

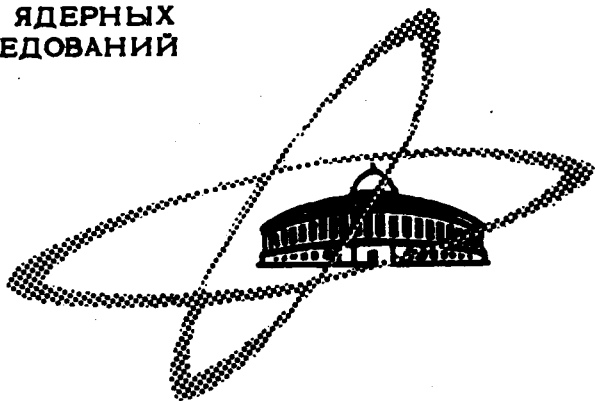
20/v.11-4

П-884

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P7-5192



Д.Д. Пулатов, С.М. Поликанов

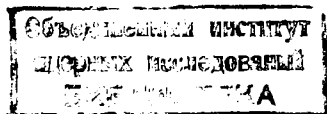
ИСПУСКАНИЕ ${}^6\text{He}$
ПРИ ДЕЛЕНИИ ЯДЕР ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

P7-5192

Д.Д. Пулатов, С.М. Поликанов

ИСПУСКАНИЕ ${}^6\text{He}$
ПРИ ДЕЛЕНИИ ЯДЕР ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Направлено в "Известия АН Уз.ССР"



В в е д е н и е

В последнее время появился ряд работ, в которых изучалось испускание ядер тяжелее ${}^4\text{He}$ при спонтанном делении ${}^{252}\text{Cf}$, а также при делении ${}^{235}\text{U}$ и ${}^{239}\text{Pu}$ тепловыми нейтронами /1-7/. Было установлено, что при тройном делении с довольно заметной вероятностью вылетают ядра ${}^6\text{He}$, ${}^8\text{He}$ и другие фрагменты.

Исследование вылета таких частиц интересно с двух точек зрения. С одной стороны, может быть получена дополнительная информация о механизме процесса деления и, в частности, о последней стадии процесса - разрыве шейки. С другой стороны, интересно посмотреть, не появится ли здесь возможность получать и изучать новые нейтроноизбыточные ядра, существование которых было предсказано /8,9/.

Целью настоящей работы являлось изучение вылета ${}^6\text{He}$ при делении ядер тяжелыми ионами. Использование тяжелых ионов представляется интересным, так как в этом случае можно получить представление о характере тройного деления в широком диапазоне значений параметра Z^2/A , в значительной степени определяющего механизм процесса деления возбужденного компаунд-ядра /10/.

Методика измерений

В качестве метода идентификации ${}^6\text{He}$ в настоящей работе было выбрано наблюдение радиоактивного распада этого изотопа.

Ядро ${}^6\text{He}$ испытывает бета-распад с периодом $T_{1/2} = 0,8$ сек., причем граничная энергия бета-частиц равна $3,5$ Мэв ^{/11/}. Основным источником фона при наблюдении ${}^6\text{He}$ могут оказаться осколки деления, а также продукты реакции передачи, имеющие короткие периоды полураспада.

На рис. 1 представлена схема использовавшейся в опытах экспериментальной установки.

Коллимированный пучок ионов попадал на мишень (2), помещенную под углом 25° к пучку ионов. Ядра ${}^6\text{He}$, вылетевшие при делении, тормозились в сборнике (4), который периодически перемещался к детектору (6), регистрирующему бета-частицы. Детектором служил тонкий пластический сцинтиллятор диаметром 50 мм и толщиной 2 мм. В качестве мишеней применялись слои урана (в виде U_3O_8) и золота (толщиной $1,7$ и $1,5$ мг/см² соответственно), нанесенные на алюминиевую пластинку (3), охлаждаемую водой.

Для уменьшения фона от осколков деления между сборником ядер ${}^6\text{He}$ и мишенью помещалась алюминиевая фольга толщиной $5,65$ мг/см², тормозящая осколки деления. Кроме того, между мишенью и детектором была установлена свинцовая защитная стенка (7) толщиной 50 мм со щелью для прохождения сборника.

Чтобы оценить эффект, связанный с бета-распадом ${}^6\text{He}$, измерения производились в трех циклах движения сборника. В каждом цикле время перемещения сборника к детектору было одинаково и равнялось $0,3$ сек. Время облучения мишени T_0 , равное времени остановки сборника перед детектором частиц, выбиралось равным $2,26$; $4,82$ и $9,94$ сек соответственно.

В табл. 1 показано изменение регистрируемого эффекта при переходе от цикла с $T_0 = 2,26$ сек (N_1) к циклам с $T_0 = 4,82$ сек (N_2) и $T_0 = 9,94$ сек (N_3) в зависимости от периода полураспада.

Таблица 1

$T_{1/2}$, сек	$\frac{N_1}{N_2}$	$\frac{N_1}{N_3}$
0,7	1,63	3,21
0,8	1,54	2,98
0,9	1,45	2,77
1,0	1,38	2,58
2,0	1,01	1,47
4,0	0,79	0,85
6,0	0,69	0,64
8,0	0,63	0,53
10,0	0,59	0,48

Из таблицы видно, что для активности с периодом полураспада $0,8$ сек переход от цикла с $T_0 = 2,26$ сек к циклам с $T_0 = 4,82$ сек и $T_0 = 9,94$ сек должен сопровождаться уменьшением наблюдаемого эффекта в $1,5$ и 3 раза соответственно.

Результаты опытов

Мишени из ${}^{238}\text{U}$ и ${}^{197}\text{Au}$ были облучены ионами ${}^{12}\text{C}$ и ${}^{16}\text{O}$ при энергии 82 и 137 Мэв соответственно.

Для того, чтобы учесть изменение фона за счет накопления долгоживущей гамма- и бета-активности, во время опытов производилось чередование трех режимов движения сборника.

В табл. 2 приведены числа отсчетов детектора, пронормированные на поток падающих частиц.

Таблица 2

Реакция	N_1	N_2	N_3
$^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$	5820 \pm 23	5368 \pm 22	4984 \pm 21
$^{238}\text{U} + ^{12}\text{C}$	2502 \pm 11	2159 \pm 10	1858 \pm 9
$^{197}\text{Au} + ^{16}\text{O}$	1764 \pm 18	1632 \pm 15	1507 \pm 15
$^{197}\text{Au} + ^{12}\text{C}$	467 \pm 5	415 \pm 5	367 \pm 4

Как видно из таблицы, число отсчетов убывает при переходе от цикла с $T_0 = 2,26$ сек к циклу с $T_0 = 9,94$ сек, и это указывает на существование короткоживущей активности. В то же время эффект убывает более медленно, чем должно быть для $T_{1/2} = 0,8$ сек., что говорит о наличии фона от распада изотопов со сравнительно длинными периодами полураспада.

Предположив, что весь эффект обусловлен распадом ^6He и долгоживущим фоном, постоянным для разных циклов движения сборника, можно оценить долю эффекта за счет распада ^6He .

В табл. 3 приведены данные о выходе и периоде полураспада короткоживущей активности с учетом вышеназванного предположения.

Таблица 3

Реакция	N_1	N_2	N_3	$N_{\text{фон}}$	$T_{1/2}$, сек
$^{238}\text{U} + ^{16}\text{O}$	1246 \pm 89	792 \pm 88	408 \pm 87	4579 \pm 66	0,77
$^{238}\text{U} + ^{12}\text{C}$	965 \pm 40	622 \pm 39	321 \pm 38	1537 \pm 29	0,79
$^{197}\text{Au} + ^{16}\text{O}$	390 \pm 63	258 \pm 62	133 \pm 62	1974 \pm 47	0,83
$^{197}\text{Au} + ^{12}\text{C}$	151 \pm 19	99 \pm 19	51 \pm 18	316 \pm 14	0,81

Видно, что полученное значение периода полураспада хорошо согласуется с известным значением $T_{1/2}$ для ^6He , равным 0,8 сек.

Обсуждение результатов

Говоря о механизме образования ^6He при облучении ^{238}U и ^{197}Au ионами ^{12}C и ^{16}O , кажется естественным предположить, что ^6He в основном испускается при делении компаунд-ядер.

Нельзя, конечно, исключить, что ^6He образуется и в реакциях передачи. Однако необходимо заметить, что в реакциях передачи обычно наблюдается довольно сильная зависимость от $Q^{1/2}$. В случае реакции передачи с образованием ^6He Q равно для реакции $^{238}\text{U} + ^{16}\text{O} - 42$ Мэв, $^{238}\text{U} + ^{12}\text{C} - 28$ Мэв, $^{197}\text{Au} + ^{16}\text{O} - 36$ Мэв, $^{197}\text{Au} + ^{12}\text{C} - 27$ Мэв соответственно. По имеющимся данным ^{12}C изменение Q , например от -36 Мэв до -42 Мэв для реакций с кислородом на ^{197}Au и ^{238}U , должно было привести к уменьшению сечения для урановой мишени. На опыте же наблюдается некоторое увеличение выхода ^6He (см. таблицу 4). Это дает основание полагать, что продукты реакции передачи не вносят существенного вклада в наблюдаемый эффект.

Для того, чтобы оценить сечение образования ${}^6\text{He}$, надо знать угловое распределение этих ядер в реакциях с тяжелыми ионами. Сейчас таких данных нет, и поэтому для грубой оценки сечений было сделано предположение об изотропном испускании ${}^6\text{He}$ (см. табл. 4). Если воспользоваться данными по угловому распределению ${}^6\text{He}$ при спонтанном делении ${}^{252}\text{Cf}$ /3/, то выходы ${}^6\text{He}$, приведенные в табл. 4, возрастут на 50%.

Таблица 4

Реакция	$\sigma_{\text{He}}, \text{см}^2$	$\sigma_{\text{He}}/\sigma_f$
${}^{238}\text{U} + {}^{16}\text{O}$	$(5,4 \pm 1,6) \cdot 10^{-29}$	$(3,6 \pm 1,0) \cdot 10^{-5}$
${}^{238}\text{U} + {}^{12}\text{C}$	$(4,2 \pm 1,3) \cdot 10^{-29}$	$(4,8 \pm 1,5) \cdot 10^{-5}$
${}^{197}\text{Au} + {}^{16}\text{O}$	$(1,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-29}$	$(2,8 \pm 0,8) \cdot 10^{-5}$
${}^{197}\text{Au} + {}^{12}\text{C}$	$(0,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-29}$	$(2,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-5}$

Интересно сравнить значения выхода ${}^6\text{He}$, отнесенные к равному числу делений. Для этого, используя известные значения сечений деления ${}^{238}\text{U}$ и ${}^{197}\text{Au}$ при разных энергиях ${}^{12}\text{C}$ и ${}^{16}\text{O}$ /13,14/, можно вычислить $\int \sigma_f(E) dR \frac{dE}{dR}$ для использованного диапазона энергий ${}^{12}\text{C}$ и ${}^{16}\text{O}$ и внести поправку на этот коэффициент. Полученные после введения такой поправки данные для выхода ${}^6\text{He}$ приведены также в табл. 4.

На рис. 2, где представлены полученные данные, можно видеть некоторый рост выхода ${}^6\text{He}$ при увеличении параметра Z^2/A . Однако этот эффект невелик (примерно двукратное увеличение при изменении Z^2/A от 34,6 до 39,4).

Возможно, это связано с тем, что перенасыщенность шейки нейтронами мало изменяется во всех исследованных реакциях. Если $\frac{N}{Z}$

постоянно по объему в процессе деления, то оно изменяется всего лишь на 8% при переходе от реакции ${}^{197}\text{Au} + {}^{12}\text{C}$ к реакции ${}^{238}\text{U} + {}^{16}\text{O}$.

В случае ${}^6\text{He}$ $\frac{N}{Z}$ равно 2 вместо $\approx 1,5$ в случае исследованных компаунд-ядер, и, таким образом, ядро ${}^6\text{He}$ может возникнуть лишь за счет довольно сильной флюктуации числа нейтронов.

На рис. 2 для сравнения также приведены данные о выходе ${}^6\text{He}$ при делении ядер тепловыми нейтронами и спонтанном делении ${}^{252}\text{Cf}$ /1,2,4,7/, при этом в качестве опорного значения использовались абсолютные выходы α -частиц по данным работ /15,16/. Видно, что вероятность испускания ${}^6\text{He}$ слабо изменяется от ядра к ядру.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Л.А. Рубинской, Н.А. Гундориной за помощь в создании экспериментальной установки и проведении экспериментов, К.А. Гаврилову за изготовление мишеней, а также группе эксплуатации циклотрона У-300 во главе с Б.А. Загером за обеспечение бесперебойной работы циклотрона.

Авторы признательны В.В. Волкову и Ю.П. Гангрскому за полезные обсуждения и ценные замечания.

Л и т е р а т у р а

1. S.W. Coper, J. Cerny, R.S. Gatti. Phys.Rev., 154, 1193 (1967).
2. S.L. Whetstone, T.D. Thomas. Phys.Rev., 154, 1174 (1967).
3. G.M. Raisbec, T.D. Thomas. Phys.Rev., 172, 1272 (1968).
4. T. Krogulski, J. Chwaszczewska, M. Dakowski, E. Piasecki, M. Sowinski, J. Tys. Nucl.Phys., A128, 219 (1969).
5. В.Н. Андреев, В.Т. Недопекин, В.И. Рогов. Ядерная физика, 8, 39 (1968).

6. В.Н. Андреев, В.Т. Недопекин, В.И. Рогов. Ядерная физика, 9, 23 (1969).
7. А.А. Воробьев, В.Т. Грачев, И.А. Кондуров, А.М. Никтин, Д.М. Селиверстов. Препринт ФТИ-167, Ленинград, 1969.
8. А.И. Базь, В.И. Гольдманский, Я.Б. Зельдович. УФН, 72, 211 (1980).
9. G.T. Garvey, J. Kelson. Phys.Rev., Lett., 16, 197 (1966).
10. Ю.Ц. Оганесян. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, 7-4540, ОИЯИ, Дубна, 1969.
11. C.M. Lederer, J.M. Hollander, I. Perlman. Table of Isotopes. New York, London, Sydney (1967).
12. R.M. Diamond, A.M. Poskanzer, F.S. Stephens, W.J. Swiatecki, D. Ward. Phys.Rev.Lett., 20, 802 (1968).
13. T.D. Thomas. Phys.Rev., 116, 703 (1959).
14. G.E. Gordon. Preprint UCRL-9083, Berkeley, California (1960).
15. T.D. Thomas, S.L. Whetstone. Phys.Rev., 144, 1060 (1966).
16. M. Marshall, J. Scobic. Phys.Lett., 23, N10, 583 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июня 1970 года.

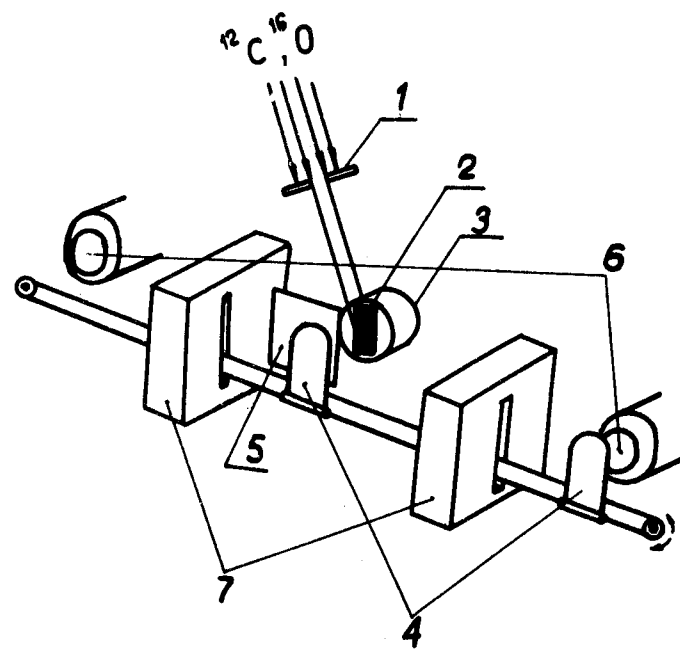


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 - коллиматор, 2 - мишень, 3 - подложка мишени, 4 - сборник ядер ${}^6\text{He}$, 5 - поглотительная фольга (Al), 6 - детектор, 7 - свинцовая защитная стенка.

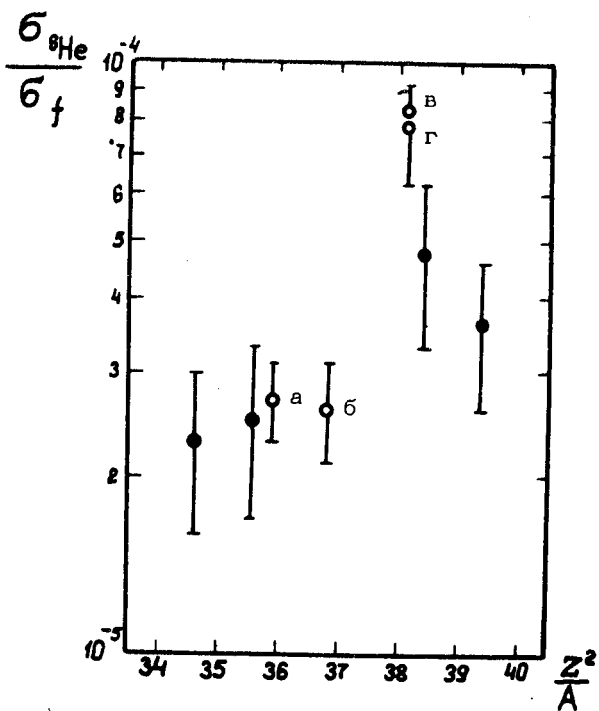


Рис. 2. Зависимость выхода ядер ^6He от параметра Z^2/A делящегося компаунд-ядра: а)- данные из работы /7/, б)- данные из работы /4/, в)- данные из работы /1/, г)- данные из работы /2/.