

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУЧ.12
К-821

9/хн-74

P15 - 8072

4737/2-74

М.И.Кривопустов, И.В.Сизов, Г.Элер

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ
ПРОТОНОВ, ИСПУСКАЕМЫХ В ЯДЕРНЫХ
РЕАКЦИЯХ ПОД УГЛАМИ НАЗАД,
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С КОЛЬЦЕВОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

P15 - 8072

М.И.Кривопустов, И.В.Сизов, Г.Элер

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ
ПРОТОНОВ, ИСПУСКАЕМЫХ В ЯДЕРНЫХ
РЕАКЦИЯХ ПОД УГЛАМИ НАЗАД,
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С КОЛЬЦЕВОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

Анализ экспериментальной информации о поляризационных явлениях в реакциях двухнуклонной передачи на легких ядрах^{/1/} показывает, что накопление данных о поляризации частиц в таких реакциях идет крайне медленно. Малая величина сечений реакций типа ($^3\text{He}, p$) при низких энергиях затрудняет использование известной методики измерения лево-правой асимметрии, которая нашла широкое применение при изучении поляризации нуклонов в реакциях с протонами, нейтронами и дейтонами. Изменению такой ситуации могут способствовать поиск и разработка новых, более эффективных методов исследования.

В работах^{/2,3/} описан впервые разработанный нами поляриметр, в котором анализирующая мишень выполнена в виде кольца. Введение этого усовершенствования позволяет в значительной мере разрешить две основные трудности поляризационных экспериментов, связанные с проблемой увеличения интенсивности и устранением /или строгим учетом/ приборных асимметрий. Высокая эффективность этой методики позволила провести подробное исследование поляризации протонов в реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ для передних углов^{/4,7/}.

Различные применения схемы эксперимента с кольцевой анализирующей мишенью для изучения поляризационных эффектов в ядерных реакциях описаны в сообщениях^{/8-10/}. Однако до сих пор эта методика не была использована для исследования поляризации частиц, вылетающих из мишени под задними углами. С целью восполнения этого пробела была выполнена данная методическая работа.

В настоящем сообщении обсуждаются вопросы разработки кольцевого поляриметра для измерения поляризации нуклонов, образующихся в ядерных реакциях и вылетающих из мишени под задними углами, и приводятся результаты первых измерений поляризации протонов из реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He},p)^{14}\text{N}$ /осн. состояние/ для углов $\theta > 90^\circ$. Надежность определения поляризации проверяется контрольным опытом и сравнением с экспериментальными данными, полученными из измерения лево-правой асимметрии при упругом рассеянии протонов исследуемого канала реакции.

1. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Разработка методики проводилась с использованием пучка ионов, ускоряемых на электростатическом генераторе ЭГ-5 Лаборатории нейтронной физики, для случая реакции $(^3\text{He},p)$ на углероде-12. Схема экспериментального устройства для измерения поляризации протонов, вылетающих из мишени под углами $\theta > 90^\circ$, показана на рис. 1. Ионный пучок после прохождения фокусирующих линз, отклоняющего магнита и системы коллимирующих диафрагм выводился в камеру с поляриметрическим блоком. По специальной трубке пучок проходит к мишени 1. Эта самоподдерживающаяся мишень готовилась из углеродной эмульсии с поверхностной плотностью порядка 100 мкг/см^2 .

Протоны, образующиеся в результате реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He},p)^{14}\text{N}$ /при низких энергиях эта реакция имеет сечение менее 10 мб/ср/ и вылетающие из мишени 1 под углом $\theta > 90^\circ$, проходят через алюминиевую фольгу 2 и попадают на кольцевой анализатор 3. В измерениях в качестве анализирующего вещества использовалась углеродная пленка следующих размеров: наружный диаметр 130 мм , внутренний - 40 мм , а поверхностная плотность составляла $5-10 \text{ мг/см}^2$. Технология приготовления мишени 1 и анализатора 3 описана в нашей работе ^{/2/}. Между мишенью и анализатором устанавливается алюминиевая фольга 2, которая предотвращает попадание на анализи-

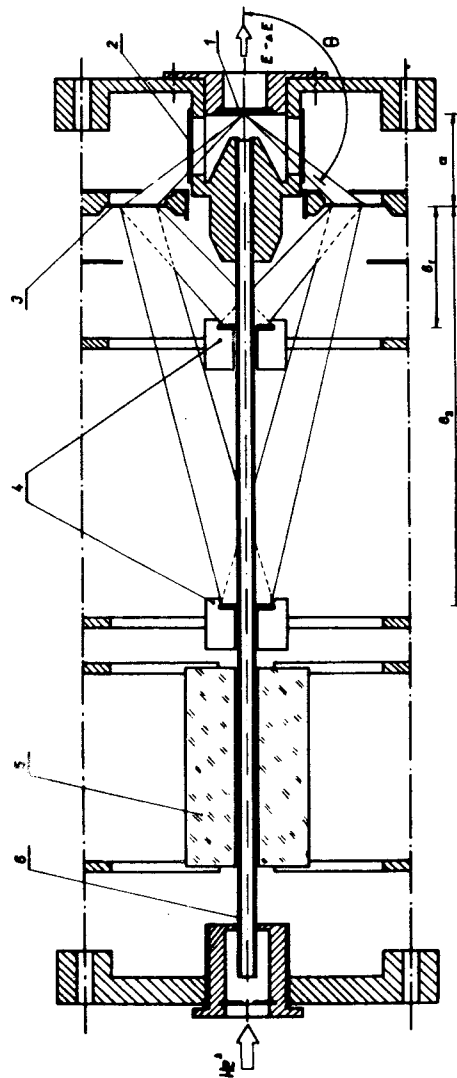


Рис. 1. Схема поляриметра с кольцевым анализатором для измерения поляризации протонов из ядерных реакций под углами "назад". 1 - мишень, 2 - алюминиевая фольга, 3 - анализирующая мишень, 4 - кольцевые полупроводниковые дефлекторы, 5 - свинцовая защита, б - экранирующая трубка, а - расстояние от мишени до анализатора, б₁ и б₂ - расстояния от анализатора до первого и второго дефлекторов, соответственно.

рующую мишень 3 упругорассеянных ионов гелия-3 и α -частиц, образующихся в реакциях на ядрах первой мишени.

После упругого рассеяния на углеродном анализаторе протоны попадают в полупроводниковые поверхностно-барьерные детекторы 4.

Особенностью поляриметра для измерений поляризации протонов под углами больше 90° является применение детекторов, выполненных в виде кольца. Изготовление кольцевых детекторов связано с рядом технологических трудностей. Из рис. 1 видно, что по оси поляриметрического блока размещена трубка 6, по которой пропускается пучок ускоренных ионов на мишень 1. Эта трубка экранирует детекторы от рассеянных ионов гелия-3 и свечения пучка. Необходимость применения трубки 6 накладывает строгие требования на геометрическую симметрию изготовления полупроводниковых детекторов /сверление отверстия, напыление/ и их размещения в оправе. Для измерений использовались два кольцевых детектора следующих размеров: наружный диаметр 18 мм, внутренний - 7 мм.

Свинцовая защита 5 существенно ослабляла интенсивность попадающих на детекторы вторичных частиц, которые образуются в результате реакций ускоренных ионов на материале коллимирующих диафрагм, установленных в левой части поляриметра. С целью уменьшения фона детекторов ионы, которые прошли мишень 1, выводились на кварц, удаленный на расстояние 75 см от поляриметрического блока.

Введение в конструкцию поляриметра экранирующей трубки, во-первых, обуславливало дополнительные жесткие требования на точность изготовления всех деталей поляриметра, качество фокусировки выводимого в камеру пучка и его стабильность во время измерения и, во-вторых, в значительной степени усложняло юстировку камеры с поляриметрическим блоком по оси пучка ускоренных ионов. Последнее обстоятельство в эксперименте с кольцевым поляриметром для измерений поляризации частиц, вылетающих под углами $\theta > 90^\circ$, играет существенную роль для получения малого фона в измеряемых спектрах и,

в конечном счете, в обеспечении благоприятного соотношения между поляризационным эффектом и фоном.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Асимметрия η и поляризация частиц \vec{P}_1 в эксперименте с кольцевой геометрией определяются следующими соотношениями ^{/2/}:

$$\eta = \frac{N_1 - GN_2}{N_1 + GN_2}, \quad /1/$$

N_1 и N_2 - значения интенсивностей, получаемые из спектров протонов, регистрируемых после их рассеяния на анализаторе, а G - нормировочный фактор, учитывающий различие в геометрическом расположении детекторов относительно анализирующей мишени/;

$$\vec{P}_1 = \frac{2\eta}{\eta(\bar{P}_{111} + \bar{P}_{112}) - (\bar{P}_{111} - \bar{P}_{112})} \quad /2/$$

\bar{P}_{111} и \bar{P}_{112} - средние поляризационные способности анализатора для протонов, вылетающих под разными углами в направлении первого и второго детекторов. Детектор, расположенный ближе к анализатору, считается первым /см. рис. 1//.

В работах ^{/2,4/} приводятся выражения для вычисления G и \bar{P}_{11} и обсуждаются результаты анализа зависимостей этих величин от физических и геометрических параметров.

Первые измерения поляризации с помощью кольцевого поляриметра для задних углов были выполнены для реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$. Рис. 1 иллюстрирует одну из геометрий, в которой измерялась поляризация протонов из этой реакции при энергии ускоренных ионов гелия 3,61 МэВ и угле вылета протонов из первой мишени $\theta = 135^\circ \pm 3^\circ$. Очевидно, что геометрическое расположение анализатора относительно первой мишени обусловлено значением угла θ , при котором планируется выполнить измерение, и конструктивными размерами. Размещение детекторов в поляри-

метрическом блоке производится с учетом энергетической и угловой зависимости сечения и поляризации при упругом рассеянии протонов на ядрах анализирующей мишени.

В верхней части рис. 2 показаны спектры протонов из реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$ после рассеяния на углеродном анализаторе, зарегистрированные первым и вторым детекторами, при следующих условиях: энергия бомбардирующих ионов гелия - 3,03 МэВ, угол $\theta=130^\circ$, энергетическая толщина первой мишени $\Delta E = 160$ кэВ. В работе использовалась схема регистрации протонов и методика обработки спектров, описанные в сообщениях /2,7/.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные о поляризации протонов из реакции $(^3\text{He}, p)$ на углероде-12 и результаты контрольного опыта, обсуждаемого ниже. Значения поляризации протонов даются со знаком, определенным в соответствии с Базельской конвенцией /6/ о положительном направлении поляризации ядерных частиц со спином $1/2$ *.

Надежность измерений поляризации с помощью разработанного кольцевого поляриметра для задних углов и расчетов геометрического фактора и средней поляризационной способности проверялась постановкой контрольного опыта и сравнением с результатами экспериментальной работы, выполненной методикой измерения лево-правой асимметрии.

В контрольном эксперименте в качестве анализирующей мишени использовалось золото, имеющее для протонов данной энергии нулевую поляризационную способность, т.е. $P_{\text{II}} \approx 0$; тогда в соответствии с уравнением /2/, записанным в виде

$$\eta = \vec{P}_I (\vec{P}_{\text{III}} - \vec{P}_{\text{II}2}) / [\vec{P}_I (\vec{P}_{\text{III}} + \vec{P}_{\text{II}2}) - 2],$$

получается асимметрия η , равная нулю. Нижняя часть рис. 2 иллюстрирует спектр протонов из реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$

* В сообщении /2/ специально анализируется вопрос об определении знака поляризации нуклонов в эксперименте с кольцевой геометрией.

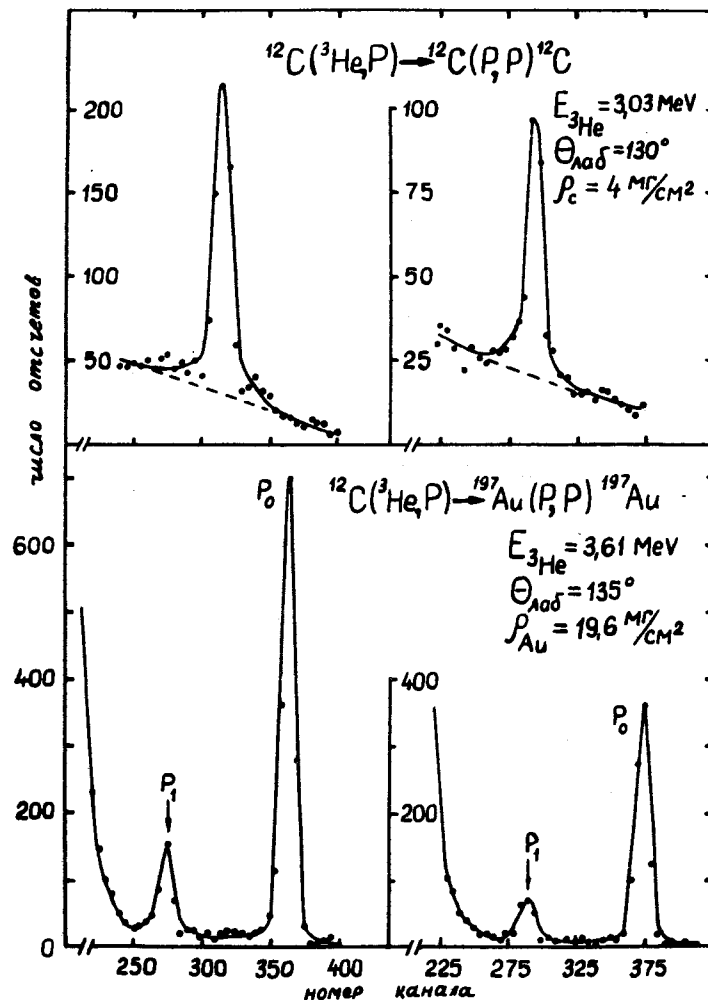


Рис. 2. Спектры протонов из реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He}, p)^{14}\text{N}$, измеренные двумя детекторами после рассеяния на углеродном /вверху/ и золотом анализаторах /внизу/. Слева - спектры первого детектора, справа - спектры второго детектора.

Таблица 1
Данные о поляризации протонов в реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He},\text{p})^{14}\text{N}$
/основное состояние/

Средняя энергия ионов \bar{E} , кэВ	Угол вылета протонов из мишени и угловой раствор $(\theta \pm \Delta\theta)$, лаб. сист.	Толщина первой мишени $\Delta\bar{E}$, кэВ	Характеристики анализатора		Асимметрия	Поляризация \bar{P}_z
			Ядро-анализатор	поверхностная плотность, ρ , мг/см.кв		
2950	130 ± 3	160	$^{12}\text{C}_4$	4, II	$+0,011 \pm 0,029$	$-0,023 \pm 0,063$
3520	135 ± 3	180	$^{12}\text{C}_6$	10, I7	$+0,270 \pm 0,038$	$-0,561 \pm 0,062$
3520	135 ± 3	180	$^{14}\text{N}_{19}$	19, 60	$-0,014 \pm 0,021$	
2950/5/	135 ± 3	340	$^{12}\text{C}_6$	II	$-0,020 \pm 0,044$	$0,02 \pm 0,05$

Примечание: Средняя энергия \bar{E} определяется как разность между энергией бомбардирующих ионов E и половиной энергетической толщины мишени ΔE , т.е. $\bar{E} = E - \Delta E/2$.

после рассеяния на золотом анализаторе с поверхностной плотностью $\rho = 19,60 \text{ мг/см}^2$. В результате обработки экспериментальных значений N_1 и N_2 , зарегистрированных в этом контрольном опыте, установлено, что асимметрия η в пределах статистической ошибки равна нулю /см. табл. 1/. Этим результатом подтверждена надежность определения поляризации с помощью описанного поляриметра.

В сообщении ^{5/} поляризация протонов из реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He},\text{p})^{14}\text{N}$ исследовалась по измерению асимметрии после упругого рассеяния протонов влево-вправо на углеродном анализаторе. Из табл. 1 видно, что значение поляризации протонов при энергии 2950 кэВ для двух близких углов $\theta = 130 \pm 3^\circ$ /настоящая работа/ и $\theta = 135 \pm 3^\circ$ ^{5/} в пределах экспериментальных ошибок согласуются. Отметим, что в указанной работе измерение поляризации выполнялись с первой мишенью, имеющей энергетическую толщину $\Delta E = 340 \text{ кэВ}$, что более чем в два раза превышает толщину мишени в наших опытах.

Поляризация протонов для угла $\theta = 135^\circ$ и энергии ускоренных ионов 3,61 МэВ имеет отрицательное значение, равное 56%. Этот результат находится в согласии с качественными предсказаниями, сделанными на основе резонансной теории ядерных реакций при описании протонной поляризации в реакции $(^3\text{He},\text{p})$ на углероде-12 ^{7/}.

Таким образом, результаты первых измерений поляризации протонов из реакции $^{12}\text{C}(^3\text{He},\text{p})^{14}\text{N}$, несмотря на указанные выше методические трудности, свидетельствуют о возможности исследования поляризации нуклонов, вылетающих из мишени под задними углами, с помощью разработанного кольцевого поляриметра.

После опубликования наших работ ^{2-4/} стали появляться сообщения о различных применениях схемы поляризационного эксперимента с кольцевым анализатором для исследования ядерных реакций. Так, Дойчер и др. ^{8/} в Россендорфе в опытах по изучению поляризации протонов в упругом рассеянии использовали анализатор, изготовленный в виде цилиндра. Такая анализирующая мишень, установленная коаксиально с направлением пучка бомбардирующих частиц, показана на рис. 3а.

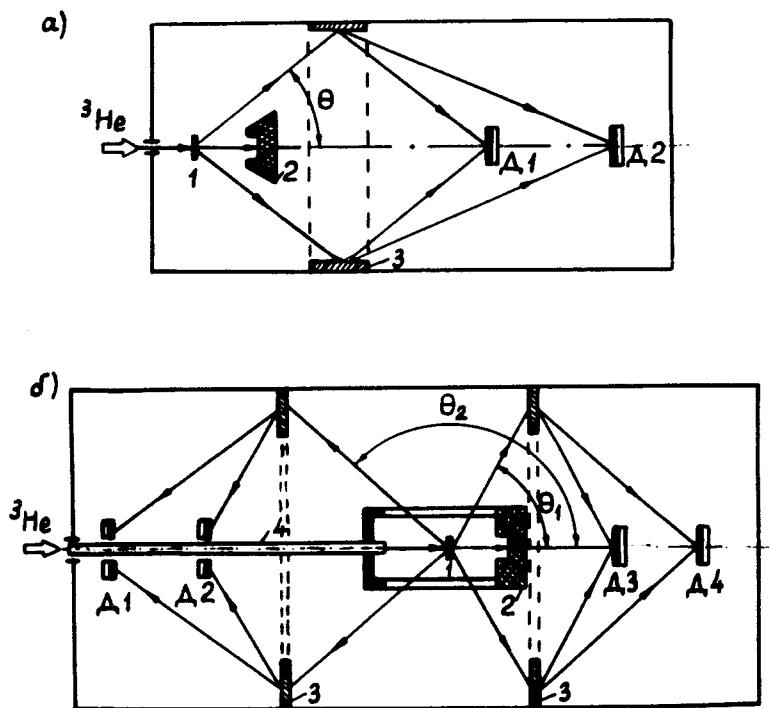


Рис. 3. Схемы кольцевых поляриметров: а/ с цилиндрическим анализатором^{/8/}, б/ комбинированный поляриметр для одновременного измерения поляризации при двух углах: $\theta_1 < 90^\circ$ и $\theta_2 > 90^\circ$. 1 - мишень, 2 - ионная ловушка, 3 - кольцевые анализаторы, 4 - экранирующая трубка, D₁ - D₄ - детекторы.

Другой пример можно найти в обзоре^{/9/} исследований поляризации нейтронов в реакции $^2\text{H}(d,n)^3\text{He}$, представленном на Симпозиуме по перспективам использования ускорителей низких энергий /Лондон, 1970/, в котором приведена схема расположения детекторов относительно кольцевого анализатора для измерения поляризации нейтронов.

В большом числе экспериментов в качестве анализатора поляризации частиц используется гелий. В Институте ядерных исследований /Киев/ при изучении поляризации протонов в реакции $^{20}\text{Ne}(p,p)^{20}\text{Ne}$ с энергией 2,2 - 3,4 МэВ Арцимовичем и др.^{/10/} успешно использован поляриметр двойного рассеяния с кольцевой газовой мишенью. Применение кольцевого анализатора позволило увеличить эффективность поляриметра приблизительно в 50 раз по сравнению с методикой измерения лево-правой асимметрии при упругом рассеянии. Заметим, что эта количественная оценка увеличения интенсивности подтверждает результаты наших расчетов и измерений^{/2,4/}.

В заключение укажем еще на одну возможность дальнейшего совершенствования обсуждаемой методики. На рис. 3б приведена схема комбинированного поляриметра, реализация которой повысит эффективность использования ионного пучка, рабочего времени ускорителя, регистрирующей и измерительной аппаратуры. Такой прибор позволит за одну экспозицию получать экспериментальные данные для определения поляризации при двух углах $\theta_1 < 90^\circ$ и $\theta_2 > 90^\circ$. С помощью программы для вычисления геометрического фактора и средней поляризационной способности^{/4/} можно найти оптимальную геометрию и для комбинированной схемы эксперимента. Разумеется в таком поляриметре возможно использование как кольцевых анализаторов, так и упоминавшихся выше анализаторов цилиндрической формы. При проведении измерений поляризации частиц под углами "вперед"^{/2/} и "назад" /см. рис. 1/ остается недоступной для исследования область углов вылета частиц около 90° ($75^\circ < \theta < 105^\circ$). В предлагаемом комбинированном поляриметре удастся значительно уменьшить этот интервал.

Авторы выражают благодарность сотрудникам механических мастерских за качественное изготовление поляриметра, Б.П.Осипенко за предоставление кольцевых полупроводниковых детекторов, Ф.Асфуру за участие в начальной стадии данной работы, И.А.Чепурченко и группе эксплуатации ЭГ-5 за обеспечение бесперебойной работы ускорителя.

Литература

1. *Proc. of the Third International Symposium "Polarization Phenomena in Nuclear Reactions"*. Ed. by H.H.Barschall and H.Haeblerli, USA, Madison, 1970.
2. М.И.Кривопустов, И.В.Сизов, Г.Ширмер, Г.Элер. Препринт ОИЯИ, Р15-3504, Дубна, 1967.
3. M.I.Krivopustov, I.W.Sizov, G.Schirmer, H.Oehler. *Proc. of the Second Conf. on Nucl. Reactions with Light Nuclei and Nuclear Structure*, 1967, Rossendorf, p. 140.
4. H.Oehler, M.Krivopustov, G.Schirmer, I.V.Sizov, F.Asfour. *Nucl. Instr. and Meth.*, 77, 293 (1970).
5. Р.Краузе, И.В.Сизов, Г.Элер. Препринт ОИЯИ, Р-2725, Дубна, 1966.
6. *Proc. of the International Symposium on Polarization Phenomena of Nucleons*, Basel, 1960.
7. а/ Г.Элер, М.И.Кривопустов, Г.-И.Вибики, Ф.Асфур, И.В.Сизов, Г.Ширмер. Сообщение ОИЯИ, Р15-5156, Дубна, 1970.
б/ см. также /1/ стр. 619.
8. M.Deutscher, G.Heinrich, E.Hentschel. *Nucl. Instr. and Meth.*, 71, 301 (1969).
9. R.B.Galloway. *Nucl. Instr. and Meth.*, 92, 537 (1971).
10. М.В.Арцимович, А.И.Малько, В.И.Сорока. Программа и тезисы докладов XXIV Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра /Харьков, 1974/. Ленинград, Наука, 1974, стр. 357.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 июля 1974 года.