

+

СЗ41.3
Ш-487

Шелтий В.И.



БЗ-2-5862.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

БЗ-2-5862

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19

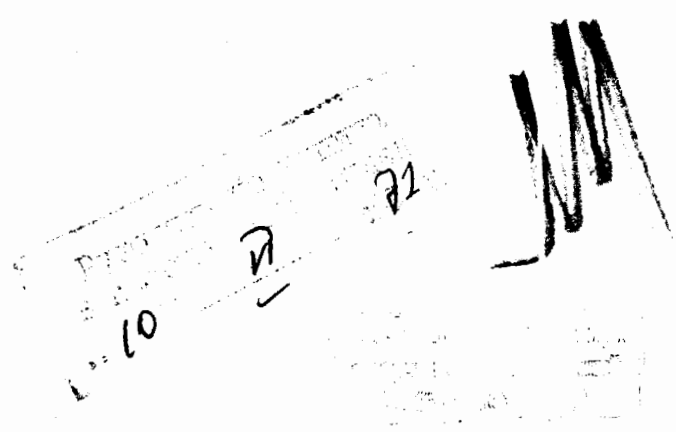
63-2-5862

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория теоретической физики

В.И.Шептун

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМУЛЫ РУДСТАМА ДЛЯ РАСЧЕТА
СОДЕРЖАНИЯ КОСМОГЕННЫХ ИЗОТОПОВ В МЕТЕОРИТАХ

с.ф. 3225



Дубна, 1971 г.

В настоящее время не существует теории, достаточно удовлетворительно описывающей процессы глубокого расщепления ядер под действием высокоэнергетических нуклонов и мезонов, поэтому для оценки сечений различных каналов такого расщепления сейчас используются различные феноменологические формулы^{/1,2,15/}.

В применении к задачам космохимии наиболее важен выход остаточных ядер из элементов Fe , V , Nb , Y , Al , Ga , Si , P . Кроме того, следует иметь в виду, что наряду с непосредственным изучением вещества метеоритов серьезное внимание при решении астрофизических задач уделяется модельным экспериментам с толстыми мишенями, где значительный вклад в выход остаточных ядер дают вторичные нуклоны и мезоны, и опытом с тонкими мишенями, где вкладом вторичных частиц можно пренебречь.

Поскольку для выхода остаточных ядер существенны эффекты спаривания, при проведении расчетов следует учитывать изотопный состав мишени.

Расчет проводился по формуле Рудстана^{/2/} (вариант CDMD), изотопный состав железа^{/3,9/}:

ванадия^{/12/}: $0,33\% Fe^{58}$; $2,19\% Fe^{57}$; $91,6\% Fe^{56}$; $5,82\% Fe^{54}$
 $0,24\% V^{50}$; $99,76\% V^{51}$

Величины сечения и дисперсии распределения выхода остаточных ядер при изменении массового числа мишени A_{tg} изменяются значительно (см. табл. I), но положение "пиковых"^{I)} изотопов при энергии налетающей частицы $T_p > 100$ Мэв не смещаются.

I) "пиковые" изотопы (массовое число A_p) есть изотопы с максимальным для данного элемента выходом.

Таблица 1.

^[14] T _p = 56 мев	Ce ⁶⁹	Ge ⁶⁸	Ge ⁶⁷	Ge ⁶⁶	Ga ⁷⁰	Ga ⁶⁸	Ga ⁶⁷	Ga ⁶⁶	Cu ⁶⁷	Cu ⁶⁴
из Cu ⁶⁹	20	34	21	5.8	-	190	170	185	0.34	21
из Ga ⁷¹	167	72	8	0.2	130	230	86	3	2.1	14

В таблице 2 приведены выходы "пиновых" изотопов: Cr⁵² и Mn⁵² (расчет) из Fe⁵⁴, Fe⁵⁶, Fe⁵⁷ (сечения здесь ^н ниже в мбн).

Таблица 2

	Fe ⁵⁴		Fe ⁵⁶		Fe ⁵⁷	
T _p , мев	Cr ⁵²	Mn ⁵⁴	Cr ⁵²	Mn ⁵⁴	Cr ⁵²	Mn ⁵⁴
150	157	465	90	241	40	106
660	40.5	61.2	47.9	72.4	28.1	42.5
2900	21.7	28	29.8	38.5	18.9	24.3

Из этой таблицы видно, что при увеличении энергии налетающей частицы изотопная чистота образца становится менее существенной, поэтому в опытах с тонкими мишенями ее можно пренебречь, но в опытах с толстыми мишенями, где выход вторичных частиц значителен, необходим учет изотопного состава мишени.

Хотя исходная формула Рудстана [2]:

$$\sigma(Z, A) = \frac{\hat{\sigma} P R^{2/3} e^{PA - R|Z - SA + TA^2|^{3/2}}}{1,79 \left[e^{PA_{tg}} \left(1 - \frac{2e'}{3PA_{tg}} \right) - 1 + \frac{2e'}{3} + \frac{2e'}{3PA_{tg}} \right]}$$

предназначена для вычисления сечения выхода изотопа от взаимодействия протонов с ядрами, модифицировав ее, можно описать сечение выхода остаточных ядер под действием нейтронов и мезонов, для нейтронов:

$$\sigma(Z, A) \rightarrow \sigma(Z-1, A)$$

для протонов:

$$\sigma(T_p; Z, A) \rightarrow \sigma(T_p + 170; Z-1+Z_s, A-1)$$

Из приведенных в таблице 3 сечений выхода изотопов из ядра Al^{27} под действием нейтронов с энергией $T_n = 370$ Мэв,

Таблица 3.

	Mg^{27}	Na^{24}	F^{18}	N^{13}
σ , мбн., эксп. [17]	5.1 ± 2	24 ± 4	6.8 ± 2.4	3.2 ± 2.4
σ , мбн., теор.	0.13	2.7	3.15	3.34

видно, что согласие с экспериментом вполне удовлетворительное; расхождение для Mg^{27} можно объяснить тем, что этот изотоп находится на краю распределения, где предсказанные по формуле Рудстана сечения значительно отличаются от экспериментальных (При $|A - A_p| > 3$ величина $\left| \frac{\sigma_{exp}}{\sigma_{calc}} \right| \sim 1 \div 3$).

К сожалению, недостаточность существующих экспериментальных данных по выходу изотопов под действием высокоэнергетических

($T > 100$ Мэв) нейтронов и пионов затрудняет проверку и уточнение модифицированной формулы Рудстама в широком энергетическом интервале для различных мишеней.

Поскольку наиболее интересную для задач астрофизики ^{информацию} несут долгоживущие изотопы ($T_{1/2} > 1$ года), рассмотрение можно ограничить выходом изотопов /18,19/: Fe^{55} , Na^{22} , Co^{64} , H^3 , Ti^{44} , Ar^{39} , Si^{32} , C^{14} , Ni^{59} , Cl^{36} , Al^{26} , Mn^{53} , Be^{10} , K^{40} , Ca^{41} , Ar^{42} , Ca^{48} , V^{50} . Для исследований наиболее подходящими являются изотопы с максимальным для данного элемента выходом ($|A - A_p| \leq 2$), хорошо описывающиеся формулой Рудстама. (Следует заметить, что формула Рудстама дает крайне заниженный выход легких элементов, таких как H , Li , Be (см. табл.4)).

Таблица 4.

	из Ni^{58} /17/		из Fe^{56} [3,11]				
	H^3		Li	Be^7	Be^{10}		
T_p , МЭВ	450	2050	1500	2900	150	660	730
$\frac{b_{exp}}{b_{calc}}$	$2.7 \cdot 10^4$	360	8.9	7.5	10^4	233	133

Для решения различных астрофизических проблем на железо-нижелевых, железо-каменных и каменных метеоритах наиболее удобными изотопами являются: Fe^{55} , Na^{22} , Ar^{39} , Cl^{36} , Al^{26} , Mn^{53} , K^{40} , V^{50} , достаточно долгоживущие, имеющие заметный

выход, хорошо описывающиеся в энергетическом интервале 150 • 3000 MeV формулой Рудстама (т.е. $\lg \frac{\sigma_{exp}}{\sigma_{calc}} \sim 0 \pm 0.5$).

При $T_p > 3 \text{ Гев}$ сечения образования всех остаточных ядер из Fe^{56} выходят на плато, при этом выход "пиковых" изотопов для ядер с $Z \geq 22$ падает с ростом энергии, а выход "пику-вых" изотопов с $Z < 22$ быстро растет с увеличением энергии (см. табл. 5 и рис. 1).

Подобную картину можно наблюдать и в случае выхода изотопов из более легких ядер, таких как Ca, Si, Al, причем и в этих случаях сечения выходят на плато при той же энергии.

Таблица 5

	T_p, MeV	150	730	2900	5700
G, МБН	Mn^{54}	160	44.5	25.5	25
	Cr^{52}	60	30.7	20	20
	V^{49}	21	25	20	20
	Ti^{47}	9.2	21	20	20
	Na^{23}	0.0004	1.03	5	5

При изучении образования космогенных изотопов в метеоритах нельзя проводить расчеты с усредненными по компонентам метеорита

A_{tg} и Z_{tg} , необходимы отдельные вычисления для каждой

компоненты, это особенно важно для железо-каменных и каменных метеоритов (см. таблицы 6-9, с покомпонентным усреднением и без него).

Железо-никелевые метеориты: 90.5% Fe , 0.56% Co, 8.7% Ni, 0.25% P .

Таблица 6

Тр, мев		Na ²²	Al ²⁶	Si ³²	Cl ³⁶	Ar ³⁹	K ⁴⁰	Ca ⁴¹	Ti ⁴⁴	V ⁵⁰	Mn ⁵³	Fe ⁵⁵	Ni ⁵⁹	Co ⁶⁰
400	без усред.	0,06	0,10	0,05	2,75	2,96	5,22	1,95	0,46	29	57	70	5,5	4,8
	\bar{A}, \bar{Z}	"	"	"	2,72	2,93	"	"	"	28	56	69	97,7	85,3
1400	без усред.	1,67	1,64	0,44	13,2	9,8	15,4	5,1	0,82	25	34	33	2,2	1,7
	\bar{A}, \bar{Z}	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	28,2	21,8
3000	без усред.	2,53	2,30	0,54	15,3	10,7	16,4	5,3	0,81	22	28	26	1,7	1,3
	\bar{A}, \bar{Z}	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	21	16

Палласиты /19/: 53.1% Fe , 5.1% Ni , 8.4 % Si , 12.5% Mg , 28.58% O

Таблица 7

Тр, мев		C ¹⁴	Na ²²	Al ²⁶	Si ³²	Cl ³⁶	K ⁴⁰	Ca ⁴¹	Ar ³⁹	Ti ⁴⁴	V ⁵⁰	Mn ⁵³	Fe ⁵⁵	Ni ⁵⁹
400	без усред.	1,40	3,75	1,52	0,03	1,60	3,0	1,13	1,7	0,26	16,8	33	41	3
	\bar{A}, \bar{Z}	0,06	1,00	1,60	0,88	4,4	8,3	31	47	-	-	-	-	-
1400	без усред.	1,40	3,53	1,80	0,25	7,6	8,8	2,9	5,7	0,48	14,5	20	19	1
	\bar{A}, \bar{Z}	0,70	4,40	4,30	1,14	35	40,2	13,3	26	-	-	-	-	-
3000	без усред.	1,50	3,80	2,10	0,31	8,8	9,5	3,1	6,2	0,5	12,7	16	15	1
	\bar{A}, \bar{Z}	0,95	5,10	4,60	1,10	31	33	11	21	-	-	-	-	-

Хондриты /I9/: 25.7% Fe , 1.4% Ni , 1.36% Ca , 2.3% S ,
17.2% Si , 1.3% Al , 13.9% Mg , 36.2% O .

Таблица 8

Тр, мев		C ¹⁴	Na ²²	Al ²⁶	Si ³²	Cl ³⁶	Ar ³⁹	K ⁴⁰	Ti ⁴⁴	Fe ⁵⁵	Ni ⁵⁹	Ca ⁴¹	V ⁵⁰	Mn ⁵³
400	без усред.	2,4	5,3	3,53	0,14	1,50	1,60	2,80	0,13	19,5	0,80	1,1	8,0	16
	\bar{A}, \bar{Z}	0,40	6,13	9,85	5,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1400	без усред.	2,14	4,51	2,60	0,18	4,13	3,07	4,80	0,23	9,00	0,33	1,6	6,8	9,3
	\bar{A}, \bar{Z}	1,34	8,37	8,23	2,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	без усред.	2,13	4,41	2,50	0,20	4,16	3,23	4,94	0,22	7,10	0,26	1,6	6,8	7,6
	\bar{A}, \bar{Z}	1,54	8,26	7,50	1,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ахондриты /I9/: 14.65% Fe , 7.2% Ca , 22.8% Si , 5.9% Al ,
6.5% Mg , 42.73% O .

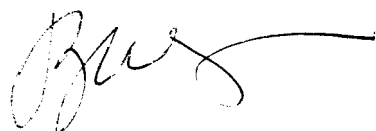
Таблица 9

Тр, мев		H ³	Na ²²	Si ³²	Cl ³⁶	Ar ³⁹	K ⁴⁰	Ti ⁴⁴	V ⁵⁰	Mn ⁵³	Fe ⁵⁵	C ¹⁴	Al ²⁶	Ca ⁴¹
400	без усред.	0,32	4,80	0,09	4,34	4,67	8,20	0,07	4,40	8,70	10,7	2,70	5,4	3,1
	\bar{A}, \bar{Z}	0,08	12,0	10,6	-	-	-	-	-	-	-	0,7	19	-
1400	без усред.	1,08	4,50	0,15	4,70	3,50	5,40	0,12	3,70	5,10	4,90	2,4	3,5	1,8
	\bar{A}, \bar{Z}	0,77	10,7	2,80	-	-	-	-	-	-	-	1,7	10	-
3000	без усред.	1,32	4,40	0,16	4,60	3,20	4,90	0,12	3,30	4,20	3,90	2,4	3,2	1,6
	\bar{A}, \bar{Z}	1,04	10,0	2,14	-	-	-	-	-	-	-	1,8	9,0	-

Виз

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. G. Rudstam. Thesis University of Uppsala (1956).
2. G. Rudstam. Z.Naturforsch, 21a, 1027 (1966).
3. G. Rudstam, P.C.Stevenson, R.L.Nolger. Phys.Rev., 87, 358(1952).
4. G. Rudstam. Nucl. Phys., A126, 401 (1969).
5. A.A.Caretto, E.O.Wieg. Phys.Rev., 103, 236 (1956).
6. M.Honda, D.Lal. Phys.Rev., 118, 1618(1960).
7. M.Honda, D.Lal. Nucl. Phys., 51, 363 (1964).
8. R.G.Korteling, E.K.Hyde. UCRL-11391(1964).
9. G.V.S.Rayudu. Can. J.Chem., 42, 1149 (1964).
10. G.V.S.Rayudu. Jorg.Nucl.Chem., 30, 2311(1968).
11. А.К.Лаврухин. ИЭТО, 44, 1429 (1963).
12. C.G.Heininger, E.O.Wieg. Phys.Rev., 101, 1074 (1956).
13. S.G.Rudstam. Phys.Mag., 44, 113+ (1953).
14. N.T.Porile, S.Tanaka, H.Amano, M.Furukawa, S.Jwata, M.Yagi, Nucl. Phys., 43, 500 (1963).
15. B.K.Gupta, S.Das, M.M.Biswas. Nucl. Phys., A155, 49(1970).
16. E.Bruninx. CERN 61-1 (1961).
17. E.Bruninx. CERN 64-17 (1964).
18. Б.С.Джелопов, Л.К.Левор "Схемы распада радиоактивных ядер", Наука, 1966.
19. А.К.Лаврухина "Ядерная химия", Наука, 1965.



Подпись к рисунку

Рис. I Выход "пиковых" изотопов из Fe^{56} в зависимости от энергии падающего протона.

