

А. К. АДЖЕИ, Б. С. ГАЛАХМАТОВА, З. Ф. КАЛАЧЕВА,  
М. Р. ОМАР, Е. А. РОМАНОВСКИЙ, М. А. СУЛТАН,  
Г. Ф. ТИМУШЕВ, М. М. ХАСАНИ

## АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРОТОНОВ ПРИ УПРУГОМ РАССЕЯНИИ

Описывается аппаратура, предназначенная для измерения угловых и энергетических зависимостей поляризации протонов при упругом рассеянии.

Изучение энергетической зависимости поляризации протонов при упругом рассеянии атомными ядрами позволяет получать дополнительную информацию о механизме взаимодействия и квантовых характеристиках ядер. Такие измерения проводятся как с использованием пучков поляризованных частиц, так и методом двойного рассеяния.

В настоящей работе описывается аппаратура для измерения энергетических и угловых зависимостей поляризации при упругом рассеянии протонов средних энергий атомными ядрами, разработанная с целью повышения эффективности использования циклотрона с фиксированной энергией при измерениях по методике двойного рассеяния.

Схема экспериментального устройства такова. Пучок протонов ускорялся в 120-сантиметровом циклотроне НИИЯФ МГУ. После вывода из камеры ускорителя протоны фокусировались квадрупольными линзами, поворачивались на угол  $35^\circ$  отклоняющим магнитом и, пройдя систему из нескольких коллиматоров, попадали в камеру мишеней. Корпус камеры мишеней выточен из сплошного куска железа. В боковых стенках камеры выфрезеровано по восемь окошек с каждой стороны. В месте пересечения осей, проходящих через центры симметричных окошек и оси камеры, располагаются мишени. Мишени при помощи специальных держателей крепятся к верхней плексигласовой крышке камеры. Установка в камере не одной, а сразу нескольких мишеней (в нашем случае 3 или 6) и подсоединение к камере нескольких одноплоскостных поляриметров позволяет одновременно под определенным фиксированным углом измерять поляризацию при нескольких значениях энергии налетающих протонов. С помощью одной многомишенной камеры измерения проводились для двух углов ( $\phi_1$  и  $180^\circ - \phi_1$ ), а располагая набором из четырех камер мы проводили измерения для углов  $\phi_1 = 45^\circ, 60, 75, 90, 105, 120$  и  $135^\circ$ . Чертеж одной из многомишенных

камер с поляриметрами представлен на рис. 1. Устройство поляриметра показано на рис. 2. Для коллимации рассеянного пучка протонов служит система из трех щелей, за которыми помещена мишень — анализатор из углерода. Толщина мишеней-анализаторов  $\sim 10$  мг/см<sup>2</sup>. Углеродные пленки готовились из коллоидного раствора графита.

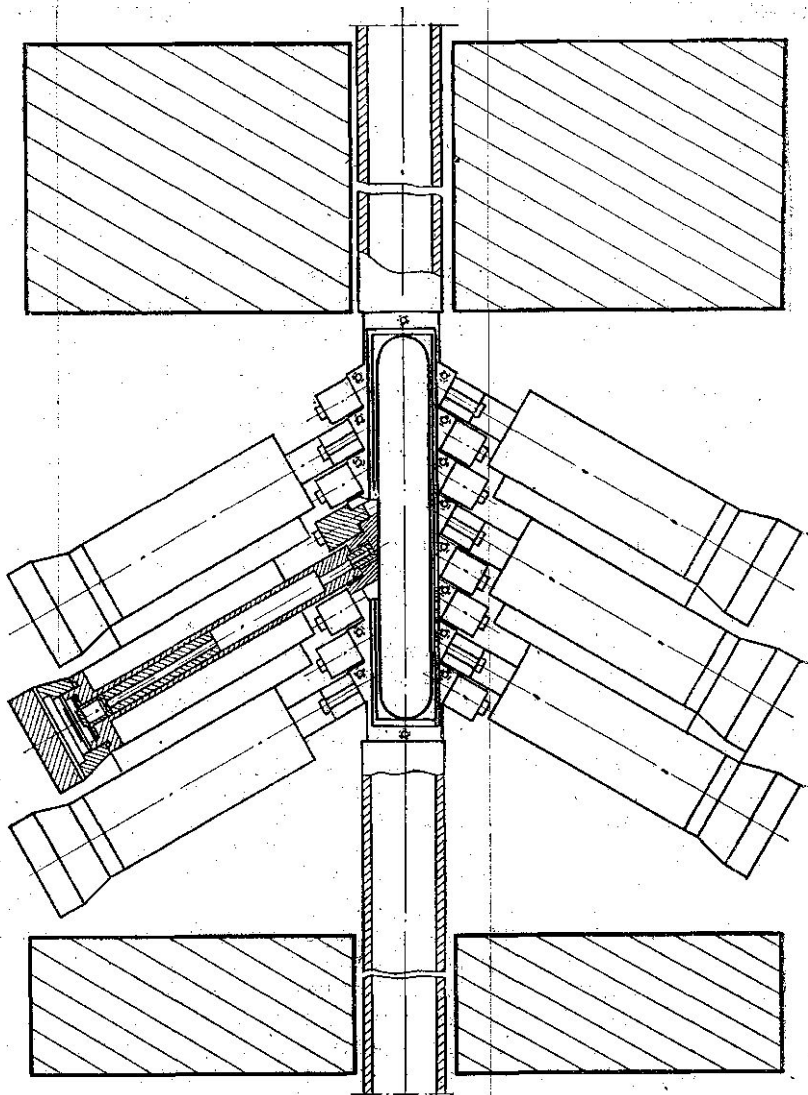


Рис. 1. Схема многомишенной камеры с поляриметрами

Протоны, рассеянные мишенью-анализатором, регистрировались ядерными фотопластинками типа МК с толщиной эмульсионного слоя 10—15 мк. Для защиты фотопластинок от  $\gamma$ -квантов, испускаемых мишенью, перед просматриваемым участком фотопластинки устанавливался свинцовый цилиндр длиной  $\sim 10$  см с отверстием для пучка. Для защиты от нейтронного излучения мишеней использовался слой полиэтилена толщиной  $\sim 25$  см. От нейтронного и  $\gamma$ -фона, идущего от циклотрона и

от танталовой пластинки, установленной на расстоянии  $\sim 150$  см после камеры мишеней, служившей тормозом для пучка, поляриметры дополнительно экранировались парафином и свинцом (см. рис. 1).

Для того чтобы в ядерных фотоэмульсиях регистрировались только протоны, дважды претерпевшие упругое рассеяние, перед фотопластин-

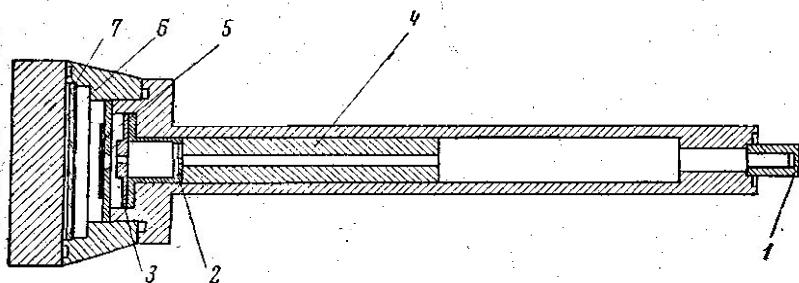


Рис. 2. Схема поляриметра: 1, 2, 3 — коллиматоры, 4 — свинцовая защита, 5 — мишень-анализатор, 6 — тормозная фольга, 7 — ядерная фотопластинка

ками устанавливались фольги-поглотители из алюминия необходимой толщины. В центре алюминиевой фольги делалось отверстие, размеры которого были больше, чем размеры последней антрассеивающей щели. Это оказалось необходимым для исключения регистрации в фотоэмульсии протонов, прошедших без рассеяния через мишень-анализатор и рассеянных на угол  $\sim 90^\circ$  алюминиевым поглотителем.

Так как после прохождения коллиматора и мишени-анализатора поляриметра протоны регистрируются ядерной фотоэмульсией, после ее проявления на фотопластинке образуется резкий черный след — «автограф» рассеянного пучка. Для того чтобы судить о «профиле» рассеянного пучка, прошедшего через мишень-анализатор, нами проводилось микрофотометрирование «автографа». На рис. 3 представлен типичный график зависимости интенсивности почернения фотопластинки от расстояния поперек следа.

Из рис. 3 видно, что с очень хорошей точностью усредненное по времени распределение интенсивности пучка, прошедшего через коллиматор поляриметра, постоянно. Так как края «автографа» пучка резко очерчены, то с точностью до  $0,1$  мм можно было на пластинке начертить линию, делющую «автограф» на две равные симметричные части (т. е. найти осевую линию). Для проверки правильности ее определения в некоторых случаях проводились фотометрические измерения, позволявшие с большей точностью поделить «автограф»

на две симметричные части. Далее на фотопластинке на равных расстояниях от осевой линии выделялись для просмотра участки одинаковой площади. В наших экспериментах выделенные для просмотра участки фотоэмульсии соответствовали углу второго рассеяния  $\phi_2 = 24^\circ \div 47^\circ$

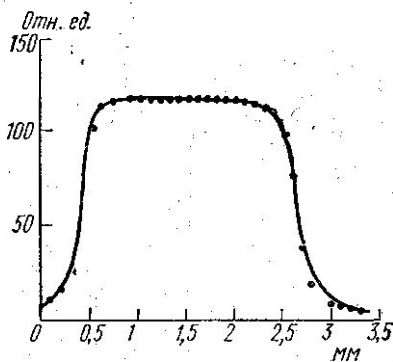


Рис. 3. Распределение интенсивности почернения на фотопластинке поперек следа

(в лабораторной системе координат). Для счета числа треков использовались микроскопы типа МБИ-2 и МБИ-8. При подсчете отбирались треки, имевшие начало на поверхности эмульсии и направленные от центра пластинки к краям.

Как известно, погрешности измерения асимметрии, связанные с конечными размерами экспериментальной установки, называются геометрическими. Измеряемые в поляризационном эксперименте величины  $R$  и  $L$ , входящие в выражение  $A = \frac{R-L}{R+L}$  (где  $A$  — асимметрия, а  $R$ ,  $L$  — числа треков, сосчитанные на правой и левой площадках фотоэмульсии), определяются как некоторые величины, усредненные по углам и энергии пучка. При измерении поляризации интенсивность анализируемого пучка мала. Поэтому для увеличения светосилы установки приходится заранее проектировать аппаратуру с плохой геометрией, т. е. с относительно большими телесными углами, что приводит к необходимости использования усредненного значения анализирующей способности  $^{12}\text{C}$ . Ложная асимметрия связана с погрешностями в юстировке системы относительно пучка (несовпадение оси прибора с осью пучка) в нашем поляриметре соответствует ложной асимметрии, возникающей из-за неточного определения центра пучка при расчерчивании фотопластинки. Оценки по формулам, приведенным в работе Н. Н. Пучерова [1] для поляриметров нашей конструкции, позволяют найти суммарную величину геометрической и ложной асимметрии, достигающую  $\sim 3\%$ .

Для экспериментального определения ложных асимметрий, как известно, можно воспользоваться тем фактом, что при рассеянии протонов низких и средних энергий на ядрах с большим  $Z$  поляризация не возникает. Для определения ложной асимметрии проводились измерения в таких условиях, когда в качестве первой и второй мишени (или либо только первой, либо только второй мишени) применялись мишени из золота или серебра. Результаты измерения показали, что ложная асимметрия для поляриметров не больше расчетной.

Как говорилось выше, для определения степени поляризации рассеянного протонного пучка в поляриметрах использовались углеродные мишени. Данные о поляризации протонов при упругом рассеянии на  $^{12}\text{C}$  хорошо известны по многим работам. Наиболее полной и точной работой для исследуемого нами интервала энергий служит работа Мосса и Хеберли [2], в которой проведен анализ экспериментальных данных и получены значения фаз для фиксированных энергий протонов. Расчет калибровочной кривой  $P_2 = P_2(E)$  для наших поляриметров проводился путем интерполяции и экстраполяции значений  $P_2(\theta, E)$  и  $\sigma(\theta, E)$  для исследуемого интервала углов и энергий. Полученные зависимости использовались для вычисления усредненной по энергетическому ( $\Delta E$ ) и угловому ( $\Delta\theta = 24-47^\circ$ ) интервалам калибровочной кривой. Для проверки правильности вычисления и определения экспериментальной анализирующей способности поляриметров проводились специальные градуировочные измерения. С этой целью в многомишенной камере устанавливались шесть углеродных мишеней толщиной от 2 до  $2,2 \text{ мг/см}^2$ . Протоны, рассеянные углеродными мишенями на угол  $\theta = 45^\circ$ , направлялись в поляриметры и второй раз также рассеивались на углеродных мишенях-анализаторах. Энергии протонов, падающих на мишени-анализаторы и на мишени, установленные в многомишенной камере, могли быть вычислены с хорошей точностью.

Прежде чем проводить измерения с углеродными мишенями, проводились фоновые измерения. Для этого фотопластинки облучались без мишеней-анализаторов. Обработка этих данных показала, что число

фоновых отсчетов соответствует 1—2% от числа истинных. Обработка экспериментальных данных по двойному рассеянию протонов на угле-роде позволила определить экспериментальную энергетическую зависи-мость анализирующей способности поляриметров. В измеренную зави-симость  $P_2(E)$  вводилась поправка на содержание в мишенях примеси

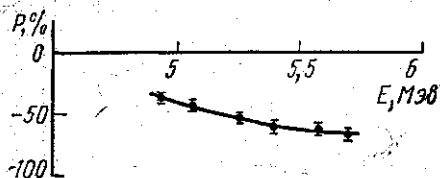


Рис. 4. Энергетическая зависимость анализирующей способности поляримет-ров. Сплошная кривая — расчетная

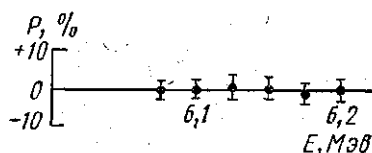


Рис. 5. Энергетическая зависи-мость поляризации протонов при рассеянии на Au под углом  $\phi_{\text{лаб}}=60^\circ$

железа (в количестве  $\sim 2\%$ ). Результаты сравнения расчетной кривой зависимости  $P_2(E)$  с экспериментальной представлены на рис. 4. Как видно из рисунка, согласие данных очень хорошее. При проведении измерений поляризации на других ядрах в зависимости  $P_2 = P_2(E)$  учи-тывалась только поправка на 2% содержания Fe в первой мишени. Исправленная таким образом кривая  $P_2(E)$  использовалась в качестве градуировочной кривой, анализирующей способности поляриметров.

Методика измерения поляризации протонов при упругом рассея-нии на других ядрах мало чем отличается от описанной выше методики определения зависимости  $P_2(E)$ . В камере мишени вместо углеродных мишеней устанавливались исследуемые мишени. Если имеется возмож-ность использовать для измерений идентичные мишени для данного изотопа, то при одном облучении удастся измерить поляризацию при нескольких значениях энергии.

В качестве примера на рис. 5 представлены измеренные энерги-ческие зависимости поляризации протонов при упругом рассеянии на ядрах Au в энергетическом интервале 6,2—6,1 МэВ под углом  $\phi_{\text{лаб}}=60^\circ$ . Как видно из графиков, поляризация при рассеянии протонов на Au отсутствует. С использованием этой методики нами проводятся изме-рения поляризации протонов при упругом рассеении на  $^{51}\text{V}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{53}\text{Cr}$ ,  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{59}\text{Co}$  и  $^{60}\text{Ni}$  в диапазоне энергий 5,8—6,5 МэВ и  $45-135^\circ$ . Использо-вание в работе одновременно шести поляриметров не приводит (в от-личие от поляриметров, использующих электрические методы счета частиц) к усложнению аппаратуры.

В заключение авторы благодарят проф. С. С. Васильева за инте-рес к работе и ценные замечания, Ю. А. Воробьева, А. А. Данилова, Е. М. Кирьянова, М. Х. Листова и А. П. Озябкина за хорошую органи-зацию работы циклотрона, Е. А. Бабакову, Т. Н. Луппову, Н. Д. Сив-кову, Т. Д. Смолину, М. В. Юлину и Л. А. Фролову за аккуратную обработку и просмотр фотопластинок. Мы благодарны также Г. Т. Тю-рикову, И. И. Товкачу и И. В. Кретову за помощь в конструировании и проведении экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пучеров Н. Н. Вопросы методики поляризационных экспериментов. Киев, 1969.
2. Moss S. Y., Haberli W. Nucl. Phys., 72, 417, 1965.

Поступила в редакцию  
19.6 1970 г.

НИИЯФ