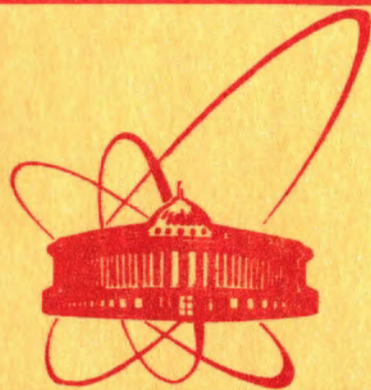


+



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

0182/2-80

22/12-80
1-80-580

Ю.Ш.Багатурия, Ю.М.Казаринов, М.Ю.Казаринов,
М.Ю.Либург, В.Н.Матафонов, Г.Г.Мачарашвили,
И.К.Поташникова, И.Страхота, М.Страхотова,
Ю.А.Усов, Б.А.Хачатуров, М.Р.Хаятов

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРА ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ D
В ОБМЕННОМ π p-РАССЕЯНИИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 600 МэВ

Направлено в ЯФ

1980

Эксперимент по измерению деполяризации в упругом пр-рассеянии был выполнен в соответствии с программой полного опыта в исследовании NN-рассеяния^{1/}, спланированной на основании фазового анализа данных по NN-рассеянию, проведенного ранее в Дубне^{2/}. Для определения параметра $D_{пр}$ проведен эксперимент по двойному рассеянию с использованием поляризованной протонной мишени /ППМ/ и нейтронного неполяризованного пучка со средней энергией 600 МэВ. Использование ППМ позволило заметно продвинуться в область углов рассеяния, близких к 180° /с.с.м./, где измерение $D_{пр}$ представляло наибольший интерес. Определение параметра $D_{пр}$ при рассеянии в переднюю полу-сферу выполнено ранее в эксперименте по тройному рассеянию^{3/}.

Для нахождения $D_{пр}$ измерялось угловое распределение протонов отдачи $I_2(\theta_2, \phi_2)$, вылетающих из ППМ в результате упругих пр-столкновений после повторного рассеяния их на анализаторах из углерода. Значение $D_{пр}$ определялось из полученных экспериментальных данных методом максимума правдоподобия. Функция правдоподобия бралась в виде

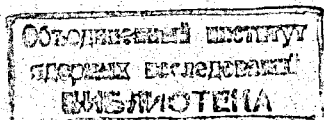
$$L = \prod_{n=1}^N \left[1 + \frac{\vec{P}_{пр} + D\vec{P}_T}{1 + \vec{P}_{пр} \vec{P}_T} \cdot \vec{P}_c(\theta_2) + k_1 (1 + \vec{P}_{пр}^{(KB)} \cdot \vec{P}_c(\theta_2)) + k_2 \right], \quad /1/$$

где $\vec{P}_{пр}$, $\vec{P}_{пр}^{(KB)}$ - поляризация в упругом и квазиупругом пр-рассеянии соответственно; \vec{P}_T - поляризация мишени; $\vec{P}_c(\theta_2)$ - поляризация в упругом рС-рассеянии; k_1 и k_2 - относительные веса квазиупругого рассеяния и фона случайных совпадений соответственно; N - число зарегистрированных случаев второго /анализирующего/ рассеяния; θ_2 и ϕ_2 - полярный и азимутальный углы второго рассеяния.

Одновременно с измерением $D_{пр}$ в эксперименте определялась поляризация в упругом пр-рассеянии. Для этого измерялась ϵ_1 - асимметрия в рассеянии нейтронов на ППМ:

$$\epsilon_1 = \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^- - 2DT}, \quad /2/$$

где N^\pm - нормированное на монитор число случаев рассеяния при соответствующем знаке поляризации, DT - число случаев на безводородном эквиваленте ППМ.



Предварительные результаты по измерению $D_{пр}$ и $P_{пр}$ были опубликованы в работе ^{4/}. Полное описание экспериментальной установки дано в работе ^{5/}. Здесь мы приводим лишь краткое описание основных узлов установки, относящихся к измерению параметра $D_{пр}$.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Нейтронный пучок. В эксперименте был использован пучок нейтронов синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ ^{6/}. Нейтроны образуются при бомбардировке протонами с энергией 680 МэВ внутренней бериллиевой мишени. Пучок формируется коллиматором в защитной стене.

Установка была настроена на высокоэнергетическую часть спектра падающих нейтронов таким образом, что средняя эффективная энергия на мишени составляла 600 МэВ при диаметре пучка 35 мм. Это достигалось использованием пороговых черенковских счетчиков, сепарацией протонов по импульсу в магнитном поле ППМ и выбором соответствующего угла между детектором протонов отдачи и нейтронным детектором.

Поляризованная протонная мишень ^{7/}. Материал мишени - кристалл LMN размерами 20x20x30 мм³. Мишень работает при температуре 1°К, достигаемой путем откачки паров ⁴He. Содержание водорода в мишени составляет 3% по весу. Средняя поляризация - около 60%. Она определяется по измерениям сигнала ЯМР методом Q-метра с жесткой автоподстройкой резонансной частоты и со стробоскопическим интегратором ^{8/}. Относительная ошибка в определении поляризации мишени составляет 5% ^{9/}.

Экспериментальная установка показана на рис.1.

Первое рассеяние. Пучок нейтронов падал на протонную поляризованную мишень. Протоны отдачи, вылетающие в результате упругих пр-столкновений, регистрировались на четырех углах рассеяния телескопами Т1-Т4, состоящими из трех счетчиков. В телескопах Т2 и Т3 использовались пороговые черенковские счетчики, энергетический порог которых составлял 400 МэВ. Для снижения фона от сложных ядер, содержащихся в ППМ, упруго рассеянные нейтроны регистрировались нейтронными счетчиками НС1-НС4, включенными на совпадение с Т1-Т4 соответственно. В качестве схем совпадений использовались стандартные блоки с разрешением 10 нс.

Значения углов первого рассеяния, кинетические энергии налетающих нейтронов и пространственное разрешение детекторов, найденные расчетным путем, приведены в табл.1.

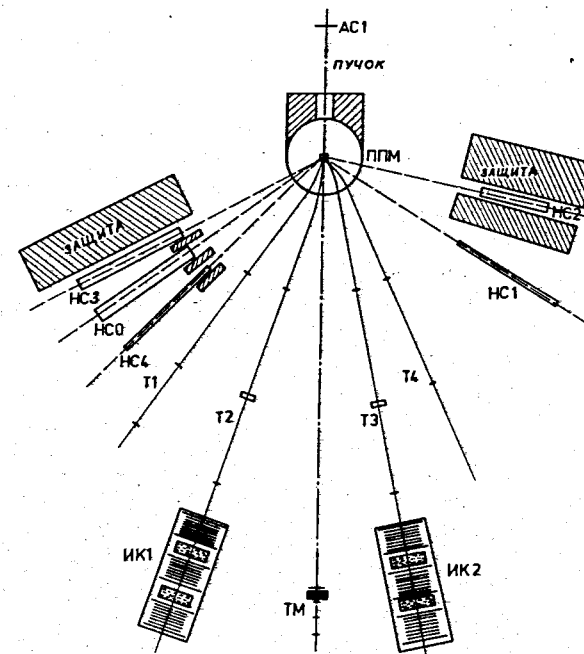


Рис.1. Экспериментальная установка. ППМ - протонная поляризованная мишень; Т1-Т4 - телескопы, регистрирующие протоны отдачи; НС1-НС4, НС0 - нейтронные счетчики; ТМ - телескоп-монитор; ИК1, ИК2 - искровые камеры; АС1 - счетчики антисовпадений.

Таблица 1

№ канала	с.ц.м.	$\Delta\theta_1^\circ$	$\Delta\phi_1^\circ$	\bar{T}_n МэВ	ΔT_n МэВ
	θ_1°				
2	159,7	1,1	3,1	597,0	44,0
3	129,8	1,4	3,1	596,2	41,1

Поперечные размеры сцинтилляторов нейтронных счетчиков выбирались так, чтобы перекрыть телесный угол сопряженного детектора протонов отдачи. Длина сцинтиллятора выбиралась экспериментально из соображений максимальной эффективности регистрации нейтронов при удовлетворительном уровне фона и оказалась равной 50 см. Эффективность нейтронного счетчика оценивали по формуле

$$\epsilon \approx \frac{N_{CH_2} - N_C}{T_{CH_2} - T_C} \cdot \frac{\sigma_{tot}}{\sigma_{el}} \quad /3/$$

где индексы CH_2 и C означают тип мишени; T - нормированное на монитор количество событий, зарегистрированных протонным телескопом; N - количество событий, зарегистрированных при совпадении сигналов протонного телескопа и нейтронного счетчика; σ_{el} - полное сечение упругого np -рассеяния; σ_{tot} - полное сечение np -взаимодействия. Размеры нейтронных счетчиков; кинетическая энергия T_n регистрируемых нейтронов и эффективность регистрации ϵ приведены в табл.2.

Таблица 2

№ канала	Размеры сцинтилляторов /в см/	T_n /МэВ/	ϵ
2	12x5x30	20	0,10
3	15x5x50	109	0,22

Число случаев упругого рассеяния, зарегистрированных детекторами при разных знаках поляризации мишени, определяло азимутальную асимметрию ϵ_1 в первом рассеянии и давало возможность найти поляризацию P_{np} для четырех углов рассеяния.

Второе рассеяние. Протоны отдачи, вылетающие из ППМ под углами 9° и 22° /лаб.сист./, рассеивались на анализаторах из углерода, помещенных в оптические искровые камеры ИК₁ и ИК₂. Толщина анализаторов выбрана так, чтобы средний угол многократного рассеяния протона не превышал $0,5^\circ$. Камеры /диаметром 19 см с тремя рабочими промежутками по 10 см/ позволяют регистрировать случаи рассеяния в большом телесном угле $2^\circ \leq \theta_2 \leq 30^\circ$, $0^\circ \leq \phi_2 \leq 360^\circ$. Полная вероятность рассеяния протона в камере составляла 0,1. Треки в камерах фотографировались в горизонтальной и вертикальной проекциях на стандартную 35-миллиметровую киноплёнку. Оптическая схема фотографирования в искровых камерах приведена на рис.2. Правильность юстировки оптической системы искровых камер проверялась фотографированием смоделированных треков. Триггер для запуска искровых камер вырабатывался сигналом совпадения протонного телескопа и сопряженного ему нейтронного счетчика.

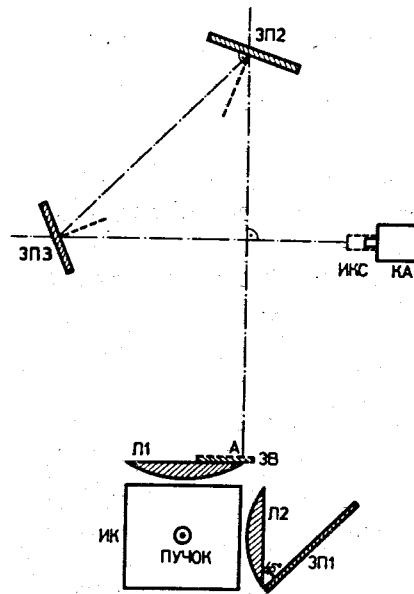


Рис.2. Схема фотографирования треков в искровых камерах. ИК - искровая камера; Л1, Л2 - линзы; ЗП1-ЗП2 - плоские зеркала; КА - киноаппарат. Пунктиром указаны средства юстировки: ИКС - источник коллимированного света, ЗВ - вспомогательное зеркало.

на отдельные блоки, соответствующие измерениям в определенных условиях, и автоматическое усреднение данных в законченном блоке при изменении характеристик измерения. При усреднении осуществлялась проверка статистической совместимости данных в блоке.

Изменение знака поляризации мишени проводилось каждые 6-8 часов. Технологический перерыв в работе ППМ, необходимый для изменения знака поляризации, использовался для измерения фона случайных совпадений. Фон случайных совпадений (k_2) не превышал 30-40%. Фон от сложных ядер, содержащихся в ППМ, измерялся в отдельном эксперименте, на неполяризованной мишени из кристалла LMN и ее безводородном эквиваленте DT ($Ba(NO_3)_2$

Измерения проводились в шести сеансах продолжительностью 100-120 часов каждый. Набор данных осуществлялся короткими экспозициями по 10 мин, в течение которых данные детекторов накапливались в счетчиках КС-002, после чего передавались в ЭВМ HP-2116C. Регистрировались показания всех детекторов, мониторов пучка, поляризации мишени, константы-характеристики измерения, номера кадров на фотопленке. В промежутках между выводами пучка из ускорителя с помощью регистрации периодических сигналов светодиодов, размещенных на всех ФЭУ установки, ЭВМ контролировала стабильность работы всех детекторов.

Программное обеспечение эксперимента на линии, кроме записи всех данных, позволяло получать контрольную распечатку отдельных рекордов, автоматическую диагностику неисправной функции электронной логики всех счетных каналов /с помощью сигналов от светодиодов/, вывод гистограмм на дисплей или графопостроитель - CALCOMP, автоматическое деление информации

и MgO). Коэффициент $k_1 = N_{DT}/N_H$ в /1/ определялся следующим образом:

$$k_1 = \frac{N_{DT}}{N_H} = \frac{N_{DT}}{N_{LMN} - R \cdot N_{DT}}$$

где N_{LMN}, N_{DT} - нормированные на поток нейтронов количества событий, зарегистрированных при использовании соответствующих мишеней, за вычетом фона случайных совпадений; R - множитель, учитывающий отличие безводородного эквивалента DT от мишени LMN по весу. Значения k_1 приведены в табл.3.

Таблица 3

№ канала	k_1	с.ц.м. θ_1°
$T_2 \times \text{HC2}$	$0,29 \pm 0,02$	$159,6^\circ$
$T_3 \times \text{HC3}$	$0,36 \pm 0,02$	$129,5^\circ$

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Всего было получено соответственно 600 и 400 тысяч фотографий для углов рассеяния $\theta_1 = 129,5^\circ$ и $159,6^\circ$ /с.ц.м./. Просмотр и измерение фотографий с искровых камер производилось на полуавтоматах, изготовленных

в лаборатории ранее ^{10/}. В результате просмотра были отобраны события с углом второго /анализирующего/ рассеяния в интервале $6^\circ \leq \theta_2 \leq 30^\circ$ / $33 \cdot 10^3$ случаев для $129,5^\circ$ с.ц.м. и $18 \cdot 10^3$ для $159,6^\circ$ с.ц.м./. Точность измерения проекций угла второго рассеяния составляла $\pm 0,9^\circ$. Это давало ошибку при восстановлении пространственных углов $\Delta\theta_2 = \pm 1^\circ$ и $\Delta\phi_2 = \pm 3^\circ$.

На рис.3а и б представлены полученные в выбранной области углов θ_2 дифференциальные сечения $\sigma(\theta_2)$ протонов на углероде с "неограниченной" неупругостью. Для сравнения на этих же рисунках приведены сечения, полученные в работах ^{11/}. Данные представлены в относительных единицах с одинаковой нормировкой при измерениях на угле 7° . Достаточно хорошее согласие полученных значений $\sigma(\theta_2)$ с результатами работы ^{11/} говорит о постоянной эффективности работы искровых камер в интервале углов $6^\circ \leq \theta_2 \leq 30^\circ$, а также о том, что восстановление пространственных углов проведено правильно.

С целью определения параметра D_{np} полученное угловое распределение протонов после второго рассеяния обрабатывалось методом максимума правдоподобия. Вероятность рассеяния на угол θ_2, ϕ_2 записывалась в виде /1/ с добавлением членов $\beta \cdot \sin \phi_2$ и $\alpha \cdot \cos \phi_2$, которые учитывают ложную асимметрию в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Предполагалось также, что в со-

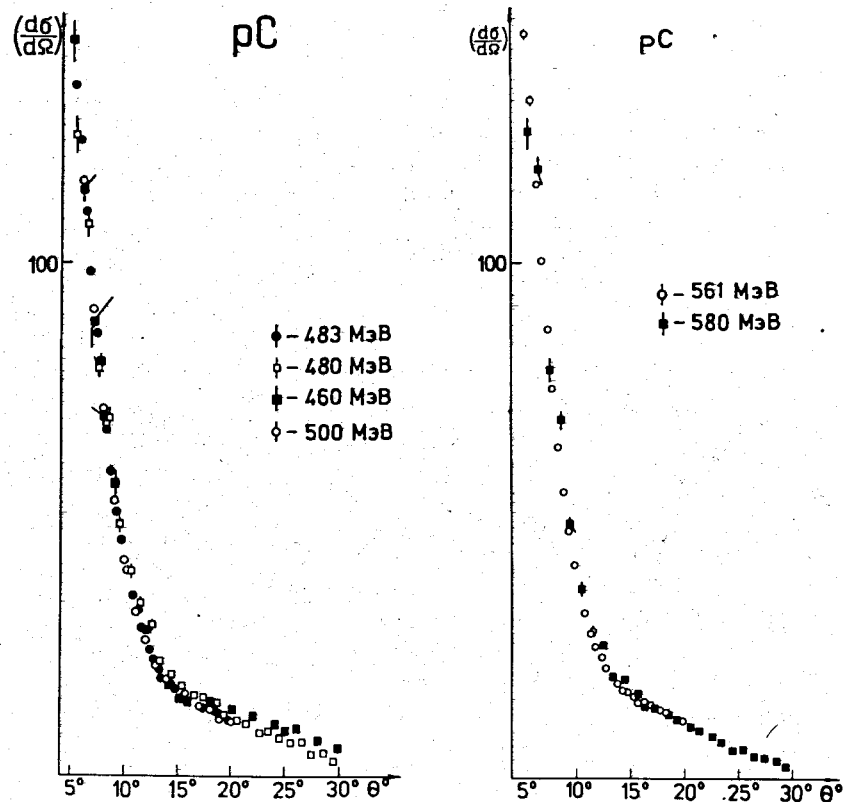


Рис.3а,б. Дифференциальные сечения рассеяния протона на углероде /с неограниченной неупругостью/. \circ, \square - результаты работ ^{11/}; $\bullet, \blacktriangledown$ - настоящий эксперимент.

ответствии с результатами работы ^{12/} параметры поляризации в квазиупругом и упругом пр-рассеянии равны: $P_{np}^{(KB)} = P_{np}$. Значения поляризации в рС-рассеянии /анализирующая способность/ при этом были взяты из работ ^{11,13/}. При вычислении максимума функции правдоподобия использовались средневзвешенные по монитору пучка значения поляризации мишени P_T .

Часть экспериментального материала была просмотрена дважды. Результаты обоих просмотров совпали в пределах ошибок. Эффективность просмотра при этом составляла $93 \pm 3\%$.

Результаты измерения D_{np} /см. рис.4/, усредненные для двух направлений поляризации P_T , приведены в табл.4.

Таблица 4

θ_1° с.ц.м.	$\Delta\theta_1^{\circ}$	$P_{пр}$	$D_{пр}$	α	β
129,8	1,4	-0,249±0,005	-0,19±0,07 -0,26±0,07	+0,10±0,01 0-фикс.	-0,12±0,01 0-фикс.
159,6	1,4	-0,076±0,008	-0,41±0,17 -0,43±0,17	-0,08±0,02 0-фикс.	+0,03±0,02 0-фикс.

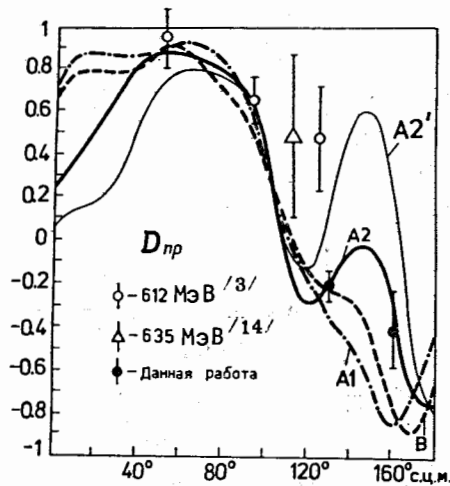


Рис. 4. Зависимость параметра деполяризации от угла в обменном пр-рассеянии. A1 и A2, B — решения фазового анализа, проведенного в интервале энергий 570–610 МэВ. Коридор ошибок составляет +5%. Тонкой сплошной линией A2' показана угловая зависимость $D_{пр}$, предсказанная решением A2', полученным по совокупности экспериментальных данных, не включающих результаты настоящего эксперимента. A1' и B' на рисунке не показаны, так как они не выходят за пределы соответствующих коридоров ошибок.

В табл. 4 также приведены значения величин α и β , характеризующие ложную асимметрию "лево-право" и "верх-низ" в распределении протонов в искровых камерах. Видно, что α и β принимают довольно большие значения. Для исследования зависимости деполяризации от ложных асимметрий α и β фиксировались нулями. При этом оказалось, что изменение параметров $D_{пр}$ не превышает одного стандартного отклонения. На рис. 4 приведены также для сравнения значения $D_{пр}$, полученные ранее в экспериментах при близких энергиях. Обращает на себя внимание резкая зависимость от угла рассеяния вблизи угла 130° /с.ц.м./.

Полученные значения деполяризации, строго говоря, не удовлетворяют ни одному из фазовых наборов работы ^{12/}, по предсказаниям которой был спланирован данный эксперимент. Однако они

находятся в удовлетворительном согласии с результатами фазового анализа, выполненного в Сакле в 1979 г. ^{15/} в интервале энергий 10–750 МэВ. Характерной особенностью последней работы была попытка феноменологически учесть энергетическую зависимость фазовых сдвигов.

В связи с тем, что за период 1972–1980 гг. появились новые экспериментальные данные по упругому пр- и прр-рассеянию, мы провели фазовый анализ в интересующем нас узком интервале энергий 570–610 МэВ по всем данным, появившимся в печати к началу 1980 г. Было получено три набора фазовых сдвигов, равновероятных по χ^2 -критерию. При этом показано, что наши измерения параметра $D_{пр}$ заметно сближают угловые зависимости $D_{пр}$ в области углов $110^{\circ} \leq \theta_1 \leq 180^{\circ}$, рассчитанные по полученным фазовым наборам /см. рис. 4/.

В заключение авторы благодарят профессоров В.П. Желепова и Л.И. Лapidуса за поддержку эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузиков Л.Д., Рындин Р.М., Смородинский Я.А. ЖЭТФ, 1957, 32, с.592.
2. Глonti Л.Н. и др. ОИЯИ, P1-6339, P1-6387, Дубна, 1972.
3. Глonti Л.Н., Казаринов Ю.М., Хаятов М.Р. ЖЭТФ, 1972, 62, с.1998.
4. Багатурия Ю.Ш. и др. ОИЯИ, P1-12143, Дубна, 1979.
5. Багатурия Ю.Ш. и др. ОИЯИ, 13-80-97, Дубна, 1980.
6. Киселев В.С. и др. ЖЭТФ, 1958, 35, с.812.
7. Парфенов Л.Б., Неганов Б.С. ОИЯИ, 12-4143, Дубна, 1968.
8. Киселев Ю.Ф., Матафонов В.Н. ОИЯИ, P13-10101, Дубна, 1976.
9. Ондreichек К., Страхота И. ОИЯИ, 13-12520, Дубна, 1979.
10. Легар Ф., Малы М., Сгон О. ОИЯИ, P1-2340, Дубна, 1965.
11. Aebischer V. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1975, 124, p.44; Besset D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1979, 166, p.379.
12. Zulkarneev R. et al. Phys. Lett., 1976, B61, p.164.
13. Глonti Л.Н., Казаринов Ю.М., Поташникова И.К. ОИЯИ, P1-6362, Дубна, 1972.
14. Желепов В.П. и др. В кн.: Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий. Дубна, 1964. Атомиздат, М., 1966, с.11.
15. Bystritsky J., Lechanoine C., Lehar F. DPRPE, 29-01, Saclay, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 августа 1980 года.