

сообщения  
Объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

С3439

1-84-455

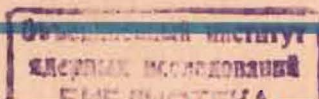
4474/84

В.С.Бутцев, Г.Л.Бутцева, В.Я.Костин\*,  
В.Я.Мигаленя\*

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫХОДОВ ОСТАТОЧНЫХ ЯДЕР  
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ  $\alpha$ -ЧАСТИЦ  
С ИМПУЛЬСОМ 17,9 ГэВ/с  
С ЯДРАМИ  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{181}\text{Ta}$  И  $^{207,2}\text{Pb}$

\* Харьковский физико-технический институт

1984



## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы выполнено большое количество экспериментальных и теоретических работ по изучению реакций, вызванных частицами высоких энергий.

При энергиях бомбардирующих частиц и ядер выше 1 ГэВ процесс неупругого взаимодействия имеет многостадийный характер<sup>/1/</sup>.

Взаимодействие начинается с быстрой "каскадной стадии", в результате которой образуется большое число новых вторичных частиц. Ядро при этом остается в сильно возбужденном состоянии. Девозбуждение ядра происходит путем конкурирующих процессов испарения нуклонов и деления в случае достаточно тяжелых ядер-мишеней.

Первые экспериментальные исследования взаимодействия протонов и  $\alpha$ -частиц с энергией 300-800 МэВ с ядрами Cu, Ag, Au и U<sup>/2/</sup> показали, что в таких реакциях образуются остаточные легкие ядра-продукты <sup>24</sup>Na, <sup>28</sup>Mg, имеющие достаточно большую энергию и асимметрию вылета вперед-назад. Полученные результаты рассматривались авторами как первые указания на существование фрагментации ядер-мишеней под действием высокоэнергетичных частиц.

В дальнейших исследованиях взаимодействия частиц и ядер в широком диапазоне энергий /протонов с энергией до 400 ГэВ<sup>/3,4/</sup>, ионов <sup>12</sup>C с энергией до 25,2 ГэВ<sup>/3-7/</sup>, ионов <sup>14</sup>N с энергией 3,9 ГэВ<sup>/8/</sup>, ионов <sup>20</sup>Ne с энергией до 8 ГэВ<sup>/7,9,10/</sup> и ионов <sup>40</sup>Ar с энергией 80 ГэВ<sup>/11/</sup> с ядрами-мишенями от Cu до U было установлено существование большого числа механизмов реакции, начиная от прямого выбивания нуклонов до полного развала составной системы.

Изучение выходов остаточных ядер в интервале от  $A > 20$  до полной массы составной системы выполнено только при энергии  $\alpha$ -частиц меньше 1 ГэВ<sup>/2,12/</sup>.

В данной работе представлены результаты измерения выходов остаточных ядер продуктов при взаимодействии  $\alpha$ -частиц с импульсом 17,9 ГэВ/с с мишенями из Tb, Ta и Pb.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Облучение мишеней из <sup>159</sup>Tb, <sup>181</sup>Ta и <sup>207,2</sup>Pb производилось на выведенном пучке  $\alpha$ -частиц с импульсом 17,9 ГэВ/с на синхротронной Лаборатории высоких энергий ОИЯИ<sup>/13/</sup>. Мишень тербия изготовлена из Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, запрессованного в капсулу из оргстекла. Толщина мишени по Tb составляла 1 г/см<sup>2</sup>. Мишени Ta и Pb изготов-

лены в виде дисков диаметром 30 мм, толщиной 2 г/см<sup>2</sup> и 1,3 г/см<sup>2</sup> соответственно.

Спектры  $\gamma$ -лучей образовавшихся остаточных ядер измерялись спектрометром с Ge(Li)-детектором объемом 41 см<sup>3</sup> и разрешением 3 кэВ для  $E_\gamma = 1332,5$  кэВ  $^{60}\text{Co}$ , эффективность регистрации -  $2,6 \times 10^{-4}$ .

Мониторирование пучка  $\alpha$ -частиц проводилось по реакции  $^{27}\text{Al}(\alpha, x)^{24}\text{Na}/^{14}$ . Средняя интенсивность  $\alpha$ -частиц составляла  $3,7 \times 10^9$  с<sup>-1</sup>. Сечение мониторинговой реакции для энергии выше 1 ГэВ не установлено, поэтому в данной работе оно было получено путем экстраполяции функции возбуждения на основе экспериментальных значений сечений образования  $^{24}\text{Na}$  в реакциях с энергией налетающих  $\alpha$ -частиц 100-1000 МэВ. Сечение реакции  $^{27}\text{Al}(\alpha, x)^{24}\text{Na}$  при энергии  $\alpha$ -частиц 18,3 ГэВ было принято равным 22 мб. Эта процедура вносит существенную неопределенность в оценку интенсивности пучка частиц и может привести к систематической ошибке при получении экспериментальных значений образования остаточных ядер. Поэтому в данной работе определялись значения относительного выхода ядер-продуктов, а не величины сечений.

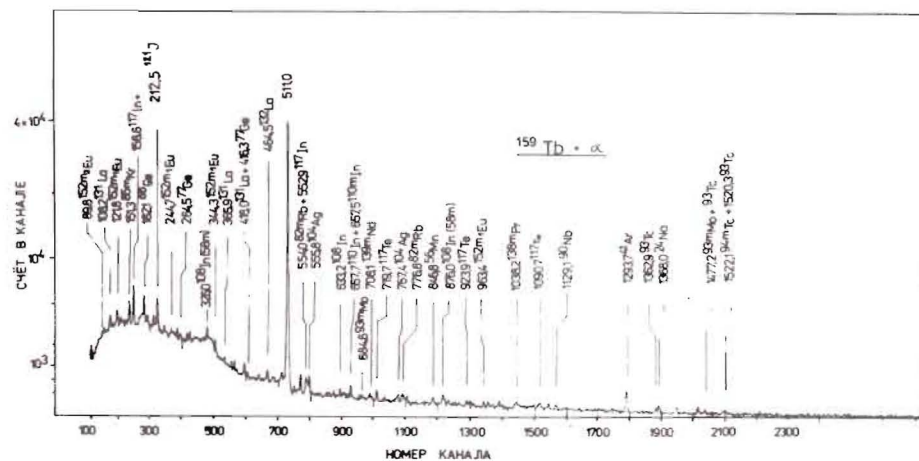
Время облучения мишеней составляло 3 ч для  $^{159}\text{Tb}$ , 1 ч для  $^{181}\text{Ta}$  и 2 ч для  $^{207,2}\text{Pb}$ . Измерение спектров  $\gamma$ -лучей радиоактивных изотопов, образовавшихся в мишени из Tb проводилось сериями по 1 ч спустя 1 ч после облучения. Циклы измерений для мишеней из Ta составляли 40 мин спустя 10 мин после облучения и 2 ч через 103 мин после облучения для мишени Pb. Обработка полученных спектров  $\gamma$ -лучей проводилась на ЭВМ БЭСМ-6 ЦВК ОИЯИ по программам SIMPEC /15/ и SAMPO /16/.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Идентификация ядер-продуктов проводилась по наиболее интенсивным  $\gamma$ -линиям с учетом их относительных интенсивностей /17/. На рисунке для иллюстрации приведен спектр  $\gamma$ -лучей изотопов, образующихся в реакции ( $^{159}\text{Tb} + \alpha$ ). Энергии  $\gamma$ -линий даны согласно /17/.

В табл.1-3 даны экспериментальные значения энергий идентифицированных  $\gamma$ -линий и относительных выходов радиоактивных нуклидов. При определении последних учитывалось самопоглощение  $\gamma$ -излучения в мишенях.

В реакции ( $\text{Tb} + \alpha$ ) определены относительные выходы радиоактивных нуклидов в широком диапазоне массовых чисел  $A = 24 \div 157$  с периодами полураспада от 20 мин /см.  $^{84\text{m}}\text{Rb}$  / до 21 ч /см.  $^{28}\text{Mg}$  /. В ряде случаев значения выходов не удалось определить, потому что отдельные  $\gamma$ -линии содержали вклады от распада нескольких нуклидов. Так, например,  $\gamma$ -линия 871,5 кэВ  $^{94\text{m}}\text{Tc}$  содержит вклад от распада  $^{94}\text{Tc}$ , а  $\gamma$ -линия 1523,4 кэВ содержит вклад от распада  $^{93}\text{Tc}$ .



Спектр  $\gamma$ -лучей изотопов, образующихся при взаимодействии  $\alpha$ -частиц с импульсом 17,9 ГэВ/с с ядрами  $^{159}\text{Tb}$ .

В случае реакции ( $\text{Ta} + \alpha$ ) определены относительные выходы радиоактивных нуклидов в диапазоне  $A = 24 \div 178$ , данные о которых приведены в табл.2. Значения выходов  $^{94\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{104\text{m}}\text{Ag}$  и  $^{117\text{m}}\text{In}$  не удалось определить по указанным выше причинам.

Анализ спектров  $\gamma$ -лучей изотопов, образующихся в реакциях ( $^{207,2}\text{Pb} + \alpha$ ) позволил определить относительные выходы радиоактивных нуклидов в интервале  $A = 24 \div 204$ . Не удалось установить выходы  $^{94\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{104\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{117\text{m}}\text{In}$  и  $^{117}\text{In}$ ,  $^{202}\text{Bi}$ ,  $^{204\text{m}}\text{Pb}$ .

Выходы радиоактивных нуклидов  $^{28}\text{Mg}$ ,  $^{39}\text{Cl}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{52}\text{Mn}$ ,  $^{66}\text{Ge}$ ,  $^{82\text{m}}\text{Rb}$ ,  $^{90\text{m}}\text{Y}$ ,  $^{93\text{m}}\text{Mo}$ ,  $^{94}\text{Tc}$ ,  $^{108\text{m}}\text{In}$ ,  $^{110}\text{In}$ ,  $^{116\text{m}}\text{Sb}$ ,  $^{133}\text{Ce}$ ,  $^{138\text{m}}\text{Pr}$ ,  $^{139\text{m}}\text{Nd}$ ,  $^{152\text{m}}\text{Eu}$ ,  $^{171}\text{Er}$ ,  $^{178\text{m}}\text{Ta}$ ,  $^{198\text{m}}\text{Tl}$  и  $^{204\text{m}}\text{Pb}$ , приведенные в табл.1-3, являются независимыми, выходы всех остальных нуклидов являются кумулятивными.

Для ряда изотопов определены изомерные отношения /отношения независимых выходов метастабильных состояний/. Метод определения изомерных отношений описан в /18/.

В табл.4 приведены экспериментальные значения изомерных отношений, полученные при взаимодействии  $\alpha$ -частиц с энергией 18,3 ГэВ с ядрами Tb, Ta и Pb и ионов  $^{12}\text{C}$  с энергией 25,2 ГэВ с ядрами Pb, Bi и U /6/.

Отметим, что выход изомерной пары  $^{93\text{g,m}}\text{Tc}$  является кумулятивным, так как  $^{93\text{g}}\text{Tc}$  ( $9/2^+$ ) образуется при  $\beta$ -распаде  $^{93}\text{Ru}$  ( $9/2^+$ ), а  $^{93\text{m}}\text{Tc}$  ( $1/2^-$ ) - при распаде  $^{93}\text{Ru}$  ( $1/2^-$ ), периоды полураспада которых равны  $T_{1/2} = 59,7$  с и  $T_{1/2} = 10,8$  с соответственно. Ясно, что независимый выход метастабильных состояний  $^{93}\text{Tc}$  можно определить только в прямых экспериментах на пучке.

Дополнительный вклад в независимый выход  $^{93}\text{Tc}$  ( $9/2^+$ ) будет пропорционален независимому выходу  $^{93}\text{Ru}$  ( $9/2^+$ ), а выход  $^{93}\text{Tc}$  ( $1/2^-$ ) пропорционален независимому выходу  $^{93}\text{Ru}$  ( $1/2^-$ ), поэтому изомерное отношение для кумулятивных выходов изомерной пары  $^{93\text{g,m}}\text{Tc}$  можно рассматривать как относительную вероятность возбуждения состояний  $9/2^+$  и  $1/2^-$  в изобарном мультиплете  $A = 93$ .

Относительные выходы  $^{133}\text{Ce}$  ( $9/2^+$ ) и  $^{198}\text{Tl}$  ( $7^+$ ) являются независимыми, а выходы  $^{133}\text{Ce}$  ( $1/2^-$ ) и  $^{198}\text{Tl}$  ( $2^-$ ) являются кумулятивными. Поэтому приведенные в табл.4 изомерные отношения для этих пар следует рассматривать как нижние пределы соответствующих величин.

Оценки выходов родительских ядер  $^{93}\text{Ru}$ ,  $^{133}\text{Pr}$  и  $^{198}\text{Pb}$  по формуле Рудстама<sup>/19/</sup> составляют величины порядка 0,06; 0,27 и 0,4 от выходов дочерних ядер  $^{93}\text{Tc}$ ,  $^{133}\text{Ce}$  и  $^{198}\text{Tl}$  соответственно.

Таким образом, вклад от распада родительских ядер не может привести к существенному изменению величин изомерных отношений для изомерных пар, приведенных в табл.4. Как видно из таблицы, для изомерных пар  $^{93}\text{Tc}$  ( $9/2^+$  и  $1/2^-$ ) и  $^{198}\text{Tl}$  ( $7^+$  и  $2^-$ ) получены достаточно низкие изомерные отношения от 0,2 до 0,4 для реакций ( $\alpha + \text{Tb}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Pb}$ ) и -0,7 для реакции ( $\alpha + \text{Pb}$ ). Эти результаты находятся в согласии со значениями изомерных отношений для метастабильных состояний  $^{186}\text{Ir}$  ( $6^-$  и  $2^-$ ),  $^{196}\text{Au}$  ( $12^-$  и  $2^-$ ) и  $^{198}\text{Au}$  ( $12^-$  и  $2^-$ ), полученных в реакциях ( $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ ,  $\text{Bi}$  и  $\text{U}$ )<sup>/6/</sup>.

Наряду с этим получены и достаточно высокие изомерные отношения; в частности, для  $^{133}\text{Ce}$  ( $9/2^+$  и  $1/2^-$ ) в реакции ( $\alpha + \text{Tb}$ ) и для  $^{198}\text{Tl}$  ( $7^+$  и  $2^-$ ) в реакции ( $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ ),  $\sigma_m/\sigma_g = /3,25 \pm 1,48/$  и  $\sigma_m/\sigma_g = /1,4 \pm 0,2/$  соответственно.

Согласно<sup>/17/</sup> при переходе в релятивистскую область энергий частиц и ядер следует ожидать значительного роста углового момента возбужденных остаточных ядер после ядерного каскада и соответственно преимущественного заселения высокоспиновых состояний.

Однако сравнивая значения изомерных отношений остаточных ядер-продуктов, полученных в реакциях с  $\alpha$ -частицами при энергии 18,3 ГэВ и ионами  $^{12}\text{C}$  при энергии 25,2 ГэВ, с изомерными отношениями для пар  $^{174}\text{Lu}$  ( $6^-$  и  $1^-$ ) -  $\sigma_m/\sigma_g = /0,65 \pm 0,07/$  и  $^{177}\text{Lu}$  ( $23/2^-$  и  $7/2^-$ ) -  $\sigma_m/\sigma_g = /0,08 \pm 0,03/$ , полученными в реакции ( $p + ^{181}\text{Ta}$ ) при  $E_p = 500$  МэВ<sup>/20/</sup>, нельзя сделать однозначного вывода о преимущественном заселении высокоспиновых состояний остаточных ядер в реакциях при релятивистских энергиях.

Для адекватного анализа угловых моментов остаточных ядер требуется проведение абсолютных измерений сечений образования радиоактивных нуклидов и привлечение дополнительных данных о величинах изомерных отношений в широком диапазоне энергий бомбардирующих частиц и ядер.

Авторы искренне благодарны М.Г.Мещерякову, А.М.Балдину и И.Н.Семенюшкину за интерес к работе и поддержку, К.Д.Толстову за полезные обсуждения.

Таблица 1

Относительные выходы радиоактивных нуклидов, образовавшихся при взаимодействии  $\alpha$ -частиц с импульсом 17,9 ГэВ/с  $^{159}\text{Tb}$

№ п/п	Нуклид	T <sub>1/2</sub>	E <sub>г</sub> , кэВ	Y <sub>отн.</sub>
1	2	3	4	5
1.	$^{24}\text{Na}$	15 ч	$1368,65 \pm 0,17$ $2753,6 \pm 0,6$	$100 \pm 10$
2.	$^{28}\text{Mg}$	20,9 ч	$1780,3 \pm 0,7$	$36 \pm 9$
3.	$^{38}\text{Cl}$	37,3 мин	$1643,6 \pm 0,6$ $2169,5 \pm 0,5$	$20 \pm 3$
4.	$^{41}\text{Ar}$	1,83 ч	$1293,6 \pm 0,2$	$60 \pm 20$
5.	$^{56}\text{Mn}$	2,58 ч	$864,8 \pm 0,3$ $1812,3 \pm 0,7$ $2114,3 \pm 0,8$	$18 \pm 4$
6.	$^{66}\text{Ge}$	2,27 ч	$108,2 \pm 0,2$ $183,7 \pm 0,7$ $191,3 \pm 0,3$	$70 \pm 20$
7.	$^{77}\text{Ge}$	11,3 ч	$263,6 \pm 0,4$ $418,2 \pm 0,7$	-
8.	$^{81}\text{Rb}$	4,58 ч	$191,3 \pm 0,3$	$70 \pm 16$
9.	$^{82}\text{Rb}$	6,2 ч	$553,1 \pm 0,5$ $618,7 \pm 0,4$ $695,5 \pm 0,7$ $777,4 \pm 0,3$ $828,3 \pm 0,4$ $1044,8 \pm 0,3$	$26 \pm 5$
10.	$^{84}\text{Rb}$	3,19 ч	$217,0 \pm 1,0$ $248,7 \pm 0,3$ $465,0 \pm 0,2$	$74 \pm 20$
11.	$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4,48 ч	$151,0 \pm 0,3$ $303,1 \pm 0,7$	$10 \pm 4$
12.	$^{90\text{m}}\text{Y}$	3,19 ч	$204,5 \pm 0,3$	$32 \pm 7$
13.	$^{90}\text{Nb}$	14,6 ч	$1128,98 \pm 0,23$ $2188,0 \pm 2,0$ $2319,4 \pm 0,6$	$54 \pm 8$
14.	$^{93\text{m}}\text{Mo}$	6,95 ч	$263,6 \pm 0,4$	$20 \pm 6$
15.	$^{93}\text{Tc}$	2,75 ч	$1362,9 \pm 0,3$ $1477,0 \pm 0,3$ $1523,4 \pm 0,5$	$22 \pm 5$
16.	$^{93\text{m}}\text{Tc}$	43,5 мин	$389,1 \pm 0,7$	$80 \pm 20$

1	2	3	4	5
17.	$^{94}\text{Te}$	293 мин	703,1 ± 0,3 849,9 ± 0,2 871,5 ± 0,2	24 ± 5
18.	$^{94m}\text{Te}$	53 мин	871,5 ± 0,2 1523,4 ± 0,5	-
19.	$^{100}\text{Rh}$	20 ч	540,4 ± 1,2 822,1 ± 1,6 2379,6 ± 0,9	58 ± 15
20.	$^{104}\text{Ag}$	69,2 мин	556,0 ± 0,2 758,2 ± 1,0 767,5 ± 0,3 925,2 ± 0,9 942,2 ± 0,4	54 ± 13
21.	$^{104m}\text{Ag}$	33,5 мин	556,0 ± 0,2	-
22.	$^{108}\text{In}$	40 мин	633,6 ± 0,3	-
23.	$^{108m}\text{In}$	58 мин	244,3 ± 0,3 326,9 ± 0,2 633,6 ± 0,3 875,3 ± 0,3 1298,0 ± 1,1	20 ± 4
24.	$^{110}\text{In}$	69 мин	658,3 ± 0,8	-
25.	$^{110m}\text{In}$	4,9 ч	644,4 ± 0,3 658,3 ± 0,8 884,9 ± 0,3 937,8 ± 0,3	20 ± 4
26.	$^{115}\text{Sb}$	31,8 мин	497,7 ± 0,9	60 ± 20
27.	$^{116m}\text{Sb}$	60,4 мин	843,2 ± 0,9 973,1 ± 0,7 1072,4 ± 0,8 1293,6 ± 0,2	28 ± 5
28.	$^{117}\text{In}$	42 мин	160,3 ± 0,9 552,8 ± 0,2	90 ± 30
29.	$^{117m}\text{In}$	1,94 ч	160,3 ± 0,9	-
30.	$^{117}\text{Te}$	61 мин.	719,9 ± 0,2 925,2 ± 0,9 997,2 ± 0,4 1090,5 ± 0,3 1716,6 ± 0,3 2301,8 ± 0,8	66 ± 15
31.	$^{121}\text{I}$	2,12 ч	214,1 ± 1,3	90 ± 30

1	2	3	4	5
32.	$^{131}\text{Ia}$	61 мин	108,2 ± 0,2 287,2 ± 0,3 365,9 ± 0,3 418,2 ± 0,7 455,7 ± 0,9 526,5 ± 0,3	140 ± 50
33.	$^{132}\text{Ia}$	4,8 ч	465,0 ± 0,2 567,6 ± 0,3 1031,0 ± 1,0	78 ± 11
34.	$^{133}\text{Ce}$	5,4 ч	58,3 ± 0,4 131,4 ± 0,4 478,3 ± 0,2	52 ± 15
35.	$^{133}\text{Ce}$	97 мин	97,3 ± 0,9	16 ± 6
36.	$^{135}\text{Ce}$	17,8 ч	266,2 ± 0,7 297,1 ± 1,3	90 ± 20
37.	$^{138m}\text{Pr}$	2,02 ч	303,1 ± 0,7 789,0 ± 0,2 1038,0 ± 1,0	14 ± 3
38.	$^{139m}\text{Nd}$	5,5 ч	114,9 ± 1,5 708,4 ± 0,3 738,0 ± 0,4 828,3 ± 0,4 909,3 ± 0,6 982,8 ± 0,6 1106,1 ± 1,6	20 ± 17
39.	$^{152m}\text{Eu}$	9,3 ч	123,6 ± 1,6 244,3 ± 0,3 344,9 ± 0,2 964,3 ± 0,2	780 ± 370
40.	$^{152}\text{Eu}$	96 мин	90,96 ± 0,82	-
41.	$^{155}\text{Dy}$	10,2 ч	227,8 ± 0,2	60 ± 12
42.	$^{157}\text{Dy}$	8,1 ч	326,8 ± 0,3	120 ± 40

Таблица 2

Относительные выходы радиоактивных нуклидов, образовавшихся в реакции  $^{181}\text{Ta} + \alpha$ 

№ пп	Нуклид	T <sub>1/2</sub>	E <sub>γ</sub> , КэВ	Y <sub>отн.</sub>
1.	$^{24}\text{Na}$	15 ч	1368,8 ± 0,4 2754,1 ± 0,5	100 ± 10
2.	$^{28}\text{Mg}$	20,9 ч	1779,4 ± 0,7	31 ± 10

I	2	3	4	5
3.	$^{38}\text{Cl}$	37,3 мин	1643,1 ± 0,6 2168,0 ± 1,0	15 ± 5
4.	$^{39}\text{Cl}$	56,2 мин	1266,8 ± 0,8 1518,5 ± 0,6	20 ± 4
5.	$^{41}\text{Ar}$	1,83 ч	1293,5 ± 0,5	57 ± 28
6.	$^{56}\text{Mn}$	2,58 ч	846,5 ± 0,7 1810,6 ± 0,9 2114,0 ± 1,1	25 ± 5
7.	$^{90\text{m}}\text{Mo}$	14,6 ч	1129,3 ± 0,5 2319,8 ± 0,9	33 ± 10
8.	$^{93}\text{Tc}$	6,95 ч	684,4 ± 0,5 1477,3 ± 0,4	27 ± 3
9.	$^{93\text{m}}\text{Tc}$	2,75 ч	1363,4 ± 0,4 1477,3 ± 0,4 1520,7 ± 1,3	10 ± 4
10.	$^{93\text{m}}\text{Tc}$	43,5 мин	389,1 ± 0,5	36 ± 13
11.	$^{94}\text{Tc}$	293 мин	702,7 ± 1,6 850,3 ± 1,2 871,3 ± 0,6	17 ± 3
12.	$^{94\text{m}}\text{Tc}$	52,5 мин	871,3 ± 0,6	-
13.	$^{104}\text{Ag}$	69,2 мин	556,0 ± 1,0 767,4 ± 0,4	27 ± 6
14.	$^{104\text{m}}\text{Ag}$	33,5 мин	556,0 ± 1,0	-
15.	$^{105}\text{Cd}$	56 мин	606,3 ± 0,4 960,5 ± 1,6 1302,0 ± 0,4	45 ± 15
16.	$^{116}\text{Sb}$	60,4 мин	931,4 ± 0,4 1293,5 ± 0,5 2229,2 ± 0,8	22 ± 10
17.	$^{117}\text{In}$	42 мин	159,2 ± 0,6 552,9 ± 0,3	27 ± 7
18.	$^{117\text{m}}\text{In}$	1,94 ч	159,2 ± 0,6	-
19.	$^{117}\text{Te}$	61 мин	719,4 ± 0,6 924,0 ± 1,6 996,2 ± 0,9 1090,9 ± 0,8 1716,1 ± 0,6 2300,0 ± 1,0	24 ± 4
20.	$^{131}\text{Ia}$	61 мин	108,2 ± 0,7 286,1 ± 0,3 365,7 ± 0,6	67 ± 10

I	2	3	4	5
			417,5 ± 0,8 454,2 ± 0,5 526,2 ± 0,3	
21.	$^{159}\text{Ho}$	33 мин	120,4 ± 0,6 131,5 ± 0,8	90 ± 10
22.	$^{161}\text{Er}$	3,24 ч	593,2 ± 1,0 826,4 ± 0,6	90 ± 10
23.	$^{171}\text{Er}$	7,52 ч	296,2 ± 0,8 309,4 ± 0,6	110 ± 30
24.	$^{174}\text{Ta}$	1,2 ч	206,7 ± 0,4 1206,1 ± 0,7	130 ± 20
25.	$^{176}\text{Ta}$	8,1 ч	199,7 ± 1,1 710,9 ± 0,4 1159,1 ± 0,2 1224,4 ± 0,6 1341,7 ± 1,6 1584,9 ± 0,4 1695,0 ± 0,9 1824,3 ± 1,0 1863,6 ± 0,7 2920,0 ± 1,6	290 ± 30
26.	$^{178\text{m}}\text{Ta}$	2,4 ч	213,4 ± 0,2 325,3 ± 0,3 331,4 ± 0,2 426,3 ± 0,2	200 ± 20

Таблица 3

Относительные выходы радиоактивных нуклидов, образовавшихся в реакции  $^{207,2}\text{Pb} + \alpha$

№	Нуклид	T I/2	$E_{\gamma}, \text{КэВ}$	$\gamma$ отн.
I	2	3	4	5
1.	$^{24}\text{Na}$	15 ч	1368,2 ± 0,8 2754,0 ± 0,5	100 ± 10
2.	$^{28}\text{Mg}$	20,9 ч	1780,4 ± 0,7	46 ± 13
3.	$^{38}\text{Cl}$	37,3 мин	1644,0 ± 1,0 2166,0 ± 1,0	56 ± 17
4.	$^{41}\text{Ar}$	1,83 ч	1293,0 ± 0,5	50 ± 13
5.	$^{42}\text{K}$	12,4 ч	1524,0 ± 1,0	54 ± 27

1	2	3	4	5
6.	$^{52}\text{Mn}$	5,6 сут	743,0 ± 1,0 935,5 ± 1,5 1434,9 ± 0,9	70 ± 40
7.	$^{52m}\text{Mn}$	21,2 мин	1434,9 ± 0,9	-
8.	$^{56}\text{Mn}$	2,58 ч	847,8 ± 0,8 1811,0 ± 1,0 2113,0 ± 1,5	29 ± 4
9.	$^{87m}\text{Y}$	14 ч	382,1 ± 0,7	41 ± 7
10.	$^{90}\text{Nb}$	14,6 ч	1129,8 ± 0,7 2186,3 ± 0,8 2319,4 ± 0,8	38 ± 6
11.	$^{93m}\text{Mo}$	6,95 ч	685,5 ± 0,7 1476,5 ± 0,5	21 ± 4
12.	$^{93}\text{Tc}$	2,75 ч	1363,4 ± 0,7 1519,0 ± 1,0	22 ± 3
13.	$^{93}\text{Tc}$	43,5 мин	391,4 ± 0,4	55 ± 26
14.	$^{94}\text{Tc}$	293 мин	702,5 ± 0,5 849,0 ± 0,9 870,5 ± 0,4	16 ± 4
15.	$^{94m}\text{Tc}$	59 мин	870,5 ± 0,4	-
16.	$^{100}\text{Rh}$	20 ч	540,2 ± 0,4 821,1 ± 0,9	62 ± 20
17.	$^{104}\text{Ag}$	69,2 мин	557,0 ± 0,7 767,1 ± 0,8	51 ± 12
18.	$^{104m}\text{Ag}$	33,5 мин	557,0 ± 0,7	-
19.	$^{121}\text{J}$	2,12 ч	213,9 ± 0,8	75 ± 34
20.	$^{132}\text{La}$	4,8 ч	464,9 ± 0,8	30 ± 6
21.	$^{161}\text{Er}$	3,24 ч	209,8 ± 1,5 827,0 ± 0,7	80 ± 20
22.	$^{167}\text{Ho}$	3,1 ч	319,3 ± 1,0 346,9 ± 0,4	100 ± 30
23.	$^{184}\text{Ir}$	3,1 ч	118,9 ± 1,1 265,0 ± 0,4	150 ± 50
24.	$^{190}\text{Au}$	42 мин	297,4 ± 0,7 302,7 ± 0,9 595,9 ± 1,6	175 ± 53
25.	$^{198}\text{Tl}$	5,3 ч	412,5 ± 0,5 636,4 ± 0,6 674,9 ± 0,5	200 ± 42

1	2	3	4	5
26.	$^{198m}\text{Tl}$	1,87 ч	281,7 ± 0,5 412,5 ± 0,5 587,3 ± 0,5 636,4 ± 0,6	125 ± 30
27.	$^{199}\text{Pb}$	90 мин	354,0 ± 1,0 367,8 ± 0,9 719,9 ± 0,5 1657,7 ± 0,8	125 ± 28
28.	$^{200}\text{Tl}$	26,1 ч	367,8 ± 0,9 579,2 ± 0,4 1205,8 ± 1,4	340 ± 100
29.	$^{201}\text{Pb}$	9,4 ч	332,3 ± 0,4 362,0 ± 1,0	160 ± 40
30.	$^{202m}\text{Pb}$	3,62 ч	423,1 ± 0,5 458,4 ± 0,7 490,1 ± 0,8 657,8 ± 0,8 756,7 ± 0,5 960,9 ± 0,4	110 ± 14
31.	$^{202}\text{Bi}$	1,67 ч	423,1 ± 0,5 657,8 ± 0,6 960,9 ± 0,4	-
32.	$^{204m}\text{Pb}$	66,9 мин	375,8 ± 0,6 900,0 ± 1,0 911,0 ± 1,0	
33.	$^{204}\text{Bi}$	11,2 ч	375,8 ± 0,6 900,0 ± 1,0 911,0 ± 1,0 983,5 ± 0,9	94 ± 16

Таблица 4. Изомерные отношения в реакциях в релятивистскими альфа-частицами и ионами  $^{12}\text{C}$

Реакция	Изомерные отношения (настоящая работа)	Реакция	Изомерные отношения (работа /6/)
$^{18,3}\text{ГэВ}+\text{Tl}$	$\frac{\sigma_2(^{93}\text{Tc}(9/2^+))}{\sigma_m(^{93}\text{Tc}(1/2^-))} = 0,21 \pm 0,04$	$^{25,2}\text{ГэВ } ^{12}\text{C} + \text{U}$	$\frac{\sigma_2(^{186}\text{Ir}(6^-))}{\sigma_m(^{186m}\text{Ir}(2^-))} = \frac{0,09 \pm 0,03}{0,03}$
	$\frac{\sigma_2(^{133}\text{Ce}(9/2^+))}{\sigma_m(^{133}\text{Ce}(1/2^-))} = 3,25 \pm 1,48$	$^{25,2}\text{ГэВ } ^{12}\text{C} + \text{Bi}$	$\frac{\sigma_2(^{196}\text{Au}(12^-))}{\sigma_2(^{196}\text{Au}(2^-))} = \frac{0,5 \pm 0,2}{0,3 \pm 0,2}$
$^{18,3}\text{ГэВ}+\text{Ta}$	$\frac{\sigma_2(^{93}\text{Tc}(9/2^+))}{\sigma_m(^{93}\text{Tc}(1/2^-))} = 0,33 \pm 0,15$		$\frac{\sigma_m(^{198}\text{Au}(12^-))}{\sigma_2(^{198}\text{Au}(2^-))} = \frac{0,3 \pm 0,2}{0,3 \pm 0,2}$

I	2	3	4
18,3 ГэВ+Рв	$\sigma_g(^{93}\text{Tc}(9/2^+)) = 0,4 \pm 0,2$ $\sigma_m(^{93}\text{Tc}(1/2^-))$	25,2 ГэВ	$I^2\text{C}+\text{Рв}$
	$\sigma_m(^{198}\text{Tl}(7^+)) = 0,6 \pm 0,2$ $\sigma_g(^{198}\text{Tl}(2^-))$		$\sigma_m(^{198}\text{Tl}(7^+)) = 1,4 \pm 0,2$ $\sigma_g(^{198}\text{Tl}(2^-))$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействие высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Атомиздат, М., 1972.
2. Grespo V.P., Alexander J.M., Hyde E.K. Phys.Rev., 1963, 131, p.1765.
3. Cole G.D., Porile N.T. Phys.Rev., 1982, C25, p.244.
4. Porile N.T., Cole G.D., Rudy C.R. Phys.Rev., 1979, C19, No.6, p.2288.
5. Rudy C.R., Porile N.T. Phys.Lett., 1975, 59B, p.240.
6. Loveland W. et al. Phys.Lett., 1977, 69B, p.284.
7. Kaufman S.B. et al. Phys.Rev., 1980, 22C, p.1897.
8. Cumming J.B., Haustein P.E., Stoenner R.W. Phys.Rev., 1974, 10C, p.739.
9. Morrissey R.J. et al. Phys.Rev., 1980, 21C, p.1783.
10. Hicks K.H. et al. Phys.Rev., 1982, 26C, p.2016.
11. Cumming J.B. et al. Phys.Rev., 1978, 17C, p.1632.
12. Korteling R.G., Hyde E.K. Phys.Rev., 1964, 136B, p.B425.
13. Семенов И.Н. В сб.: Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. ОИЯИ, Д2-82-568, Дубна, 1982, с.14.
14. Karol P.J. Phys.Rev., 1974, C10, p.150.
15. Аврамов С.Р., Сосновская Е.В., Цупко-Ситников В.М. ОИЯИ, P10-9741, Дубна, 1976.
16. Routti J.T. Preprint UCRL-19452, 1969.
17. Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes, VII ed. John Wiley and Sons Inc., New York, 1978.
18. Бутцев В.С., Ильинов А.С., Чигринов С.Е. ЭЧАЯ, 1980, т.11, вып.4, с.900.
19. Rudstam G.Zs. Naturforsch., 1966, 21a, p.1027.
20. Orth C.J. et al. Preprint LA-UR-78-2686, Los Alamos, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 июня 1984 года.

Бутцев В.С. и др.

I-84-455

Измерение выходной остаточных ядер при взаимодействии  $\alpha$ -частиц с импульсом 17,9 ГэВ/с с ядрами  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{181}\text{Ta}$  и  $^{207,2}\text{Pb}$

Приведены результаты исследования взаимодействия  $\alpha$ -частиц с импульсом 17,9 ГэВ/с с ядрами тербия, тантала и свинца. Выполнены измерения относительных выходов остаточных ядер в широком диапазоне массовых чисел  $24 \leq A \leq 157$  для реакции ( $\alpha + \text{Tb}$ ),  $24 \leq A \leq 178$  для реакции ( $\alpha + \text{Ta}$ ) и  $24 \leq A \leq 204$  для реакции ( $\alpha + \text{Pb}$ ). Для изотопов  $^{93}\text{Tc}$ ,  $^{133}\text{Ce}$  и  $^{198}\text{Tl}$  определены изомерные отношения  $\sigma_m/\sigma_g$ , которые сравниваются с изомерными отношениями в реакциях с протонами при  $E_p = 500$  МэВ и ионами  $^{12}\text{C}$  при энергии 25,2 ГэВ.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Butsev V.S. et al.

I-84-455

Measurement of the Yields of Residual Nuclei in Reactions of 17.9 GeV/c  $\alpha$ -Particles with  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{181}\text{Ta}$  and  $^{207,2}\text{Pb}$

The results of investigations of  $\alpha$ -particle interactions with 17.9 GeV/c  $\text{Tb}$ ,  $\text{Ta}$  and  $\text{Pb}$  nuclei are presented. Measurements have been carried out of the relative yields of residual nuclei for the ( $\alpha + \text{Tb}$ ), ( $\alpha + \text{Ta}$ ) and ( $\alpha + \text{Pb}$ ) reactions in the  $24 \leq A \leq 157$ ,  $24 \leq A \leq 178$  and  $24 \leq A \leq 204$  mass range, respectively. For the isotopes  $^{93}\text{Tc}$ ,  $^{133}\text{Ce}$  and  $^{198}\text{Tl}$  the isomeric ratios are determined, that are compared with the isomeric ratios measured in reactions induced by 500 MeV protons and by 25.2 GeV  $^{12}\text{C}$  ions.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984