



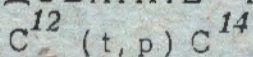
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

---

Б. Кюн, В.И. Салацкий, И.В. Сизов

P-830

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ



*ЖЭТФ, 1962, т43, в5, с1660-1664.*

Б. Кюн, В.И. Салацкий, И.В. Сизов

P-830

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  
 $C^{12} (t, p) C^{14}$

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

1289/3 48

### А н н о т а ц и я

На электростатическом генераторе, ускоряющем ионы трития, измерены дифференциальные сечения реакции  $C^{12} / t, p / C^{14}$  для основного состояния остаточного ядра  $C^{14}$ . Измерения в лабораторной системе для основного состояния выполнены под углом  $90^\circ$  в лабораторной системе в диапазоне энергий ионов трития 0,32 - 1,18 Мэв. Для ряда энергий этого диапазона измерены также угловые распределения протонов в интервале углов  $0-155^\circ$  лабораторной системы. Получены полные сечения реакции при энергиях ионов трития от 0,37 до 1,16 Мэв.

The differential cross sections for the reaction  $C^{12}(t,p)C^{14}$  have been measured for the ground state of the residual  $C^{14}$  nucleus using the electrostatic generator accelerating the tritium ions. The measurements have been performed for the ground state at  $90^\circ$  in the lab. system in the tritium ion energy range of 0.32 - 1.18 MeV. For some energies of this range the angular proton distributions have been also measured in the angle interval of  $0 - 115^\circ$  (lab. system). The total cross sections have been obtained at the tritium ion energy of 0.37 up to 1.16 MeV.

Реакции ядер трития с углеродом до настоящего времени мало изучены. В работе <sup>1/1</sup> измерен выход нейтронов под углом  $0^\circ$  из реакции  $C^{12}/t, n/N^{14}$  в диапазоне энергий ионов трития от 0,35 до 2,4 Мэв. Было обнаружено семь резонансов, соответствующих возбужденным уровням составного ядра  $N^{15}$ . Для пяти значений энергии ускоренных ионов трития измерены угловые распределения нейтронов и получены полные сечения.

В работе <sup>2/2</sup> измерялись угловые распределения протонов из реакции  $C^{12}/t, p/C^{14}$  и группы  $\alpha$ -частиц из реакции  $C^{12}/t, \alpha/B^{11}$  при энергии ионов трития 1,5 Мэв. Было показано, что угловое распределение протонов имеет максимум в направлении вперед и минимум при  $75^\circ$ ;  $\alpha$ -частицы дают широкий максимум при угле  $70^\circ$ .

При более высоких энергиях реакции типа  $(t,p)$  привлекают внимание исследователей, так как они в основном протекают в виде прямого взаимодействия /без образования составного ядра/, поэтому в ряде случаев удается провести удачное сравнение экспериментально измеренных угловых распределений с предсказаниями теории двойного стрипинга <sup>3/3</sup>. Вид угловых распределений позволяет установить спин и четность уровней остаточных ядер в тех случаях, когда спин и четность начального и конечного состояний известны.

Так, в работе <sup>4/4</sup> исследовались угловые распределения шести групп протонов из реакции  $C^{12}/t, p/C^{14}$ , соответствующих возбужденным состояниям остаточного ядра  $C^{14}$ . Энергия бомбардирующих ионов трития составляла 5,5 Мэв. Проведен анализ угловых распределений по теории двойного стрипинга и дана схема уровней ядра  $C^{14}$ .

Настоящая работа посвящена измерению угловых распределений протонов, дифференциальных и полных сечений реакции  $C^{12}/t, p/C^{14}$  с целью получения данных для изучения механизма этой реакции при сравнительно низких энергиях бомбардирующих ионов трития. Кроме того эти данные представляют практический интерес при исследованиях других реакций с тритием для учета вклада от реакции  $C^{12}+t$ , идущей на неизбежно присутствующих углеродных загрязнениях всех мишеней.

### Техника эксперимента

Ионы трития, ускоренные электростатическим генератором на 1,2 Мэв ОИЯИ, бомбардировали тонкую углеродную мишень, полученную испарением графита в вакууме на алюминиевую подложку толщиной  $3 \text{ мг/см}^2$ . Мишень изготовлена по методу, описанному в работе <sup>/5/</sup>. Мишень устанавливалась под углом  $45^\circ$  относительно падающего пучка ионов трития. Потери энергии ионов трития в углероде определялись по кривой тормозной способности углерода, полученной по данным, приведенным в работах <sup>/6,7,8/</sup>. Точность этой кривой примерно 5%. Толщина углеродного слоя мишени была получена из сравнения выхода протонов из реакции на твердой и газовой мишени при одинаковой энергии взаимодействующих частиц /850 Кэв/. Она оказалась равной  $76 \text{ мг/см}^2$ , что соответствует полной потере энергии 58 Кэв при  $E_T = 350 \text{ Кэв}$  и 32 Кэв при  $E_T = 1200 \text{ Кэв}$ .

Для измерения угловых распределений протонов из реакции использовалась ранее описанная универсальная вакуумная камера <sup>/9/</sup>. Протоны регистрировались с помощью вращающегося вокруг мишени фотоумножителя ФЭУ-31 с кристаллом  $\text{CsJ}$ . Конструкция камеры обеспечивала возможность измерения угловых распределений в пределах  $0-155^\circ$  в лабораторной системе. В качестве монитора служил второй сцинтилляционный счетчик с ФЭУ-29 и кристаллом  $\text{CsJ}$ , расположенный под углом  $90^\circ$  относительно падающего пучка ионов трития.

Импульсы от вращающегося счетчика подавались на многоканальный амплитудный анализатор, что позволяло отделать импульсы интересующей нас группы протонов от импульсов фона и других реакций, обусловленных подложкой и возможными загрязнениями мишени.

Угловые распределения измерялись через  $10^\circ$  в диапазоне углов  $0-155^\circ$ . Угловое разрешение вращающегося счетчика составляло  $\pm 3,5^\circ$ . Статистические ошибки измерения каждой точки составляли  $\pm 3\%$ .

Для измерения относительного выхода протонов под углом  $90^\circ$  в зависимости от энергии ионов трития была применена камера, ранее исполь-

зовавшаяся при исследованиях Т-Т реакции <sup>10/</sup>. Измерения проводились на твердой углеродной мишени той же толщины, что и при измерениях угловых распределений. Детектором протонов служил сцинтилляционный счетчик с ФЭУ-29 и кристаллом CsJ. Импульсы от счетчика анализировались многоканальным амплитудным анализатором. На рис. 1 приведен один из спектров импульсов, измеренный при  $E_T = 850$  Кэв. Применение тонкой твердой мишени для измерения относительного выхода реакции имеет определенные преимущества перед газовой мишенью. Твердая мишень выдерживает большую плотность пучка (что особенно важно при измерениях реакций с малым сечением), обеспечивает лучшую определенность энергии взаимодействующих ионов и более проста в обращении. В то же время ее основной недостаток - большие трудности в точном определении числа атомов мишени.

В настоящей работе абсолютное значение дифференциального сечения было определено на газовой мишени при  $E_T = 850$  Кэв. Конструкция мишени аналогична описанной в работе <sup>10/</sup>. Мишень наполнялась углеродосодержащими веществами:  $C_6H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $CH_4$  и  $CO_2$ . Давление газа в мишени составляло около 60 мм Hg. Наполнение мишени парами бензола и пропана оказалось малопригодным для точного измерения дифференциального сечения реакции, так как с такими наполнителями мишени были неустойчивыми в работе. При прохождении ионов трития через мишень происходило разложение молекул бензола и пропана, давление в мишени возрастало, на поверхности слюдяной пленки, ограничивающей газовый объем мишени, быстро нарастал слой углерода и энергия взаимодействующих ядер трития становилась неопределенной. По этой причине измерения на  $C_6H_6$  и  $C_3H_8$  носили качественный характер и служили дополнительным средством идентификации различных пиков в спектре импульсов, измеренном на газовой мишени.

На рис. 2 приведены спектры импульсов для различных наполнений мишени.

Основные измерения дифференциального сечения выполнены с мишенями, наполненными метаном и  $CO_2$ . Измерения на  $CO_2$  дали заниженный

на несколько процентов результат по сравнению с метаном, что можно объяснить либо недостаточно точным учетом вклада от реакции  $O^{16}(t,p)O^{18}$ , либо неполной очисткой  $CO_2$  от посторонних примесей. Поскольку спектр импульсов протонов из реакции  $C^{12}(t,p)C^{14}$ , измеренный на метане, более четко выражен, чем на  $CO_2$ , в окончательный результат вошли измерения, выполненные на метане.

### Результаты измерений

На рис. 3 приведена кривая дифференциального сечения реакции  $C^{12}(t,p)C^{14}$  под углом  $90^\circ$ , полученная из измерений относительного выхода на твердой мишени и нормированная к дифференциальному сечению  $232,7 \pm 4,6$  мбарн /стерад., измеренному на газовой мишени при  $E_T = 850$  Кэв.

Эта кривая характеризуется наличием двух максимумов при энергиях 850 и 1117 Кэв. Первый из этих максимумов не проявляется столь отчетливо на кривых полного сечения и дифференциальных сечений при других углах и обусловлен, по-видимому, характером угловых распределений.

Второй максимум сохраняется как на кривой полного сечения, так и на кривых дифференциального сечения для углов  $0^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $70^\circ$  и  $150^\circ$  и свидетельствует о наличии резонанса, связанного с уровнем составного ядра  $N^{15}$  с энергией возбуждения 15,74 Мэв.

На рис. 4,5,6,7 даны угловые распределения протонов для ряда энергий бомбардирующих ионов трития. Как видно из приведенных рисунков, угловые распределения не симметричны относительно угла  $90^\circ$  в системе центра масс и очень сильно зависят от энергии бомбардирующих частиц. По мере приближения к резонансу при  $E_T = 1117$  Кэв выход протонов "вперед" и "назад" выравнивается, хотя полная симметрия не наблюдается и в этом случае. Данная реакция не может быть полностью объяснена с точки зрения изолированного уровня составного ядра; видно, что даже при сравнительно низких энергиях бомбардирующих частиц возможен определенный вклад иных процессов.

В приведенной ниже таблице даны значения полных сечений реакции, полученные интегрированием угловых распределений.

$E_T$ /КэВ/	$\sigma$ /м барн/	$E_T$ /КэВ/	$\sigma$ /м барн/	$E_T$ /КэВ/	$\sigma$ /м барн/
372	$0,10 \pm 0,01$	698	$2,22 \pm 0,06$	986	$4,32 \pm 0,12$
500	$0,58 \pm 0,02$	753	$2,84 \pm 0,07$	1062	$5,96 \pm 0,17$
595	$1,03 \pm 0,03$	818	$2,83 \pm 0,07$	1094	$12,44 \pm 0,36$
646	$1,47 \pm 0,04$	868	$3,32 \pm 0,09$	1111	$13,68 \pm 0,37$
673	$2,03 \pm 0,05$	924	$3,71 \pm 0,10$	1160	$9,96 \pm 0,28$

В таблице указана среднеквадратичная ошибка измерения без учета точности определения энергии взаимодействующих ионов трития. Ошибка в определении энергии взаимодействия менялась от 2% при  $E_T = 400$  Кэв до 1% при  $E_T = 1200$  Кэв.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность Цзэнь Най Гуу за помощь в проведении измерений, А.П. Кобзеву за участие в обработке данных, Ф.Л. Шапиро за полезные советы в обсуждении полученных результатов и группе обслуживания электростатического генератора.



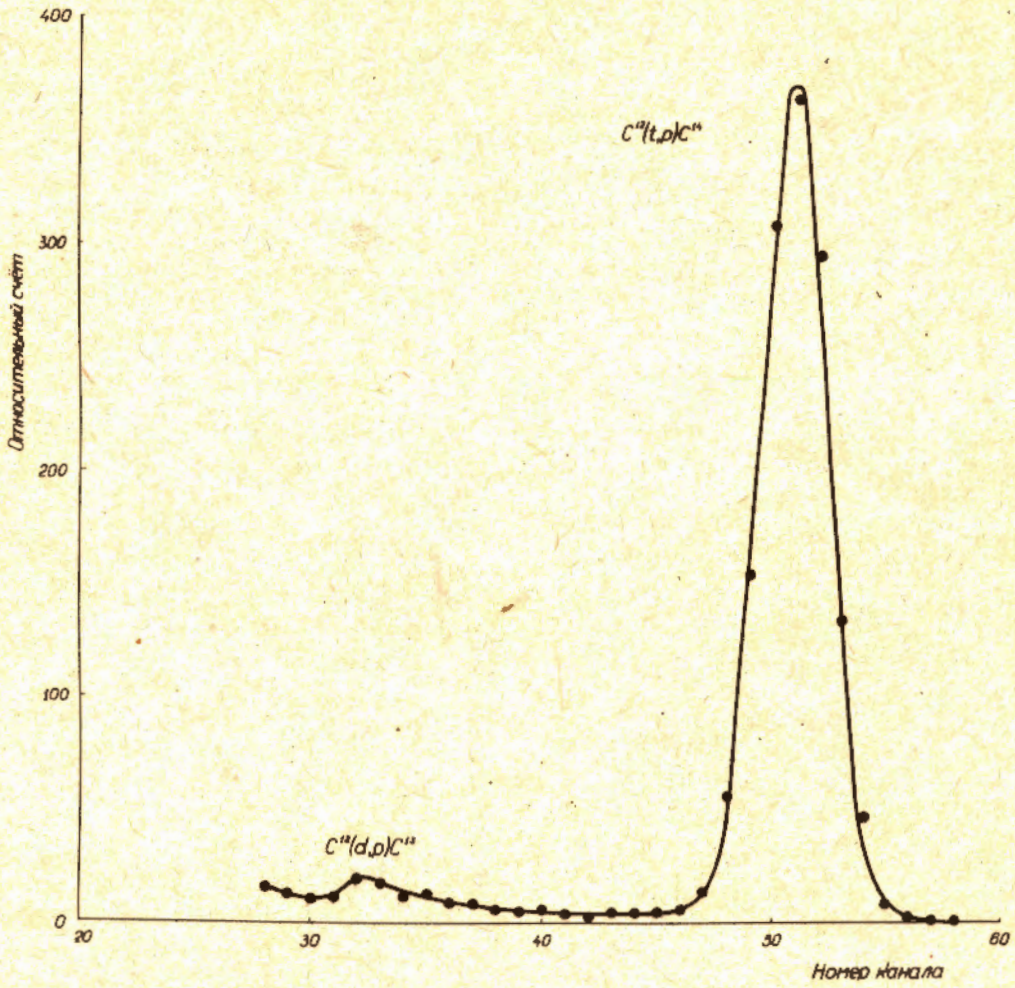


Рис. 1. Спектр протонов из твердой мишени.

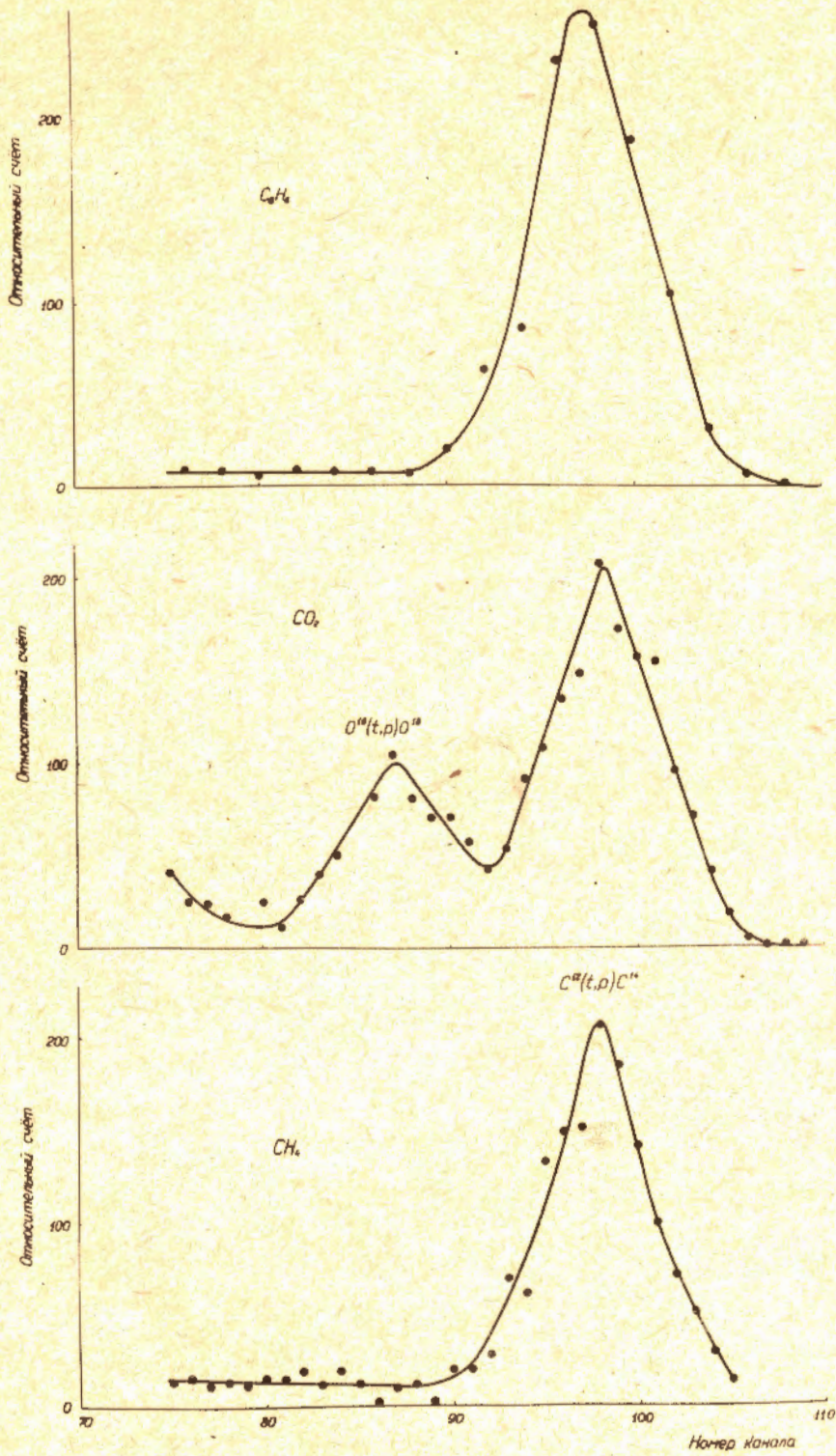


Рис. 2. Спектры протонов из газовых мишеней.

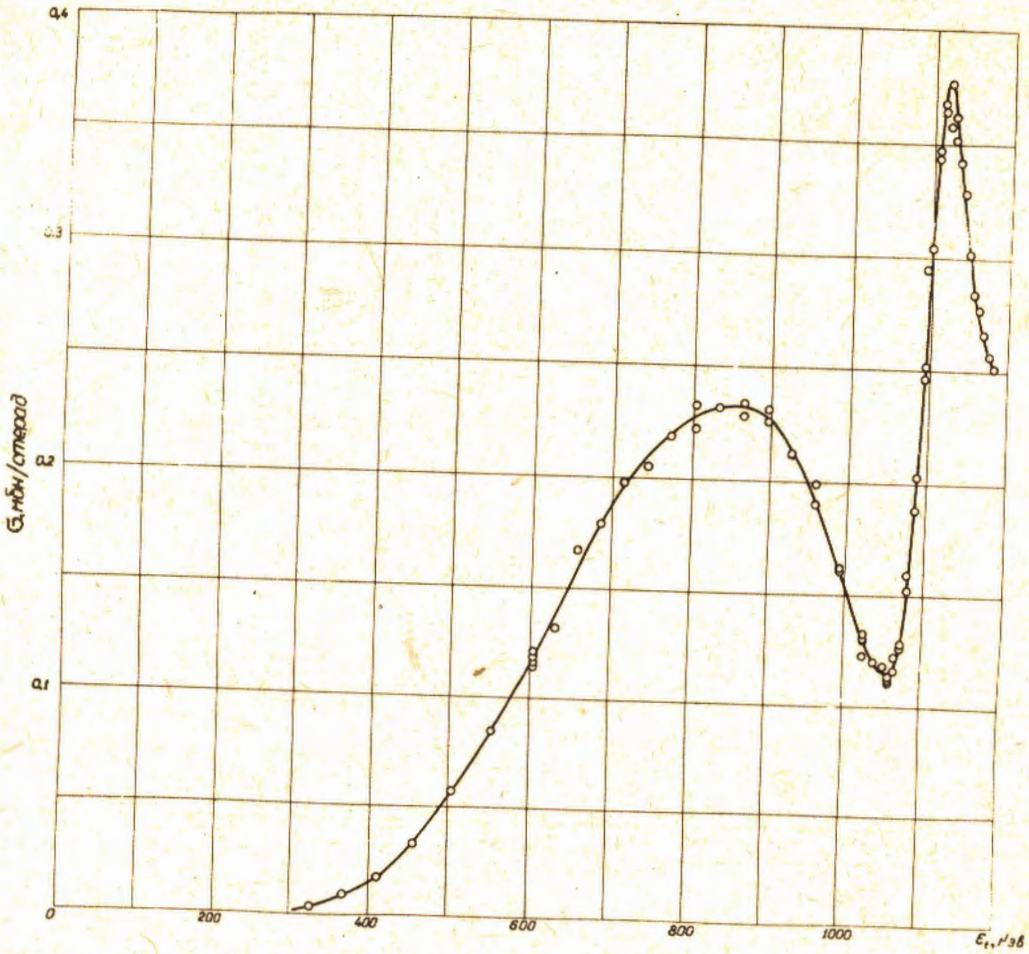


Рис. 3. Дифференциальное сечение реакции  $C^{12}(t,p)C^{14}$  под углом  $90^\circ$  в лабораторной системе.

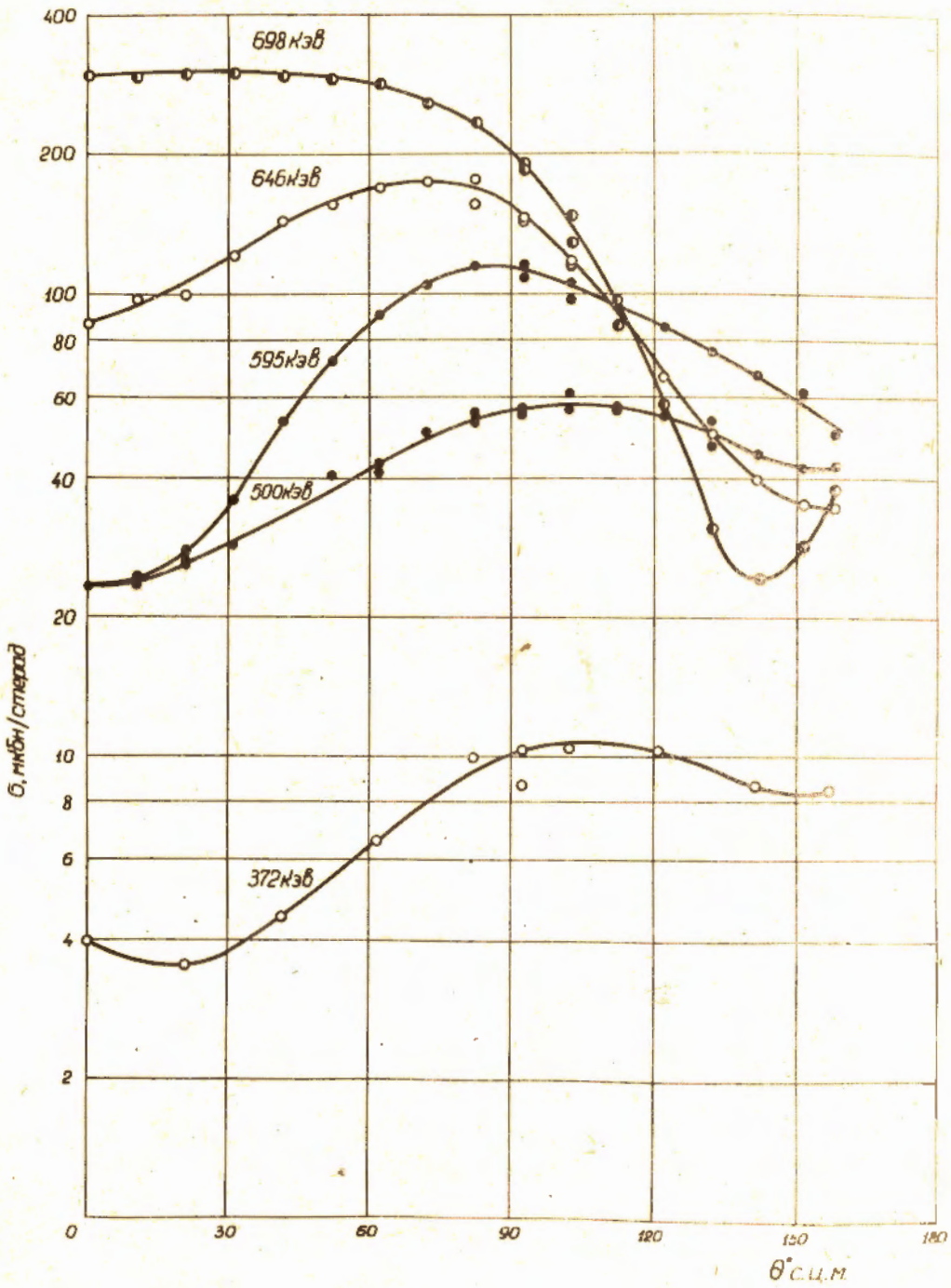


Рис. 4.

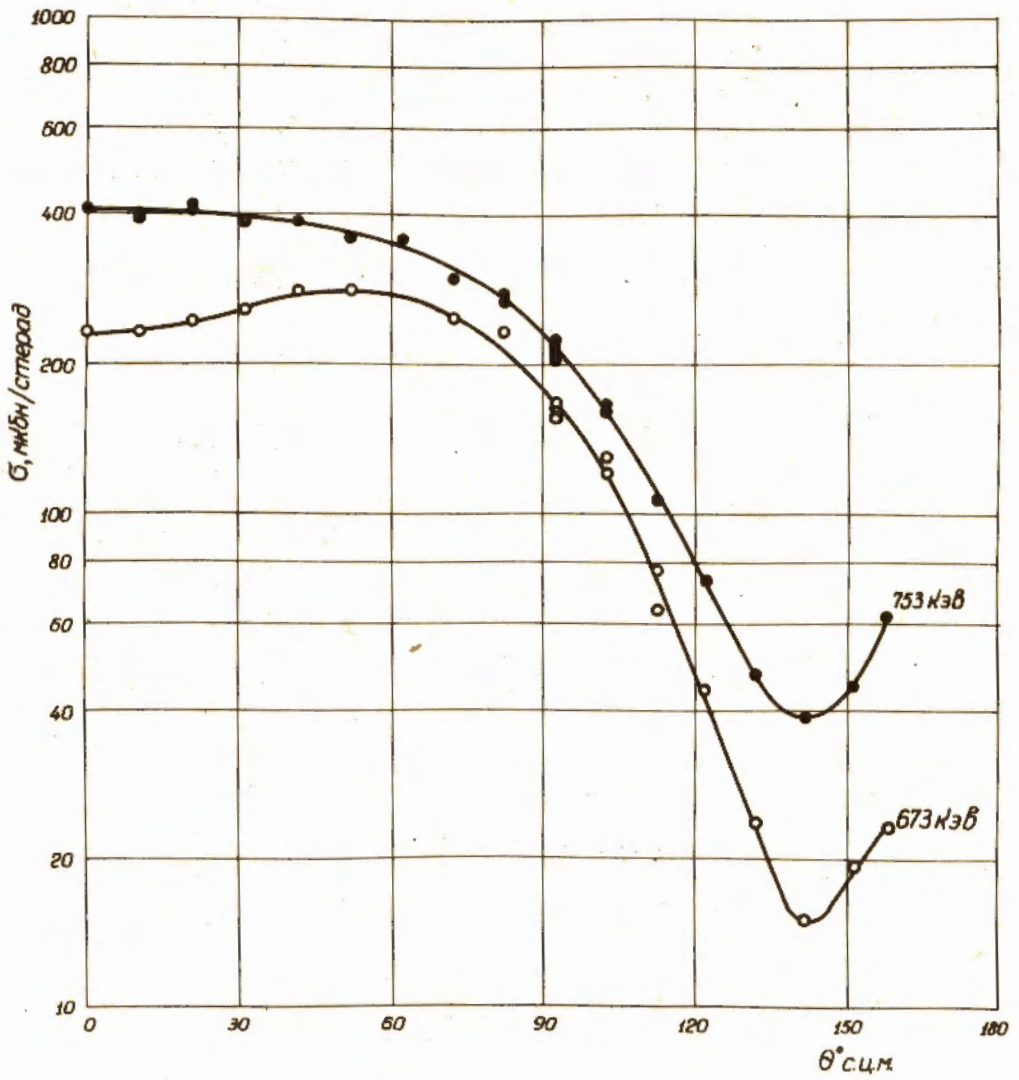


Рис. 5.

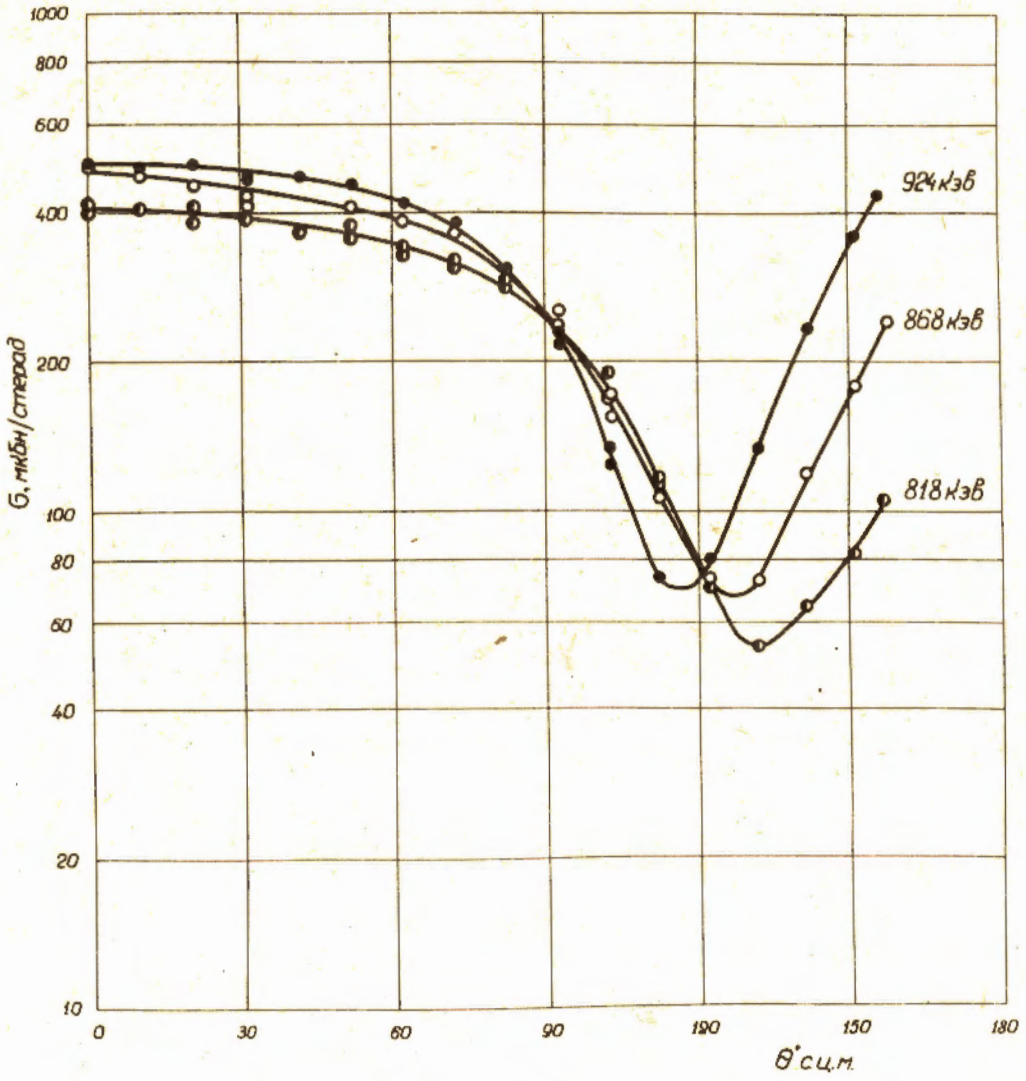


Рис. 6.