

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5-20

На правах рукописи

1-93-319

БАЛАБЕКЯН  
Анаит Рафиковна

УДК 539.172.3:539.173.3

ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ ОЛОВА  
И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТЫХ РЕАКЦИЙ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ  $\gamma$ -КВАНТОВ  
ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
С МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ 4.5 ГэВ

Специальность: 01.04.16 — физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1993

Работа выполнена в Ереванском Госуниверситете

Научные руководители:

доктор физ.мат. наук  
профессор А.Г.Худавердян

кандидат физ.мат. наук  
доцент А.С.Дапагулян

Официальные оппоненты:

профессор  
доктор физ.мат. наук К.Я.Громов

профессор  
доктор физ.мат. наук Б.С.Ишханов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Ереванский Физический институт, Ереван, Армения.

Защита состоится " 06 " сентября 1993 г.  
на заседании специализированного Совета Д-047.01.03  
по адресу: 141980, Дубна Московской обл., ЛЯП ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " 7 " сентября 1993 г.

Ученый секретарь специализированного Совета  
доктор физико-математических наук Ю.А.Батусов

**Актуальность работы:** В течении последних 30-ти лет резко увеличилось число работ, посвященных реакциям протекающим под действием нуклонов,  $\pi$ - мезонов и тяжелых пионов. Интерес к таким реакциям объясняется широким кругом вопросов, затрагиваемых в них. Изотопический эффект, изомерное отношение остаточных ядер, образование заряженных пионов - вот неполный список вопросов исследуемых в таких реакциях.

Наряду с этим, работ по фотоядерным реакциям в области промежуточных и высоких энергий не много. Во всех этих работах в качестве ядер-мишеней использованы в основном моноизотопы и их массовые числа лежат в области  $A < 100$ . Исследование фотоядерных реакций на ядрах с  $A > 100$  в литературе встречаются редко, а на разделенных изотопах одного элемента почти отсутствуют.

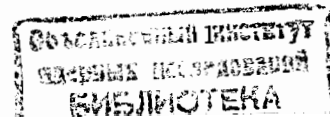
Использование разделенных изотопов в качестве мишеней, позволяют выявить структурные характеристики как ядер-мишеней, так и остаточных ядер, в частности изоспиновую зависимость выходов остаточных ядер в реакциях фоторасщепления.

Сечения и выходы реакций расщепления кроме их непосредственного определения на эксперименте, можно оценить и расчетным путем, используя каскадно - испарительную модель. Отсутствие таких расчетов для реакций фоторасщепления, что связано с громоздкостью и сложностью этих расчетов, привело к поиску полуэмпирических - аналитических формул для описания выходов этих реакций. Однако малочисленность экспериментальных данных в массовой области  $A > 100$  делают пока невозможным однозначно описывать эти данные полуэмпирической формулой. Это приводит к новым исследованиям для пополнения экспериментальных данных новыми точными результатами.

**Цель работы:** Диссертационная работа посвящена исследованию реакций фоторасщепления на разделенных изотопах олова  $^{112}\text{Sn}$ ,  $^{114}\text{Sn}$ ,  $^{116}\text{Sn}$ ,  $^{119}\text{Sn}$ ,  $^{120}\text{Sn}$ ,  $^{122}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sn}$  с целью получения новых экспериментальных данных по фотовыходам в области массовых чисел  $A > 100$ , изучения массовых и зарядовых распределения фотовыходов ядер-продуктов. В качестве бомбардирующих частиц использован пучок  $\gamma$ -квантов тормозного излучения с максимальной энергией 4.5 ГэВ. Получены также выходы простых реакций  $(\gamma, n)$ ,  $(\gamma, p)$  и  $(\gamma, \pi)$ , а также проведены исследования изомерных отношений выходов некоторых остаточных ядер в зависимости от числа эммитируемых нуклонов.

**Научная новизна:** При выполнении работы получены следующие новые результаты:

1. Методом наведенной активности было проведено исследование реакций расщепления разделенных изотопов олова ( $^{112}\text{Sn}$ ,  $^{114}\text{Sn}$ ,  $^{116}\text{Sn}$ ,  $^{119}\text{Sn}$ ,



$^{120}\text{Sn}$ ,  $^{122}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sn}$ ) фотонами тормозного излучения с максимальной энергией 4.5 ГэВ. Впервые определены в среднем 85 выходов остаточных ядер из каждой мишени.

2. При обсуждении экспериментальных значений выходов выявилась зависимость выходов остаточных ядер от нуклонного состава ядер - мишеней и ядер - продуктов (рис.1). Кроме того оказалось, что квадратный корень отношения экспериментальных выходов к расчетным по формуле Лиднгрена и Ионсона имеет экспоненциальную зависимость от  $(T_3 - t_3)$  - разницы изоспинов ядра - мишени и ядра - продукта (см. рис.2). Попытка ввести в формулу Лиднгрена-Ионсона поправочный член, зависящий от  $(T_3 - t_3)$  не удалось, поэтому параметры оставили свободными, фитирование дало удовлетворительное согласие (рис.3).

3. Экспериментальные значения выходов фоторасщепления сравнены также с другими полуэмпирическими формулами, известными в литературе. Сравнения показывают, что экспериментальные данные удовлетворительно описывается также формулой Фошина-Наполи с подгоночными параметрами, которые получены в настоящей работе методом наименьших квадратов (рис.4).

4. Исследованы изомерные отношения выходов для пяти ядер-остатков. Сравнены поведения зависимости изомерных отношений выходов и сечений от числа вылетевших нейтронов для фото и протон ядерных реакций. Найдено, что если для ядер - остатков  $^{52}\text{Mn}$  и  $^{44}\text{Sc}$  изомерные отношения растут с ростом вылетевших нейтронов, как для протонядерных так и для фотоядерных реакций, то для ядер - остатков  $^{110}\text{In}$  и  $^{108}\text{In}$  и  $^{94}\text{Tc}$  они сначала растут, а затем выходят на плато. На основании наблюдаемых корреляций между изомерными отношениями выходов и числом вылетевших нуклонов (рис.5) можно прийти к выводу, что при образовании изотопов In, Rh, Tc и Y наряду с каскадно-испарительным механизмом реакции, вероятно, имеет место и процесс испускания нейтронов из-за поглощения образованных в ядре  $\pi$ -мезонов квазидейтронами на поверхностном слое ядра.

5. Исследованы реакции типа  $(\gamma, N)$  и  $(\gamma, 2N)$  на разделенных изотопах олова при энергиях налетающих  $\gamma$ -квантов  $E_{\gamma_{\text{max}}} = 4,5$  ГэВ. В процессах  $(\gamma, N)$  и  $(\gamma, 2N)$ , как и в области гигантского резонанса важную роль играет изоспиновая зависимость.

6. Изучение выходов реакции типа  $(\gamma, 2N)$  показало, что доминирующую роль в таких процессах играет поглощение фотонов квазидейтронами на поверхностном слое ядра - мишени.

7. С помощью использования тонких пленок ядра - мишени были измерены вклады вторичных реакций в процессах типа  $(\gamma, \pi)$  и  $(\gamma, \pi n)$ . Если в процессах  $(\gamma, \pi n)$  эти вторичные эффекты не дают существен-

ного вклада и находятся в пределах статистических ошибок, то в реакциях типа  $(\gamma, \pi^-)$  они составляют 40-50 % от общего выхода (рис.6). Используя экспериментальные результаты определены выходы вторичных реакций для тех мишеней, для которых невозможно было измерить эти вклады.

8. Проведен анализ связи выходов реакций типа  $(\gamma, \pi)$  от структуры возбужденных уровней ядер-остатков. Найдено, что при преобладании у ядер одночастичных уровней возбуждения, выход реакций  $(\gamma, \pi)$  намного выше, чем в случае ядер с большим количеством коллективных уровней возбуждения (например  $\text{Cu}^{61}$  и  $\text{Mg}^{27}$ ).

9. При сравнении расчетов каскадно - испарительной модели и полученных экспериментальных результатов сделан вывод, что нейтроны сопровождающие  $\pi$ -мезон в реакциях типа  $(\gamma, \pi n)$ , вылетают в основном в испарительной стадии.

#### Практическая ценность работы:

а) Полученные результаты можно использовать в радиационной медицине и в работах по активационному анализу.

б) Экспериментальные данные можно использовать для теоретической интерпретации структуры ядер.

в) Развитый метод определения выходов вторичных реакций можно использовать в работах по изучению вторичных процессов в ядерных реакциях.

**Структура диссертации:** Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 124 страниц, в том числе 9 таблиц и 32 рисунков.

**Апробация работы:** В основу диссертации вошли работы [1-9], которые докладывались на семинарах кафедры ядерной физики физического факультета ЕГУ, на конференциях молодых ученых ЕГУ, на научных сессиях профессорско-преподавательского состава ЕГУ, на всесоюзном межвузовском координационном Совете по физике высоких энергий (ЕГУ, Ереван, 1987г.) на сессии отделения ядерной физики АН СССР /1988/, на втором международном конференции по Физике Низкой Радиации /1982, Братислава/, на международных совещаниях по Ядерной Спектроскопии и Структуре Атомного Ядра /Харьков (1986), Юрмала (1987), Ташкент (1989), Ленинград (1990), Минск (1991)/.

**Содержание работы:** Во введении обсуждается актуальность проблемы изучения фотоядерных реакций, сформулирована цель диссертационной работы и приведено краткое содержание диссертации.

**Первая глава** посвящена описанию экспериментальной установки и метода регистрации продуктов фотоядерных реакций. Метод активационного анализа, использованный нами в этой работе, позволяет одновре-

менно получить выходы простых процессов, реакций фоторасщепления и реакций с образованием заряженных пионов.

Во второй главе приведены результаты исследований реакций расщепления на разделенных изотопах олова -  $^{112}\text{Sn}$ ,  $^{114}\text{Sn}$ ,  $^{116}\text{Sn}$ ,  $^{119}\text{Sn}$ ,  $^{120}\text{Sn}$ ,  $^{122}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sn}$  фотонами тормозного излучения с максимальной энергией 4.5 ГэВ. Получены новые данные по фотовыходам - примерно 85 остаточных ядер из каждой мишени. Проведен анализ экспериментальных результатов, который показал существование зависимости значений выходов от нуклонного состава ядра - мишени и ядра - остатка (т.е. положения ядра по отношению к линии  $\beta$  - стабильности, явления изотопического эффекта). Полученные экспериментальные данные сравнивались с оценками, полученными по модифицированной формуле Рудстама с параметрами Линдгрена и Джонсона, а также с подобной формулой, учитывающей изоспиновую зависимость выходов реакции расщепления. Эти формулы, особенно последняя, сравнительно хорошо описывают фотовыходы реакций расщепления в области масс мишеней  $A < 100$ . Как показали наши исследования они неудовлетворительно описывают экспериментальные данные, полученные в области масс  $A > 100$ . Поэтому из экспериментальных значений выходов, полученных нами, методом подгонки вычислились параметры модифицированной формулы Рудстама, а также формулы Фошина-Наполи и др., построены зарядово - дисперсионные кривые и кривые распределения "превращенных" фотовыходов остаточных ядер. Полученные кривые удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. В этой же главе обсуждены поведения фотовыходов высокоспиновых и низкоспиновых состояний нескольких изомерных пар в зависимости от числа испущенных нуклонов. На основе наблюдаемых корреляций между изомерными отношениями выходов и числом вылетевших нуклонов сделано заключение, что при образовании этих изомерных пар наряду с каскадно - испарительным механизмом реакции, имеет место процесс испускания нейтронов из за поглощения образованных в ядре  $\pi$  - мезонов квазидейтронами на поверхностном слое ядра.

Третья глава настоящей диссертации посвящена изучению прямых процессов. Под прямыми процессами подразумеваются реакции типов  $(\gamma, N)$ ,  $(\gamma, 2N)$ ,  $(\gamma, \pi)$ . Хотя прямые реакции типа  $(\gamma, N)$ ,  $(\gamma, 2N)$  протекают в основном в области гигантского дипольного резонанса, однако с использованием тормозного спектра при больших энергиях взаимодействующих  $\gamma$  - квантов тоже можно получить информацию о механизме и особенностях реакций, связанных со структурой ядер. В настоящей работе сделаны такие исследования при максимальной энергии тормозного спектра 4.5 ГэВ на разделенных изотопах олова и никеля. Полученные

результаты позволяют говорить о изоспиновой зависимости выходов простых реакций, а также подтверждают квазидейтронную структуру ядер.

Реакции типа  $(\gamma, \pi)$  и  $(\gamma, \pi xn)$  исследованы нами на разделенных изотопах олова и никеля, а также на  $^{65}\text{Cu}$  и  $^{27}\text{Al}$ . Для  $(\gamma, \pi)$  реакций чрезвычайно важно учесть вклад вторичных реакций в значения выходов. Поэтому измерения делались на мишенях с разными толщинами и при помощи экстраполяции к "нулевой" толщине, определялись чистые выходы реакций с учетом этого вклада. Если в выходах  $(\gamma, \pi)$  реакций вторичные реакции дают  $\sim 50\%$  вклада, то в выходах  $(\gamma, \pi xn)$  реакций они входят в пределы статистических ошибок. В результате исследований  $(\gamma, \pi)$  и  $(\gamma, \pi xn)$  реакций подтверждено, что  $(\gamma, \pi)$  реакции идут на поверхности ядра и сделано заключение что значения фотовыходов таких реакций чувствительны к оболочечным эффектам и зависят от структуры ядер - мишеней и ядер - продуктов, от числа одночастичных уровней, кроме того нейтроны сопровождающие пионы в реакциях  $(\gamma, \pi xn)$  имеют испарительный характер.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы, выдвигаемые к защите.

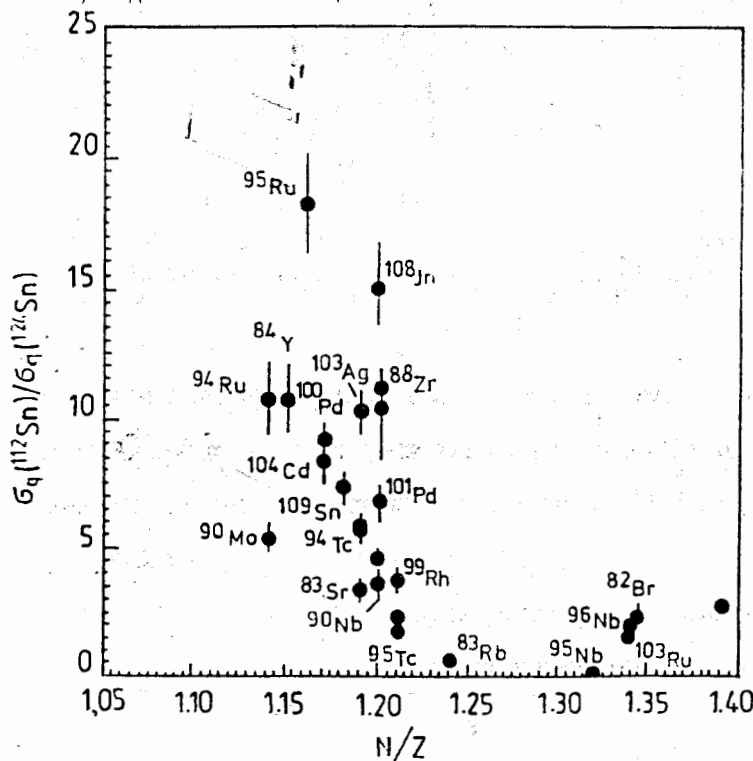


Рис.1

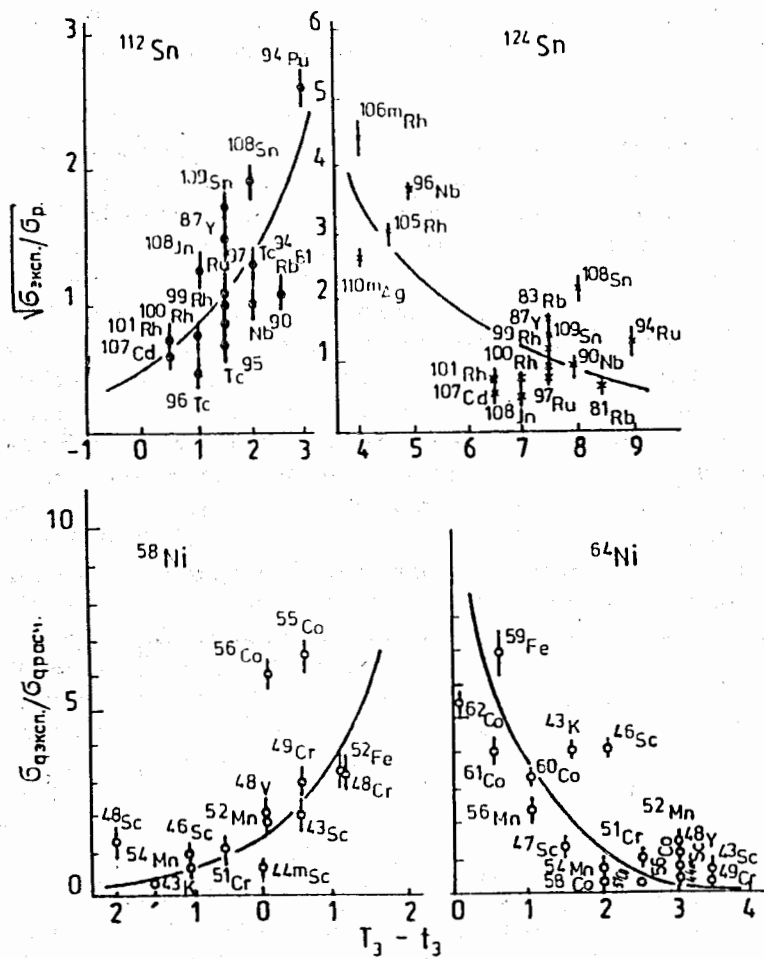
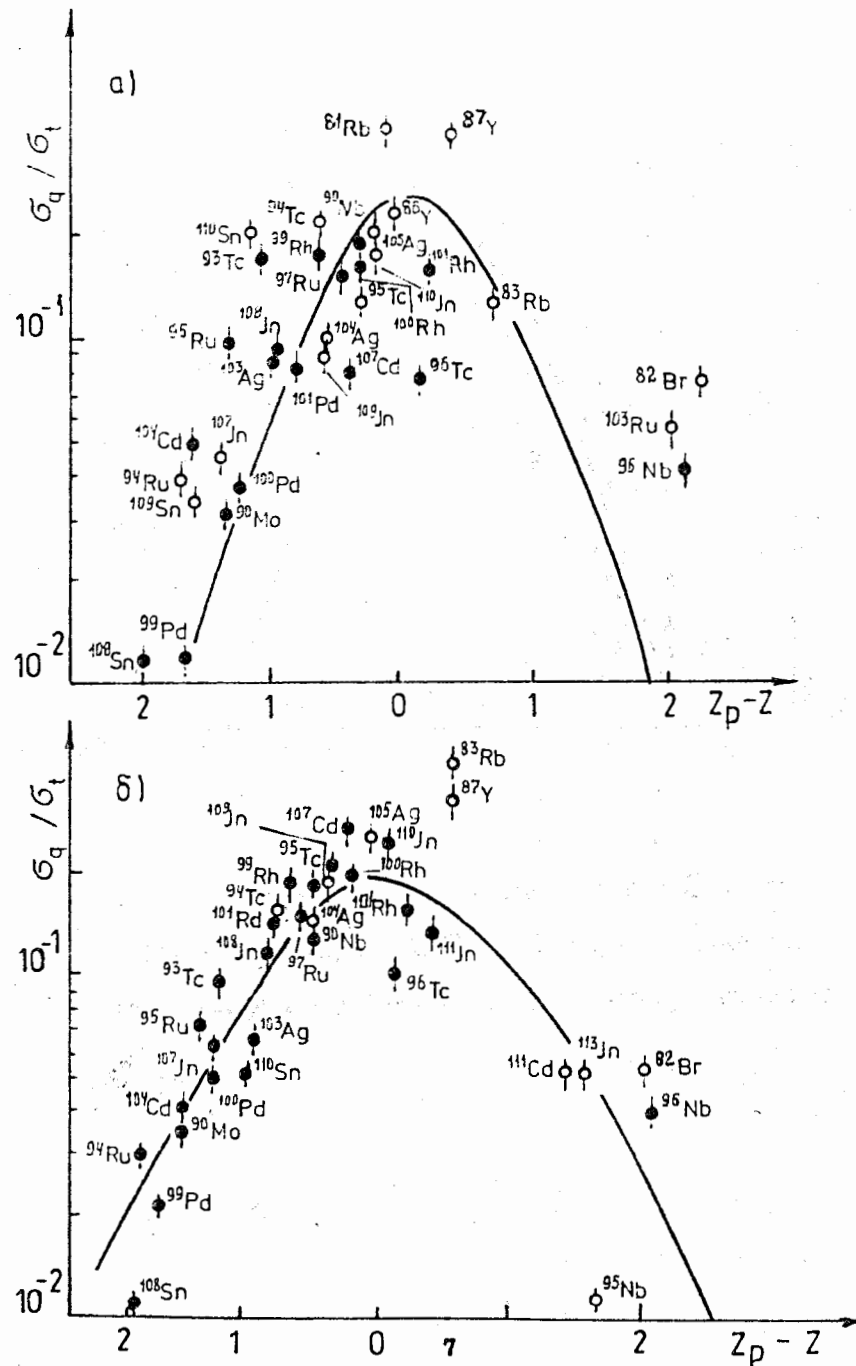


Рис. 2 Зависимость отношения экспериментальных и расчетных выходов остаточных ядер из мишеней а)  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{64}\text{Ni}$  и б)  $^{112}\text{Sn}$  и  $^{124}\text{Sn}$  от разности изотопических спинов ядер-мишеней и ядер-продуктов. Кривые проведены фитированием экспериментальных данных по методу наименьших квадратов.



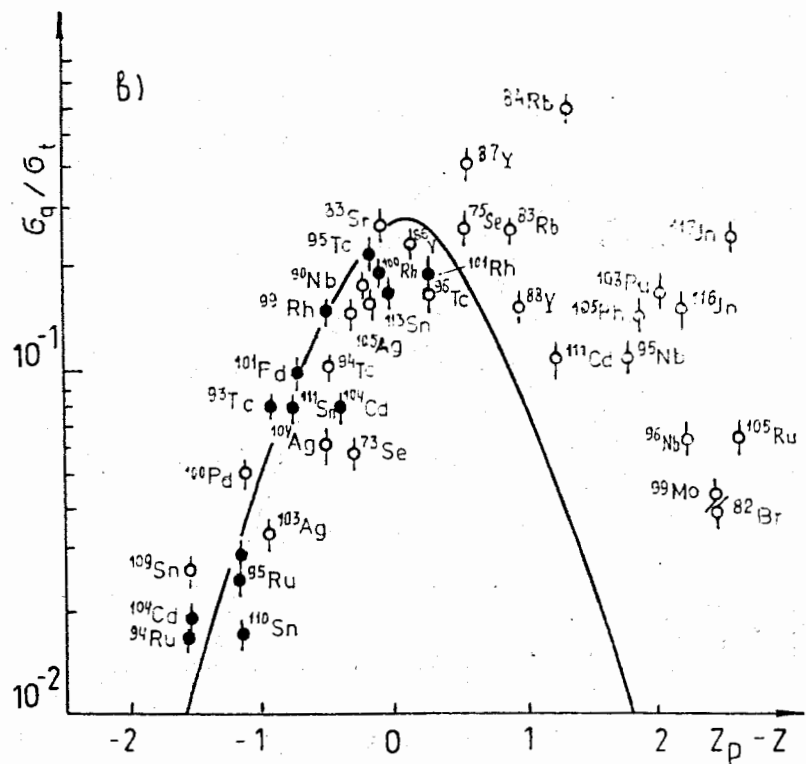


Рис. 3 Зарядово - дисперсионные кривые для ядер - мишеней  $^{112}\text{Sn}$ ,  $^{116}\text{Sn}$  и  $^{124}\text{Sn}$ . Кривые проведены по расчетам формулы (2.1) со свободными параметрами.

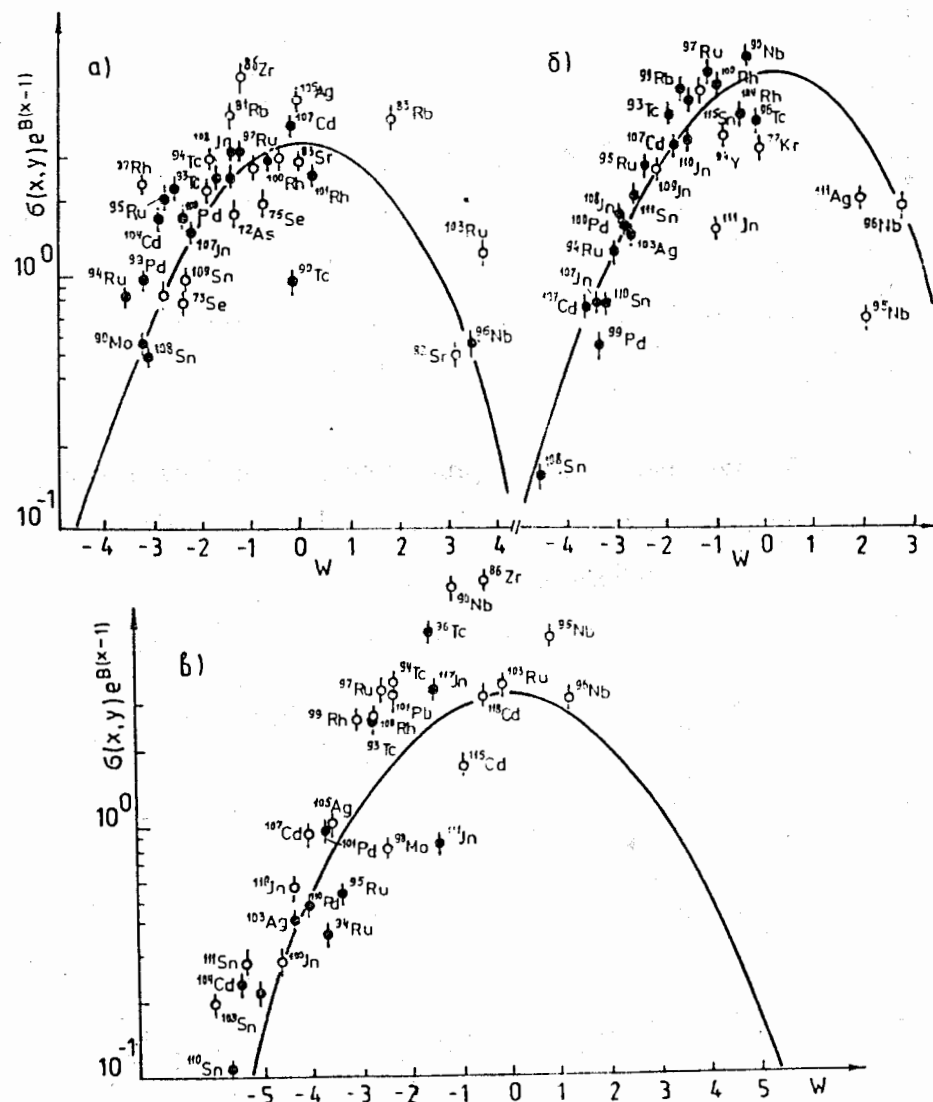


Рис. 4 Распределение "превращенных" фотовыходов остаточных ядер для мишеней  $^{112}\text{Sn}$ ,  $^{116}\text{Sn}$  и  $^{124}\text{Sn}$ .

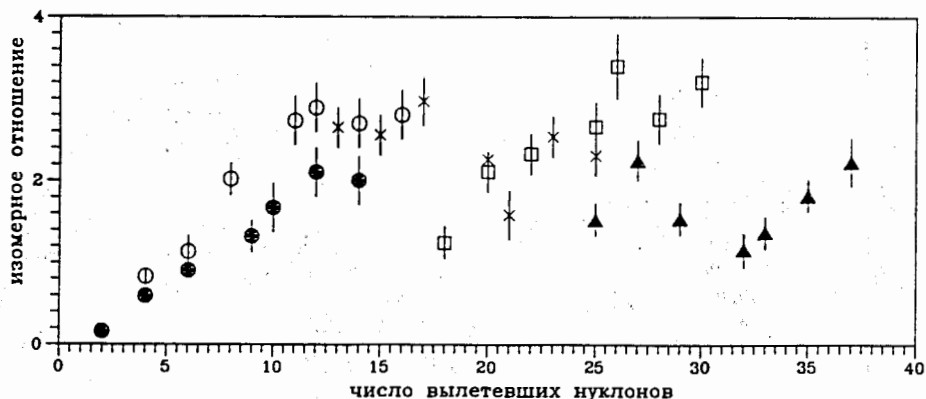


Рис. 5 Зависимость изомерных отношений  $R$  от числа вылетевших нуклонов  $\Delta A$ . Точки:  $\bullet$  -  $^{110}\text{In}$ ,  $\circ$  -  $^{108}\text{In}$ ,  $\times$  -  $^{99}\text{Rh}$ ,  $\square$  -  $^{94}\text{Tc}$ ,  $\blacktriangle$  -  $^{87}\text{Y}$ .

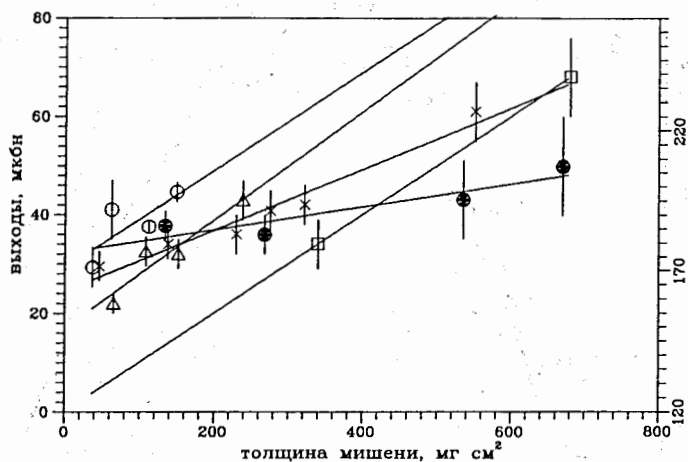


Рис. 6 Зависимость значения выходов от толщины мишеней. Точки:  $\circ$  -  $^{60}\text{Ni}(\gamma, \pi^-)^{60}\text{Cu}$ ,  $\bullet$  -  $^{120}\text{Sn}(\gamma, \pi^-)^{120m}\text{Sb}$ ,  $\Delta$  -  $^{27}\text{Al}(\gamma, \pi^-)^{27}\text{Mg}$ ,  $\square$  -  $^{124}\text{Sn}(\gamma, \pi^-)^{124}\text{Sb}$  (шкала справа),  $\times$  -  $^{65}\text{Cu}(\gamma, \pi^+)^{65}\text{Ni}$ ,

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Аракелян, А.Р. Балабекян, А.С. Данагулян, А.Г. Худавердян. "Изомерные отношения выходов реакций  $\text{Sn}(\gamma, \text{хруп})\text{X}$ ". ЯФ, 1987, 45, вып.3, 609-613.
2. А.А. Аракелян, А.Р. Балабекян, А.С. Данагулян, А.Г. Худавердян. "Выходы фоторасщепления разделенных изотопов олова". ЯФ, 1992, 55, 2593-2603.
3. А.Р. Балабекян. "Фоторасщепление изотопов  $^{112}\text{Sn}$  и  $^{124}\text{Sn}$ ". Молодой научный работник ЕГУ, 1981, 2(34), 51-56.
4. А.А. Аракелян, А.Р. Балабекян, А.С. Данагулян, А.Г. Худавердян. "Фоторасщепление разделенных изотопов олова". Тезисы докладов 41-го Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Минск, 1991, ст.291.
5. А.А. Аракелян, А.Р. Балабекян, А.С. Данагулян, А.Г. Худавердян. "Исследование простых фотоядерных реакций на изотопах никеля". Изв. АН АрмССР сер. физика, 1986, 21, вып.3, 113-117.
6. А.А. Аракелян, А.Р. Балабекян, А.С. Данагулян, А.Г. Худавердян. "Реакции типа  $(\gamma, N)$ ,  $(\gamma, 2N)$  и  $(\gamma, \pi n)$  на разделенных изотопах олова". ЯФ, 1989, 50, вып.5(11), 1226-1230.
7. А.А. Аракелян, А.Р. Балабекян, А.С. Данагулян, А.Г. Худавердян. "Фоторасщепление изотопа  $\text{Cu}$ ". ЯФ, 1989, 49, 922-927.
8. А.А. Аракелян, А.Р. Балабекян, А.С. Данагулян, А.Г. Худавердян. "Исследование реакций  $(\gamma, \pi)$  и  $(\gamma, \pi n)$  на средних и среднетяжелых ядрах". ЯФ, 1990, 51, вып.6, 1582-1584.
9. А.А. Аракелян, А.Р. Балабекян, А.С. Данагулян, А.Г. Худавердян. "Фотовыходы долгоживущих остаточных ядер из разделенных изотопов олова". ЯФ, 1988, 48, вып.3(9), 618-622.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 августа 1993 года.