

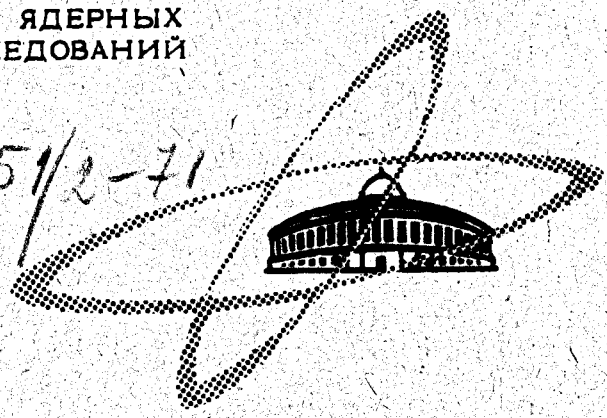
15/III 74

Л-669
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 5530

751/2-71



Ли Чун Хи, Н.С. Мальцева, В.Н. Мехедов

АБСОЛЮТНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ
ВТОРИЧНЫХ $p(\alpha, x n)$ - РЕАКЦИЙ
НА ВИСМУТЕ
В ИНТЕРВАЛЕ $E_p = 120 - 660$ МЭВ

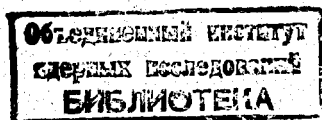
1970

P1 - 5530

Ли Чун Хи, Н.С. Мальцева, В.Н. Мехедов

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ
ВТОРИЧНЫХ $p(\alpha, x, n)$ - РЕАКЦИЙ
НА ВИСМУТЕ
В ИНТЕРВАЛЕ $E_p = 120 - 660$ МЭВ

Направлено в ЯФ



В в е д е н и е

Исследование вторичных реакций захвата надбарьерных фрагментов является одним из способов получения информации о процессах испускания из ядер нуклонных группировок с высокими кинетическими энергиями (см., например, /1-9/). Как показано в нашем предварительном сообщении /9/, при облучении висмута протонами высоких энергий можно наблюдать образование изотопов аstatина с массовыми числами в интервале от 211 до 203. Периоды полураспада и энергии испускаемых α -частиц этих изотопов четко отличаются друг от друга. Определение относительных выходов аstatина позволяет устранить ошибки, связанные с мониторингом пучка и химическим выходом изотопов. Каждый из рассматриваемых изотопов аstatина получается в результате актов захвата вторичных α -частиц с заданным значением порога их энергии. Например, образование ^{211}At происходит по реакции $^{209}_{83}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}_{85}\text{At}$, т.е. при захвате α -частиц с энергиями более 20 Мэв /1,2/. Здесь индексы p , α , n обозначают: протон высоких энергий, вызывающий испускание вторичной α -частицы (α), которая испытывает в дальнейшем захват с испусканием 2-х нейтронов (n). Более легкие изотопы (^{209}At , ^{207}At , ^{205}At , ^{203}At) получаются во вторичных реакциях с испусканием 4,6,8 и 10 нейтронов, т.е., грубо говоря, при захвате α -частиц с энергиями более 40,60,80 и 100 Мэв /5-9/.

В настоящем сообщении излагаются результаты подробного изучения функций возбуждения указанных вторичных реакций в интервале E_p от 120 до 660 Мэв.

Экспериментальная процедура

Для опытов использовались препараты висмута высокой степени чистоты ^{2,5/}. Образцы металлического висмута весом от 0,2 до 0,7 г запаивались в тонкостенные ампулы из кварцевого стекла и облучались на различных радиусах орбиты циркулирующего пучка протонов. Размеры ампул выдерживались примерно такими же, какие указаны в работах ^{2,3/} (внешний диаметр 4 мм). Время облучения мишени в зависимости от энергии падающих протонов составляло от 13-15 минут до одного часа. После облучения ампулы раздавливались, висмут растворялся в концентрированной азотной кислоте, производилось химическое выделение астатина и приготовление α -источника. Методика выделения астатина и осаждения его на полированный серебряный диск подробно описана в ^{9/}. Процедура приготовления α -препарата занимала в общей сложности 20-30 мин, а количество астатина на диске составляло от 20 до 40% от исходного количества вещества. На рис. 1 представлена зависимость процента сорбции астатина от времени. Качество приготовления α -источника удовлетворяло достаточно жестким требованиям α -спектроскопии (см. рис. 2). Измерения α -спектров препарата астатина производились на полупроводниковом α -спектрометре, изготовленном Т. Фенешем и И. Махункой ^{10/}. Измерения начинались примерно через час после конца облучения и продолжались в течение 10-15 часов. За это время короткоживущие изотопы ^{208}At - ^{203}At полностью распадались. При достаточной активности препарата измерялись также α -спектры дочерних изотопов ^{210}Po , ^{208}Po и ^{206}Po , накапливаемых за счёт К-захвата соответствующих изотопов астатина.

Производилось измерение дочерних' продуктов распада изотопов ^{210}At и ^{211}At . Полуширина α -пика ^{211}At в большинстве опытов составляла 21-42 кэв и только для двух самых слабых препаратов доходила до 55 кэв. Идентификация наблюдаемых изотопов основывается на определениях как величин энергий α -групп, так и периодов полураспада. Измеряемые величины энергии и периодов полураспада отдельных α -групп (примеры показаны в ^{9/}) согласуются с указываемыми в литературе ^{11/} (см. табл. 1) в пределах экспериментальных ошибок. Определение периодов полураспада каждого пика ^{209}At и ^{208}At позволяло разделить вклады этих изотопов, энергии α -частиц которых совпадают. Кроме того, удавалось отделить другие α -группы, принадлежащие ^{206}At и ^{204}At , расположенные между интенсивными пиками $^{209}\text{At} + ^{208}\text{At}$, ^{207}At и около пика ^{205}At .

Выходы различных изотопов рассчитывались из усредненных значений интенсивностей отдельных α -групп с учётом накопления их за время облучения, распада активности до начала измерения α -спектра, парциальной доли α -распада соответствующего изотопа и т.д. В качестве погрешности приводятся среднеквадратичные значения разброса данных расчётов в каждом опыте.

Результаты измерений

В табл. 2 сведены результаты определений относительных выходов изотопов астатина для различных энергий протонов. Даются средневзвешенные значения этих результатов. Звездочкой помечены случаи расчётов при одном облучении. Как видно из табл. 2, наиболее точные значения относительных выходов получены для изотопов ^{211}At , ^{209}At , ^{207}At и ^{205}At , погрешности определения которых составляют несколько процентов (не превышают 16%). Относительные выходы других ядер

Таблица 1
Наблюдаемые радиоактивные изотопы

Изотоп	E_{α} , Мэв	Период полураспада	Вероятность α -распада
^{211}At	5,868	7,21 час	40,9%
^{210}At	5,52 32%		
	5,44 31%	8,3 час	0,17%
	5,36 37%		
^{209}At	5,65	5,5 час	5%
^{208}At	5,65	1,6 час	0,5%
^{207}At	5,76	1,8 час	10%
^{206}At	5,70	32,8 мин	0,9% ^{/12/}
^{205}At	5,90	26,2 мин	18%
^{204}At	5,950	9,3 мин	4,5%
^{203}At	6,09	7,4 мин	14%
^{210}Po	5,305	138,4 дн	100%
^{208}Po	5,11	2,93 лет	100%
^{206}Po	5,22	8,8 дн	5%

найлены менее точно, особенно в случае измерения α -спектров дочерних полониевых изотопов. Причиной этого являются слабые активности соответствующих α -групп, трудности надежного выделения примесей соседних α -пиков, малая парциальная вероятность α -распада данного изотопа. Разбросы выходов рассматриваемых ядер от опыта к опыту невелики. Например, в серии опытов при 400 Мэв отношения выходов $^{209}\text{At} / ^{211}\text{At}$ найдены равными $0,78 \pm 0,06$; $0,68 \pm 0,1$; $0,86 \pm 0,09$ и $0,66 \pm 0,09$. Для отношения выходов $^{207}\text{At} / ^{211}\text{At}$ получены следующие цифры: $0,58 \pm 0,05$; $0,45 \pm 0,08$; $0,58 \pm 0,06$ и $0,51 \pm 0,03$, тогда как для отно-

шения $^{205}\text{At} / ^{211}\text{At}$ разбросы немного больше: $0,46 \pm 0,08$; $0,71 \pm 0,09$; $0,57 \pm 0,06$ и $0,38 \pm 0,06$. В опытах использовались α -источники разного качества изготовления (полуширина пика ^{211}At — от 21 до 55 кэВ). Причины заметных экспериментальных разбросов от опыта к опыту до конца установить не удалось. Можно думать, что они обуславливаются наложением двух факторов: различным качеством приготовления α -источников и трудностями выдержать строго одинаковые условия облучения препаратов в ампулах. Чтобы выяснить, сказывается ли увеличение диаметра ампулы на относительных выходах изучаемых ядер при энергии 660 МэВ, был сделан специальный опыт с использованием ампулы со стенками примерно той же толщины, но с внешним диаметром 6 мм. По качеству изготовления α -источник в этом опыте был не хуже, чем в других облучениях. Никаких отличий в отношениях выходов изотопов, выходящих за пределы ошибок измерения, отмечено не было.

В правой части табл. 2 приведены результаты определения отношения выходов изотопов астатина, содержащиеся в других публикациях. Сравнивая наши результаты с данными работ других авторов, мы видим, что в большинстве случаев они согласуются между собой. Что касается наших данных, полученных ранее с помощью ионизационного α -спектрометра ^{/5/}, то в некоторых случаях нам удалось внести заметные уточнения. Картина определения относительных выходов в настоящей работе более полная и подробная. Сопоставление с результатами французских исследователей ^{/4,7/}, работавших как с помощью α -спектрометра, так и γ -спектрометра, тоже показывает согласие данных, за исключением некоторых значений (отношение $^{207}\text{At} / ^{211}\text{At}$ при 150 МэВ, отношение $^{206}\text{At} / ^{211}\text{At}$ при 240 и 420 МэВ). Почему в работе ^{/7/} получены меньшие величины отношений, нам установить не удалось. Результаты наших первых определений ^{/1/}, выполненных менее надежным способом разложения кривых распада на составляющие компоненты, в общем тоже согласуются с новыми определениями. Например, отноше-

Таблица 2

Относительные выходы различных изотопов астатина

Отношение выходов изотопов	Энергия протонов, МэВ						120 ⁽⁵⁾	150 ^{///}	240 ^{///}	420 ^{///}	550 ^{///}	660
	120	220	320	400	500	660						
$\frac{At^{210}}{At^{211}}$ (по Po^{210})	1,0±0,2	1,1±0,3 ^x	0,97±0,3 ^x	0,74±0,16 ^x	0,71±0,16 ^x	0,57±0,08	0,96	1,0	0,96	0,95±1,1	0,91±0,93	0,81±0,
$\frac{At^{209}}{At^{211}}$	0,6±0,02	1,0±0,02	0,67±0,1	0,76±0,07	0,65±0,02	0,65±0,01	0,64±0,06	0,82	1,0	1,0	0,93	0,72±0,
$\frac{At^{208}}{At^{211}}$	0,93±0,18	0,86±0,29	1,2±0,15	0,71±0,1	0,76±0,1	0,87±0,15	0,5	0,47	0,42	0,82	0,77	0,40±0,
$\frac{At^{207}}{At^{211}}$	0,28±0,01	1,35±0,09	0,67±0,08	0,53±0,04	0,41±0,03	0,43±0,03	0,30±0,03	0,12	-	0,36	0,31	0,51±0,
$\frac{At^{206}}{At^{211}}$	0,47±0,06	1,6±0,12	1,5±0,3	0,77±0,08	0,4±0,06	0,51±0,08			0,08	0,14	0,22	
$\frac{At^{205}}{At^{211}}$	0,14±0,04	0,61±0,03	0,99±0,11	0,51±0,12	0,33±0,03	0,40±0,08						
$\frac{At^{204}}{At^{211}}$	-	-	-	0,93±0,14	0,43±0,11	0,37±0,07						
$\frac{At^{203}}{At^{211}}$	-	-	2,2 ±1,0	3,0±0,5	1,29±0,1	1,16±0,3						
$\frac{At^{208}}{At^{211}}$ (по Po^{208})	0,43±0,3 ^x	0,75 ^x	0,92 ^x	0,53±0,4 ^x	0,36±0,36 ^x	0,68±0,1						
$\frac{At^{206}}{At^{211}}$ (по Po^{206})	0,37±0,12 ^x	0,73	1,3 ^x	0,67±0,2 ^x	0,83±0,4 ^x	0,4±0,1						

ние выходов $^{205}\text{At} / ^{211}\text{At}$ при $E_p = 275, 375$ и 480 Мэв после внесения исправлений в работу ^{/1/} составляет 0,65; 0,38; 0,19 соответственно. Исправленное значение отношения выходов $^{203}\text{At} / ^{211}\text{At}$ при энергии $E_p = 375$ и 480 Мэв ^{/1/} оценивается как 3,6 и 1,8. Сравнительные результаты ^{/1/} с данными табл. 2, мы видим, что эти отношения мало отличаются от наших значений.

На рис. 3 построены кривые зависимостей изменения выходов изотопов ^{209}At , ^{207}At , ^{205}At и ^{203}At по отношению к выходу ^{211}At от энергии протонов. Рисунок показывает, что у каждого отношения с увеличением падающей энергии абсолютные значения сначала растут, достигают максимума, после чего выходят на плато. Из рисунка видно, что положение максимума для более легких изотопов смещается в сторону высоких энергий. Абсолютные значения величин отношений мало отличаются друг от друга за исключением отношений $^{203}\text{At} / ^{211}\text{At}$, которые вообще оказываются в 1,5-2 раза более высокими, чем ординаты других кривых. Вероятно, следует высказать сомнение в надежности приводимой в литературе величины парциальной доли α -распада у ^{203}At (около 14%). Если она завышена в 1,5-2 раза, то аномалия отношения $^{203}\text{At} / ^{211}\text{At}$ сразу устраняется. В противном случае повышение значения отношения $^{203}\text{At} / ^{211}\text{At}$ нужно объяснять дополнительным образованием легкого изотопа астатина за счёт реакций испускания π^- -мезона и 7 нейтронов при захвате ядром висмута протона высоких энергий.

Пользуемся возможностью высказать свою благодарность Т. Фенешу и И. Махунке за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. Б.В. Курчагов, В.Н. Мехедов, Л.В. Чистяков, М.Я. Кузнецова, Н.И. Борисова, В.Г. Соловьев. ЖЭТФ, 35, 56, 1958.

2. Ван Юн-Юй, В.Б. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, В.А. Халкин. ЖЭТФ, 39, 230, 1960.
3. Ван Юн-юй, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, В.А. Халкин, В.Н. Мехедов. ЖЭТФ, 39, 527, 1960.
4. M.Leffort, 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. Н.С. Мальцева, В.Н. Мехедов, В.Н. Рыбаков. ЖЭТФ, 45, 852, 1963.
7. M.Leffort, X.Tarrago. Nucl. Phys., 46, 161, 1963.
8. V.M.Mekhedov. Nucl.Phys., 53, 225, 1964. Сб. Ядерная химия, Изд. АН СССР, Москва, 1965, стр. 169.
9. Н.С. Мальцева, В.Н. Мехедов. Радиохимия, 7, 341, 1965.
10. I.Mahunka, T.Lokatos, T.Fenjeves. Atomki Kozlemerenyek, 5, 65, 1963.
11. C.M.Liederer, J.M.Hollander, I.Perman. Table Isotopes, N.Y. London 1967.
12. R.M.Latimer, G.E.Gordon, T.D.Thomas. J.Inorg.Nucl.Chem., 17, 1 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел

22 декабря 1970 года.

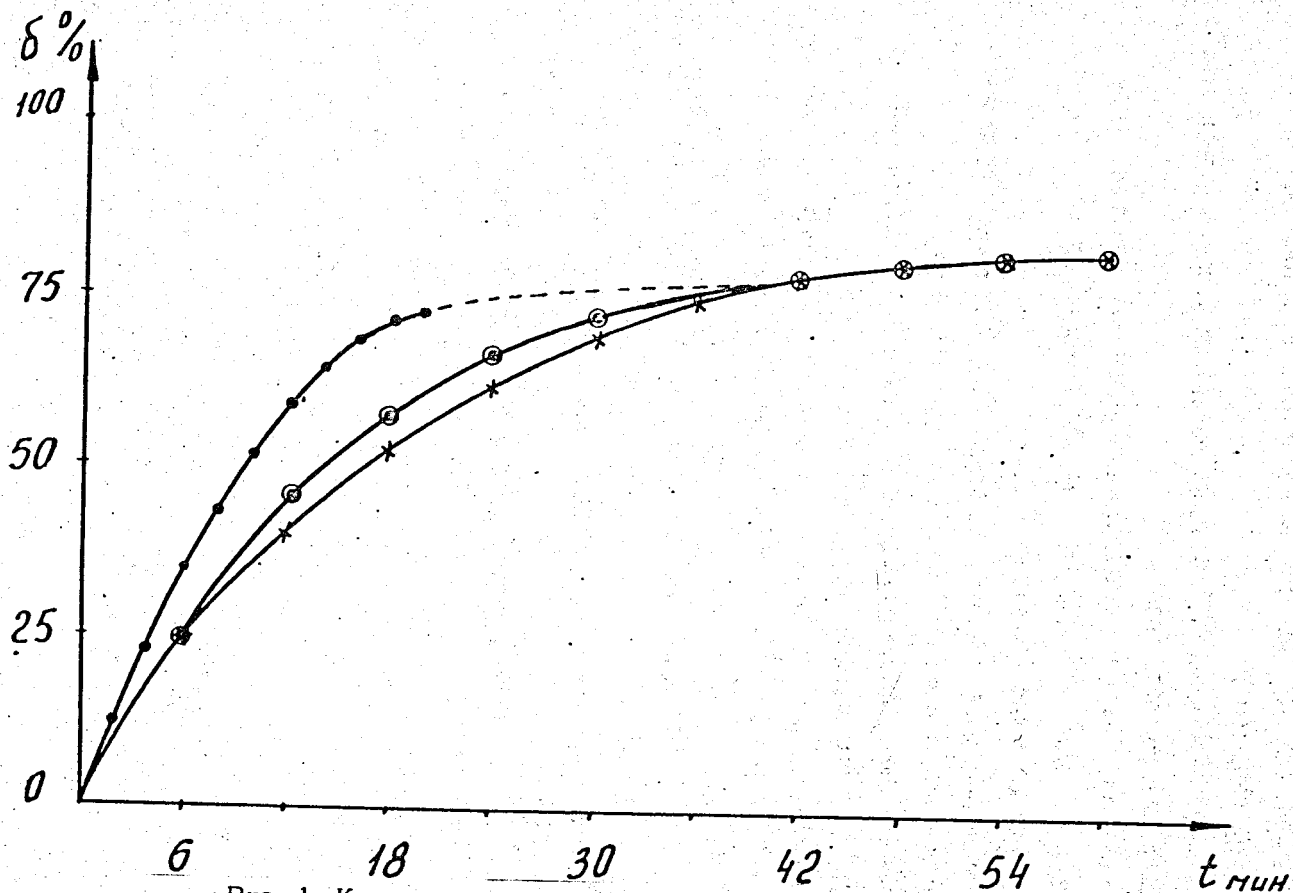


Рис. 1. Кривые зависимости % сорбции астатина от времени. X - сорбция астатина из 0,4M HCl, ⊙ - сорбция астатина из 0,6M HCl, ● - сорбция астатина из 0,9M HCl.

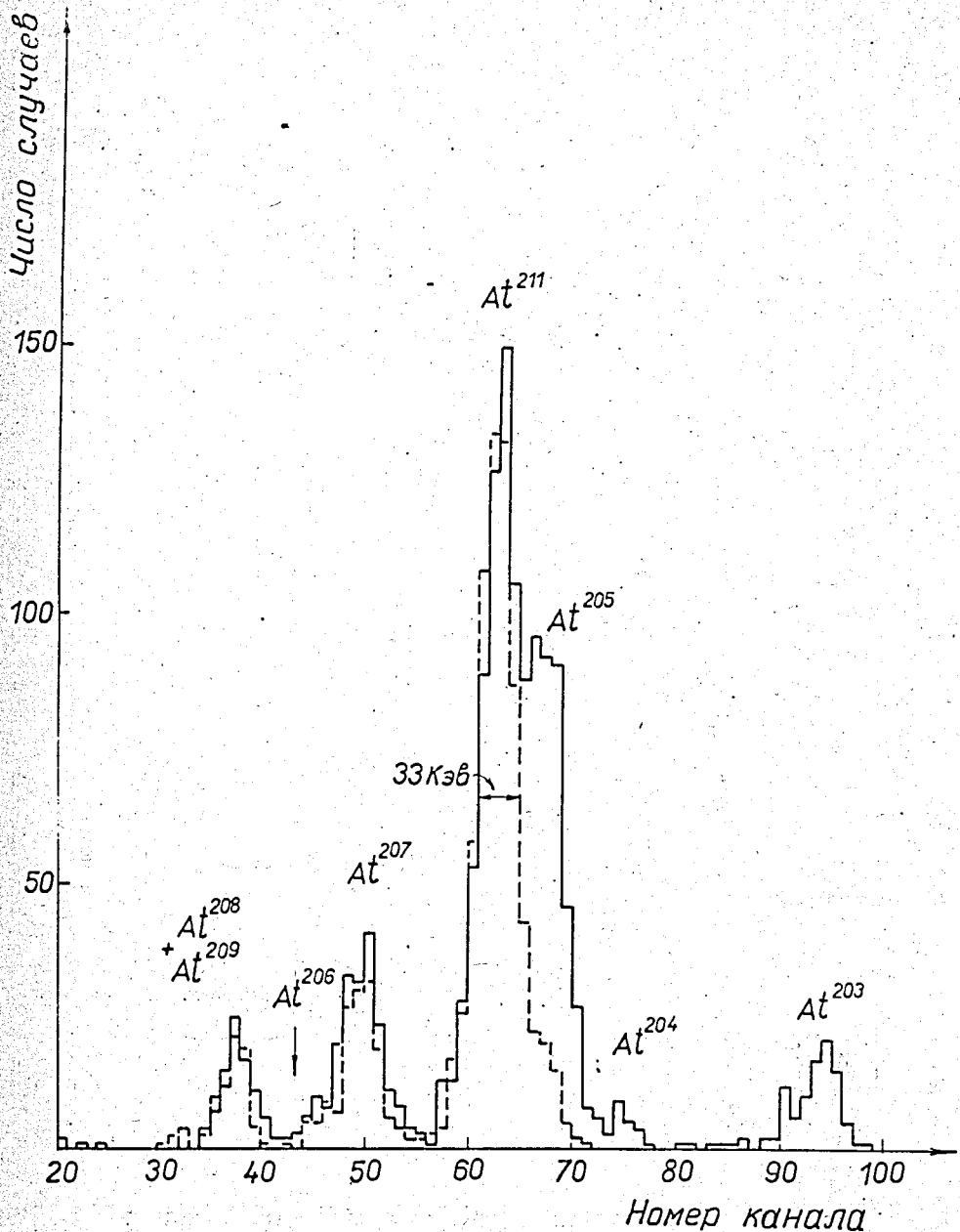


Рис. 2. α -спектр препарата астатина. Сплошная линия - через час после конца облучения, пунктир - через 2 часа после конца облучения.

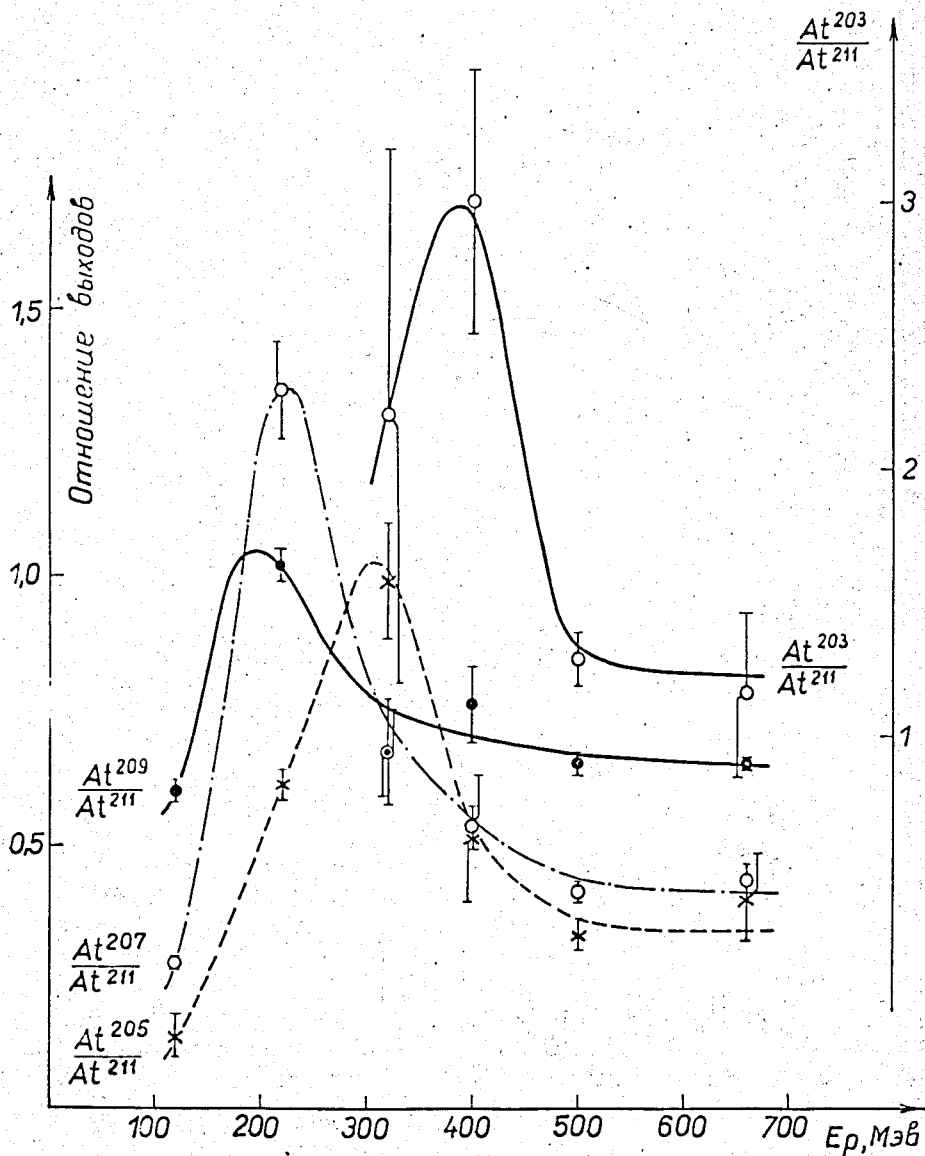


Рис. 3. Кривые зависимостей изменения относительных выходов некоторых изотопов аstatина от энергии протонов.