работ [8,9,10], специально посвященных измерениям сечений реакции $H^2 + H^3$. Это показывает что экспериментальная аппаратура, используемая для измерения выхода нейтронов реакции $He^3 + H^3$, обеспечивает получение правильного результата.

5/ Сечения реакции $He^3 + H^3$, измеренные методом счета заряженных частиц

Измерения дифференциальных сечений реакции $He^3 + H^3$ под углом 90° методом счета заряженных частиц производились в тех же условиях, что и определение соотношения между ветвями реакции. Поскольку в пучке ускоренных ионов трития присутствовали ионы дейтерия (примесь составляет 0,5 - 0,6%), в измеренный выход заряженных частиц вводилась поправка на вклад от реакции $He^3 + H^2 \rightarrow He^4 + H^1$.

Данные расчета дифференциального сечения под углом 90° представлены в таблице 111. Они получены на основании нескольких серий измерений. Приведенные в этой же таблице полные сечения реакции $He^3 + H^3$ получены в предположении об изотропии угловых распределений. Используемые для расчета данные дифференциальных сечений взяты в лабораторной системе координат, так как их значения в этой системе и в системе центра масс отличаются в среднем на 0,5 - 0,7%.

Квадратичная ошибка измерения дифференциального сечения в среднем составляет 6%. Она складывается из:

1. Ошибки определения геометрического фактора - 3,3%.
2. Ошибки определения числа частиц газовой мишени - 1,8%.
3. Ошибки определения числа налетающих частиц - 1%.
4. Ошибки определения энергии тритонов в центре газовой мишени от 1,5 до 3,5% при энергиях 830 Кэв и 290 Кэв соответственно.

Т а б л и ц а 111

№ № пп	E_{H^3} КэВ	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{90^\circ}^x$ $\times 10^{27} \text{ см}^2$	$\delta\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ %	$\sigma_{\text{полн}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{90^\circ} \cdot 4\pi$ $\times 10^{27} \text{ см}^2$	$\Delta\sigma_{\text{полн}}^x$ $\times 10^{27} \text{ см}^2$
1.	293	1,14	6,5	14,3	$\pm 0,9$
2.	344	1,39	6,7	17,5	$\pm 1,2$
3.	394	1,89	5,6	23,8	$\pm 1,6$
4.	449	2,23	5,6	28,0	$\pm 1,6$
5.	506	2,68	5,2	33,7	$\pm 1,8$
6.	565	3,17	4,8	39,8	$\pm 1,9$
7.	626	3,43	4,8	43,1	$\pm 2,1$
8.	692	3,74	4,7	47,0	$\pm 2,2$
9.	753	4,08	4,5	51,3	$\pm 2,3$

в/ Определение энергии распада He^5

Используя экспериментально найденную энергию протонов от ветви /3/ была вычислена энергия распада He^5 на нейтрон и α - частицу. Расчет производился по формуле:

$$E(He^5) = 0,4 E_{H^3} - 1,2 E_{H^1} + 12,08 \text{ МэВ,}$$

где E_{H^3} - энергия налетающих тритонов в лабораторной системе координат; E_{H^1} - энергия протонов от ветви /3/ в лабораторной системе координат, равная /9,8 \pm 0,1/ Мэв. Полученная по этой формуле энергия распада He^5 оказалась равной /0,8 \pm 0,1/ Мэв.

§ 4. Обсуждение результатов

Приведенные в таблицах 1,111 и на рис. 11 полные сечения реакции $He^3 + H^3$, измеренные двумя независимыми методами, согласуются

между собой в пределах ошибок. На этом же рисунке представлены результаты работы Моука^{/2/}. Сечения, полученные Моуком, в три раза выше, чем в настоящей работе. Такое большое расхождение объяснить довольно трудно. Мы считаем, что совпадение значений полных сечений, полученных в настоящей работе, двумя независимыми методами, а также положительный результат контрольного опыта по определению сечения реакции $H^2 + H^3$, убедительно говорят в пользу надежности полученных нами значений полных сечений.

Данные настоящей работы по соотношениям между ветвями реакции $He^3 + H^3$ хорошо согласуются с данными Моука.

Что касается энергии распада He^5 , то полученное ее значение $0,8 \pm 0,1$ Мэв оказалось близким к величине $E(He^5)$, приведенной в обзоре Айзенберга и Лауритсена^{/11/} $1 \pm 0,1$ Мэв и в работе Моука^{/2/} $0,95 \pm 0,07$ Мэв.

Авторы выражают глубокую благодарность проф. В.П.Джелепову, проф. И.М.Франку и Л.И.Лapidусу за постоянный интерес к работе и обсуждение полученных результатов, а также группе обслуживания электростатического генератора в составе И.А.Чепурченко, Н.Н.Счетчикова, М.В.Савенковой.

Рукопись поступила в издательский отдел 30 октября 1959 года.

Л и т е р а т у р а

1. E.Almgvist, K.W.Allen, J.T.Devan, T.P.Pepper. Phys.Rev. 83, 202 (1951).
2. C.D.Mook. Phys.Rev. 92,383 (1953).
3. Г.М.Осетинский. Приложение № 5 к журналу "Атомная энергия", 1957г., стр. 94.
4. Г.М.Осетинский, М.В.Савенкова. ПТЭ, № 6, 1959 г.

5. S.K.Allison, S.D. Warchaw. Rev.Mod.Phys. 25,779 (1953).
6. R.M.Sternheimer. Таблицы "пробег-энергия" Колумбийского университета
1958 г.
7. A.B.Lillie. Phys.Rev.87, 716 (1952).
8. I.P.Conner, T.W.Bonner, S.R.Smith. Phys.Rev. 88, 458, (1952).
9. А.Т.Корицкий. Диссертация АН СССР, 1955 г.
10. Е.М.Балабанов, И.Я.Барит, Л.Н.Кацауров, И.М.Франк, И.В.Штраних.
Приложение № 5 к журналу "Атомная энергия", 1957 г. , стр. 57.
11. F. Ajzenberg and T. Lauritsen. Rev.Mod.Phys. 24, 321, (1952).

510/7 мр.

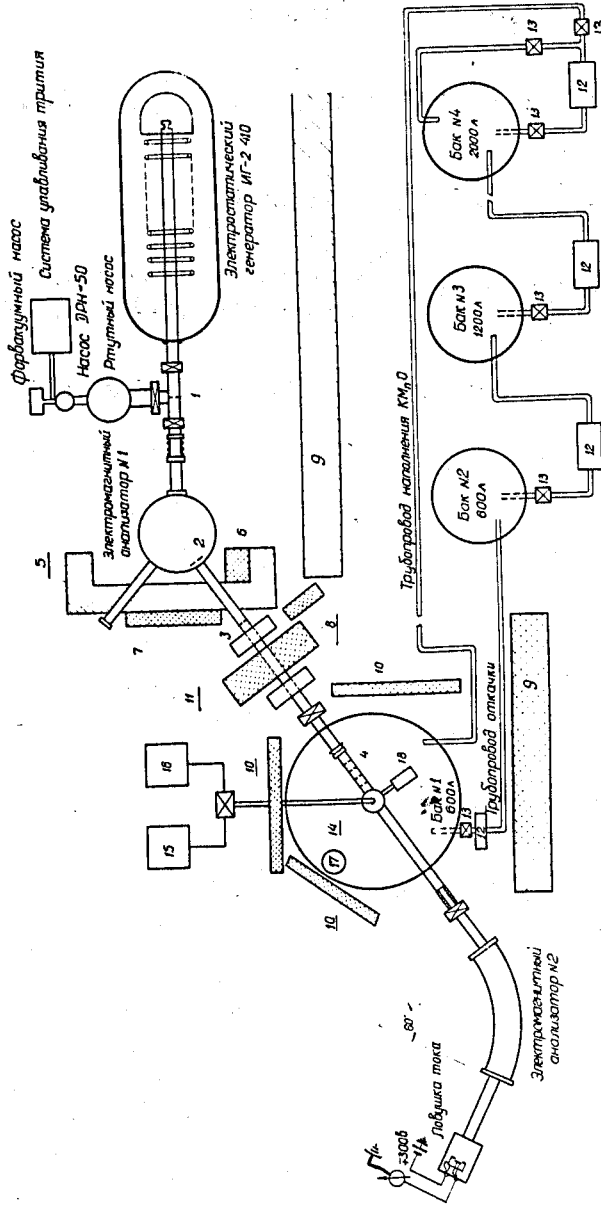


Схема опыта по определению полного сечения выхода нейтронов реакции $He^3 + n$
 1, 2, 3, 4 - ограничивающие диафрагмы; 5, 6, 7, 8, 9 - защита из парафина, дурлы и свинца;
 10 - защита из карбида, дора и кадмия; 11 - флуоресцирующие квадратные листы;
 12 - центробежные насосы типа "К"; 13 - запорные вентили; 14 - место расположения газовой мишени;
 15 - система наполнения и улавливания He; 16 - система наполнения He; 17 - счетчик нейтронов;
 18 - симплационный счетчик.

Рис. 1

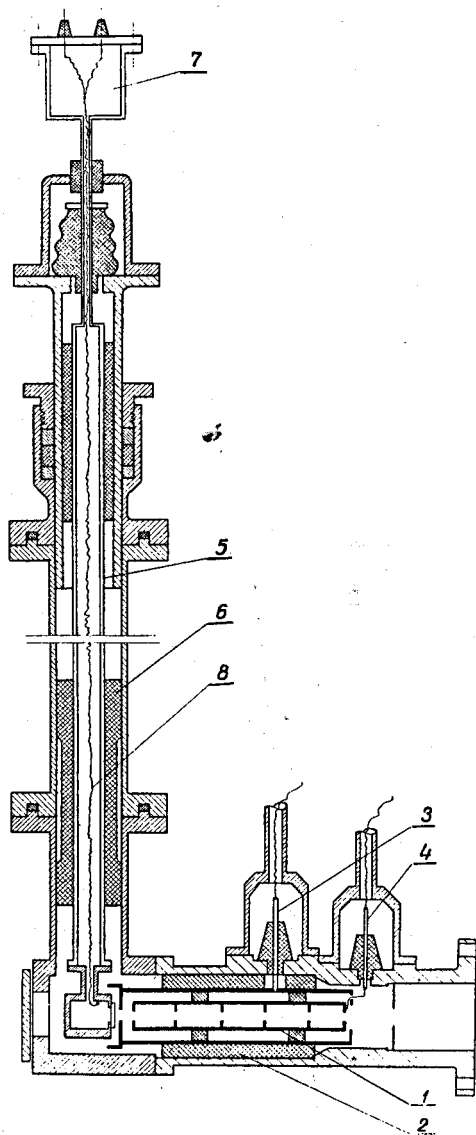


Схема „камеры-уголка“

1 Коллиматор 2. Изолятор коллиматора 3,4. Изолированные входы 5. Шток с камерой газовой мишени 6. Изолятор штока 7. Буферный объем 8. Термопара.

Рис. 2.

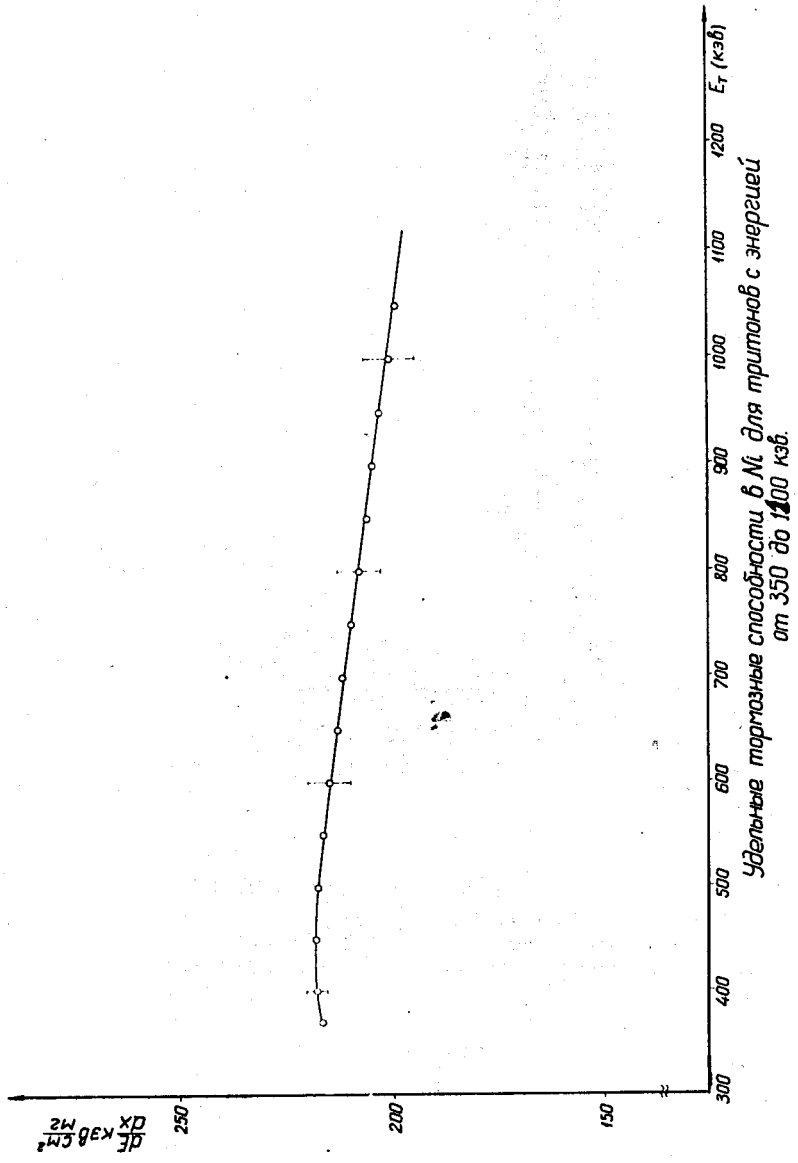
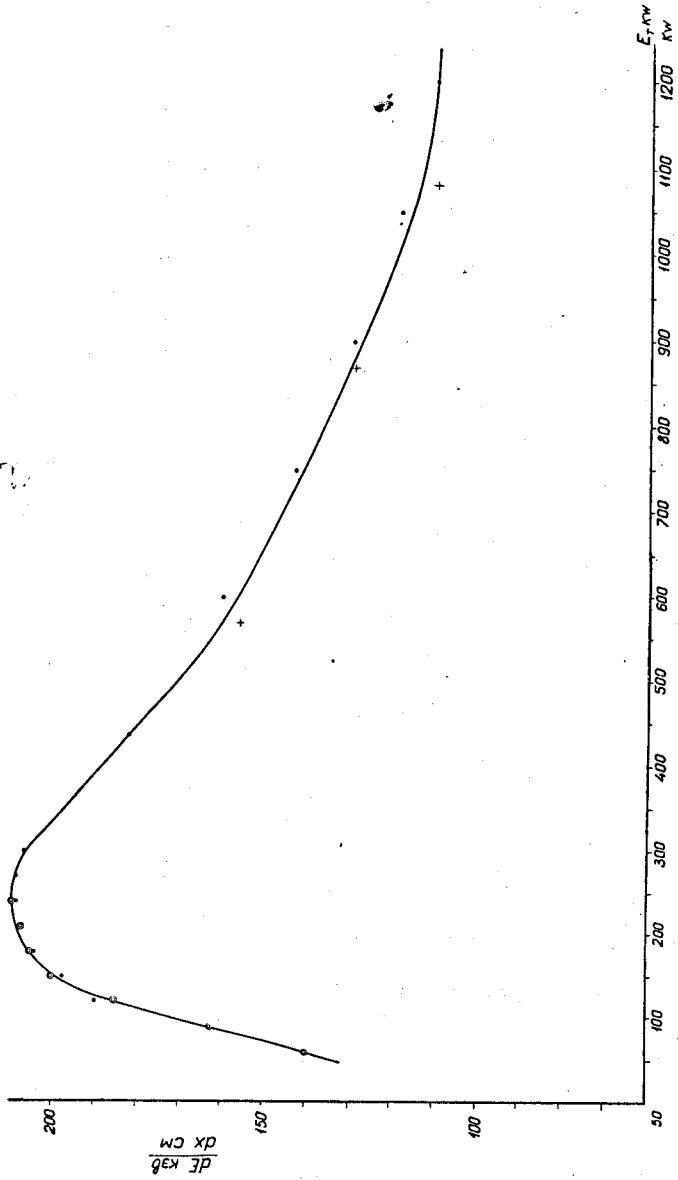
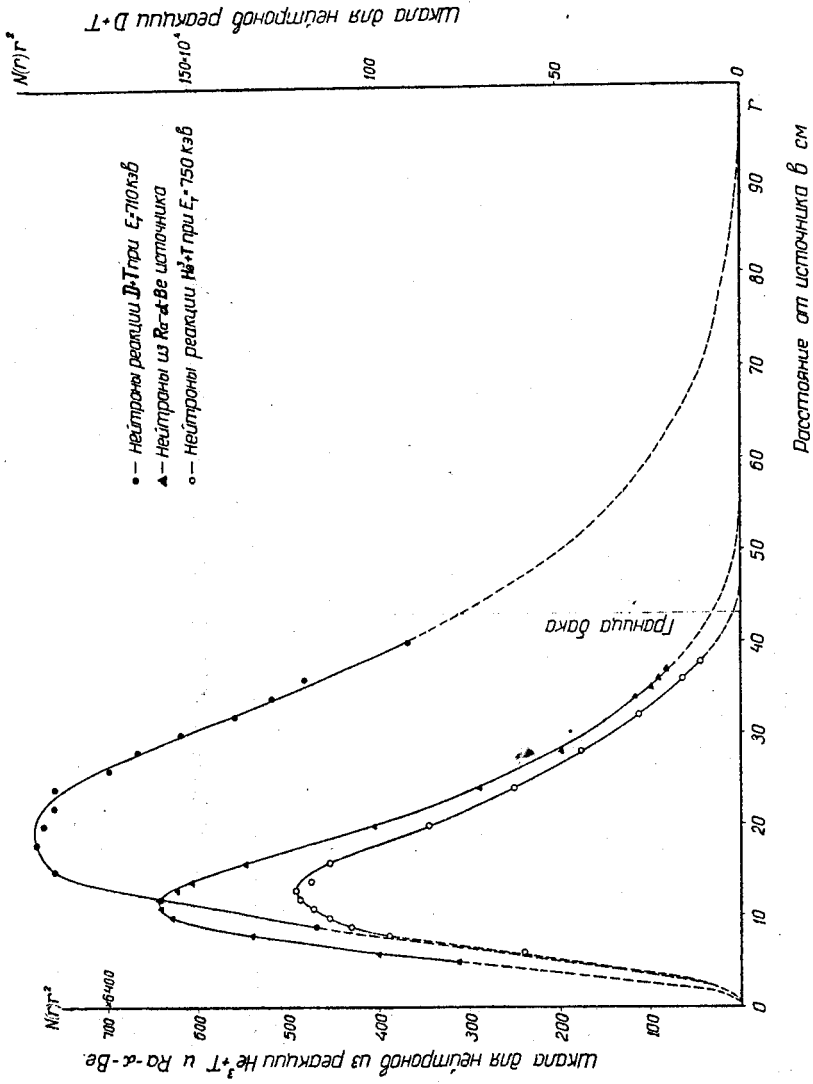


Рис. 3



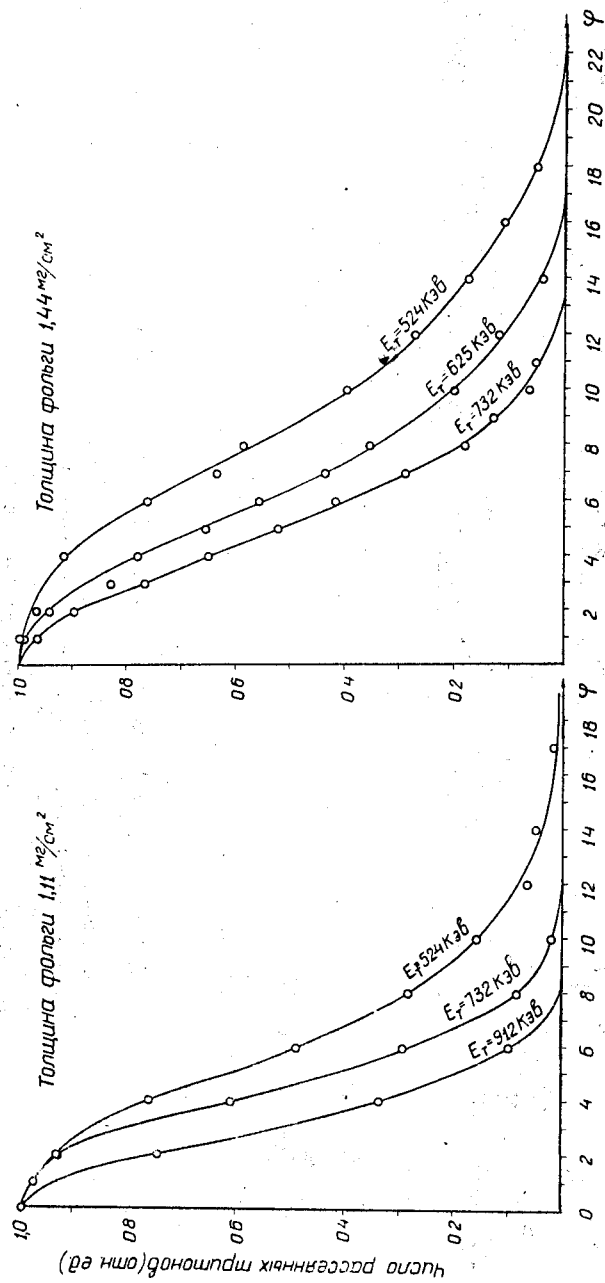
Удельные тормозные способности He^3 для тритонов с энергией 70-1200 кэВ.

Рис. 4.



Распределение нейтронов в растворе K_2MnO_4 для различных источников нейтронов.

Рис. 5.



Угловое распределение тритонов после прохождения
никелевой фольги.
 E_T — энергия падающих тритонов.

Рис. 6.

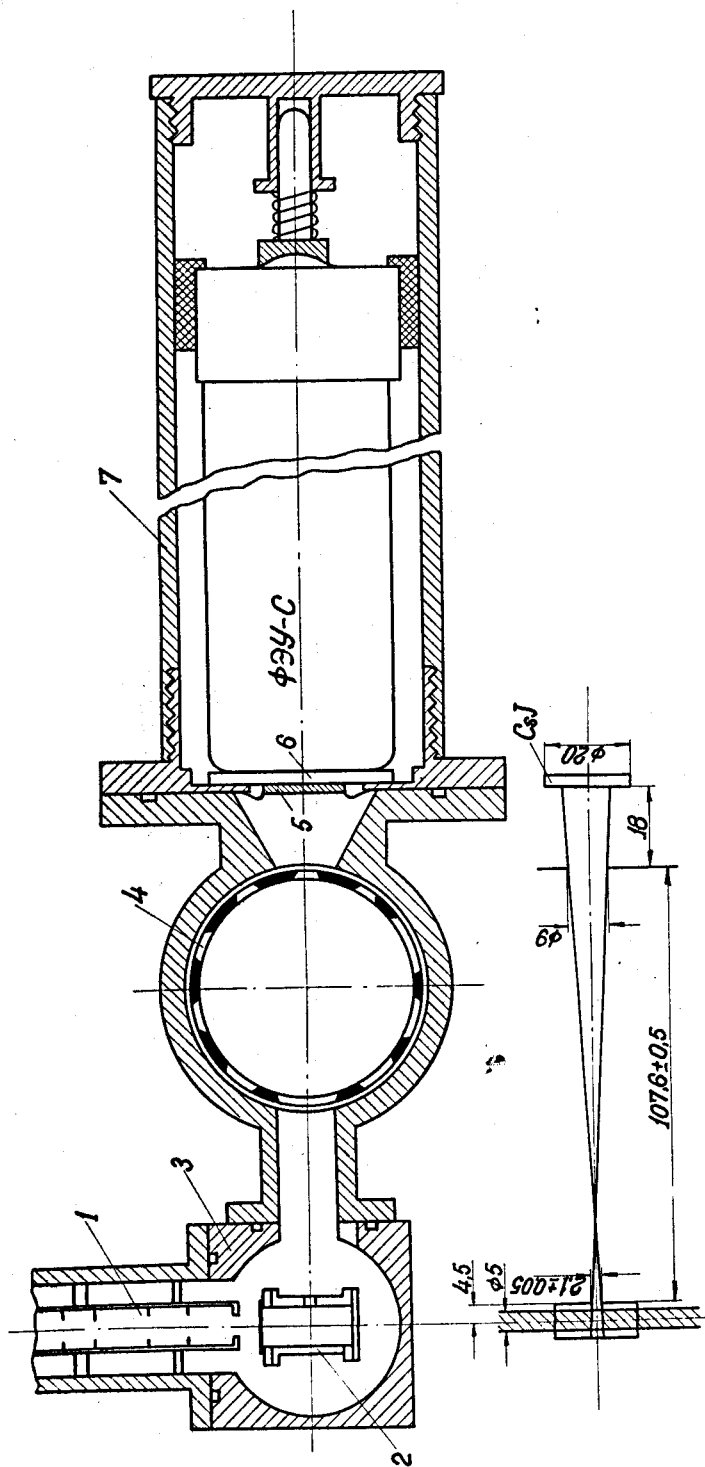


Схема сцинтилляционного спектрометра.

- 1 - Коллиматор ; 2 - Газовая мишень ; 3 - Вакуумная камера газовой мишени ; 4 - Барабан с набором фольг Al ; 5 - Кристалл CsJ ; 6 - Стеклокварцевая пластинка ; 7 - Ложка фотомножителя

Рис. 7.

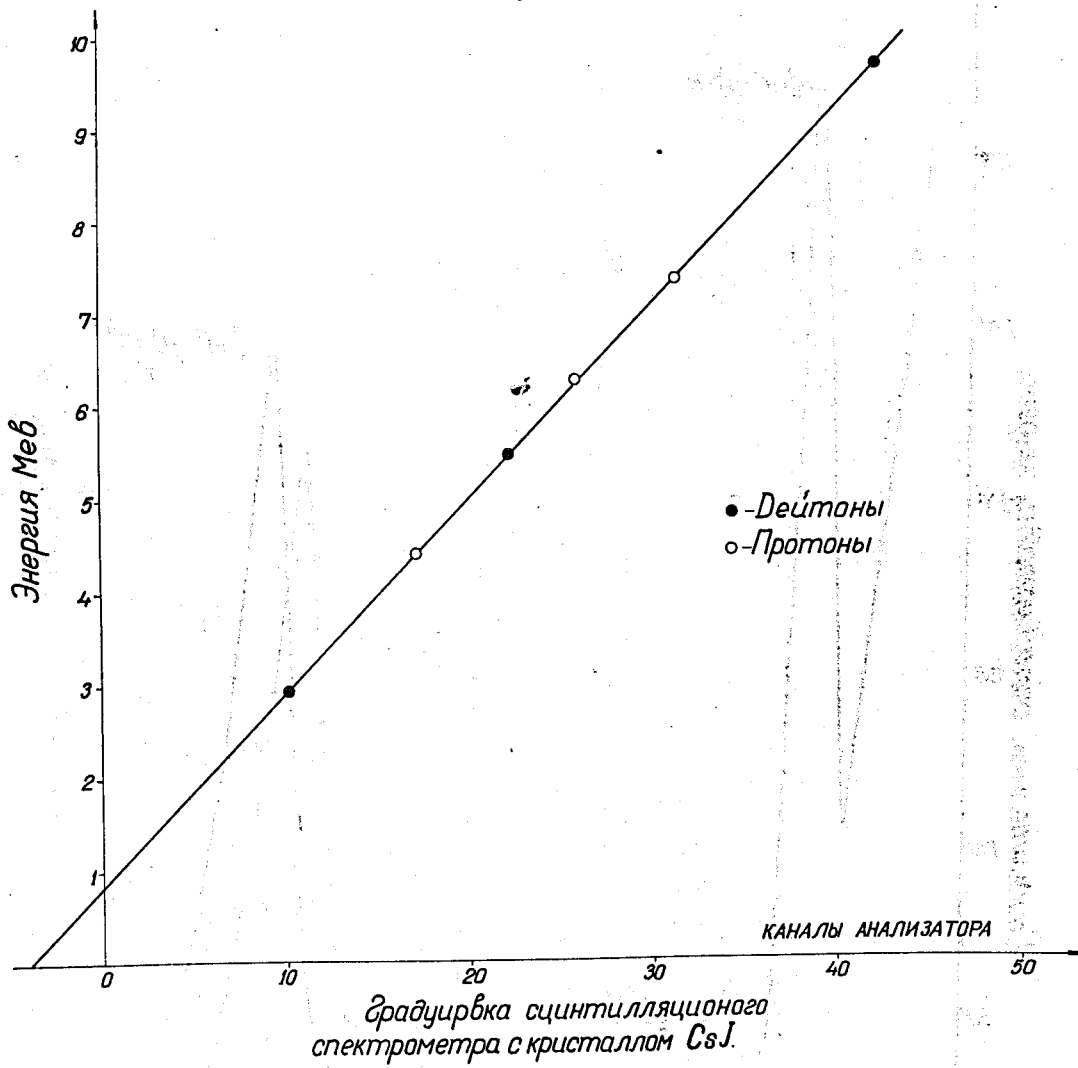
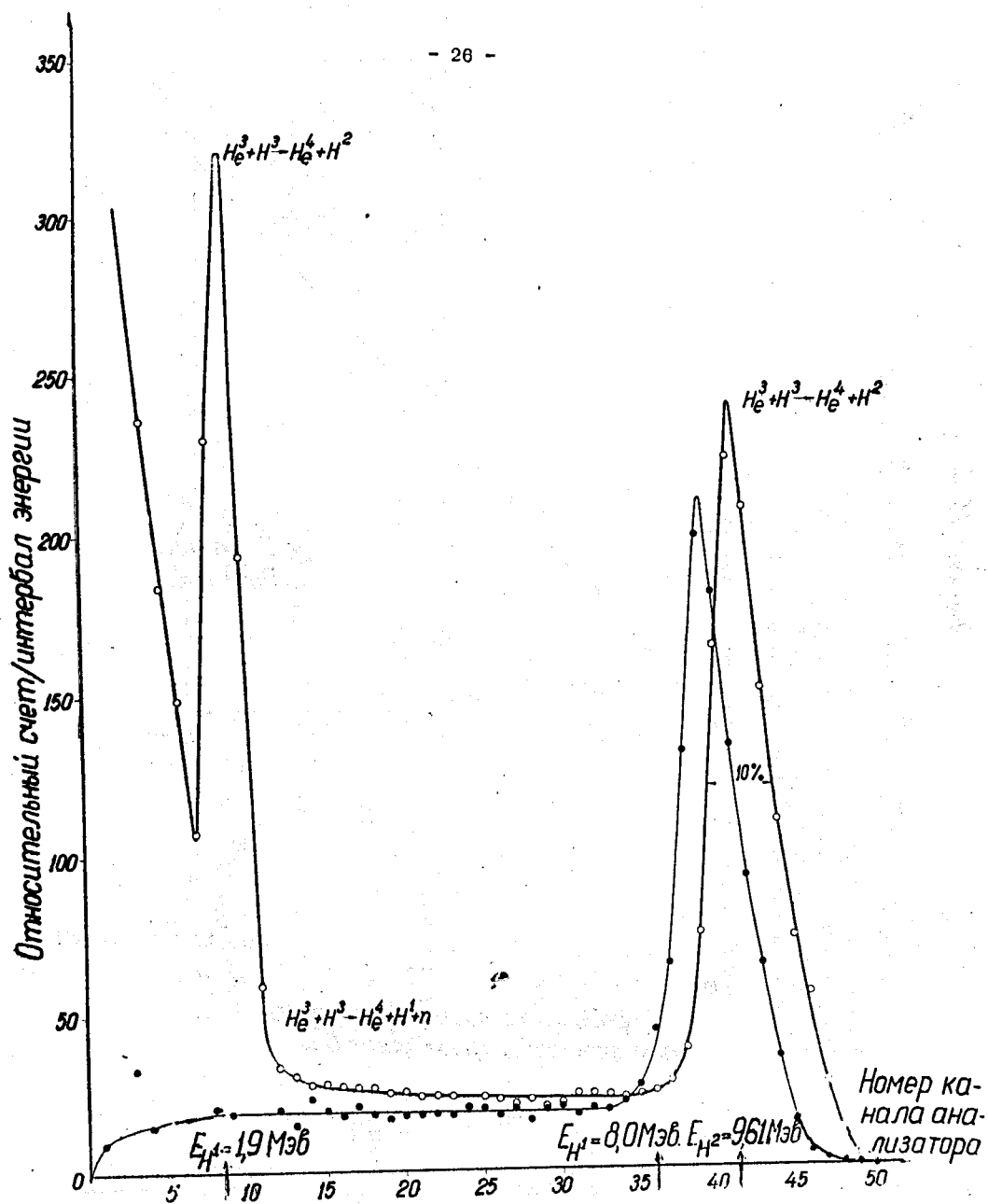


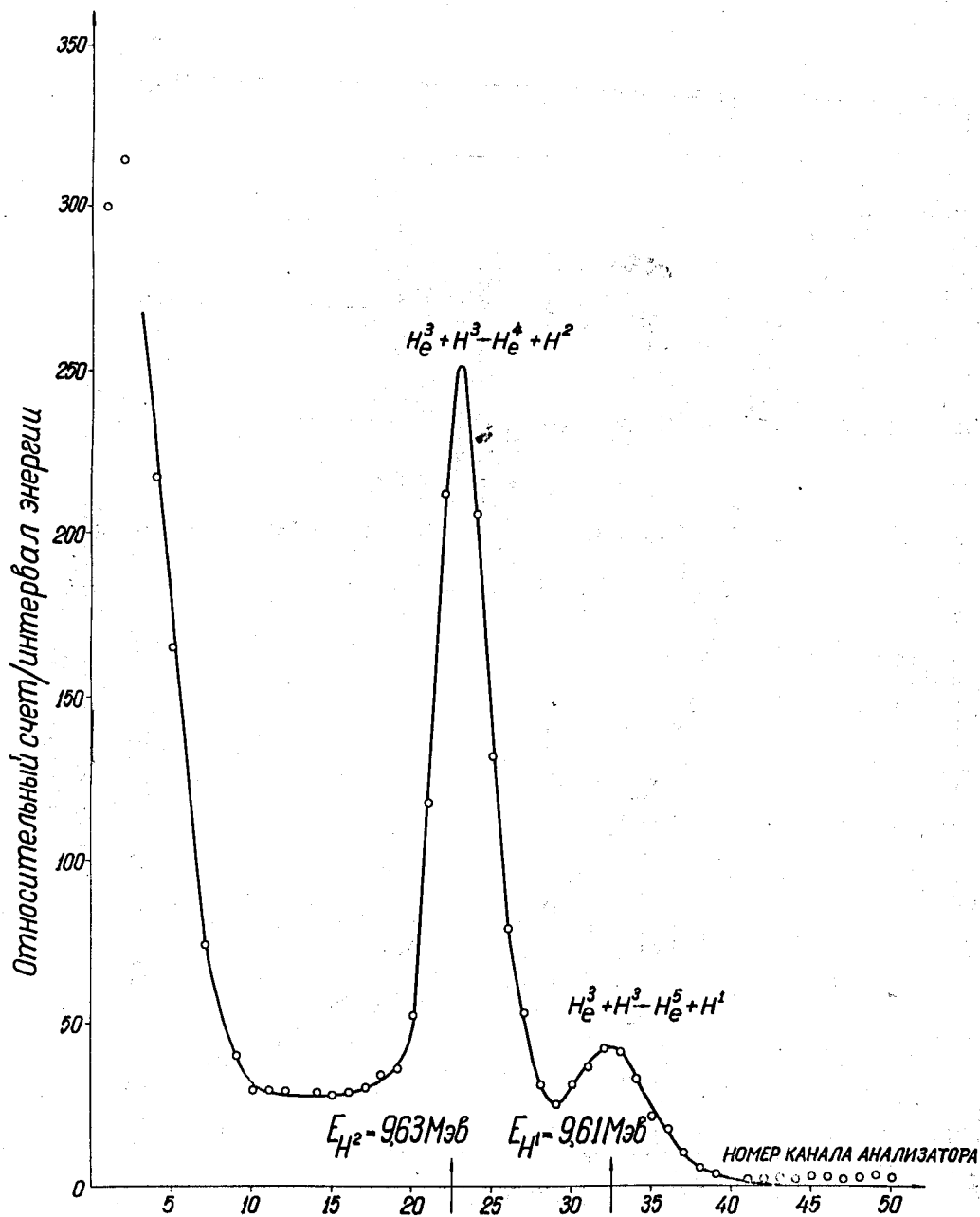
Рис. 8.



Энергетический спектр частиц реакции $He^3 + H^3$ при энергии бомбардировки 394 КэВ.

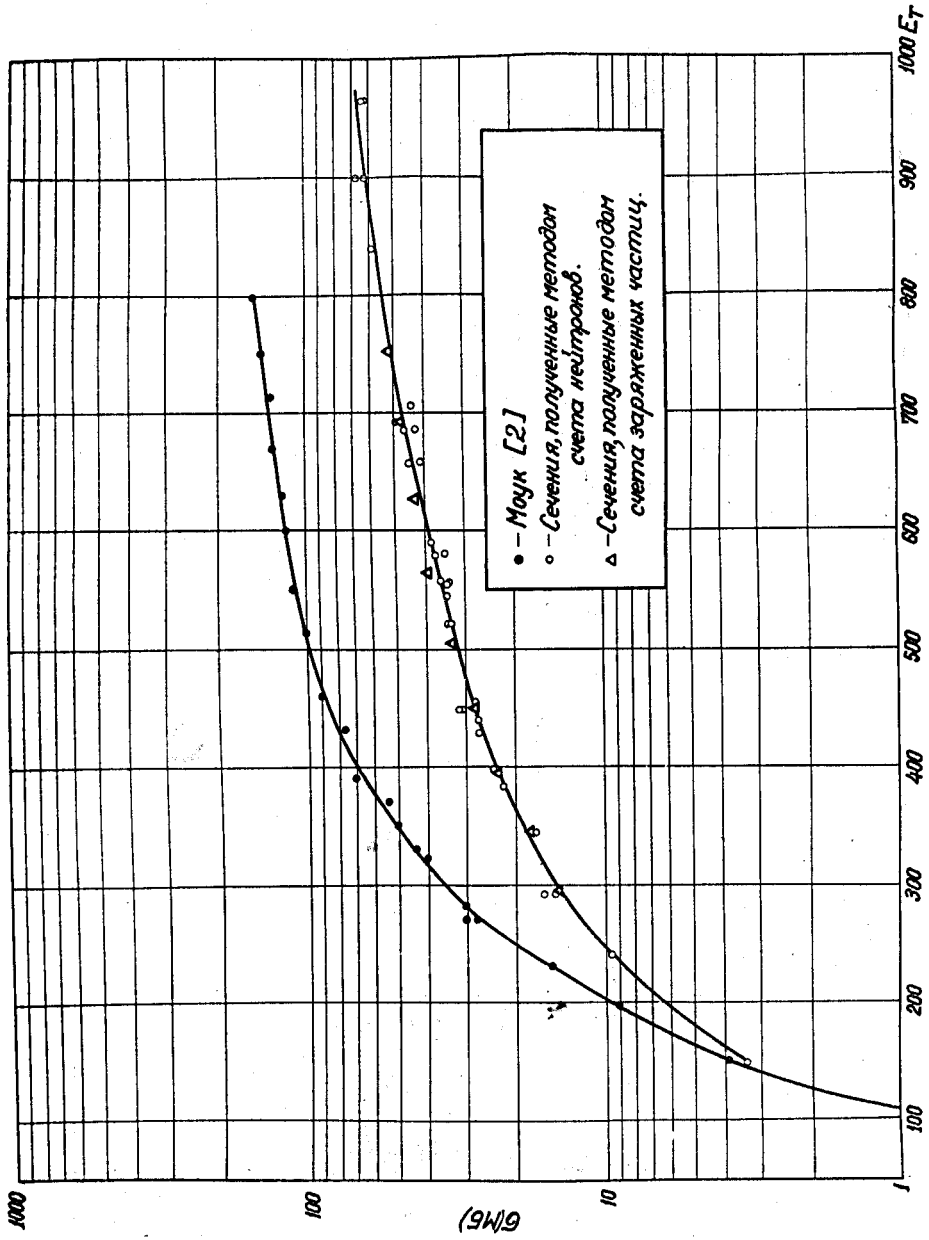
• Спектр частиц этой же реакции после прохождения Al фольги толщиной $8 \frac{Mg}{cm^2}$.

Рис. 9.



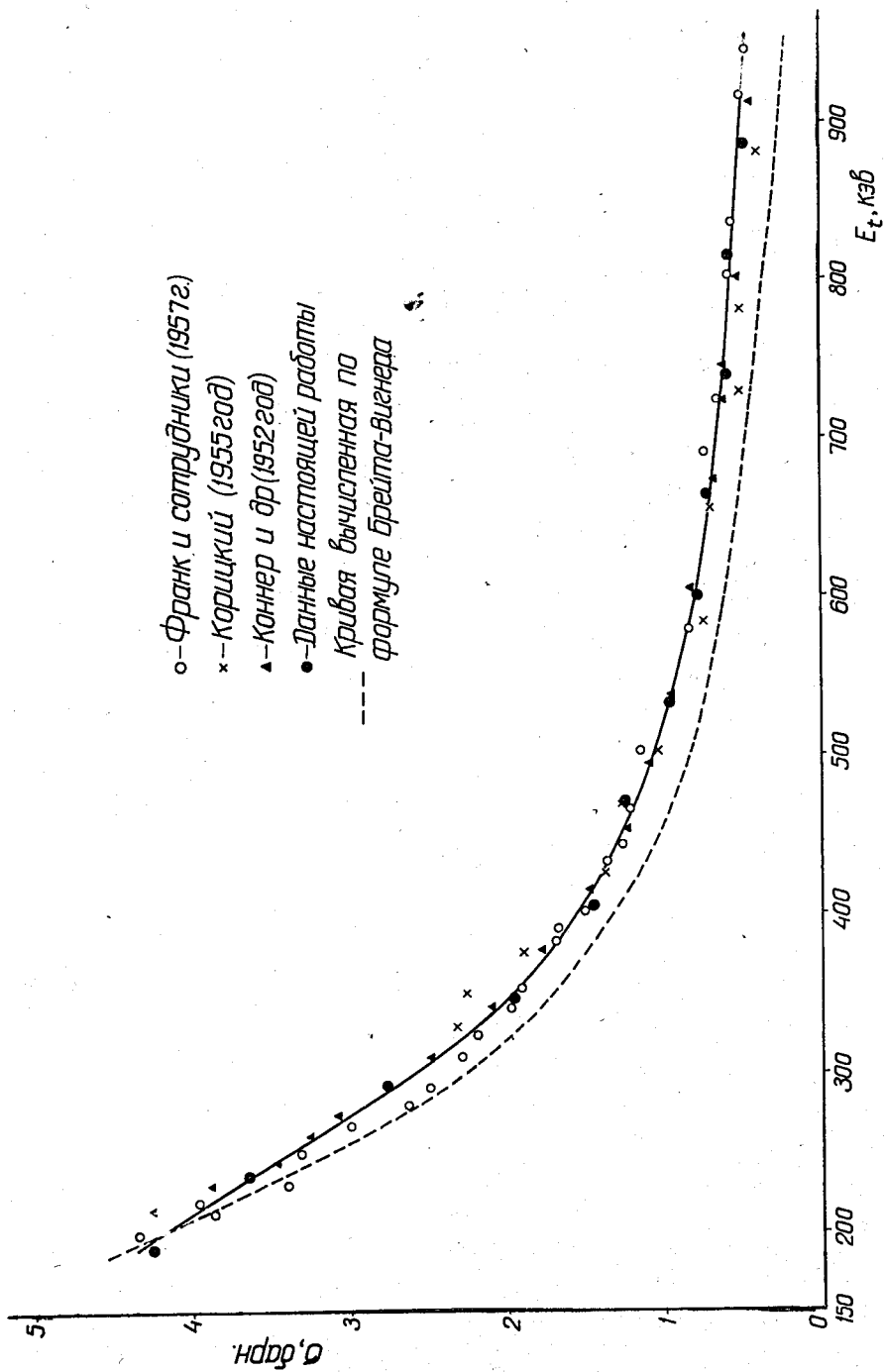
Энергетический спектр частиц
реакции $He^3 + H^3$ при $E_{H^3} = 506 \text{ КэВ}$

Рис. 10.



Сечения реакции $He^3 + H^3$ в интервале энергий тритонов 150-1000 КэВ.

Рис. 11.



Полные сечения реакции $N^2(t,p)ne^4$ в интервале энергии 180-900 кэВ.

Рис. 12.