

М-55

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-1800



В.Н. Мехедов, В.Н. Рыбаков, Н.С. Мальцева,
С.П. Макаров, Ван Чуань-пэн

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ИЗУЧЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕАКЦИЙ
ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ МЕДИ ПРОТОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ 140-680 МЭВ

29, 1965, т 1, в 5, с 826-831.

1964

P-1800

В.Н. Мехедов, В.Н. Рыбаков, Н.С. Малышева,
С.П. Махаров, Ван Чуань-пен

ИЗУЧЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕАКЦИЙ
ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ МЕДИ ПРОТОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ 140-600 МЭВ

Объединенный институт
экспериментальных исследований
БИБЛИОТЕКА

2692/1. 48.

Известно, что при взаимодействии частиц высоких энергий с различными элементами образуется ряд фрагментов с энергиями в несколько десятков Мэв. Эти фрагменты могут взаимодействовать с ядрами мишени и образовывать продукты с зарядами на несколько единиц большими, чем у исходного. Акты захвата различных фрагментов мы называем вторичными реакциями. Сечения вторичных реакций малы (10^{-29} – 10^{-32} см²), поэтому, пожалуй, единственным методом изучения таких процессов является радиохимический. Указанный метод позволяет фиксировать заряд и массу образующегося продукта и, следовательно, делать заключения о типе протекающих реакций. Изучая поведение вторичных реакций, мы тем самым получаем информацию о механизме образования надбарьерных фрагментов.

К настоящему времени выполнено значительное количество исследований по вторичным реакциям^{/1-12/}. И если можно говорить об определенном успехе в изучении этих процессов на тяжелых элементах (Au, Bi, Pb), то это пока трудно утверждать в случае более легких мишеней, например, меди.

Имеющиеся публикации^{/1-3,13/} не позволяют сделать выводов об особенностях вторичных реакций на легких элементах, так как сведения, содержащиеся в них, отрывочны и в ряде случаев имеют лишь оценочный характер.

В связи с этим мы измеряли сечения образования изотопов Ga, Ge, As и Se при бомбардировке природной меди протонами с энергией 140–660 Мэв.

Методика эксперимента

В опытах использовалась чистая природная медь^{х)} в виде пластинок размером ≈ 12 мм \times 15 мм и толщиной ≈ 1 мм. Облучение мишеней проводилось на внутреннем пучке протонов синхротронного ускорителя Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и длилось обычно от 1,8 до 3,6 ксек. Пластины меди, окруженные тремя слоями алюминия толщиной 25 мкм, своей плоскостью располагались перпендикулярно пучку протонов. Из-

х) Спектральный анализ мишеней показал наличие следующих загрязнений — в процентах: Bi $< 2 \times 10^{-4}$, Fe $< 5 \times 10^{-4}$, Si $< 3 \times 10^{-4}$, Mg $< 10^{-4}$, Mn $< 10^{-4}$, As $< 4 \times 10^{-4}$, Ni $\sim 7 \times 10^{-4}$, Sn $\sim 3 \times 10^{-4}$, Pb $\sim 3 \times 10^{-4}$, Sb $\sim 3 \times 10^{-4}$, Zn $\sim 3 \times 10^{-4}$.

менение энергии протонов достигалось постановкой мишени на различные радиусы орбиты ускоряемых частиц. Для мониторингования пучка использовали реакцию $Al^{27}(p, 3pn)Na^{24}$, сечения которой достаточно хорошо известны в широком диапазоне энергии протонов /14/, и реакцию $Cu^{65}(p, pn)Cu^{64}$, т.е. внутренний монитор. Последний применялся тогда, когда алюминиевый монитор было невозможно использовать из-за высокой интенсивности пучка протонов (особенно при $E_p = 140$ МэВ).

Для наглядности все опубликованные данные о сечениях реакции $Cu^{65}(p, pn)Cu^{64}$, а также сечение образования Cu^{64} в реакциях глубокого расщепления меди протонами соответствующей энергии /1,3,15-21/ представлены на рис. 1. Мы приняли следующие величины сечений мониторинговой реакции для выбранных нами энергий протонов:

140 МэВ -	$23 \times 10^{-27} \text{ см}^2$,
340 МэВ -	$17 \times 10^{-27} \text{ см}^2$,
480 МэВ -	$16,8 \times 10^{-27} \text{ см}^2$,
680 МэВ -	$16,5 \times 10^{-27} \text{ см}^2$.

Методики химических выделений фракций

Химическая обработка облученных мишеней проводилась либо сразу после облучения, либо после "остывания" в течение 86,4 ксек. Мишень растворялась в 5 мл конц. HNO_3 при нагревании, после чего в раствор добавлялись носители: 9 мг Ga, 10-15 мг Ge, As , 10 мг Se и удерживающие носители (- по 1 мг элементов легче меди). Методики химических выделений Ga и Ge были в основном аналогичны описанным в работе /1/. Медь выделялась по способу, описанному в /22/. Методики выделения As и Se /23/ нами были изменены в сторону сокращения времени выделения и повышения химического выхода.

После добавления 10 мл конц. HCl фракция германия отгонялась в приемник с холодной водой. Gallium отделялся экстракцией в диизопропиловый эфир из 7,7 N HCl , фракция мышьяка выделялась отгонкой в форме $AsCl_3$ после восстановления из пятивалентного состояния. Фракция селена отделялась после удаления следов азотной кислоты восстановлением до металла с помощью SO_2 . Далее кратко излагаются методики дальнейшей очистки различных фракций.

Галлий. После рекстракции из эфирного слоя производились многократно повторяемые операции удаления гидроксида железа с помощью $NaOH$ и экстракции галлия диизопропиловым эфиром. Окончательным этапом было осаждение галлия оксихинолином. Химический выход составлял 30-40%, время выделения 7,2-9,0 ксек.

Германий. В приемнике осаждался сульфид, который после отфильтровывания через стеклянный фильтр № 3 растворялся в минимальном количестве $NH_4OH(1:1)$

с добавкой H_2O_2 . Проводилась вторая отгонка $GeCl_4$. Окончательным этапом было осаждение GeS_2 . Химический выход составлял 40-60%. Время выделения - 3,8-5,4 ксек.

Мышьяк. В приемнике осаждался сульфид мышьяка. Осадок растворялся в смеси $HCl + HNO_3$, добавлялось 10 мг Ge , и затем последний удалялся отгонкой $GeCl_4$. Заключительным этапом было получение металлического мышьяка ^{/24/}. Химический выход - 60-80%. Время выделения - 5,4 ксек.

Селен. Металлический селен растворялся в минимальном количестве конц. HNO_3 . Раствор переводился в солянокислый, и селен сорбиривался на анионите Дауэкс $1x8$ ^{/25/}. После промывания колонки со смолой конц. HCl , затем $6N HCl$ селен вымывался $3N HCl$. Конечным этапом было получение металлического селена после пропускания через раствор SO_2 . Химический выход - 40-60%, время выделения - 10,8 ксек.

Медь. При приготовления мишени для измерений Cu^{67} (200-300 мг Cu) все операции, кроме осаждения CuS , повторялись дважды. Заключительным этапом было приготовление $CuCNS$.

Методы измерения и результаты

Для измерений радиоактивности использовались диски диаметром 1 см из металлов или их соединений, завернутые в кальку и укрепленные на алюминиевых подложках с отверстием в центре. Измерения проводились на стандартном торцовом счетчике типа МСТ-17. Время измерения выбиралось таким, чтобы статистическая ошибка каждого измерения была не более 3%. Образцы мониторов (Na^{24} , Cu^{64}) и выделяемых фракций измерялись в одинаковых геометрических условиях. Заметим, что у большинства наблюдаемых радиоактивных изотопов энергия β -излучения превосходила 1 Мэв и поэтому поправки на самопоглощение не вводились. Для определения поправки на самопоглощение у Cu^{64} были проделаны специальные опыты, которые показали, что в наших условиях измерения каждый миллиграмм $CuCNS$ (при весе образца более 3 мг) ослабляет регистрируемое излучение на 1,5%. Поправки на рассеяние и поглощение β -частиц в кальке были незначительны.

Изучаемые продукты вторичных реакций являются нейтронодефицитными изотопами, часть из которых наряду с испусканием позитронов распадается путем K -захвата, а некоторые - целиком претерпевают K -захват. Для определения полного выхода соответствующих ядер необходимо знать парциальную вероятность захвата орбитального электрона тем или иным изотопом и эффективность счета рентгеновских лучей нашим детектором. У большинства наблюдаемых продуктов доля K -захвата известна ^{/26/}, однако для Ge^{66} , As^{72} такие сведения отсутствовали в печати, а для Ge^{68} дается лишь оценка ^{/27/}. В связи с этим мы определили экспериментально по

методу /28/ относительные вероятности актов захвата орбитального электрона у Ge^{66} , Ge^{68} и As^{74} , которые составляют 48 ± 20 , 55 ± 10 и 20%, соответственно. Проверка доли К-захвата у изотопов с известным соотношением показала удовлетворительное согласие наших определений и опубликованных значений. Доля К-захвата у изотопов Ge^{66} , Ge^{68} , As^{71} и As^{74} была принята равной 34, 15, 70 и 38%, соответственно. Вероятность К-захвата у Ge^{67} и As^{70} нам не известна, и мы ее не учитывали. Доля К-захвата для Se^{73} принималась равной 40%. Эффективность регистрации счетчиком МСТ-17 рентгеновских лучей Ga^{67} , распадающегося деликом путем захвата орбитального электрона, найдена равной около 15%. Из-за слабых интенсивностей идентификация изотопов в измеряемых фракциях производилась в основном по периодам полураспада. В отдельных случаях, там где это возможно, измерялись энергия электронов и позитронов по поглощению в алюминии или у-спектры на сцинтилляционном у-спектрометре. Типичные кривые спада активности фракций и их разложение на составляющие компоненты показаны на рис. 2-5. Величины поперечных сечений образования каждого изотопа рассчитывались по стандартной формуле, приведенной, например, в /29/. Заметим, что при измерении фракции меди на у-спектрометре, помимо пика аннигиляции позитронов Cu^{64} , были обнаружены у-лучи с энергиями 90 и 180 кэв (см. рис. 6) и периодами полураспада 212 мсек (рис. 7), принадлежащие Cu^{67} .

Экспериментальные величины сечений образования наблюдаемых изотопов Ga , Ge , As , Se и предварительные результаты по Cu^{67} представлены в таблице 1 и для наглядности приведены на рис. 8, 9 и 10. Погрешности, указанные в таблице, являются среднеквадратичными ошибками среднеарифметических значений. В ошибки не входят возможные погрешности, связанные с неточностью принятых схем распада, определения времени облучения на ускорителе, существенного для короткоживущих изотопов, а также ошибки в принятых значениях сечений мониторинговых реакций.

Сечения образования Ga^{66} , Ga^{68} , а также Ge^{67} и Ge^{69} определены вполне надежно. По нашей оценке, абсолютная погрешность определения сечения этих ядер $\pm 30\%$. В случае Ge^{66} / $T_{1/2} = 21,8$ мсек (250 дней) / вследствие малых уровней активности препаратов нам не всегда удавалось проследить спад активности на протяжении 3-х периодов полураспада. Поэтому в качестве активности Ge^{66} принималась компонента с периодом полураспада более 7,8 Мсек (3 месяца). Выход Ge^{66} определялся в основном по активности дочернего продукта Ga^{66} . Число опытов, в которых наблюдался As^{70} , невелико, вследствие этого дается лишь оценка величины сечения указанного изотопа. Так как активность компоненты с $T_{1/2} = 1,47$ Мсек (≈ 17 дней) в некоторых опытах мала, нет уверенности в надежности определения сечения As^{74} . Из-за малой активности фракции селена приведенное в таблице сечение образования Se^{72} можно рассматривать лишь как верхний предел. Абсолютная погрешность определения сечений перечисленных изотопов и Ga^{67} , по-видимому, не превосходит коэффициент 2.

Т а б л и ц а I

Энергия протонов, МэВ	Фракция галлия б в 10^{-29} см^2					Фракция германия б в 10^{-31} см^2 xx)				Фракция мышьяка б в 10^{-32} см^2 xxx)				Фракция селена б в 10^{-32} см^2 x)		Ca^{47} б в 10^{-30} см^2
	Ga^{68}	Ga^{67}	Ga^{65}	$\frac{\text{Ga}^{67}}{\text{Ga}^{68}}$	$\frac{\text{Ga}^{65}}{\text{Ga}^{68}}$	Ge^{68}	Ge^{67}	Ge^{66}	Ge^{65}	As^{70}	As^{71}	As^{72}	As^{74}	Se^{72}	Se^{74}	
140	$0,98 \pm 0,08$	$0,20 \pm 0,03$	$0,46 \pm 0,05$	$0,21 \pm 0,02$	$0,48 \pm 0,06$	$\sim 0,01$	$0,27 \pm 0,05$	$-0,3$	$0,22 \pm 0,04$	-	$0,6 \pm 0,2$	$0,21 \pm 0,03$	$-0,4$	-	-	$0,3$
340	$1,56 \pm 0,25$	$0,28 \pm 0,09$	$0,93 \pm 0,18$	$0,20 \pm 0,03$	$0,45 \pm 0,06$	$-0,04$	$0,4 \pm 0,1$	$-0,5$	$0,83 \pm 0,08$	$-0,2$	$1,4 \pm 0,2$	$0,56 \pm 0,09$	$-0,3$	-	-	$0,6$
480	$2,30 \pm 0,14$	$0,46 \pm 0,05$	$1,05 \pm 0,05$	$0,19 \pm 0,01$	$0,43 \pm 0,01$	$-0,06$	$0,7 \pm 0,2$	$-0,9$	$1,5 \pm 0,2$	$-0,6$	$2,2 \pm 0,5$	$0,7 \pm 0,1$	$-0,9$	-	-	$0,6$
660	$3,3 \pm 0,3$	$0,70 \pm 0,10$	$1,3 \pm 0,2$	$0,21 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,04$	$-0,09$	$2,2 \pm 0,4$	$-1,6$	$2,54 \pm 0,34$	$-1,0$	$2,8 \pm 0,4$	$1,3 \pm 0,1$	$-1,2$	$-0,4$	$0,6 \pm 0,3$	$1,1$

x) Облучались препараты меди фирмы Johnson Methley .

xx) Относительные выходы изотопов германия равны:

$$\frac{\text{Ge}^{68}}{\text{Ge}^{67}} = 0,042, \quad \frac{\text{Ge}^{67}}{\text{Ge}^{66}} = 0,8, \quad \frac{\text{Ge}^{66}}{\text{Ge}^{65}} = 0,8$$

xxx) Относительные выходы изотопов мышьяка равны:

$$\frac{\text{As}^{70}}{\text{As}^{71}} = 0,25, \quad \frac{\text{As}^{72}}{\text{As}^{71}} = 0,38, \quad \frac{\text{As}^{74}}{\text{As}^{71}} = 0,43$$

Обсуждение результатов

Как видно из таблицы 1, а также рисунков 8-10, выходы всех изучаемых фракций растут с увеличением энергии протонов, Сечения образования изотопов галлия сравнимы между собой и увеличиваются примерно в 3 раза в указанном интервале энергии протонов. Относительные выходы изотопов галлия не зависят от энергии падающих протонов и равны для $\frac{Ga^{67}}{Ga^{68}} = 0,2 \pm 0,03$, а $\frac{Ga^{68}}{Ga^{66}} = 0,45 \pm 0,08$. Выходы изотопов фракции германия на два порядка меньше, чем галлия. С увеличением энергии наблюдается рост сечений образования изотопов Ge^{67} и Ge^{68} в 8-12 раз. Относительный выход отдельных изотопов германия в рассматриваемом интервале энергий может быть больше или меньше приведенных величин примерно в 2 раза. Выходы фракций As и Se еще на порядок ниже, чем у германия. Сечение образования изотопов As^{71} и As^{72} увеличиваются в 5 раз. Относительный выход изотопов мышьяка в отдельных опытах непостоянен и может быть больше или меньше указанных значений примерно в 2 раза. Сечения образования Cu^{67} составляют величину $\approx 10^{-30} \text{ см}^2$ и увеличиваются в 4 раза от $E_p = 140 \text{ Мэв}$ до $E_p = 660 \text{ Мэв}$.

Наблюдаемые величины сечений образования изотопов Ga , Ge и Cu^{67} не могут быть объяснены расщеплением возможных примесей в облучаемой мишени. Поэтому можно утверждать, что изотопы Ga и Ge являются продуктами вторичных реакций с участием α -частиц и ядер лития. Механизм образования Cu^{67} пока не ясен и будет предметом дальнейшего изучения. Сейчас лишь можно предполагать, что возможными каналами его образования могут быть следующие вторичные реакции на Cu^{65} :

- 1) $(\alpha, 2p)$,
- 2) (H^3, p) ,
- 3) захват двух нейтронов.

Наблюдаемые сечения образования изотопов мышьяка оказываются в ≈ 10 раз меньше, чем эффекты расщеплений возможной примеси мышьяка в Cu , если принять содержание As в мишени $\approx 4 \times 10^{-4} \%$, а сечения образования As^{71} и As^{72} из мышьяка согласно работе /31/. Однако на самом деле содержание As в меди (а также близких к нему элементов) меньше приведенной величины, так как суммарный выход $As^{71} + As^{72}$ в наших опытах растет, а образование этих изотопов в реакциях расщепления As^{76} практически постоянно (от 103 Мэв /31/ до 590 Мэв /30/), мы полагаем, что полученные цифры можно рассматривать в качестве верхней границы вклада вторичных реакций захвата ядер Be . Наблюдаемые величины вероятностей образований фракции селена могут быть полностью объяснены реакциями расщепления примесей, и поэтому вклад вторичных реакций захвата ядер бора установить не представляется возможным, хотя в этих случаях использовались более чистые препараты меди.

Полученные в наших опытах сечения образования изотопов галлия и германия удовлетворительно совпадают с величинами выходов этих элементов при энергии 340 Мэв, приведенными в работе /1/. При энергии протонов 140 Мэв выход Ga^{66} совпадает с величиной сечения образования этого изотопа, найденной в работе /32/. Однако при более высоких энергиях протонов наблюдаются большие расхождения между значениями, полученными нами и данными /32/. Существенно отличается также наше значение сечения образования Ga^{66} при $E_p = 480$ Мэв от определенного в работе /3/. Заметим, что сечение образования Ga^{66} в цитируемой работе существенно превосходит $\sigma_{Ga^{66}}$ и $\sigma_{Ga^{67}}$. Это сомнительно. Ga^{66} может быть образован лишь в результате осуществления одной вторичной реакции (α, n) на Ca^{65} (если пренебречь радиационным захватом He^8), в то время как Ga^{66} образуется по двум каналам: $Ca^{65}(\alpha, 3n)$ и $Ca^{66}(\alpha, n)$. Поэтому $\sigma_{Ga^{66}}$ должно быть больше $\sigma_{Ca^{65}}$.

Сопоставление суммарных наблюдаемых сечений вторичных (α, xn) реакций, иллюстрируемое на рис. 11, показывает, что на меди, олове и висмуте наблюдается примерно одинаковая энергетическая зависимость. Постоянство наблюдаемых относительных выходов изотопов галлия подтверждает высказанную ранее /9,12/ точку зрения о неизменности энергетического спектра надбарьерных α -частиц.

Сравнение наблюдаемых суммарных сечений вторичных реакций захвата лития на меди, олове и свинце (см. рис. 12) показывает, что на всех мишенях наблюдается почти одинаковый рост выхода реакций от энергии протонов. По абсолютным величинам суммарные сечения на разных мишенях различаются, но это расхождение легко понять, принимая во внимание число каналов реакций, доступных для наблюдения в том или ином случае. Сравнительное постоянство (в пределах коэффициента 2) относительных выходов изотопов Ge и As позволяет сделать утверждение о постоянстве энергетического спектра захватываемых литиевых и бериллиевых фрагментов.

Сравнение зависимостей реакций захвата α -частиц, ядер лития и бериллия в интервале энергии от 140 Мэв до нескольких Гэв показывает (см. рис. 13), что у каждого фрагмента увеличение выхода с ростом энергии протонов идет своеобразно и различается между собой по абсолютной величине. Наши данные полностью соответствуют результатам других авторов по энергетической зависимости. Меньшие величины выхода At^{211} (сплошная кривая) из висмута и свинца по сравнению с данными на меди объясняются тем, что в случае At наблюдается лишь один из каналов вторичной реакции. Рост сечений (α, xn) реакции менее сильный, чем сечений реакций захвата ядер Li и Be. Энергетические зависимости вторичных реакций (Li, xn) и (Be, xn) примерно одинаковы. Как и ожидалось, суммарные выходы вторичных реакций захвата фрагментов уменьшаются с увеличением заряда фрагмента.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Р.Шимчаку и Зин Хе Сун за помощь в проведении настоящего исследования, Л.П. Москалевой за предоставление образцов меди.

Л и т е р а т у р а

1. R.Batzel, D.Miller, G.Seaborg, Phys. Rev., 84, 671 (1951).
2. A.Turkevich, N.Sugarman. Phys. Rev., 94, 728 (1954);
3. А.П.Виноградов, И.П.Алимарья, В.И.Баранов, А.К.Лаврухина, Т.В.Баранова, Ф.И.Павлоцкая. Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии. Заседание отделения хим. наук. Изд. АН СССР, Москва, 1955.
4. Б.В.Курчатов, В.Н.Мехедов, Л.В.Чистяков, М.Я.Кузнецова, Н.И.Борисова, В.Г.Соловьев. ЖЭТФ, 35, 58 (1958).
5. М.Я.Кузнецова, В.Н.Мехедов, В.А.Халкин. Атомная энергия, 4, 455 (1958).
6. A.E.Metzger, I.M.Miller. Phys. Rev., 113, 1125 (1959).
7. M.Leffort, G.Simonoff, X.Tarrago. Nucl. Phys., 19, 173 (1960).
8. Ван Юн-юй, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, В.А.Халкин. ЖЭТФ, 39, 230 (1960).
9. Ван Юн-юй, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, В.Н.Мехедов, В.А.Халкин. ЖЭТФ, 39, 527 (1960).
10. Б.Н.Беляев, Н.С.Мальцева, В.Н.Мехедов, Мин Нам Бук, Р.А.Шимчак. ЖЭТФ, 43, 1129 (1982).
11. Ван Чуань-пэн, В.Н.Мехедов, В.Н.Рыбаков, Р.А.Шимчак. ЖЭТФ, 44, 1800 (1983).
12. Н.С.Мальцева, В.Н.Мехедов, В.Н.Рыбаков. ЖЭТФ, 45, 852 (1983).
13. G.Rudstam, E.Bruninx, A.Pappas. Phys. Rev., 126, 1852 (1962).
14. E.Bruninx, High Energy Nuclear Reaction Cross Section, CERN, 61-1, (1961).
15. I.W.Meadows. Phys. Rev., 98, 744 (1955).
16. А.Н.Мурин, И.А.Ютландов. Изв. АН СССР, отд. хим. наук, № 4, 408 (1957).
17. S.Markowitz, F.Rowland, G.Friedlander. Phys. Rev., 112, 1295 (1958).
18. Н.Р.Юле, А.Туркевич. Phys. Rev., 118, 1591 (1960).
19. E.R.Merz, A.Caretto. Phys. Rev., 126, 1173 (1962).
20. L.P.Remsberg, I.M.Miller. Phys. Rev., 130, 2069 (1963).
21. G.H.Coleman, H.A.Tews. Phys. Rev., 99, 288 (1955).
22. И.А.Ютландов. Buletinul Institutului Politehnic, in Iasi, Serie NOUA, mIII (VII), Fasc 3-4, 85 (1957).
23. В.Ф.Гилленбранд, Г.Э.Лендель, Г.А.Брайт, Д.И.Гофман. Практическое руководство по неорганическому анализу. Москва, ГНТИХИ, 1980.
24. A.Kyelberg, A.Pappas, Inorg. Nucl. Chem., 11, 173 (1959).
25. Y.Sasaki. Bull. Chem. Soc. Japan, 28, 1, 89 (1955).
26. D.Strominger, I.Hollanger, G.Seaborg. Rev. Mod. Phys., 30, 585 (1958).
27. D.A.Mc.Cown, L.L.Woodward and M.L.Pool. Phys. Rev., 74, 1311 (1948).

28. М.Я. Кузнецова, Е.Н. Мехедов. Известия АН СССР, серия физич., т.ХХ1, № 7, 1020 (1957).
29. Н.С. Мальцева, В.Н. Рыбаков. Препринт ОИЯИ, Р-1464, Дубна, 1963.
30. G.Rudstad, E.Bruninx, Inorg. Nucl. Chem., 23, 161 (1961).
31. G.Rudstam. Spallation of Medium Weight Elements. Upsala (1956).
- 32. А.К. Лаврухина, И.М. Гречищева, Б.А.Хотин, Атомная энергия, 6, 145 (1958).

Рукопись поступила в издательский отдел
31 июля 1964 г.

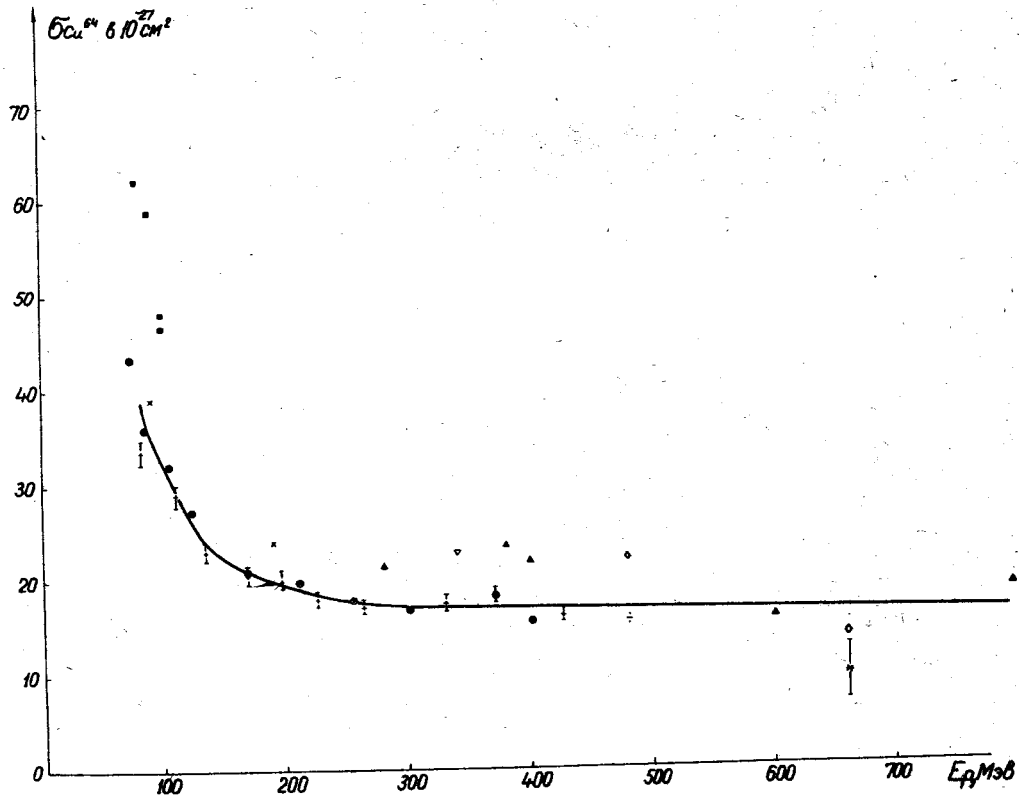


Рис. 1. Сечения реакций $^{65}\text{Cu} (p, \alpha) ^{64}\text{Cu}$, согласно работам: \square - /18/, \odot - /19/,
 \blacktriangle - /17/, \perp - /20/, \blacksquare - /15/. Сечения образования Cu^{64} в реакциях рас-
 шепления природной меди, согласно работам: \blacktriangledown - /1/, \diamond - /13/, $*$ - /16/, \times - /21/.

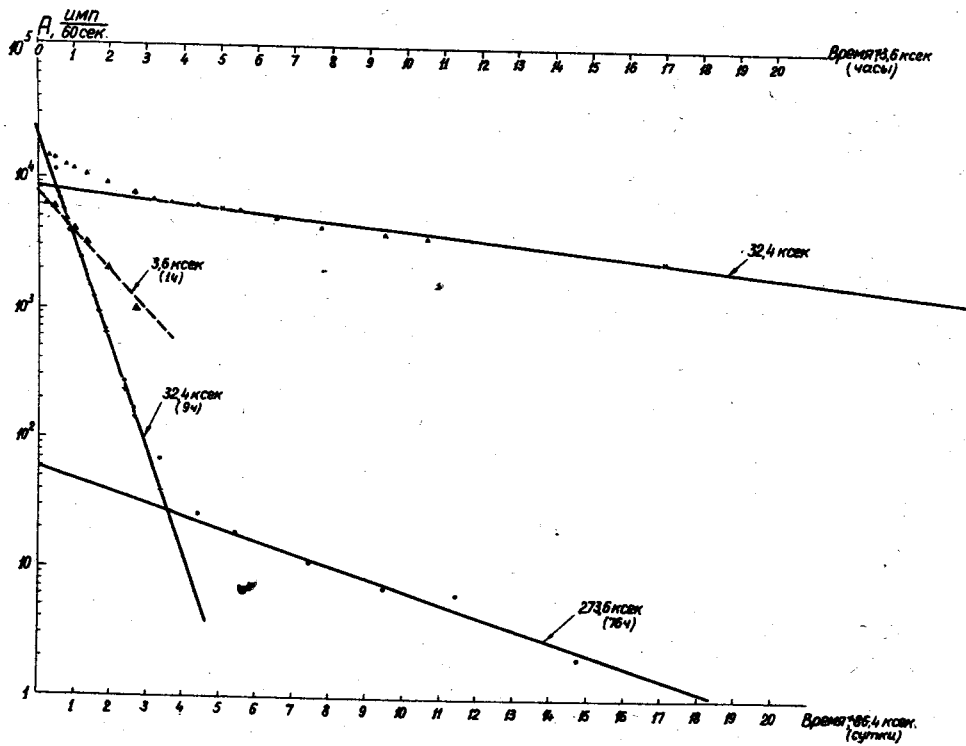


Рис. 2. Кривая распада фракции галлия. Δ Δ - короткоживущие компоненты - верхний масштаб времени; \bullet - долгоживущие компоненты - нижний масштаб.

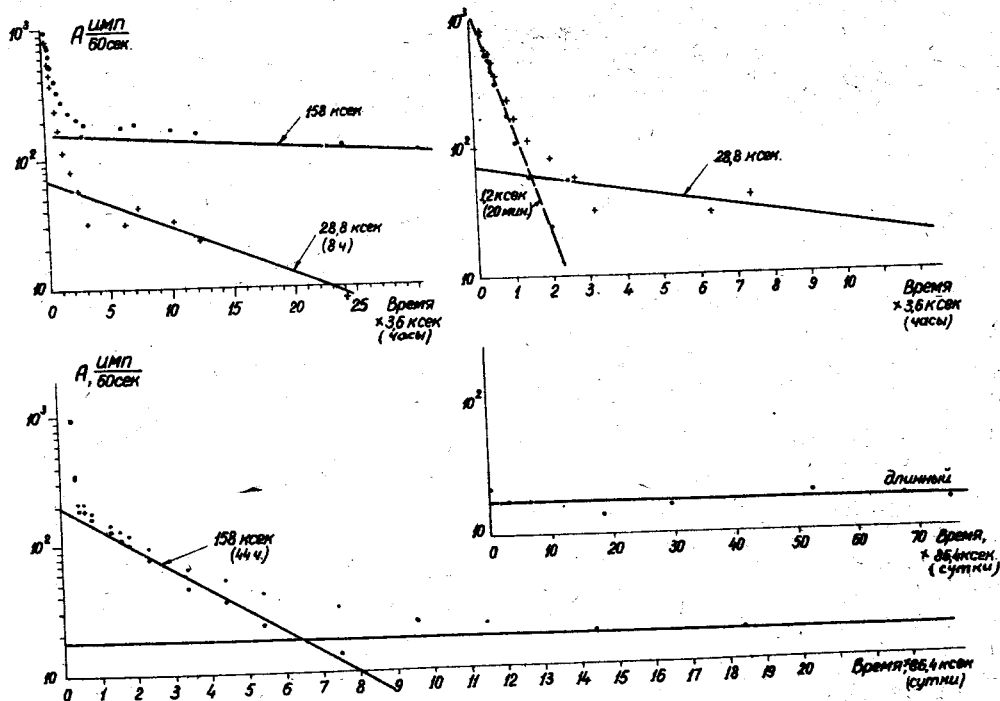


Рис. 3. Кривая распада фракции германия. Долгоживущие компоненты указаны в нижней части рисунка. В правом верхнем углу приведено разложение начального участка кривой распада после вычитания периода 158 ксек.

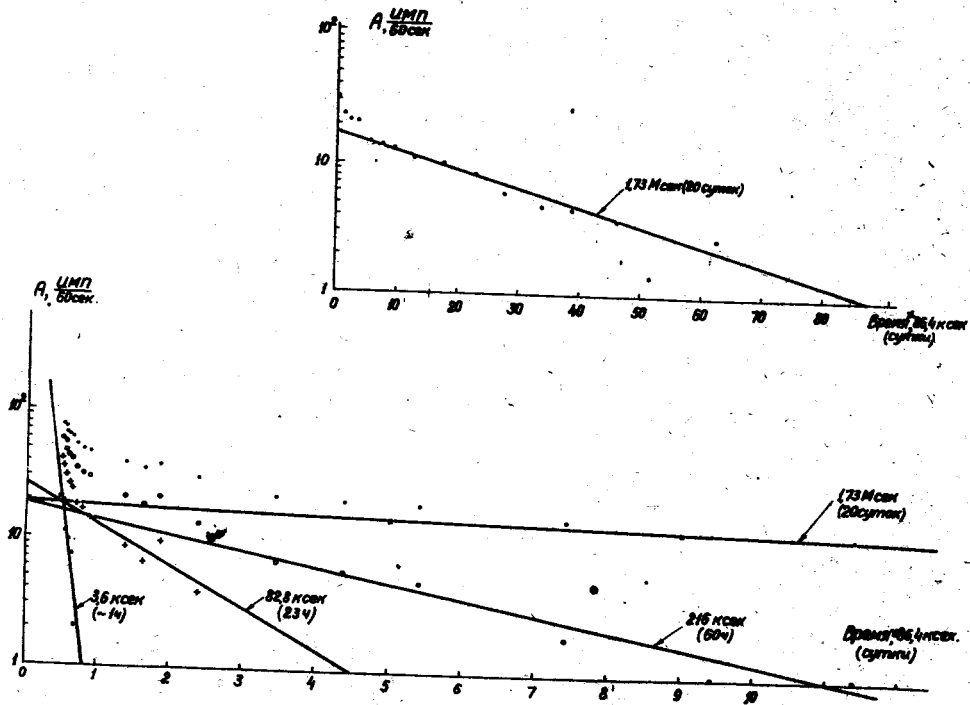


Рис. 4. Кривая распада фракция мышьяка.

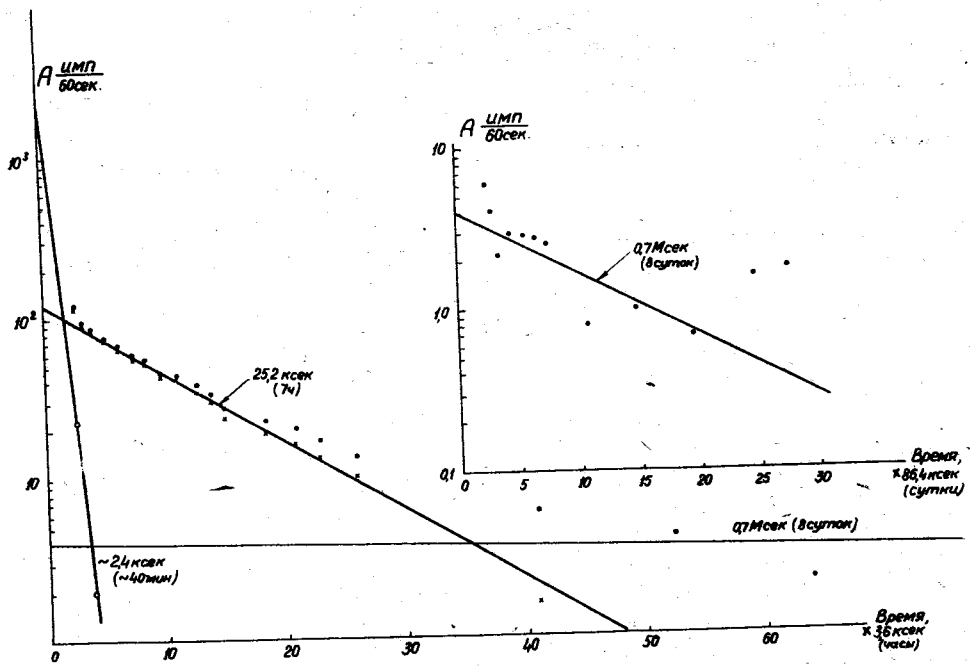


Рис. 5. Кривая распада фракции селена

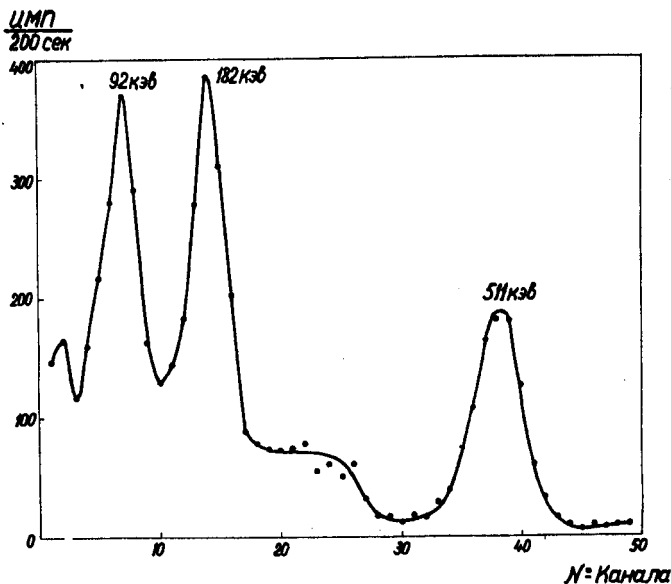


Рис. 6. γ -спектр фракции меди, измеренный на одноканальном γ -спектрометре АЗ-1.

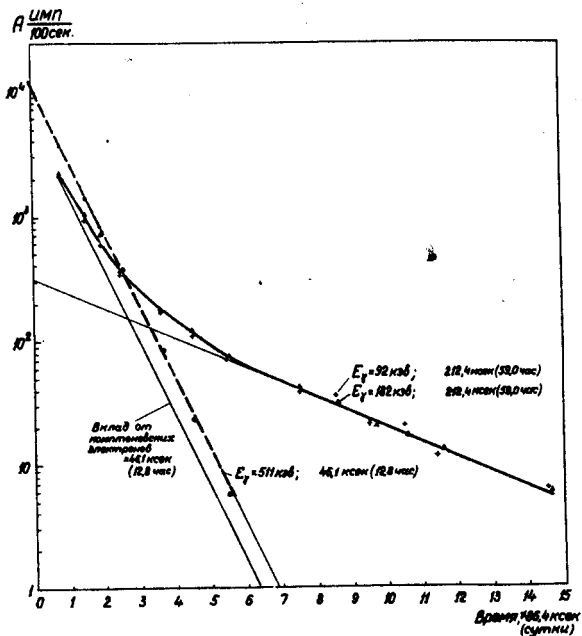


Рис. 7. Кривые распада отдельных γ -пиков фракции меди.

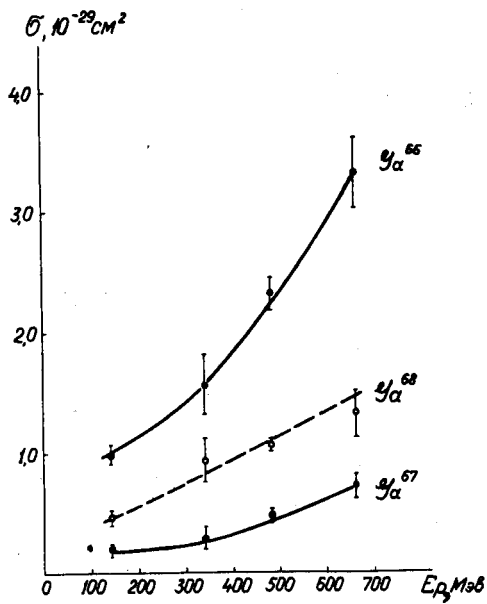


Рис. 8. Функции возбуждения изотопов галлия.

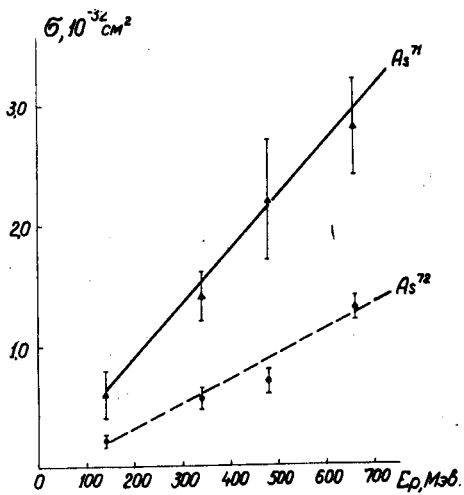


Рис. 9. Функции возбуждения изотопов германия.

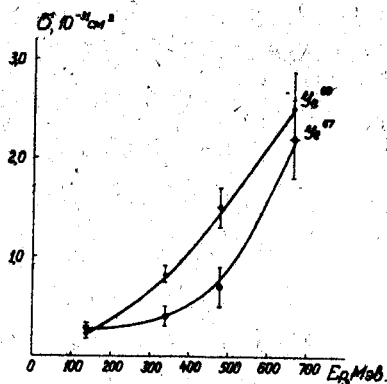


Рис. 10. Функции возбуждения изотопов мышьяка.

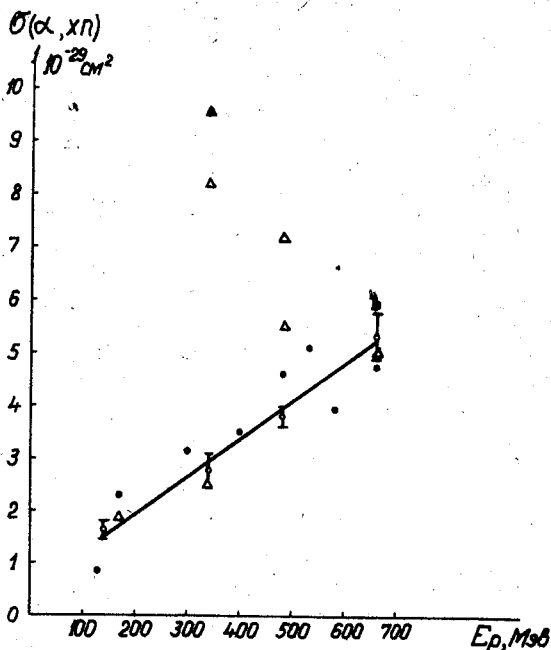


Рис. 11. Сравнение суммарных наблюдаемых выходов вторичных (α, π) реакций на различных элементах.
 ○ - Результаты настоящей работы. Δ - Данные работы /5/ на Са.
 ● - Результаты работы /8/ на висмуте. \blacktriangle - Данные /8/ на золоте.

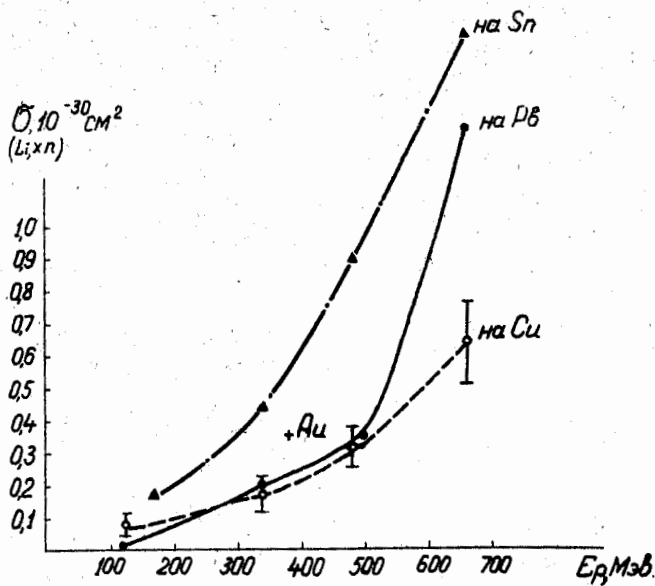


Рис. 12. Функции возбуждения суммарных наблюдаемых сечений вторичных реакций (Li, α) на меди (настоящая работа), олове^{19/} и свинце^{19/}.

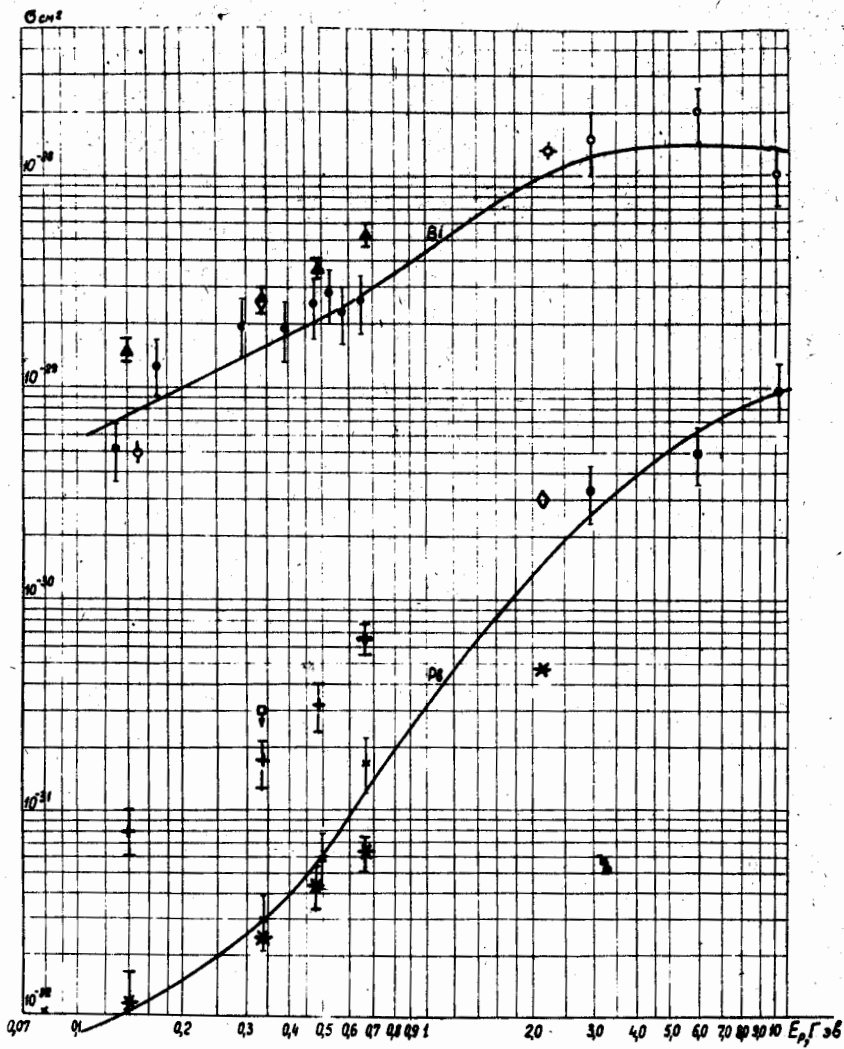


Рис. 13. Энергетические зависимости сечений различных вторичных реакций согласно исследований /1,2,5,7-9,12/ и настоящей работы:
 ▲ - (a, ж), + - (Li, м), * - (Be, хп).