

34

44
М 21



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Н.С. Мальцева, В.Н. Мехедов, В.Н. Рыбаков

1237

ВТОРИЧНЫЕ РЕАКЦИИ
ОБРАЗОВАНИЯ АСТАТИНА
ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ B_i И P_b
ПРОТОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ ОТ 3 ДО 10 БЭВ
ЖСЭЯФ, 1963, т 45, в 4, с 852-856.

Н.С. Мальцева, В.Н. Мехедов, В.Н. Рыбаков

1237

ВТОРИЧНЫЕ РЕАКЦИИ
ОБРАЗОВАНИЯ АСТАТИНА
ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ B_i И P_b
ПРОТОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ ОТ 3 ДО 10 БЭВ

Общество
Центр
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963 год

Исследование вторичных реакций образования астатина ($Z = 85$) при бомбардировке висмута ($Z = 83$) или свинца ($Z = 82$) частицами высоких энергий является удобным способом изучения особенностей образования надбарьерных α -частиц или ядер лития^{/1-5/}. Это обуславливается, с одной стороны, возможностью получения мишеней с требуемой степенью чистоты относительно содержания более тяжелых элементов, чем исходный, с другой стороны, меньшими трудностями в операциях химической очистки и детектирования α -радиоактивных изотопов астатина. Не меньшее значение имеет также относительно низкая величина фона рассеянных α -излучений, что позволяет сравнительно легко получить условия для надежного обнаружения небольших количеств продукта ($\leq 10^{\text{расп./мин}}$).

Настоящая работа поставлена с целью измерить сечения вторичных реакций в толстых образцах, что позволяет получить сведения о вероятностях образования надбарьерных α -частиц и ядер лития при энергиях протонов в несколько Бэв. Опыты проводились

на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ при интенсивностях внутреннего пучка протонов $1-3 \cdot 10^{10}$ протонов в имп. Для облучения использовались пластинки висмута и свинца размером $70 \times 20 \times 2,0$ мм и весом 10-15 г. Применялся висмут высокой степени чистоты^{/2/}, полученный в Гиредмете, и специально очищенный нами свинец^{/3/}.

Пластинки металлов, обернутые в алюминиевую фольгу толщиной 50 микрон, служившую монитором пучка протонов, укреплялись на плунжирующем пробнике синхрофазотрона. Они прикреплялись к вилке пробника таким образом, чтобы их плоскость была перпендикулярна пучку протонов. Плунжирующий пробник выдвигал мишени на орбиту пучка в заданные моменты относительно начала цикла ускорения, в результате чего достигалось облучение протонами требуемых энергий (3, 6, 10 Бэв).

В целях экономии времени работы ускорителя образцы висмута и свинца облучались в большинстве опытов одновременно. Времена облучения составляли от 1,5 до 3,0 часов. Измерения общего уровня активности облученных образцов и снятие автографов показали, что в наших опытах оба образца облучаются примерно одинаково, а наибольшая активность содержится в их передней кромке. Специальные отдельные облучения мишеней показали такие же результаты, как и при совместном облучении.

После облучения от пластинок отрезались и отбрасывались края, которые крепились к вилке пробника, а оставшаяся часть материала разрезалась пополам. Таким образом, в каждом облучении обрабатывались по два образца указанных материалов, весом 4-6 грамм.

Методики химического выделения астатина из свинца и висмута были такие же, как и в работах^{/2,3,5/}. В связи с использованием мишеней большего веса, чем это делалось ранее, специально проверялась величина химического выхода астатина в наших случаях. При указанном весе висмутовой мишени в наших опытах выделяется $85 \pm 5\%$ астатина; в случае свинца - $55 \pm 4\%$ астатина, что согласуется с данными работы^{/6/}.

Определения сечений образования At^{211} и относительных выходов $\frac{At^{210}}{At^{211}}$, $\frac{At^{209}}{At^{211}}$, $\frac{At^{208}}{At^{211}}$ и $\frac{At^{207}}{At^{211}}$ делались так же, как это было описано нами ранее^{/1-3,5/}. Абсолютные величины сечений образования At^{211} в толстых образцах определялись по отношению к

выходу Na^{24} из алюминиевого монитора. В качестве сечения образования Na^{24} в рассматриваемом интервале энергий протонов принимались величина, равная $10 \text{ мб}^{/7,8,9/}$. Выходы других изотопов аstatина относительно выхода At^{211} находились из данных измерения их α -спектров^{/5/}.

Выделяемые активности аstatина были невелики. В случае свинцовых образцов они составляли около $10-10^2$ расп/мин, а в случае висмутовых образцов были на порядок выше. Тем не менее, низкий фон α -детектора ($\sim 0,3$ расп/мин) позволил уверенно наблюдать во всех случаях спад активности At^{211} с периодом полураспада 7,3 час на протяжении трех и более периодов полураспада. При измерении α -спектров^{х)} препараты аstatина из висмута оказались достаточно интенсивными, чтобы можно было просчитывать их с механическим коллиматором, значительно корректирующим α -спектры, а также оценивать образование дочерних α -радиоактивных изотопов Po^{210} и Po^{208} . Препараты аstatина из свинца были слабы и измерялись без механических коллиматоров.

Сечения образования изотопа At^{211} при энергии протонов 3-10 Бэв приведены на рис. 1 из висмута - незачерненными кружками, из свинца - кружками с крестиками, соответственно. В каждом случае дается среднее из 2-х определений. Точность, с которой даны сечения образования At^{211} , как и в предыдущих работах^{/1-3/}, оценивается около $\pm 30\%$. На этом же рисунке приведены сечения образования указанного изотопа из висмута (зачерненные кружки) и свинца (крестики) при энергиях протонов до 660 Мэв^{/2-4/}. Как видно из рисунка, с увеличением энергии протонов выходы At^{211} растут, как у висмутовых образцов, так и особенно у свинцовых образцов. Выход At^{211} из висмута при переходе от энергии 660 Мэв к 10 Бэв увеличивается в 4-5 раз. Пока трудно утверждать, имеется ли максимум в ходе сечения данного изотопа при энергии 3-6 Бэв или же начиная с 3 Бэв существует плато. В случае свинцовых образцов сечение At^{211} растет более сильно, и при переходе от 660 Мэв к 10 Бэв выход этого изотопа увеличивается примерно в 60 раз. Кажется при энергиях 6-10 Бэв появляется тенденция к замедлению роста сечения.

Выходы других изотопов аstatина по отношению к выходу At^{211} и их возможные максимальные отклонения приведены в таблице. Указываются относительные выходы, полученные в настоящей работе для энергии протонов 10 Бэв, и найденные нами ранее^{/5/} для энергии протонов 660 Мэв. Относительные выходы At^{210} и At^{208} определялись по выходам дочерних Po^{210} и Po^{208} и их удалось оценить только в случае висмутовой мишени. Большие погрешности определения относительных выходов этих изотопов, а также At^{209} и At^{207} в случае свинцовых образцов обусловлены малыми уровнями активностей измеряемых препаратов.

Сравнивая относительные выходы различных изотопов аstatина при энергии протонов 10 Бэв и 660 Мэв, мы видим, что в случае висмута они совпадают друг с другом для всех изотопов в пределах погрешностей определения. В случае свинца относительный выход At^{209} совпадает, в то же время как выход At^{207} оказался примерно в полтора раза выше, чем было найдено ранее. Из этих определений можно сделать вывод, что и при энергии

х) Измерения на α -спектрометре выполнены совместно с сотрудником РИАН Б.Н.Беляевым, которому авторы приносят свою благодарность.

Образец	Выход по отношению к At^{211}				Энергия протонов
	At^{210}	At^{209}	At^{208}	At^{207}	
Bi	$0,81 \pm 0,08$	$0,72 \pm 0,06$	$0,40 \pm 0,04$	$0,51 \pm 0,04$	660 Мэв
	$1,2 \pm 0,72$	$0,88 \pm 0,08$	$0,89 \pm 0,47$	$0,53 \pm 0,04$	10 Бэв
Pb	-	$1,43 \pm 0,43$	-	$0,61 \pm 0,13$	660 Мэв
	-	$1,87 \pm 0,22$	-	$0,98 \pm 0,08$	10 Бэв

10 Бэв не происходит заметного изменения энергетического спектра участвующих в реакции надбарьерных α -частиц или ядер лития, как это отмечалось ранее^{/5/} для меньших энергий протонов.

Любопытно заметить, что увеличение выхода вторичной реакции захвата α -частиц на меди ($z = 29$) и висмуте с ростом энергии протонов оказывается почти равным. В работе^{/10/} при переходе от энергии протонов 340 Мэв к 2,2 Бэв выход галлия ($z = 31$) из меди возрастает в 4 раза. У нас же выход At^{211} из висмута для того же интервала энергий возрастает в 4-5 раз. Несколько иначе обстоит дело с поведением выходов вторичных реакций захвата ядер лития в случае меди и свинца. В случае меди^{/10/} выход изотопов германия ($z = 32$) увеличивается от 340 Мэв к 2,2 Бэв в 10 раз, тогда как на свинце в том же интервале энергий выход с учетом возможных ошибок возрастает в 20-100 раз. С другой стороны, отмеченное нами ранее возрастание сечения образования At^{211} из свинца при переходе от энергии протонов 660 Мэв к 10 Бэв в ~ 60 раз неплохо согласуется с ростом выхода фрагментов с зарядом $z \geq 4$ в фотоэмульсии^{/11/} в примерно том же интервале энергий протонов. В цитируемой работе выход фрагментов в звездах при переходе от энергии 660 Мэв к 9,0 Бэв возрастает в 40 раз, причем за счет изменения сечения образования звезд с осколками выход возрастает ~ в 10 раз и почти в 4 раза при этих энергиях растет множественность образования фрагментов в звездах. Отсюда следует, что малое увеличение выхода вторичной реакции захвата ядер лития из меди^{/8/}, по-видимому, объясняется большими трудностями наблюдения чистого эффекта на таком легком элементе мишени.

Отсутствие серьезных изменений энергетических спектров у надбарьерных α -частиц или ядер лития при переходе к энергии 10 Бэв дает возможность оценить общую вероятность образования надбарьерных фрагментов из висмута и свинца при этой энергии. Сечение образования надбарьерных α -частиц при указанной энергии составляет $\sim 1 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$, в то время как для ядер лития получаем величину $(0,17-0,23) \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$. Мы учитываем при этом, что во вторичной реакции образования At^{211} из висмута надбарьерные α -частицы захватываются примерно каждая из $8 \cdot 10^3$ образованных^{/2/}, а в той же реакции захвата ядер лития свинцом - каждое из $(1,8-2,4) \cdot 10^4$ образованных^{/3/}. Поскольку протон с энергией 10 Бэв взаимодействует с ядрами висмута или свинца с сечением, близким к геометрическому ($\sigma_{\text{геом.}} \sim 2 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$), получаем, что образование надбарьерных α -частиц происходит почти в каждом акте взаимодействия протона с ядром, между тем как надбарьерные литиевые фрагменты создаются примерно в 20% случаев взаимодействий.

За помощь в проведении экспериментов на синхрофазотроне авторы благодарят И.В. Чувило и В.В. Миллера, а также весь эксплуатационный персонал синхрофазотрона.

Л и т е р а т у р а

1. Б.В. Курчатов, В.Н. Мехедов, Л.В. Чистяков, М.Я. Кузнецова, Н.И. Борисова, В.Г. Соловьев. ЖЭТФ, 35, 56, 1958 г.
2. Ван Юн-юй, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, В.А. Халкин. ЖЭТФ, 39, 230, 1960.
3. Ван Юн-юй, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, В.Н. Мехедов, В.А. Халкин. ЖЭТФ, 39, 527, 1960.
4. M.Lefort, G.Simonoff, X.Tarrago. Nucl. Phys. 19, 173 (1960).
5. Б.Н. Беляев, Н.С. Мальцева, В.Н. Мехедов, Мин Нам Бук, Р.А. Шимчак, ЖЭТФ, 43, 1129, 1962.
6. Б.Н. Беляев, Ван Юн-юй, Е.Н. Синотова, Л.Немет, В.А. Халкин. Радиохимия, 2, 603, 1960.
7. I.B.Cumming, G.Friedlander, C.E.Swartz.. Phys. Rev. III, 1386 (1958).
8. P.A.Benioff. Phys. Rev.119, 316 (1960).
9. I.B.Cumming, G.Friedlander, I.Hudis, A.M.Poskanzer. Phys. Rev. 127, 950 (1962).
10. A.Turkevich, N.Sugarman. Phys. Rev. 94, 728 (1954).
11. Н.А. Перфилов, Н.С. Иванова, О.В. Ложкин, М.М. Макаров, В.И. Остроумов, З.И. Соловьева, В.П. Шамоу. ЖЭТФ, 38, 345, 1960.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 марта 1963 года.

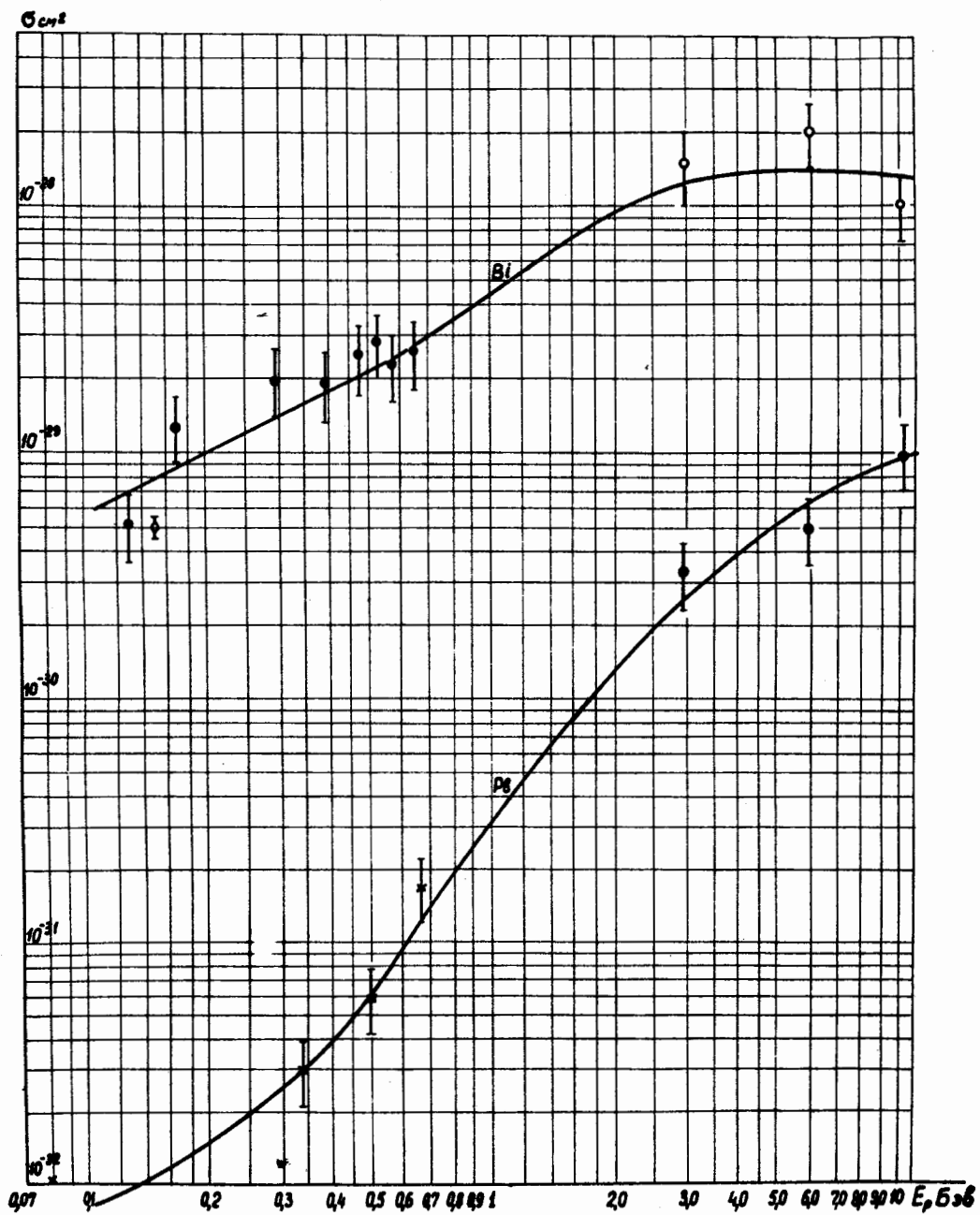


Рис. 1.