

О ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Р. Г. АРШАКУНИ, А. Г. МАЛОЯН

В настоящей статье рассматривается возможность измерения сечений фотоядерных реакций при высоких энергиях с множественным вылетом частиц путем масс-спектрометрического определения малых количеств ($10^{-9} - 10^{-14}$ г.) изотопов, образовавшихся в результате реакций типа $A(\gamma; \nu p, \chi n) B$.

Изучение свойств фотоядерных реакций при высоких энергиях ($E_\gamma > 300$ Мэв) в последние годы вызывает большой интерес. В этой области энергий взаимодействие фотонов с нуклонами ядер, в основном, ведет к образованию мезонов. Из-за последующего поглощения или рассеяния мезона, а также рассеяния нуклона отдачи могут протекать различные реакции с множественным вылетом частиц и образованием ядер-остатков. Согласно Рузу и Патерсону [1] этот процесс можно описать „оптической“ моделью:

$$\sigma_s(E) = A\sigma_\pi(E)P_a(A, E),$$

σ — сечение фоторождения пиона на нуклоне, A — массовое число ядра-мишени, $P_a(A, E)$ — вероятность образования „звезды“ вслед за образованием мезона. $P_a(A, E) = 1 - T_\pi T_n$, где T_π и T_n — прозрачность ядерной материи для пионов и нуклонов. В настоящее время сведения о фоторасщеплении сложных ядер фотонами больших энергий весьма скудны. Почти нет данных о зависимости сечений от энергии фотонов и массовых чисел ядер мишеней. До последнего времени единственный источник информации — эксперименты по изучению спектра вылетающих частиц методом ядерных импульсов [1]. Однако этот метод позволяет исследовать лишь реакции, идущие с вылетом заряженных частиц.

С 1965 года группой Сальвети, Наполи и др. во Фраскати начато систематическое исследование свойств фотоядерных реакций типа $A(\gamma, \chi n) B$ и $A(\gamma; \nu p, \chi n) C$ при $E_\gamma = 300 - 1000$ Мэв. Сечения определяются методом радиохимического выделения элементов из облученной мишени с последующим измерением наведенной активности сцинтилляционным спектрометром. Уже опубликованы результаты облучения мишеней из J^{127} [2] и Mn^{55} [3]. Метод наведенной активности, однако, также дает лишь частичную информацию, так как не охватывает реакций, ведущих к образованию стабильных изотопов.

В настоящем сообщении предлагается метод, позволяющий исследовать фотоядерные реакции, идущие с образованием как радиоактивных, так и стабильных изотопов. Суть метода заключается в аб-

солютом и относительном определении малых количеств изотопов элементов, образовавшихся в мишени, в результате облучения ее тормозными квантами (в меньшей степени электронами) высоких энергий. Для этих задач требуется высокая чувствительность и точность изотопного анализа. Оценим с этих позиций возможности масс-спектрометрии. Чувствительность масс-спектрометрического анализа элементов зависит от их свойств и способа получения положительных ионов. Для получения ионов чаще всего пользуются методами термоионной эмиссии (для элементов с небольшой величиной потенциала ионизации) и электронной бомбардировки газообразных или легколетучих соединений исследуемых элементов. В обоих методах придается большое значение предварительным химико-аналитическим процедурам по переводу исследуемого элемента в химическую форму, удобную для анализа. В частности, одним из авторов предложен масс-спектрометрический метод для большого числа (более 30) элементов, образующих летучие фториды (или хлориды) [4]. Используя различную летучесть фтористых соединений элементов, получаемых непосредственно в ионном источнике масс-спектрометра, возможно совмещать аналитические процедуры по разделению и концентрированию элементов в микроколичествах с одновременной идентификацией их изотопов.

Достигнутые к настоящему времени чувствительности определения микроколичеств элементов составляют до 10^{-12} грамм [5, 6] для многих элементов. Для определенных элементов достигнута чувствительность: для урана— 10^{-13} г [7], для натрия, калия, рубидия— 10^{-14} г [5, 6], для цезия— 10^{-15} г [8], для ксенона— 10^{-17} г [6]. По-видимому, чувствительность 10^{-14} г может быть реально достижима для большинства элементов.

Абсолютные количества изотопов данного элемента определяют с помощью масс-спектрометрических измерений по изменению первоначального изотопного состава путем введения в систему известного количества изотопного индикатора (того же элемента с заданным изотопным составом)—метод изотопного разведения [5, 10]. Точность этого метода—1—5%.

Рассмотрим, какие количества ядер-остатков в граммах образуются при облучении мишени тормозными квантами высокой энергии. В табл. 1 для примера приведены сечения на эквивалентный квант для некоторых реакций из работ Сальвети и др. В последней колонке указаны количества ядер-остатков в граммах, которые рассчитаны нами, исходя из соответствующих сечений для исходной мишени весом в 1 г и для потока гамма-квантов 10^{11} экв. квантов/см² сек и времени облучения 10^4 сек. Полученные количества $10^{-10} + 10^{-15}$ г, по-видимому, типичны для такого типа фотоядерных реакций на многих элементах—мишенях, идущих с образованием как радиоактивных, так и стабильных изотопов.

В работе [2] есть указание, что сечения процессов $A(\gamma, xn)B$ увеличиваются с ростом A как $A^{1/2}$. Таким образом, масс-спектромет-

Таблица 1

Количество ядер-продуктов, образовавшихся при фотоядерных реакциях по [2, 3]

№№ п/п	Реакция	Поперечное сечение на эквивалентный квант [2, 3] в мБ	Количество ядер-про- дуктов в :
1	$J^{127}(\gamma, n) J^{126}$	300	$3 \cdot 10^{-10}$
2	$J^{127}(\gamma, 2n) J^{125}$	30	$3 \cdot 10^{-11}$
3	$J^{127}(\gamma, 4n) J^{123}$	0,15	$1,5 \cdot 10^{-13}$
4	$J^{127}(\gamma; p, n) Te^{125}$	7,5	$7,5 \cdot 10^{-12}$
5	$J^{127}(\gamma; 2p, 3n) Sb^{122}$	0,023	$2,3 \cdot 10^{-14}$
6	$J^{127}(\gamma; 3p, 13n) Sn^{111}$	0,0021	$2,1 \cdot 10^{-15}$
7	$Mn^{55}(\gamma, n) Mn^{54}$	150	$1,5 \cdot 10^{-10}$
8	$Mn^{55}(\gamma, 3n) Mn^{52}$	0,5	$5 \cdot 10^{-13}$
9	$Mn^{55}(\gamma; p, 3n) Cr^{51}$	2,4	$2,4 \cdot 10^{-12}$
10	$Mn^{55}(\gamma; 4p, 4n) Sc^{47}$	0,03	$3,10 \cdot 10^{-14}$

рический метод позволяет измерить сечения фотоядерных реакций, идущих с множественным вылетом частиц.

Ложные (n , $ур$, $хп$) случаи могут возникать двояким образом: 1) от нейтронов из мишени, в которой конвертируются первичные электроны, а также из коллиматора; 2) из-за взаимодействия вторичных продуктов в пределах основной мишени. В работе [2] показано, что эти эффекты незначительны.

Конечно, и предлагаемый метод не свободен от недостатков, присущих методу наведенной активности; в частности, невозможно исследовать реакции, идущие с образованием изотопов с коротким периодом полураспада. Нам кажется, что лишь сочетание этих двух методов с сопоставлением данных по экспериментальным исследованиям спектров частиц, испускаемых из мишени, даст надежную и обширную информацию о механизме и особенностях фотоядерных реакций при высоких энергиях.

Институт физических исследований
АН АрмССР

Поступила 1.VI.1968

ЛИТЕРАТУРА

1. C. E. Roos, V. Z. Peterson, Phys. Rev. 124, 1610 (1962).
2. F. Salvetti, H. G. de Carvalho, V. de Napoli, F. Dobici, Nuovo Cimento, 37, 1728 (1965); B48, № 1, 1—12 (1967).
3. V. de Napoli, F. Dobici, F. Salvetti, H. G. de Carvalho, Nuovo Cimento B42, № 2, 358 (1966).
4. Р. Г. Аршакуни, ЖАХ АН СССР (Журнал аналитической химии), 37, № 2, 310 (1968).
5. M. G. Inghram, J. Phys. Chem. 57, 809 (1953).
6. И. П. Алимарин, ЖАХ АН СССР, 18, № 12 (1963).
7. G. R. Tilton, C. Patterson, H. Brown, M. G. Inghram, D. C. Hess, E. Larsen, Bull. Geol. Soc. Amer. 66, 1131 (1955).

8. B. M. Gordon, L. Friedman, Phys. Rev. 108, 1053 (1957).

9. J. H. Reynolds, Rev. Sci. Instr. 27, 928 (1956).

10. Успехи масс-спектрометрии, Изд. ИЛ, М., 1963, стр. 107.

ՄԱՍՍ-ՍՊԵԿՏՐՈՍԿՈՊԻԿ ՄԵԹՈԴՈՎ ՖՈՏՈՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ
ՌԵԱԿՑԻԱՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ
ԲԱՐՁՐ ԷՆԵՐԳԻԱՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ռ. Գ. ԱՐՇԱԿՈՒՆԻ, Ա. Հ. ՄԱԼՈՅԱՆ

Հոդվածում քննարկվում է ֆոտոմիջուկային ռեակցիաների կտրվածքների չափման հնարավորությունը՝ բարձր էներգիաների դեպքում մասնիկների բազմաթիվ հլքով $A(\gamma, xn, yp)$ տիպի ռեակցիաների հետևանքով առաջացած իզոտոպների փոքր քանակի 10^{-9} — 10^{-14} մասսայեկտրոմետրիկ որոշման ճանապարհով:

ON THE POSSIBILITY OF INVESTIGATING PHOTONUCLEAR
REACTION AT HIGH ENERGIES BY MASS SPECTROSCOPIC
METHOD

R. C. ARSHAKUNI and A. G. MALOYAN

In this paper it is considered the possibility of measuring the cross sections of photonuclear reactions at high energies with multiple particle production by mass spectroscopic determination of small quantities (10^{-9} — 10^{-14} gr) of isotopes produced as a result of $A(\gamma, xn, yp)$ B type reactions.