

С 343 g  
К-787

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2725



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Р. Краузе, И.В. Сизов, Г. Элер

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРОТОНОВ  
ИЗ РЕАКЦИИ  $C^{12}(\text{He}^3, p_0)N^{14}$

1966

P - 2725

Р. Краузе, И.В. Сизов, Г. Элер

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРОТОНОВ  
ИЗ РЕАКЦИИ  $C^{12}(\text{He}^3, p_0)N^{14}$

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

У305/3 кр

К настоящему времени имеется ряд работ, посвященных исследованию реакций с углеродом<sup>/1-9/</sup>.

В широком диапазоне энергий ускоренных частиц измерялись функции возбуждения, дифференциальные и полные сечения для различных каналов реакции. Имеющиеся экспериментальные данные позволяют сделать некоторые предположения о механизме реакций гелия-3 с углеродом. Тем не менее, измерения только угловых распределений продуктов реакций и полных сечений не всегда приводят к очевидному заключению о механизме реакций. Получение дополнительной информации возможно из исследований поляризации продуктов реакций.

Измерений поляризации протонов в реакциях с  $\text{He}^3$  до настоящего времени практически не проводилось. Известна одна лишь работа<sup>/10/</sup> по исследованию поляризации протонов из реакции  $\text{V}^{10}(\text{He}^3, \text{p})\text{C}^{12}$  для группы протонов, соответствующей первому возбужденному состоянию  $\text{C}^{12}$ . Оказалось, что протоны из этой реакции имеют большую степень поляризации.

В случае реакций  $\text{C}^{12}(\text{He}^3, \text{p})\text{N}^{14}$  наблюдается резко выраженная резонансная структура функций возбуждения с выходом протонов.

Угловые распределения протонов указывают на сильную интерференцию различных состояний составного ядра  $\text{O}^{15}$ . Все это позволяет предполагать наличие значительной поляризации протонов в реакциях гелия-3 с углеродом.

В настоящей работе приводятся результаты измерений поляризации протонов в реакции  $\text{C}^{12}(\text{He}^3, \text{p})\text{N}^{14}$  при энергии ионов  $\text{He}^3$  2,85 Мэв для углов  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$  л.с.

#### Техника эксперимента

Пучок ионов гелия-3 после прохождения коллимирующих диафрагм диаметром 3 мм попадал на углеродную мишень, установленную в центре камеры рассеяния. Под углами  $\theta = 45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$  относительно падающего пучка ионов  $\text{He}^3$  устанавливался поляриметр, состоящий из второй углеродной мишени и трех кремниевых полупроводниковых детекторов.

Один из этих детекторов, установленный в направлении вылета протонов из реак-  
ции на первой мишени, служил в качестве монитора. Два других располагались сим-  
метрично к направлению вылета протонов под углом  $\theta = 40^\circ$ .

Импульсы от трех детекторов одновременно подавались на 256-канальный ампли-  
тудный блок многоканального анализатора и на схему кодировки номера детектора.  
"Память" анализатора разбивалась на несколько частей по 256 каналов; в каждой из  
них регистрировались импульсы от соответствующего детектора. Такая методика исклю-  
чала ошибки в регистрации числа импульсов, связанные с просчетами анализаторов в  
случае применения отдельных анализаторов для каждого детектора, что могло бы при-  
водить к ложной асимметрии.

Исключение ложной асимметрии в измерениях поляризации представляет основную  
трудность таких экспериментов.

В настоящей работе эта задача решалась тщательным изготовлением поляриметра  
и контролем геометрии путем регистрации  $\alpha$ -частиц от плоского радиоактивного пре-  
парата, помещенного на место второй мишени. Разница в отсчетах левого и правого  
детекторов при регистрации  $\alpha$ -частиц давала асимметрию  $\epsilon = 0,005 \pm 0,003$  и находи-  
лась в пределах статистических ошибок. Возможная асимметрия такого рода легко  
устраняется в измерениях путем поворота поляриметра на  $180^\circ$ . Другой вид ложной  
асимметрии - несовпадение оси поляриметра с направлением вылета протонов из первой  
мишени, что приводит к разным углам рассеяния протонов на второй мишени для лево-  
го и правого детектора. Такая асимметрия не устраняется поворотом поляриметра  
на азимутальный угол  $\phi = \pi$  и требует тщательной юстировки поляриметра с точностью  
до нескольких угловых минут, что при данной конструкции камеры рассеяния не могло  
быть обеспечено. По этой причине измеренная асимметрия на  $C^{12}$  нормировалась на  
измерения в той же геометрии, когда в качестве второй мишени использовалось золото,  
так как для золота  $P_2 = 0$  /11/ экстраполяция измеренной асимметрии на углероде  
 $\epsilon(C^{12})$  к асимметрии на золоте  $\epsilon(Au) = 0$  дает действительную асимметрию  $\epsilon$  на  
углероде, которая используется для вычисления поляризации протонов  $P_1$ .

Как правило, измерения проводились так, что асимметрия с золотой мишенью  
была как положительной, так и отрицательной (см. рис. 5).

На рис. 1 приведена схема опыта. Левый  $D_L$  и правый  $D_R$  детекторы распола-  
гались под углом  $\theta = 40^\circ$ . Телесный угол для этих детекторов ( $\Omega_2$ ) составлял  
 $2 \cdot 10^{-2}$  стеррад. Телесный угол для второй мишени ( $\Omega_1$ ) составлял  $1 \cdot 10^{-2}$  стеррад.  
Измерения были выполнены при разных толщинах первой и второй мишени  
( $150-250 \text{ мг/см}^2$ ,  $\rho_2 = 10-30 \text{ мг/см}^2$ ). Средняя энергия ионов  $He^3$  на первой мишени  
составляла 2,95 Мэв при среднем токе пучка 1 - 2 мка. Полная потеря энергии ионов

$\text{He}^3$  в первой мишени при средней энергии 2,95 Мэв составляла 250–350 кэв, так что в реакции  $\text{C}^{12}(\text{He}^3, p) \text{N}^{14}$  возбуждались уровни составного ядра  $\text{O}^{15}$ , соответствующие энергии  $\text{He}^3$  2,75 и 2,99 Мэв<sup>1/8</sup>. Толщина первой мишени  $\rho_1$  определялась по смещению пика от  $\alpha$ -частиц  $\text{P}_0$  и по ширине пика протонов из реакции  $\text{C}^{12}(\text{He}^3, p) \text{N}^{14}$ . Энергетическое разрешение полупроводникового детектора для протонов с энергией около 8 Мэв составляло 60 кэв. Поэтому ширина пика для протонов из реакции  $\text{He}^3$  на угле-роде в основном определялась толщиной первой мишени. Толщина второй мишени  $\rho_2$  определялась по смещению пика протонов группы  $\text{P}_0$ . На рис. 2 сплошной линией пока-зан спектр протонов для групп  $\text{P}_0, \text{P}_1, \text{P}_2$  без второй мишени, при толщине первой мишени, соответствующей полной потере энергии ионов  $\text{He}^3$  340 кэв. Штрих-пунктирной линией показан пик протонов группы  $\text{P}_0$  со второй мишенью из углерода, смещенный на 1,6 Мэв. Пунктирная линия соответствует тому же пику со второй мишенью из золо-та. Прямая линия дает энергетическую калибровку детектора по известным значениям энергии протонных групп  $\text{P}_0, \text{P}_1, \text{P}_2$ .

На рис. 3 даны типичные спектры протонов группы  $\text{P}_0$ , измеренные левым и правым детекторами после рассеяния на углеродной и золотой мишени. Пунктирная линия под каждым пиком показывает экстраполяцию фона, который вычитался при вычислении полного числа зарегистрированных импульсов каждым детектором.

#### Вычисление поляризации

Поляризация протонов из реакции  $\text{C}^{12}(\text{He}^3, p) \text{N}^{14}$  определялась из асимметрии рассеяния протонов на углеродной мишени.

Для асимметрии  $\epsilon$  имеем следующее выражение:

$$\epsilon = \frac{N_L - N_R}{N_L + N_R} = P_1 P_2,$$

где  $N_L$  - число отсчетов левого детектора;  $N_R$  - число отсчетов правого детектора;  $P_1$  - поляризация протонов из реакции;  $P_2$  - поляризацонная способность углерода.

Поляризацонная способность  $P_2$  рассчитывалась из данных поляризации прото-нов на углеороде следующим образом:

$$P_2 = \frac{N_L - N_R}{N_L + N_R} = \frac{\int \sigma(E) P_2(E) dE}{\int \sigma(E) dE},$$

где

$$P_2(E) = \overline{P_2(E, \theta)} = \frac{1}{\sigma(E)} \int q(\theta) \sigma(E, \theta) P_2(E, \theta) d\theta$$

$$\sigma(E) = \overline{\sigma(E, \theta)} = \int q(\theta) \sigma(E, \theta) d\theta$$

$q(\theta)$  - функция угла  $\theta$ , зависящая от геометрии поляриметра.

На рис. 4 показан вид вычисленных кривых  $P_2(E)$  и  $\sigma(E)$  для угла  $\theta = (40 \pm 5)^\circ$ . В вычислениях функции  $P_2(E)$  использовались данные по поляризации протонов на углероде из работ /12-20/. Дифференциальные сечения для вычисления функции  $\sigma(E)$  взяты из работ /21-23/. Поскольку в экспериментах по двойному рассеянию нельзя установить знак поляризации  $P_1$ , то он определялся в соответствии с правилами, предложенными на Международном симпозиуме по поляризационным свойствам нуклонов в 1960 г. /24/, а именно, поляризация  $P_1$  называется положительной в направлении  $[K_{He^3} \times K_p]$ , где  $K_{He^3}$  - волновой вектор падающих частиц и  $K_p$  - волновой вектор вылетающих частиц.

В таблице 1 собраны экспериментальные результаты. В первом столбце даны угол наблюдения  $\Theta$  и средняя энергия протонов из реакции. Во втором столбце - угол  $\phi$  - положение поляриметра. В третьем - толщина второй мишени. В четвертом - число отсчетов монитора в относительных единицах. В пятом и шестом - отсчеты левого и правого детектора при рассеянии на углероде, восьмом и девятом - аналогичные величины при рассеянии на золоте. В седьмом и десятом - измеренная асимметрия  $\epsilon$ , соответственно для углерода и золота. В последних трех столбцах даны значения поляризации  $P_1$  и  $P_2$  и среднее значение  $\overline{P_1}$ . В вычислениях  $\overline{P_1}$  учитывался статистический вес отдельного измерения по отсчетам монитора. Приведенные в таблице 1 ошибки являются среднеквадратичными ошибками измерений. Они определялись статистикой отсчетов детекторов  $N_L$  и  $N_R$ , неопределенностью экстраполяции фона в область пика от регистрируемых протонов, неточностью юстировки оси поляриметра относительно направления движения протонов, ошибками вычисления поляризационной способности для углерода.

На рис. 5 экспериментальные результаты представлены графически. В верхней части рисунка даны результаты измерения поляризации  $P_1$  в зависимости от получаемой асимметрии на золоте  $\epsilon(Au)$  при неизменной геометрии. В нижней части рисунка - усредненные по нескольким измерениям значения поляризации  $P_1$  в зависимости от угла  $\Theta$  (л.с.).

Приведенные результаты свидетельствуют о значительной поляризации протонов в реакции  $C^{12}(He^3, p_0)N^{14}$  при энергии около 3 Мэв, особенно для малых углов. Детальное исследование энергетической и угловой зависимости поляризации позволит получать дополнительную информацию для анализа реакций  $He^3$  с углеродом.

В заключение авторы выражают благодарность А. Жукову, Розмари Краузе, Н. Лянькову за участие в экспериментах, И. Чепурченко и группе эксплуатации электростатического генератора за обеспечение работы ускорителя.

#### Л и т е р а т у р а

1. D.A. Bromley, E. Almquist, H.E. Gove, A.E. Litherland, E.B. Paul, A.J. Ferguson. Phys. Rev. 105, 957 (1957).
2. T.E. Yong, G.C. Phillips, R.R. Spencer, D.A.A.S.N. Rao. Phys. Rev. 116, 962 (1959).
3. R.L. Jonston, H.D. Holmgren, E.A. Wolicki, E. Geer Jllsley. Phys. Rev. 109, 884 (1954).
4. N.H. Gale, J.B. Gurg, J.M. Calvert, K. Ramavataram. Nucl. Phys. 20, 313 (1960).
5. J.H. Tolwe E.E.F. Macefield. Proc. Phys. Soc. 77, 399 (1961).
6. V.K. Deshpande, H.W. Fulbright, J.W. Werba. Nucl. Phys. 52, 457 (1964).
7. G.U. Din, H. M. Kuan, T.W. Bonner. Nucl. Phys. 50, 267 (1964).
8. Hsin Min Kuan, T.W. Bonner, J.R. Risser. Nucl. Phys. 51, 481 (1964).
9. А.В. Громов, К. Кашлик, А.П. Кобзев, К. Недведюк, В.И. Салацкий, И.В. Сизов. Преприят ОИЯИ Р-2184, Дубна 1985.
10. D.G. Simons, E.R.W. Detenbeck. Phys. Rev. 137, В 1471 (1965).
11. L. Rossen, J.E. Brolley, J.R. Steward. Phys. Rev. 121, 1423 (1961).
12. J.E. Evans. Nucl. Phys. 27, 41 (1961).
13. A. Strzalkowski, M.S. Bokhari, M.A. Al-Jeboori, Proc. Phys. Soc. 75, 502 (1960).
14. L. Rossen, P. Darriulat, H. Faraggi, A. Carin. Nucl. Phys. 33, 458 (1962).
15. R.E. Warner, W.P. Alford. Phys. Rev. 114, 1338 (1959).
16. P. Bem, O. Habanec, J. Nemes. Jaderna Energie, 8, 96 (1962).
17. J.E. Evans. Hilv. Phys. Acta Suppl. VI. 239 (1961).
18. P. Bem, J. Habanec, O. Karban, J. Nemes, V. Persperin. Czech. Journ. of Phys. 14, 798 (1964).
19. P. Bem, J. Habanec, O. Karban, J. Nemes, V. Persperin. Czich. J. Phys. 14, 404 (1964).
20. R.E. Warner, W.P. Alford. NVO . 8576.
21. C.W. Reich, G. C. Phillips, J.L. Russel. Phys. Rev. 104, 143 (1956).
22. Vukio Nagahara Jonr. Phys. Soc. Japan. 16, 133 (1961).
23. H. Schneider. Helv. Phys. Acta. 29, 55 (1956).
24. Sign Convension for Particl Polarization, Nucl. Phys. 21, 696 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 мая 1988 г.

Т а б л и ц а 1

Эксперименталните данни по измеренија поляризиција притонона на реакцији  $C^{12}(H^2, p) N^{14}$ 

$\theta$ град $E_p$ МэВ	$\phi$	$\rho_2$	N мон. /отн. од./	$N_L$	$N_R$	$\epsilon_C$	$N_L$	$N_R$	$\epsilon_{Au}$	$P_2$	$P_1$	$P_1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\theta = 45^\circ$ $E_p = 7,35$	$0^\circ$	20	0,353	376	233	$+0,235$ $\pm 0,040$	1280	1525	$-0,087$ $\pm 0,019$	$-0,51 \pm 0,04$	$-0,46 \pm 0,09$	
	$180^\circ$	20	0,100	102	70	$+0,186$ $\pm 0,077$	1660	1830	$-0,049$ $\pm 0,017$	$-0,51 \pm 0,04$	$-0,37 \pm 0,15$	
	$0^\circ$	32	0,294	317	190	$+0,250$ $\pm 0,045$	2050	2510	$-0,100$ $\pm 0,015$	$-0,62 \pm 0,04$	$-0,40 \pm 0,08$	$-0,43 \pm 0,05$
	$180^\circ$	32	0,253	279	157	$+0,280$ $\pm 0,045$	943	1092	$-0,073$ $\pm 0,023$	$-0,62 \pm 0,04$	$-0,45 \pm 0,08$	
$\theta = 90^\circ$ $E_p = 6,60$	$0^\circ$	22	0,430	450	314	$+0,180$ $\pm 0,035$	2840	2600	$+0,044$ $\pm 0,013$	$-0,75 \pm 0,04$	$-0,24 \pm 0,05$	
	$180^\circ$	22	0,302	330	206	$+0,230$ $\pm 0,043$	2605	2535	$+0,014$ $\pm 0,014$	$-0,75 \pm 0,04$	$-0,30 \pm 0,06$	$-0,27 \pm 0,04$
	$0^\circ$	22	0,268	289	185	$+0,220$ $\pm 0,044$	2590	2840	$-0,046$ $\pm 0,012$	$-0,75 \pm 0,04$	$-0,29 \pm 0,06$	
$\theta = 135^\circ$ $E_p = 5,90$	$0^\circ$	15	0,496	220	294	$-0,140$ $\pm 0,043$	7100	6540	$+0,041$ $\pm 0,009$	$-0,80 \pm 0,04$	$+0,17 \pm 0,06$	
	$180^\circ$	11	0,504	255	265	$-0,020$ $\pm 0,044$	5230	5530	$-0,028$ $\pm 0,011$	$-0,84 \pm 0,04$	$+0,02 \pm 0,05$	$+0,09 \pm 0,04$



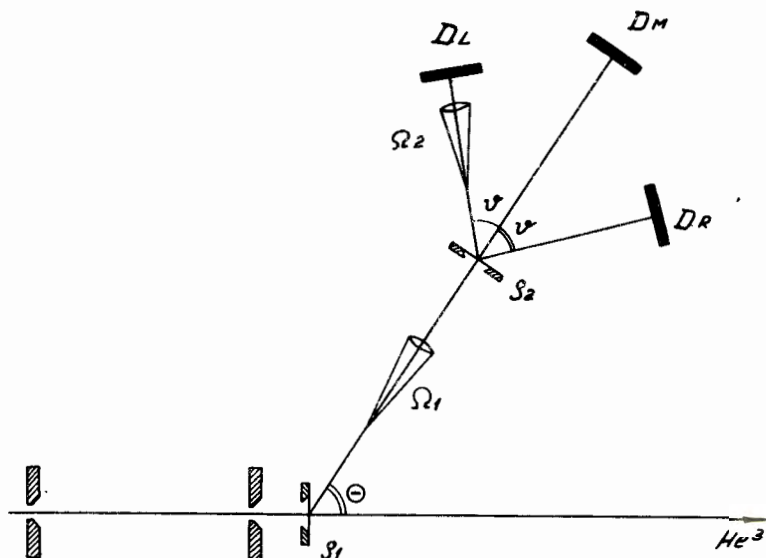


Рис. 1. Схема опыта по измерению поляризации протонов из реакции  $C^{12}(He^3, p_0)N^{14}$ .

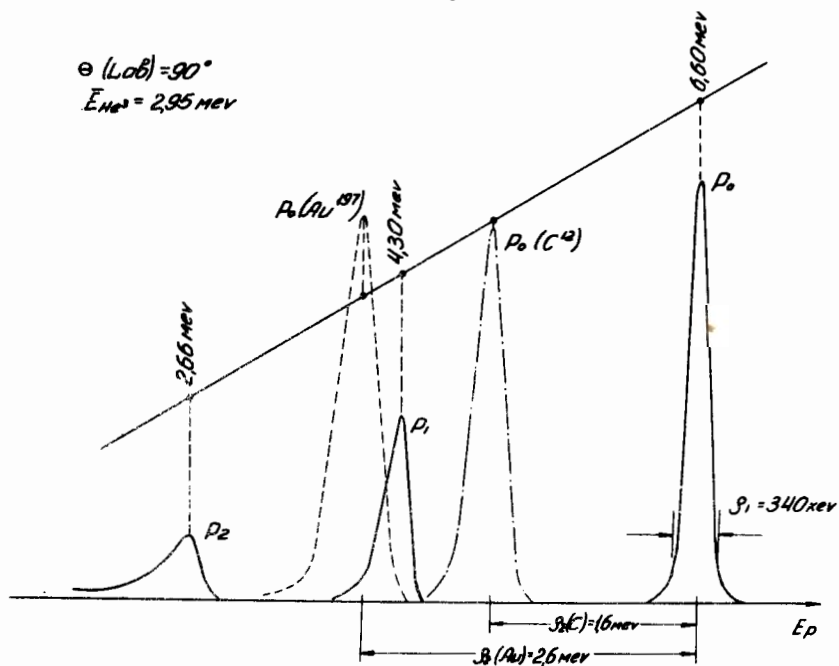


Рис. 2. Определение толщины мишеней  $P_1$  и  $P_2$  по уширению и смещению пиков от протонов на спектрах, измеренных многоканальным амплитудным анализатором.

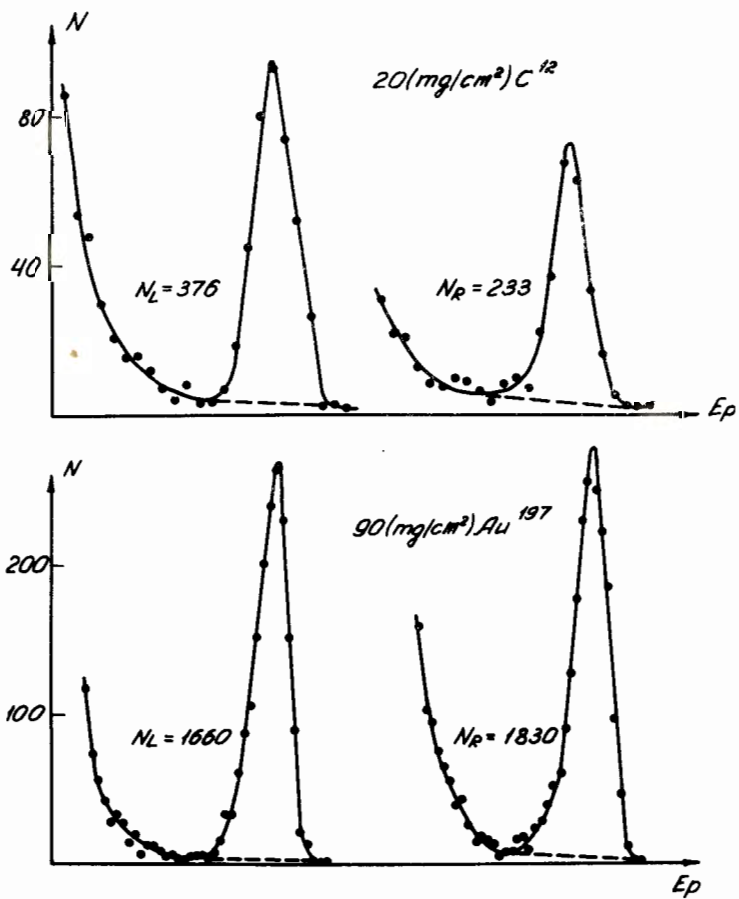


Рис. 3. Типичные спектры протонов из реакции  $\text{C}^{12}(\text{He}^3, p_0)\text{N}^{14}$  после рассеяния на углеродной и золотой мишенях.

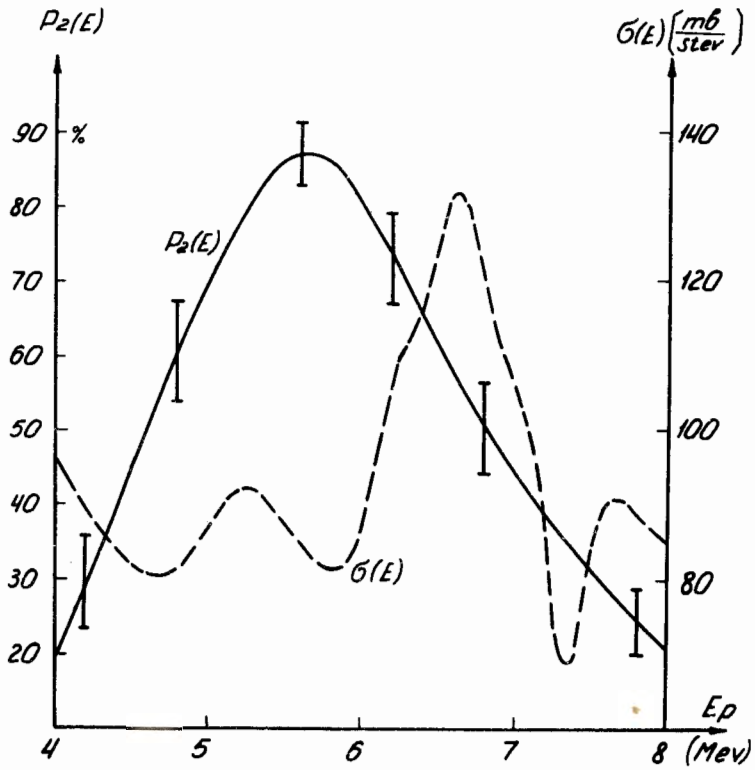


Рис. 4. Вычисленные значения  $P_2(E)$  и  $\sigma(E)$  в зависимости от энергии протонов.

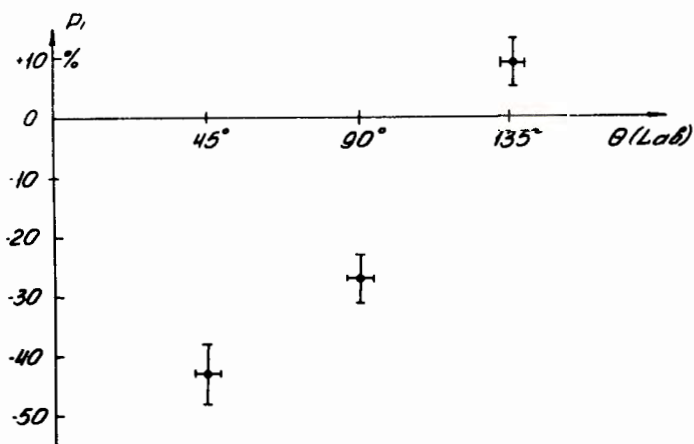
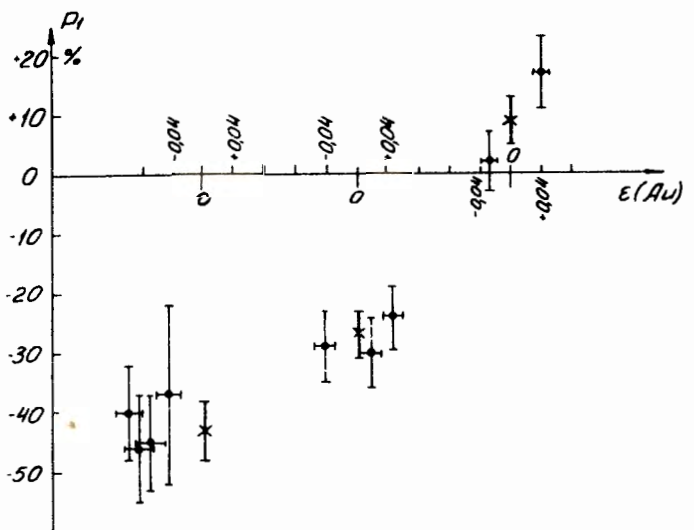


Рис. 5. Вверху: поляризация протонов, измеренная при разных значениях асимметрии  $\epsilon(Au)$  с мишенью из золота и среднее значение поляризации, экстраполированные к нулевой асимметрии на золоте. Внизу: средние значения поляризации в зависимости от угла  $\theta$ .