

Е. А. РОМАНОВСКИЙ, Г. Ф. ТИМУШЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНОГО АНАЛИЗАТОРА

Описывается устройство магнитного анализатора с двойной фокусировкой, предназначенного для исследования ядерных реакций, и в частности для измерения поляризации частиц.

В настоящее время одним из точных и надежных методов исследования угловых и энергетических распределений частиц, образующихся в ядерных реакциях, является метод магнитного анализа продуктов ядерных реакций. Магнитный анализатор позволяет выделять отдельные группы частиц малой интенсивности из потока частиц различной природы и энергии, притом с точным определением энергии. Для исследования угловых распределений и особенно поляризации определенных групп частиц наиболее удобным оказывается анализатор с двойной фокусировкой с полукольцевыми полюсными наконечниками. Такой анализатор построен, в частности, в Швеции [1].

Требования к магнитным анализаторам продуктов ядерных реакций несколько иные, чем к анализаторам, используемым в β - и γ -спектроскопии, хотя общие задачи — получение высокой разрешающей способности при большой светосиле — совпадают. При анализе продуктов радиоактивного распада приходится иметь дело с частицами, вылетающими из источника изотропно, с одной и той же энергией. В этом случае анализатор должен иметь максимально возможный телесный угол. При анализе продуктов ядерных реакций зависимость энергии частиц от угла вылета ограничивает телесный угол. Поэтому в последнем случае особое внимание должно быть уделено увеличению светосилы прибора за счет увеличения площади источника. Светосилой прибора обычно называют величину $L = \frac{\Omega}{4\pi} S$, где Ω — входной телесный угол анализатора, а S — эффективная площадь источника (мишени), т. е. площадь, с которой частицы при соответствующем значении поля могут попадать в детектор.

Увеличение эффективной площади источника (мишени) особенно важно в тех случаях, когда бомбардирующий пучок имеет большое сечение или когда выход частиц мал, но нельзя нагружать мишень более плотным пучком. Кроме высокой разрешающей способности и большой светосилы анализатор должен обладать возможностью анализи-

ровать частицы в достаточно широкой энергетической области и под разными углами к бомбардирующему пучку. Мишень и детектор должны находиться вне области сильного поля. Анализатор должен быть оборудован точным и простым в работе измерителем поля. Измерение поля и управление всеми узлами анализатора должно быть дистанционным. Наиболее полно все эти требования можно удовлетворить при использовании анализатора с полукольцевыми полюсными наконечниками с аксиально симметричным полем, симметричным также относительно плоскости, перпендикулярной полю, и имеющим в этой плоскости вид

$$H_z = H_0 \left[1 - \alpha \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} + \beta \frac{(\eta - \eta_0)^2}{\eta_0^2} - \left(\beta - \frac{\alpha}{(2)} \right) \frac{z^2}{\eta_0^2} \right],$$

где α и β — параметры, η_0 — радиус средней круговой орбиты, z и η — цилиндрические координаты. В работе [2] приведены решения уравнений движения частиц в таком поле во втором приближении и сделан вывод о наиболее целесообразном подборе значений параметров $\alpha = 1/2$, $\beta = 1/4$. В этом случае необходимое поле может быть получено с помощью конических полюсных наконечников. Такой анализатор был построен и описан в работах [2, 3]. В работе [2] приведена форма изображения источника, построенная с помощью решения с точностью до второго приближения. Из формы изображения можно заключить, что разрешающая способность анализатора относительно слабо зависит от высоты источника, поэтому при исследовании ядерных реакций желательно располагать фокусирующий и анализирующий магниты с одинаковыми или противоположными направлениями полей, т. е. с вертикально направленными полями (предполагается, конечно, что разброс бомбардирующего пучка в этом случае также мало зависит от высоты коллимирующих щелей, что практически всегда имеет место). В этом случае можно пользоваться высокими мишенями. В анализаторах, построенных в Швеции [1] и в Соединенных Штатах [4], такое условие не соблюдено, поэтому они не могли использовать это весьма ценное свойство анализатора, которое дает увеличение светосилы прибора во много раз, особенно при высоких разрешениях.

Необходимость установки анализатора с вертикально направленным полем налагает ряд условий и на их конструкцию. В частности, форма магнитной цепи и расположение обмотки возбуждения должны быть только такими, как показано на рис. 1, в отличие, например, от анализатора Милейковского [1]. В этом случае достигается максимальный интервал углов для исследований, до минимума уменьшается величина рассеянного поля в области траектории бомбардирующего пучка (что особенно важно при исследованиях под большими углами). Уменьшается существенно мощность питания.

Существенной частью анализатора является измеритель магнитного поля. При исследовании спектра частиц необходимо менять поле небольшими ступеньками, а также часто повторять измерения определенных точек спектра, поэтому кроме точности от измерителя требуется простота и удобство работы. Наш анализатор оборудован дистанционным измерителем поля с нулевым отсчетом, который позволяет быстро устанавливать и определять величину поля в зазоре. Устройство такого измерителя описано в работах [2, 3, 5].

Принцип работы измерителя предельно прост. Рамка с током и противовесом помещается в измеряемом поле. Момент противовеса уравнивается силами поля. Положение рамки фиксируется по зайчику от зеркала на рамке. При соответствующем токе в рамке, оп-

ределяемом магазином сопротивлений в цепи измерителя поля, зайчик устанавливается на нулевую риску. Относительное значение поля пропорционально сопротивлению в цепи измерителя поля. Совмещение зайчика с риской устанавливается с помощью телевизионной установки типа ПТУ-0. Точность измерителя поля 0,02%. Измерения могут проводиться непрерывно, поэтому легко контролировать по измерителю также и постоянство поля. Благодаря тому что рамка помещена вне вакуума, хорошо охлаждается, сопротивление обмотки рамки не меняется, нагрев рамки пренебрежимо мал. Это и обеспечивает постоян-

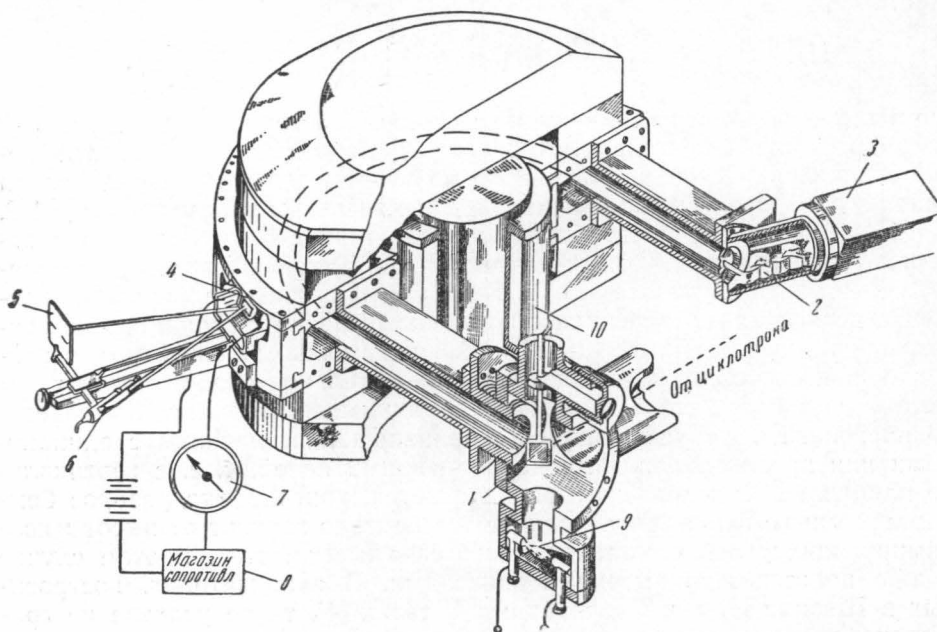


Рис. 1. Схема устройства магнитного анализатора: 1 — рамка с мишенью, 2 — детектор (электронный умножитель), 3 — предусилитель, 4 — рамка измерителя поля с зеркальцем, 5 — матовое стекло с риской, 6 — осветитель измерителя поля, 7 — миллиамперметр в цепи измерителя поля, 8 — магазин сопротивлений в цепи измерителя поля, 9 — камера для напыления мишеней, 10 — обмотка возбуждения электромагнита

ство. При необходимости рамка может охлаждаться обычным комнатным вентилятором. 30—40 замкнутых витков на рамке предупреждают возникновение вибрации зайчика. В последних измерениях рамка имела размеры $15 \times 25 \text{ мм}^2$ и вес $\sim 4\text{--}5 \text{ г}$. Измеритель прочен, и нет необходимости опасаться поломки даже при грубых передвижениях магнита. Такой измеритель очень легко приспособить в качестве датчика для стабилизации поля и для автоматизации измерений.

Основные параметры анализатора, показанного на рис. 2, приведены в таблице. Для сравнения в этой же таблице приведены параметры некоторых других анализаторов.

При первых измерениях весьма существенной неприятностью явилось влияние рассеянного поля на бомбардирующий пучок — смещение пучка по мишени при увеличении поля анализатора. Освободиться от этого влияния нам удалось с помощью устройства магнитных экранов для бомбардирующего пучка. Непосредственно около анализатора пучок проходит через железную трубу с узким и высоким каналом (ширина канала 8 мм, высота 60 мм и длина 800 мм, толщина стенок 16 мм).

Параметры некоторых анализаторов

	Относитель- ный угло- вой	Размер ис- точника, мм	Разрешаю- щая способ- ность, %	Сектор, град.	r_0 , см	Параметр поля	Потребляе- мая мощ- ность, кВт	Максималь- ная энергия, Мэв (про- тоны)	Точность измеритель- ного поля, %	Вес, т
Технологический ин- ститут (RSJ, 21, 852, 1950)	$4,9 \cdot 10^{-4}$	8×10	1,6	180	26,7	0,5	15	4	0,1	1,0
Мичиганский универ- ситет (RSJ, 27, 516, 1956)	$4,8 \cdot 10^{-5}$	1×10	0,2	90	100	0,45	—	20	0,08	—
Милейковский, Шве- ция (Ark. f. Fys., 4, 337, 1951)	$4 \cdot 10^{-4}$	1,5	0,28	180	40	0,5	36	20	По току возб.	4,5
НИИЯФ МГУ	$3,2 \cdot 10^{-4}$	1×30	0,2	180	50	0,5	4	14	0,01	4

Внутри этой трубы расположены коллиматорные щели. После колли-
матора пучок попадает в камеру мишени. Нам пришлось отка-
заться от камеры, подобной используемой [6] в Стокгольмском Нобе-
левском институте. Такая камера, хотя и позволяет плавно менять
угол, очень неудобна для работы с высокими мишенями. С ней не-

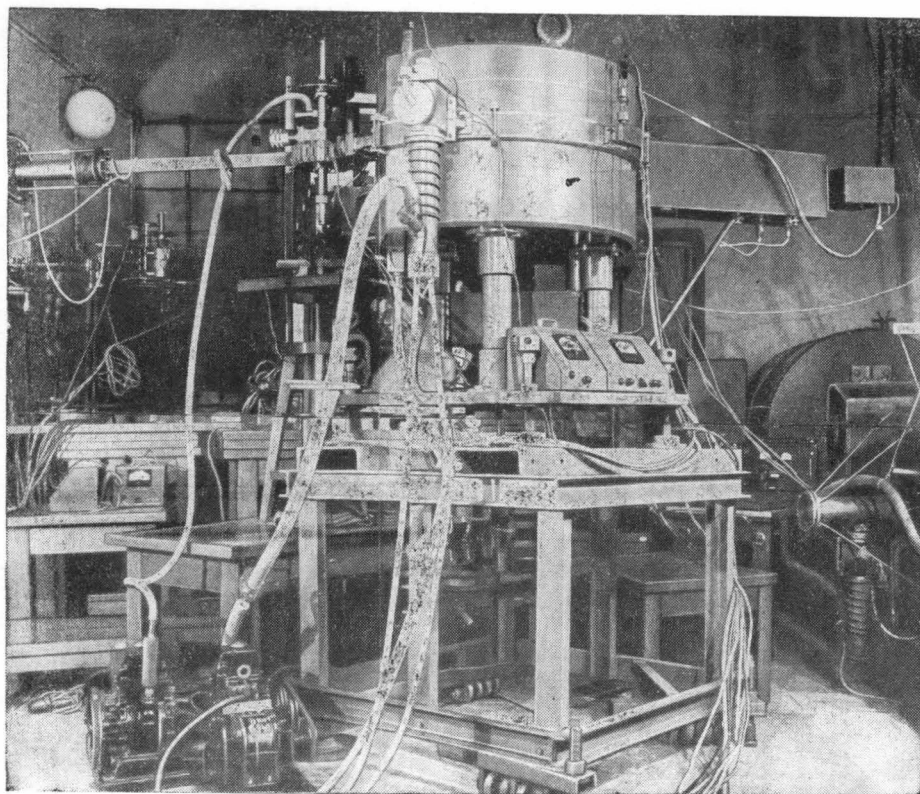


Рис. 2 Снимок магнитного анализатора, установленного на поворотной опоре в ра-
бочем состоянии

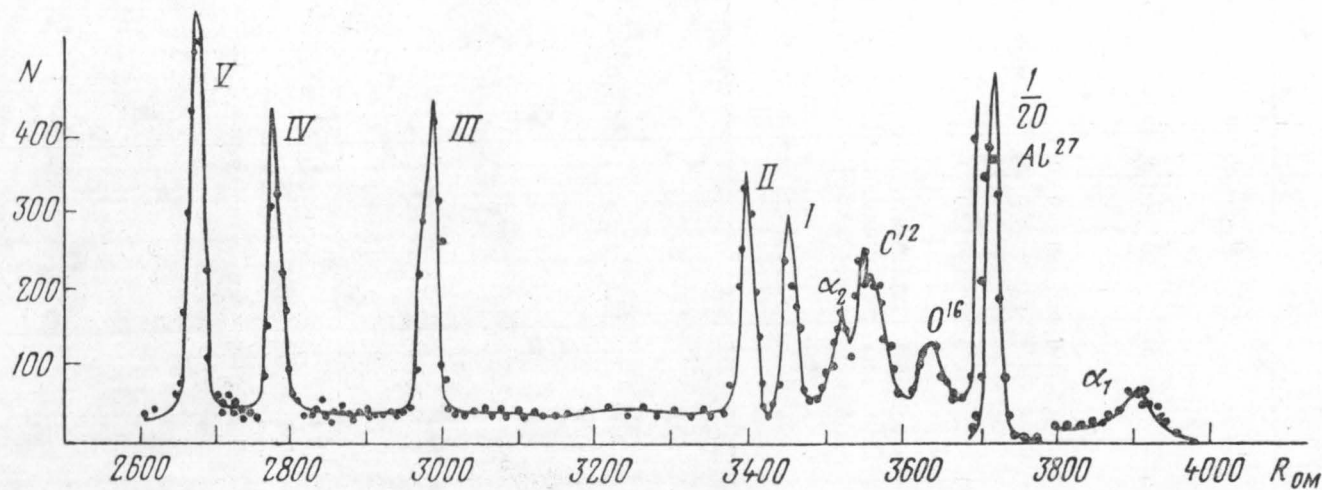


Рис. 3. Спектр заряженных частиц, образующихся при облучении алюминиевой мишени протонами с энергией 6,636 Мэв под углом $\Theta_{\text{л}}=76^\circ 54'$. Римскими цифрами обозначены пики, соответствующие неупругому рассеянию с возбуждением уровней: 0,840; 1,014; 2,216; 2,743 и 3,000 Мэв; α_1 и α_2 обозначают пики, соответствующие группам α -частиц из Al^{27} (p, α) Mg^{24} реакции с возбуждением основного и первого состояний Mg^{24} . Символами элементов обозначены пики, соответствующие упруго рассеянными на этих элементах протонам

возможно исследовать рассеяние частиц под разными углами в одной плоскости, в частности, нельзя проводить исследование поляризации. Наиболее практичной оказалась камера с 11 окошками, расположенными через 15° (от 0 до 150°). Причем, при поворотах анализатора меняется окошко входа бомбардирующего пучка. Камера жестко прикреплена к патрубку анализатора. Это дает возможность иметь большое входное отверстие из камеры мишени в анализатор, что весьма существенно, так как пучок вторичных частиц от мишени не должен встречать случайных преград до диафрагмы, расположенной примерно на середине траектории между полюсами анализатора.

При исследованиях с помощью магнитного спектрометра приходится точку за точкой снимать спектр частиц, вылетающих из мишени. Это налагает жесткие условия на питание электромагнита. Система питания должна позволять быстро менять ток в обмотке возбуждения с сохранением стабилизации. Наиболее удобным при измерениях оказалось питание от обычной аккумуляторной батареи. Это значительно упростило работу. Весь спектр частиц, например, подобный спектру от алюминиевой мишени, показанный на рис. 3, снимался за 45—50 минут.

Анализатор снабжен специальными поляриметрами для исследования поляризации частиц. Они подробно описаны в работе [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Mileikowsky C. Arkiv. fys., 4, 337, 1951.
2. Тимушев Г. Ф. «Приборы и техника эксперимента», № 1, 22, 1958.
3. Тимушев Г. Ф. Диссертация, МГУ, 1959.
4. Rasmussen V. K., Miller D. W., Sampson M. B. P. R. J., 100, 181, 1955.
5. Тимушев Г. Ф., Коконь И. Д. «Приборы и техника эксперимента», № 2, 154, 1954.
6. Ahnlund K. Ark. f. Fys., 7, 155, 1954.
7. Гранча И., Романовский Е. А., Тимушев Г. Ф., Хасани М. М. «Вестн. Моск. ин-та», сер. физики, астрономии, № 4, 71, 1963.

Поступила в редакцию
29. 12 1962 г.

НИИЯФ