

СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИЙ СЛИЯНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЯДЕР Pt и Au с ^3He ПРИ ЭНЕРГИЯХ 10–24,5 МэВ

*Н. К. Скобелев^{а, 1}, Ю. Э. Пенионжкевич^а, Е. И. Воскобойник^а,
В. Крога^б, В. Бурьян^б, З. Гонс^б, Я. Мразек^б,
Ш. Пискорж^б, Е. Шимечкова^б, А. Куглер^б*

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

^б Институт ядерной физики АН Чехии, Ржеж, Чехия

В работе представлены результаты экспериментов по измерению функций возбуждения различных каналов реакций при облучении мишеней из золота и платины ионами ^3He в энергетическом диапазоне от 10 до 24,5 МэВ. Эксперименты проводились на циклотроне U-120M Института ядерной физики (Ржеж, Чехия). Для определения выхода образовавшихся в результате ядерных реакций нуклидов использовалась активационная методика. Полученные данные анализировались с помощью моделей, основанных на статистических расчетах, и сравнивались с аналогичными результатами для других легких стабильных частиц. Реакции передачи, имеющие положительные значения Q , протекают с относительно высокими сечениями при энергиях ниже кулоновского барьера. Эти сечения растут с увеличением энергии ^3He . В случае захвата ядром ^3He нейтрона с ядра-мишени сечение реакции достигает максимума практически на кулоновском барьере реакции.

In the experiments performed by accelerated ion ^3He -beam irradiation of gold and platinum targets on cyclotron U-120M of the Institute of Nuclear Physics of the Czech Academy of Sciences, Rez, were investigated reactions of complete and incomplete fusion, and nucleon transfer reactions at ^3He energy range from 10 to 24.5 MeV. To determine the yield of the nuclides resulting from nuclear reaction the activation technique has been used. The obtained data were analyzed using models based on statistical calculations and compared with similar results for other light stable particles. Transfer reaction with a positive Q values have relatively high cross-section in the energy range below the Coulomb barrier. These cross sections continue to grow with increasing ^3He energy, and in case of capture of neutron from target nucleus by a nucleus of ^3He , the excitation functions of these reactions reach their maximum almost at the Coulomb barrier of the reactions.

PACS: 25.55.-e; 25.70.Jj

ВВЕДЕНИЕ

Для реакций с галоидальными ядрами (^6He , ^8He и др.) и со слабосвязанными кластерными ядрами (d , ^6Li , ^7Li и др.), имеющими низкие пороги развала, в подбарьерной области энергий наблюдаются значительные выходы продуктов ядерных реакций полного

¹E-mail: skobelev@jinr.ru

слияния и передачи ядру мишени гало или кластеров. В большинстве случаев сечения реакций передачи достигают своего максимального значения при энергии, близкой к кулоновскому барьеру реакций [1, 2]. Возникает вопрос, связаны ли такие особенности протекания различных каналов реакций с легкими ядрами только с положительным значением Q реакции или они объясняются другими факторами, например структурными особенностями бомбардирующих частиц.

В связи с этим интерес представляют реакции со стабильным ядром ^3He , которое имеет малую энергию связи 7,718 МэВ (2,572 МэВ/нуклон). Из-за относительно небольшой энергии отделения протона в ядре ^3He ($S_p = 5,49$ МэВ), низкой энергии отделения двух протонов $S_{2p} = 7,71$ МэВ реакции на пучках ^3He должны приводить к большей энергии возбуждения образующихся продуктов вблизи кулоновского барьера по сравнению с реакциями на пучке α -частиц при близкой энергии. Малая энергия связи нуклонов в этом ядре должна приводить к увеличению вклада прямых реакций, таких как реакции развала ядра-снаряда, срыва и захвата, уже при энергии бомбардирующих частиц вблизи кулоновского барьера. В проведенных ранее экспериментальных исследованиях на пучках ^3He измерялись лишь сечения реакций слияния в области энергий выше кулоновского барьера реакций [3, 4].

Исследования энергетических зависимостей сечений таких реакций с легкими слабосвязанными ядрами представляют интерес для астрофизики при расчетах сценариев нуклеосинтеза в области легких ядер. Для этого необходимо знать сечения различных каналов реакций. Любая информация об усилении или подавлении подбарьерных процессов в реакциях с легкими ядрами может серьезно изменить наше представление о сценарии нуклеосинтеза.

Целью настоящей работы является изучение механизма различных каналов реакций на пучках ^3He при энергии вблизи кулоновского барьера реакций на тяжелых ядрах (платина и золото).

1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперименты были выполнены на выведенном пучке ^3He с энергией 24,5 МэВ циклотрона У-120М Института ядерной физики АН Чешской Республики в Ржеже с использованием активационной методики. Детали эксперимента подробно описаны в работах [5, 6]. Ускоренный пучок ^3He был сфокусирован до размера 5×5 мм. Энергия ^3He определялась исходя из жесткости магнитного анализатора, энергетический разброс пучка был определен ~ 200 кэВ. Энергия ^3He была также измерена по упругому пику этих рассеянных частиц на тонкой мишени Au с помощью полупроводниковых Si-детекторов, подтвердивших значение энергии ^3He , равной $(24,5 \pm 0,1)$ МэВ. На пути пучка ^3He в центре реакционной камеры была установлена сборка мишеней, состоящая из семи золотых фольг различной толщины (4 и 6,4 мкм) с чистотой не хуже 99% и четырех фольг естественной платины толщиной 3 мкм (чистота не хуже 99%). В сборке были также размещены три мишени из ^{194}Pt (обогащение более 80%) различной толщины от 0,25 до 0,73 мг/см². ^{194}Pt была нанесена электролитическим методом на титановые фольги толщиной 2,1 мкм. Титановые фольги использовались также для мониторинга реакции на ^3He — $^{e\text{ct}}\text{Ti}(^3\text{He}, x)^{48}\text{V}$ [7] — с рекомендованными МАГАТЭ данными по сечениям образования ^{48}V . Между мишенями

для сброса энергии ^3He устанавливались Al-фольги различной толщины от 5,1 до 7 мкм. Ток пучка ^3He измерялся по собранному от прошедших частиц электрическому заряду в цилиндре Фарадея, установленном на пути пучка после мишеней. В этом эксперименте мы ограничились относительно низкой интенсивностью ^3He (около 5 нА), что позволило практически сразу после извлечения мишеней из реакционной камеры начать измерения наведенной в них активности. Цикл облучения мишеней длился 8 ч. В данной сборке мишеней происходило поглощение энергии ^3He с 24,5 до 10,5 МэВ. После окончания облучения сборка была разобрана, и во всех мишенях из ^{197}Au , $^{e\text{cT}}\text{Pt}$, ^{194}Pt и в Ti-подложке была измерена наведенная активность. Первые измерения наведенной в мишенях γ -активности были проведены спустя 30 мин после окончания облучения. Все измерения проводились на HPGe-детекторе с 50 %-й эффективностью относительно NaI ($3'' \times 3''$) и FWHM 1,8 кэВ для энергии γ -квантов 1,3 МэВ. Идентификация образовавшихся в реакциях нуклидов была проведена с учетом энергии γ -распада и времени жизни этих нуклидов с использованием ядерных данных, собранных в [7].

В табл. 1 приведены значения энергии и интенсивности γ -переходов, а также периодов полураспада изотопов Au, Pt, Tl и Hg, необходимых для их идентификации и определе-

Таблица 1. Характеристика распада исследуемых изотопов

Продукт распада	Период полураспада $T_{1/2}$	E_γ , кэВ	I_γ , %
^{195g}Hg	9,9 ч	779,8	7
		585,13	1,99
^{195m}Hg	1,73 сут	560,27	7
		261,75	30,9
^{197g}Hg	2,67 сут	191,4	0,63
^{197m}Hg	23,8 ч	134	33
^{194g}Au	1,58 сут	293,55	10,4
		328,46	61
^{196g}Au	6,18 сут	332,98	22,9
		355,68	8,7
^{198g}Au	2,70 сут	411,8	96
^{198m}Au	2,27 сут	180,31	50
^{198g}Tl	5,3 ч	1200,6	0,6
		1420,6	0,5
^{198m}Tl	1,87 ч	587,2	52
		226,2	5,4
		489,6	4,5
^{197}Tl	2,84 ч	577,97	4,5
		857,18	2,07
^{48}V	15,97 сут	944,10	7,76
		983,52	99,98
		1312,10	97,5

ния выходов. Средняя энергия падающих на каждую мишень ^3He -частиц, потери энергии ^3He и страглинг в каждой из мишеней были рассчитаны с помощью кода SRIM [8] и программы LISE⁺⁺ [9]. Расчет сечений образования продуктов ядерных реакций — изотопов Au, Pt, Tl и Hg — выполнялся по методике, описанной в работах [5, 6].

На рис. 1 представлены энергетические γ -спектры, полученные при измерении наведенной активности в мишенях из платины и золота, облученных ионами ^3He

В табл. 2 приведены возможные каналы реакций, в которых могли образоваться идентифицированные в экспериментах радиоактивные нуклиды.

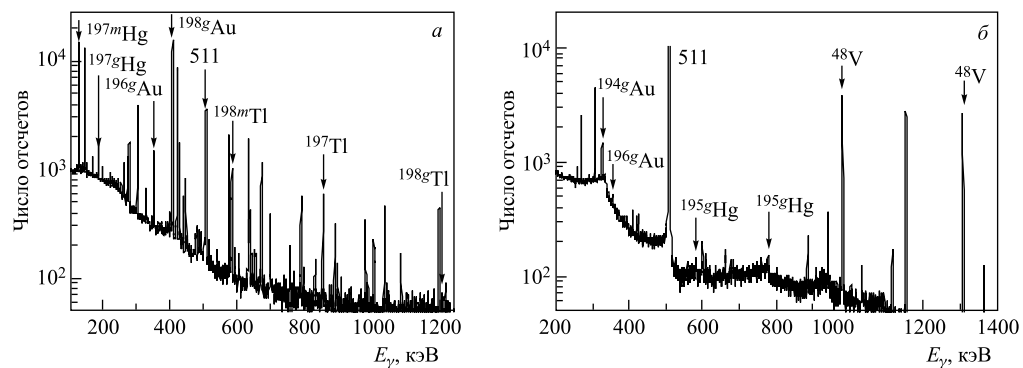


Рис. 1. Характерные энергетические γ -спектры, полученные в экспериментах с ^3He на мишенях из золота и платины: а) ^{197}Au ; б) ^{194}Pt

Таблица 2. Возможные каналы реакций, приводящие к образованию исследуемых изотопов

Реакция	Q , кэВ	$T_{\text{пор}}$, кэВ
$^{194}\text{Pt} (^3\text{He}, t) ^{194}\text{Au}$	-2519,7	2558,76
$^{194}\text{Pt} (^3\text{He}, dn) ^{194}\text{Au}$	-8776,9	8912,94
$^{194}\text{Pt} (^3\text{He}, p2n) ^{194}\text{Au}$	-11001,4	11171,9
$^{194}\text{Pt} (^3\text{He}, p) ^{196}\text{Au}$	4019	0
$^{194}\text{Pt} (^3\text{He}, 2n) ^{195}\text{Hg}$	-4974,5	5051,6
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, 2p) ^{198}\text{Au}$	-1205	1223,3
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, \alpha) ^{196}\text{Au}$	12505	0
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, 2d) ^{196}\text{Au}$	-11341,3	11513,69
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, npd) ^{196}\text{Au}$	-13565,87	13772,07
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, pt) ^{196}\text{Au}$	-7308,64	7419,73
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, n ^3\text{He}) ^{196}\text{Au}$	-8072,39	8159,09
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, 2p2n) ^{196}\text{Au}$	-15790	16030
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, t) ^{197}\text{Hg}$	-618,7	628,1
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, nd) ^{197}\text{Hg}$	-6875,94	6980,45
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, p2n) ^{197}\text{Hg}$	-9100,5	9238,8
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, 2n) ^{198}\text{Tl}$	-4858	4931,8
$^{197}\text{Au} (^3\text{He}, 3n) ^{197}\text{Tl}$	-12082	12265,6

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Реакция $^{e\text{ст}}\text{Pt} + {}^3\text{He}$. На пучке ${}^3\text{He}$ с энергией 24,5 МэВ и мишенях из естественной смеси изотопов Pt были измерены сечения образования изотопов ${}^{198}\text{Au}$, ${}^{196}\text{Au}$, ${}^{194}\text{Au}$, ${}^{195}\text{Hg}$. Полученные в эксперименте сечения образования этих изотопов были сравнены с опубликованными ранее данными для сечений этих реакций, которые были измерены для более высокой энергии, начиная с 18,5 МэВ [3]. На рис. 2 приведены функции возбуждения для образования изотопов ${}^{198}\text{Au}$, ${}^{196}\text{Au}$, ${}^{195}\text{Hg}$ в реакции ${}^3\text{He} + {}^{e\text{ст}}\text{Pt}$.

Измеренные сечения реакций с пучком ${}^3\text{He}$ на естественной смеси изотопов Pt, содержащей ${}^{192}\text{Pt}$ — 0,8 %, ${}^{194}\text{Pt}$ — 32,9 %, ${}^{195}\text{Pt}$ — 33,8 %, ${}^{196}\text{Pt}$ — 25,3 %, ${}^{198}\text{Pt}$ — 7,2 %, находятся в хорошем согласии с опубликованными ранее данными при больших энергиях [3]. Наши измерения проводились в широком диапазоне энергий, в том числе и при энергиях ниже кулоновского барьера. Данные для этих энергий были получены впервые. Необходимо также отметить, что энергетическая неопределенность в наших измерениях значительно меньше. Для однозначной трактовки отдельных каналов реакций на Pt с образованием изотопов ${}^{194}\text{Au}$, ${}^{196}\text{Au}$ и ${}^{195}\text{Hg}$ нами были проведены измерения сечений реакций с образованием этих изотопов на мишени из ${}^{194}\text{Pt}$ с обогащением более 80 % [6].

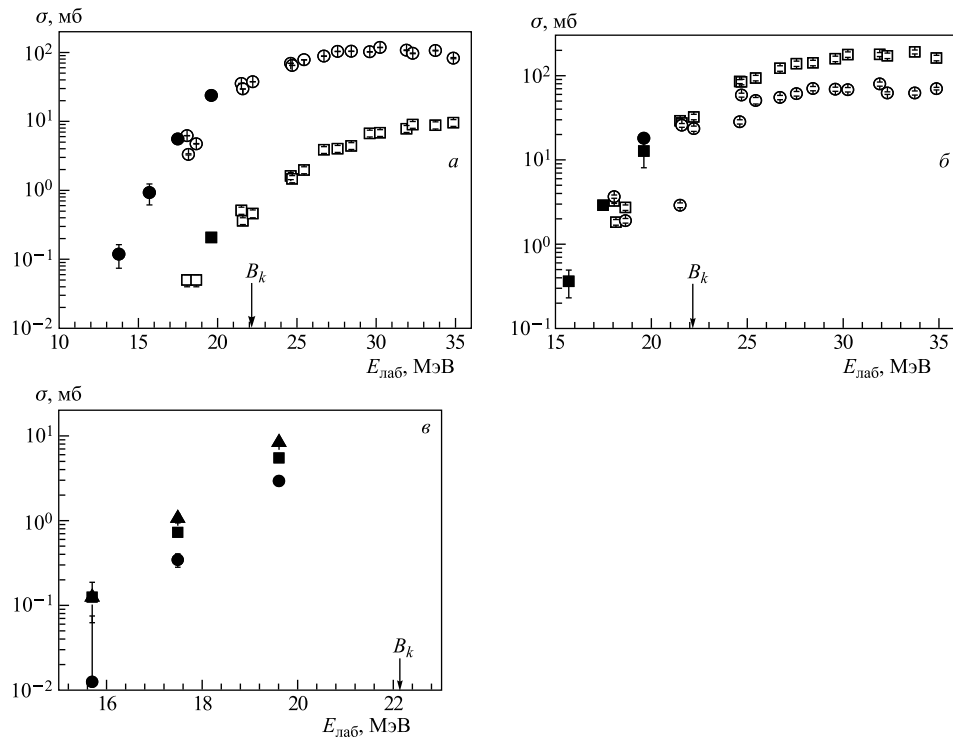


Рис. 2. Функции возбуждения для образования изотопов: ${}^{196}\text{Au}$ (а), ${}^{195}\text{Hg}$ (б), ${}^{198}\text{Au}$ (в) при взаимодействии ${}^{e\text{ст}}\text{Pt}$ с ${}^3\text{He}$ ($B_k = 22,14$ МэВ). а, б) Темными значками обозначены данные настоящей работы, светлыми — работы [3]: а) ■, □ — ${}^{196m}\text{Au}$; ●, ○ — ${}^{196g}\text{Au}$; б) ■, □ — ${}^{195m}\text{Hg}$, ●, ○ — ${}^{195g}\text{Hg}$. в) Данные настоящей работы: ● — ${}^{198m}\text{Au}$; ■ — ${}^{198g}\text{Au}$; ▲ — ${}^{198(m+g)}\text{Au}$

Реакция $^{194}\text{Pt} + ^3\text{He}$. На рис. 3 приведены значения сечений образования ^{194}Au в реакциях $^{194}\text{Pt}(^3\text{He}, p2n)^{194}\text{Au}$ или $^{194}\text{Pt}(^3\text{He}, t)^{194}\text{Au}$, ^{196}Au — в реакции $^{194}\text{Pt}(^3\text{He}, p)^{196}\text{Au}$ и ^{195}Hg как продукта реакции $^{194}\text{Pt}(^3\text{He}, 2n)^{195}\text{Hg}$. Данные по сечениям образования изотопов Au и Hg в этих реакциях получены впервые в настоящей работе.

Анализ вышеуказанных реакций (см. табл. 2) показывает, что для образования изотопа ^{194}Au энергетически выгодной является реакция с вылетом трития.

Другой изотоп золота — ^{196}Au , наблюдаемый с относительно малым выходом, мог образоваться только в реакции $(^3\text{He}, p)$.

На рис. 3 нанесены также результаты расчетов сечений для наиболее вероятных каналов реакций $^{194}\text{Pt} + ^3\text{He}$ с использованием кодов NRV [10] и PACE4 [11]. В этих кодах предполагается, что рассмотренные реакции протекают с образованием составного ядра и последующим испарением нейтронов. Для реакций слияния в подбарьерной области энергий в PACE4 нами использовался феноменологический подход с учетом квантово-механической вероятности коэффициента трансмиссии, зависящего при взаимодействии ядер от углового момента и энергии бомбардирующих частиц [12]. В коде NRV для расчетов сечений использовался потенциал Вудса–Саксона, а в случае учета связи каналов учитывалось также возбуждение низколежащих вращательных состояний и деформация

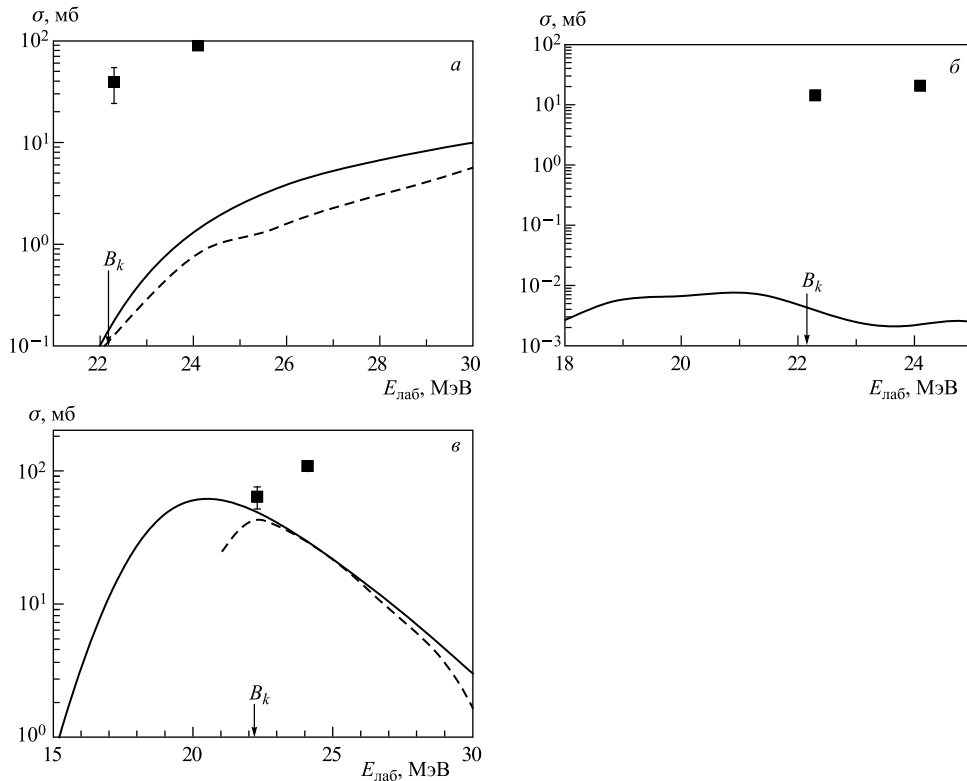


Рис. 3. Сечения образования изотопов ^{194}Au (а), ^{196}Au (б), ^{195}Hg (в) для двух значений энергии при взаимодействии ^{194}Pt с ^3He ($B_k = 22,18$ МэВ). Сплошной и штриховой линиями обозначены расчеты по NRV и PACE4 соответственно

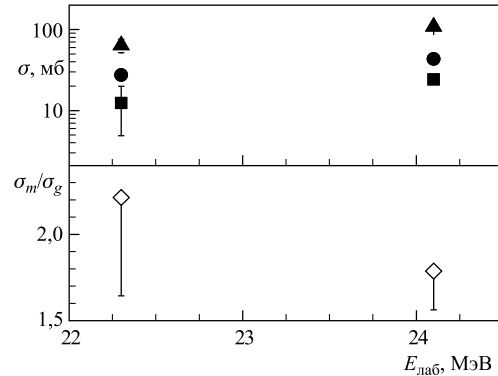


Рис. 4. Образование $^{195m,g}\text{Hg}$ и изомерное отношение для ^{195}Hg при взаимодействии ^{194}Pt с ^3He .
 ● — $^{195m}\text{Hg}(13/2^+)$; ■ — $^{195g}\text{Hg}(1/2^-)$; ▲ — $^{195(m+g)}\text{Hg}$; ◇ — $\sigma(m)/\sigma(g)$

ядер [13]. Из сравнения экспериментальных данных по сечениям реакций с расчетами видно, что наилучшее согласие наблюдается только для реакции, приводящей к образованию изотопа ^{195}Hg , протекающей через составное ядро. Для изотопов золота — ^{194}Au и ^{196}Au — из сравнения экспериментальных данных с расчетами следует, что они действительно образуются в прямых реакциях.

В реакции $^3\text{He} + ^{194}\text{Pt}$ были измерены сечения образования ^{195}Hg в основном и изомерном состояниях: ^{195m}Hg и ^{195g}Hg (рис. 4). При энергии ^3He , близкой к кулоновскому барьеру, изомерное отношение для реакции $^{194}\text{Pt}(^3\text{He}, 2n)^{195}\text{Hg}$ уменьшается с ростом энергии — от 2,2 до 1,7, что, вероятно, связано с конкуренцией при этой энергии возбуждения следующего испарительного $3n$ -канала — $^{194}\text{Pt}(^3\text{He}, 3n)^{194}\text{Hg}$.

Реакция $^{197}\text{Au} + ^3\text{He}$. На основе измеренных выходов изотопов ^{198}Au , ^{196}Au , ^{198}Tl , ^{197}Tl , ^{197}Hg были определены сечения их образования и построены функции возбуждения. Энергетически выгодными реакциями для образования этих изотопов (см. табл. 2) являются $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, 2n)^{198}\text{Tl}$, $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, 3n)^{197}\text{Tl}$, $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, 2p)^{198}\text{Au}$, $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, \alpha)^{196}\text{Au}$ и $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, t)^{197}\text{Hg}$.

На рис. 5 приведены функции возбуждения для образования изотопов ^{198}Tl , ^{197}Tl в реакции слияния $^{197}\text{Au} + ^3\text{He}$. Для образования изотопа ^{198}Tl функция возбуждения измерена впервые. На рис. 5 приведены также данные других экспериментов, опубликованные в [14, 15].

Представленные на графиках расчеты, выполненные при помощи кодов NRV и PACE4, не совпадают друг с другом и по-разному описывают подбарьерную область, тем не менее они дают близкие по значению максимальные значения сечений для испарительных xn -каналов.

На рис. 6 показаны измеренные суммарные значения сечений $2n + 3n$ испарительных каналов реакций (см. рис. 5) в сравнении с указанными расчетными значениями как функция энергии ^3He .

Из рис. 6 видно, что ни один расчет, за исключением PACE4, не воспроизводит достаточно надежно полученные экспериментальные данные по суммарным сечениям реакций слияния с ^3He . Поэтому мы не можем говорить о каких-либо особенностях подбарьерного слияния в этих реакциях. Во всяком случае, из этого сравнения можно заключить, что в реакциях слияния с ^3He нет необходимости учитывать связь каналов.

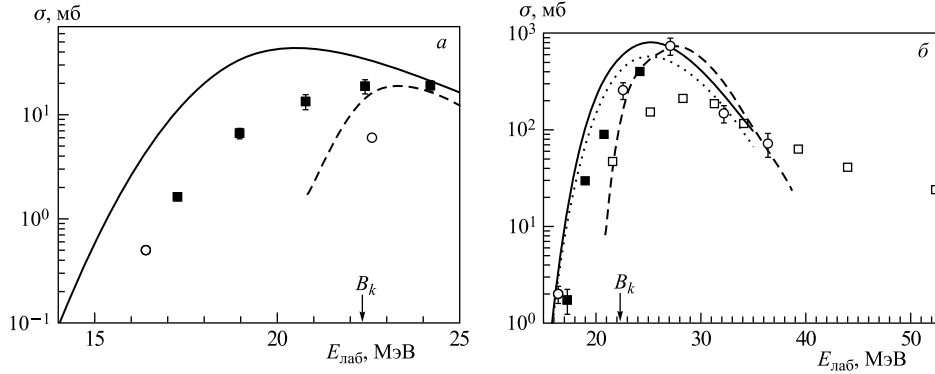


Рис. 5. Функции возбуждения образования изотопов таллия: ^{198}Tl (а) и ^{197}Tl (б) в реакциях слияния ^{197}Au и ^3He ($B_k = 22,38$ МэВ). Сплошной и штриховой кривыми обозначены расчеты по NRV и PACE4 соответственно. Пунктирной — расчеты по NRV без учета связи каналов. ■ — экспериментальные данные настоящей работы; ○ — данные [14]; □ — [15]

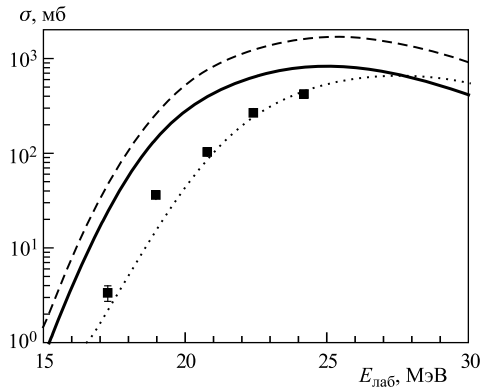


Рис. 6. Зависимость суммарных сечений реакций $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, 2n)^{198}\text{Tl}$ и $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, 3n)^{197}\text{Tl}$ от энергии ^3He (■) и сравнение с расчетными сечениями по программам NRV (сплошная — с учетом связи каналов, штриховая — без учета связи каналов) и PACE4 (пунктирная линия)

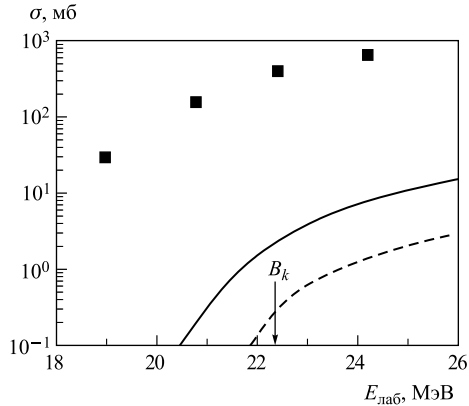


Рис. 7. Функция возбуждения для образования ^{197}Hg при взаимодействии ^{197}Au с ^3He ($B_k = 22,38$ МэВ). ■ — экспериментальные данные для ^{197}Hg , сплошной и штриховой кривыми обозначены расчеты по программам NRV и PACE4 соответственно

Как видно из рисунка, лучшее согласие с экспериментальными данными по сечениям реакций слияния с ^3He дает описание взаимодействия ядер с использованием кода PACE4.

Для реакции $^{197}\text{Au} + ^3\text{He}$ были также измерены сечения каналов реакций с вылетом заряженных частиц, приводящих к образованию нуклидов: ^{197m}Hg и ^{197g}Hg (рис. 7), а также сечения для образования изотопов ^{196}Au и ^{198}Au (рис. 8).

Энергетика этих реакций и модельные расчеты показывают, что указанные изотопы в подбарьерной области энергий образуются, в основном, в реакциях, протекающих

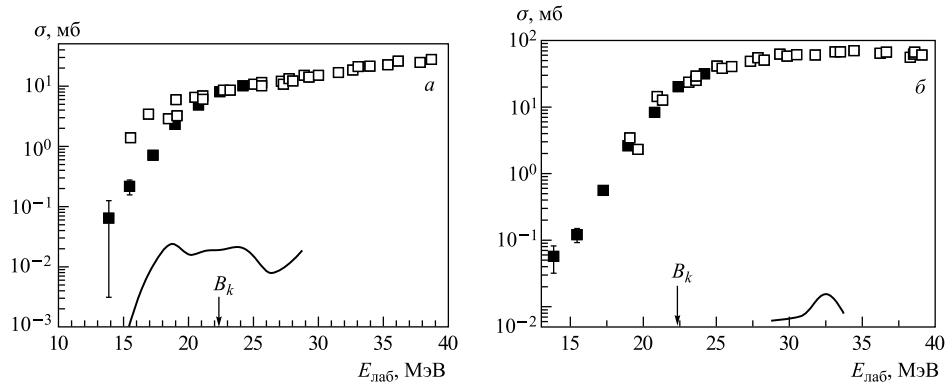


Рис. 8. Функции возбуждения образования: а) ^{196}Au , б) ^{198}Au — при взаимодействии ^{197}Au с ^3He ($B_k = 22,38$ МэВ). ■ — данные настоящей работы; □ — данные [4]. Кривыми обозначены расчеты по программе NRV

не через составное ядро. В случае ^{197}Hg при более высокой энергии ^3He возможен не учтенный нами вклад от распада ядра-остатка ^{197}Tl .

При энергии ^3He , близкой к кулоновскому барьеру реакций $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, 2n)^{198}\text{Tl}$ и $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, p2n)^{197}\text{Hg}$, были измерены функции возбуждения с образованием ^{198}Tl и ^{197}Hg в основном и изомерном состояниях. На рис. 9 приведены эти функции возбуждения и зависимость изомерного отношения от энергии ^3He . Изомерное отношение для ^{198}Tl , полученное в вышеприведенной реакции с ^3He , достигает значения 1,1–1,4, которое близко к значениям отношения, измеренным для ^{198}Tl , образовавшегося в реакциях слияния с α -частицами и ^6He : $^{197}\text{Au}(^4\text{He}, 3n)$ [16, 17] и $^{197}\text{Au}(^6\text{He}, 5n)$ [18].

Для изотопа ^{197}Hg , образовавшегося в реакции $^{197}\text{Au}(^3\text{He}, t)^{197}\text{Hg}$, изомерное отношение (рис. 9, б) представляет слабо меняющуюся величину (0,1–0,14). Проведенные нами оценки изомерного отношения для ^{197}Hg показывают, что в случае образования этого изотопа в реакции $^{197}\text{Au}(^4\text{He}, t)^{197}\text{Hg}$ [16, 17] изомерное отношение достигает того же порядка величины (0,1–0,15), которое получено в настоящей работе.

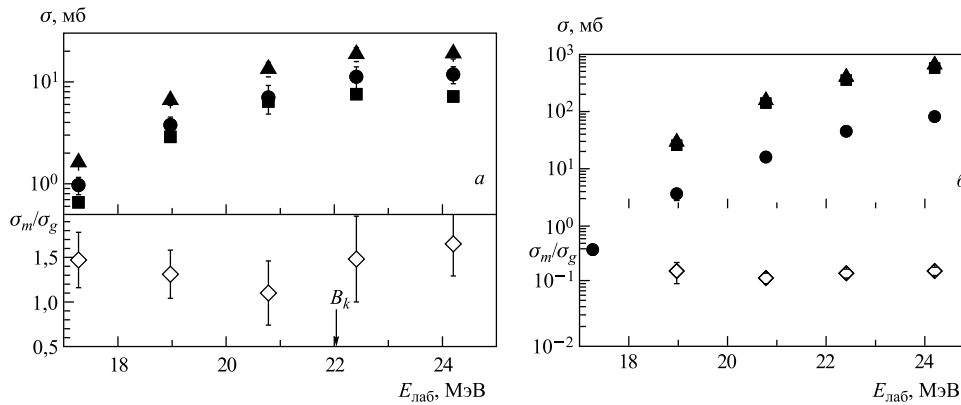


Рис. 9. Функции возбуждения реакций с образованием: а) ■ — $^{198g}\text{Tl}(2^-)$; ● — $^{198m}\text{Tl}(7^+)$; ▲ — $^{198(m+g)}\text{Tl}$; б) ■ — $^{195g}\text{Hg}(1/2^-)$; ● — $^{197m}\text{Hg}(13/2^+)$; ▲ — $^{197(m+g)}\text{Hg}$; ◇ — изомерные отношения для ^{198}Tl и ^{197}Hg при взаимодействии ^{197}Au с ^3He

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе изложенных выше результатов можно сделать следующие выводы:

- наилучшее согласие с экспериментальными значениями сечений реакций слияния ядер Pt и Au с ^3He дают вычисления по программе PACE4;
- реакции передачи с положительным значением Q имеют относительно высокие сечения под барьером, которые плавно увеличиваются с ростом энергии ^3He ;
- реакции передачи нейтрона с ядра мишени ядру снаряда ^3He , приводящие к образованию α -частицы, хотя и имеют более низкие значения сечений по сравнению с обратными реакциями, достигают своего максимального значения в этой области энергий на кулоновском барьере реакции.

Авторы выражают благодарность группе эксплуатации циклотрона У-120М за обеспечение работы на пучке ^3He , Е. М. Образцовой за помощь в обработке результатов и В. А. Рачкову за помощь в проведении расчетов сечений реакций слияния по программе NRV.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантами РФФИ № 13-02-00533 и Полномочного представителя правительства Республики Чехии в ОИЯИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Penionzhkevich Yu. E. et al. Excitation Functions of Fusion Reactions and Neutron Transfer in the Interaction of ^6He with ^{197}Au and ^{206}Pb // Eur. Phys. J. A. 2007. V. 31, No. 2. P. 185–194.
2. Penionzhkevich Yu. E. et al. Complete and Incomplete Fusion of ^6Li Ions with Bi and Pt // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 2009. V. 36. P. 025104.
3. Sudar S., Qaim S. M. Cross Sections for the Formation of $^{195m,g}\text{Hg}$, $^{197m,g}\text{Hg}$, and $^{196m,g}\text{Au}$ in α - and ^3He -particle Induced Reactions on Pt // Phys. Rev. C. 2006. V. 73. P. 034613.
4. Nagame Y. et al. Isomeric Yield in Proton-, ^3He -, and α -particle-Induced Reactions on ^{197}Au // Phys. Rev. C. 1990. V. 41. P. 889.
5. Скобелев Н. К. и др. Сечения образования изотопов ^{43}Sc , ^{44}Sc и ^{46}Sc в реакции $^{45}\text{Sc} + ^3\text{He}$ // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77, № 7. С. 878–882.
6. Кулько А. А. и др. Функции возбуждения реакций, протекающих при взаимодействии ускоренных дейтронов с ядрами ^{194}Pt вблизи кулоновского барьера // Письма в ЭЧАЯ. 2012. Т. 9, № 5. С. 814–822;
Kulko A. A. et al. Excitation Functions for Deuterium Induced Reactions on ^{194}Pt near the Coulomb Barrier // Phys. Part. Nucl. Lett. 2012. V. 9, Nos. 6–7. P. 502–507.
7. Chu S. Y. F., Ekström L. P., Firestone R. B. The Lund/LBL Nuclear Data. Search Version. 1999; <http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/>.
8. Ziegler J. F., Biersack J. P., Ziegler M. D. SRIM — The Stopping and Range of Ions in Matter. SRIM Code. <http://www.srim.org/>.
9. Tarasov O. B., Bazin D. LISE++: Radioactive Beam Production with In-flight Separators // Nucl. Instr. Meth. B. 2008. V. 266. P. 4657–4664; <http://groups.nscl.msu.edu/lise/>.
10. Nuclear Reaction Video Project. <http://nrsv.jinr.ru/nrv/>.
11. <http://lise.nscl.msu.edu/pace4.html>
12. http://groups.nscl.msu.edu/lise/6_2/lise++_6_2.pdf. P. 22.
13. <http://nrsv.jinr.ru/nrv/webnrv/fusion/description/empiric.pdf>. P. 2.

14. *Stickler J. D., Hofstatter K. J.* Comparison of ^3He -, ^4He - and ^{12}C -induced Reactions in Heavy-Mass Targets at Medium Excitation Energy. 1. Experimental Cross Sections // *Phys. Rev. C.* 1974. V. 9. P. 1064–1071.
15. *Hermes F. et al.* Analysis of (Particle, xn) Reactions on Tantalum and Gold // *Nucl. Phys. A.* 1974. V. 228. P. 175–179.
16. *Chakravarty N., Sarkar P. K., Ghosh S.* Pre-equilibrium Emission Effects in the Measured Isomeric Yield Ratios in Alpha-Induced Reactions on ^{197}Au // *Phys. Rev. C.* 1992. V. 45. P. 1171–1188.
17. *Vinciguerra D., Katajima K., Van de Vijver R. E.* Excitation Function of Reactions Induced by 23 to 52 Mev Alpha Particles on ^{197}Au // *Nucl. Phys.* 1966. V. 77. P. 337–346.
18. *Kulko A. A. et al.* Isomeric Ratios for $^{196,198}\text{Tl}$ and $^{196,198}\text{Au}$ from Fusion and Transfer in the Interaction of ^6He with ^{197}Au // *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 2007. V. 34. P. 2297–2306.

Получено 19 июля 2013 г.