АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

АВГУСТ, 1978

ВЫПУСК 3

УДК 523.877

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН

Поступила 6 октября 1977

В работе показано, что данные о наблюдаемой распространенности изотопов свидетельствуют о преимущественной роли в их образовании процессов β^- -распада, а не нейтронного захвата.

В настоящее время распространено мнение, что образование элементов с $A \geq 60$ связано главным образом с нейтронным захватом в звездах [1]. При этом для объяснения наблюдаемой распространенности изотопов привлекаются два процесса нейтронных захватов: медленный и быстрый. Так, например, образование Pb^{207} объясняется медленным нейтронным захватом, а образование Zr^{91} — быстрым. Для эффективного протекания медленного нейтронного захвата необходимо примерно 50 нейтронов на каждый атом кремния, а для быстрого нейтронного захвата требуется примерно 10^{24} нейтронов на cm^3 . Считается, что в процессе медленного захвата участвуют нейтроны, которые могут возникнуть в реакциях соединения He^4 с C^{13} , O^{17} , Ne^{21} , Mg^{25} или Mg^{26} . Ответственность за осуществление быстрого нейтронного захвата возлагается обычно на вспышки сверхновых. Основанием для этого послужил факт экспоненциального падения светимости сверхновых 1-го типа с уменьшением светимости вдвое, как считалось, за 55 дней, что привело к появлению гипотезы об образовании при взрывах сверхновых больших количеств Cf^{254} , период полураспада которого, согласно первоначальным измерениям, оценивался в 55 дней. Однако впоследствии было установлено, что период полураспада Cf^{254} составляет 60.5 ± 0.2 дня [2], что лишило предположение о быстром нейтронном захвате в звездах наблюдательной предпосылки.

Наблюдательным тестом проверки гипотезы о нейтронном захвате может служить сопоставление наблюдаемых распространенностей изотопов с их сечениями нейтронных захватов. Эти сечения измерены для большого числа изотопов в случае захвата тепловых нейтронов и могут быть экстраполированы на большие энергии нейтронов обратно пропорционально энергии [3]. Наблюдаемые распространенности [4] изотопов от Cd до Bi с измеренными сечениями нейтронных захватов приводятся в табл. 1, где в первом столбце указан символ химического элемента, во втором — атомный вес изотопа, в третьем — логарифм распространенности по отношению к кремнию, в четвертом — химический символ экранирующего изотопа, в пятом — логарифм сечения радиационного нейтронного захвата тепловых или реакторных нейтронов. Для проверки роли предполагаемых нейтронных захватов в образовании этих изотопов был вычислен коэффициент корреляции этих величин

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Оказалось, что коэффициент корреляции r равен -0.13 ± 0.20 , при коэффициенте доверия 95% [5]. Следовательно, роль нейтронных захватов, если они и имеют место, в образовании этих изотопов не представляется значительной.

Рассмотрим теперь отдельно изотопы, которые могли бы образоваться путем медленного нейтронного захвата, исключив, так называемые, «обойденные» изотопы и изотопы, для образования которых необходимо привлечение быстрых нейтронных захватов. И в этом случае вычисление коэффициента корреляции не подтверждает существование нейтронных захватов в масштабе, необходимом для образования изотопов: коэффициент корреляции $r = -0.3 \pm 0.3$. Построенная методом наименьших квадратов линия регрессии дает $N \sim \tau^{-0.15}$, а не $\sim \tau^{-1}$ как должно было быть в случае образования изотопов путем захвата нейтронов.

Обратимся теперь к гипотезе образования химических элементов путем деления и β^- -распада массивных сгустков ядерной материи [6]. На возможность осуществления такого рода процессов в космических масштабах указал В. А. Амбарцумян, предположивший, что хорошо известное явление вспышек звезд, заключающееся в быстром и значительном увеличении их светимости, связано с распадом сверхплотного дозвездного вещества, представляющего собой неизвестную в настоящее время форму материи, способную длительное время находиться в стабильном состоянии и переходить в обычное состояние с выделением огромной энергии [7].

Если принять эту точку зрения, то следует ожидать, что осколки дозвездного вещества при его распаде превратятся преимущественно в изо-

Таблица 1

Элемент	A	$\lg \frac{N}{N_{Si}}$	Экранирующий элемент	$\lg \tau$	Элемент	A	$\lg \frac{N}{N_{Si}}$	Экранирующий элемент	$\lg \tau$		
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Cd	106	-0.46	Pd	0.00	Cs	132	1.49		-0.70		
	108	-0.60	Pd			134	1.08		-0.70		
	110	0.56	Pd	-1.70		136	1.01		-0.82		
	111	0.56				133	1.16		1.46		
	112	0.83				130	-0.91	Xe	0.48		
	113	0.54		4.25		132	-0.93	Xe	0.78		
	114	0.91				134	0.47	Xe			
	116	0.33		0.15		135	0.90				
In	113	-0.63	Cd	0.30	La	136	0.97	Xe			
	115	0.73		0.72		137	1.14				
	112	-0.42	Cd	0.04		138	1.94		0.70		
	114	-0.59	Cd			138	-1.95	Ba			
	115	-0.88	In			139	1.10		0.93		
	116	0.73	Cd			Ce	136	-1.42	Ba		
	117	0.46					138	-1.31	La	-0.40	
	118	0.95		-0.66			140	1.24		-0.57	
	119	0.51					142	0.34		-0.07	
	120	1.00					Pr	141	0.66		1.05
	122	0.25		-0.52				Nd	142	0.79	Ce
	124	0.35		-0.22		143	0.44			2.38	
Sb	121	0.70		0.83	144	0.74		1.18			
	123	0.58		-1.52	145	0.28		1.48			
Te	120	-1.06	Sn	1.83		146	0.59		0.26		
	122	0.44	Sn	0.43		148	0.11		0.57		
	123	0.00	Sb	2.59		150	0.11		1.65		
	124	0.72	Sn	0.81	Sm	144	-0.51	Nd			
	125	0.90		0.18		147	0.16				
	126	1.32		-0.10		148	-0.04	Nd			
	128	1.59		-0.89		149	0.09		4.70		
	130	1.58		-0.66		150	-0.14	Nd			
						152	0.42		2.18		
	I	127	1.35	Te			154	-0.66		0.74	
Xe		124	-0.96	Te		Eu	151	0.16		3.95	
		126	-0.99	Te			153	0.20		2.62	
		128	0.34		0.70		Ge	152	-1.54	Sm	
		129	1.48		1.65			154	-0.61	Sm	
		130	0.67	Te	0.70			155	0.22		2.84
		131	1.39		2.08						

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	156	0.37				182	0.02		
	157	0.25		5.08		183	-0.25		
	158	0.45		0.60		184	0.08		0.32
	160	0.39		-0.82		186	0.05		1.60
	159	0.25			Re	185	0.47		2.00
Dy	156	-2.20	Gd			187	0.70		1.87
	158	1.96	Gd		Os	184	-2.34	W	1.30
	160	-0.56	Gd			186	-0.40	W	
	161	0.36				187	-0.38	Re	
	162	0.49				188	0.52		
	163	0.48				189	0.61		
	164	0.53		3.48		190	0.82		0.00
Ho	165	0.39				192	1.01		0.20
Er	162	-2.16	Dy		Ir	191	0.79		2.42
	164	-0.99	Dy			193	0.99		2.12
	166	0.36			Pt	190	-2.51	Os	
	167	0.22				192	-0.41	Os	1.95
	168	0.27				194	1.22		
	170	-0.01				195	1.23		
Tm	169	0.08				196	1.11		0.04
Yb	168	-2.08	Er	4.48		198	0.56		0.59
	170	-0.74	Er		Au	197	0.66		1.98
	171	0.06			Hg	196	-2.05	Pt	3.49
	172	0.12				198	-0.25	Pt	
	173	-0.01				199	-0.02		3.40
	174	0.28		1.78		200	0.12		
	176	-0.10		0.81		201	-0.12		
Lu	175	0.05		1.40		202	0.23		0.48
	176	-1.53	Yb	3.60		204	-0.41		-0.37
Hf	174	-2.38	Yb		Tl	203	0.02		0.90
	176	-0.93	Yb			205	0.40		-1.00
	177	-0.37		2.70	Pb	204	-0.37	Hg	
	178	-0.21				206	0.89		
	179	-0.20				207	-0.17		
	180	-0.09		1.00		208	1.22		-3.22
Ta	181	0.75		0.32	Bi	209	0.50		-1.50
W	180	-2.31	Hf	0.30					

топы, представляющие собой завершение цепочек β^- -распадов. И, наоборот, тех изотопов, которые защищены от цепочек β^- -распадов другими стабильными изотопами, должно образоваться меньше. В табл. 1 такие «защищенные» изотопы отмечены указанием экранирующего изотопа. Так, например, Te^{120} защищен от цепочки β^- -распадов изотопом Sn^{120} , изотоп Xe^{124} — изотопом Te^{124} , изотоп Ba^{130} — изотопом Xe^{130} и т. д. Рассмотрим теперь наблюдаемые распространенности защищенных и незащищенных изотопов. Распределение распространенностей для этих двух групп изотопов в отдельности приводится в табл. 2, где в первом столбце указан интервал относительных распространенностей, во втором — количество защищенных от цепочек β^- -распадов изотопов в данном интервале, в третьем — та же величина в процентах к общему числу защищенных изотопов.

Таблица 2

$\lg \frac{N}{N_{\text{SI}}}$	n_z	$n_z \%$	n_n	$n_n \%$
-3.0 ÷ -2.5	1	2	0	0
-2.5 ÷ -2.0	7	15	0	0
-2.0 ÷ -1.5	2	4	0	0
-1.5 ÷ -1.0	8	17	0	0
-1.0 ÷ -0.5	12	26	3	3
-0.5 ÷ 0.0	5	11	18	19
0.0 ÷ 0.5	5	11	37	38
0.5 ÷ 1.0	5	11	22	23
1.0 ÷ 1.5	0	0	15	16
1.5 ÷ 2.0	1	2	1	1

В четвертом и пятом столбцах приводятся те же величины, что во втором и третьем столбцах соответственно, но для незащищенных от β^- -распада изотопов. Из этой таблицы видно, что сравнительно малые распространенности почти исключительно имеют защищенные изотопы. Так, $\lg N \leq -0.5$ имеют 64% защищенных от β^- -распада изотопов и всего 3% — незащищенных. Это дает основание полагать, что в образовании данных изотопов основную роль играет β^- -распад, а не нейтронный захват. Сравнение продуктов выхода β^- и β^+ -распадов показывает, что осколки деления дозвездного вещества содержат преимущественно нейтроны, а относительное число протонов не превышает 40—45%.

Исходя из приведенных выше соображений, можно сделать вывод, что решению вопроса о происхождении химических элементов может содействовать изучение вспыхивающих звезд, а также звезд с повышенным со-

держанием продуктов распада нестабильных изотопов, например, элементов с $A \approx 90$ и $A \approx 140$, а также содержащих в атмосфере нестабильные изотопы.

В заключение приношу благодарность академику В. А. Амбарцумяну и профессору Г. С. Саакяну за обсуждение и ценные замечания.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON FORMATION OF ELEMENTS

Yu. K. MELIK-ALAVERDIAN

It has been shown that data about the abundance of the elements with $A > 60$ testify to the formation of these elements by means of β^- decay rather than neutron capture.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. G. Cameron, *Ap. J.*, 121, 144, 1955.
2. L. Philips, R. C. Gatt, R. Brandx, S. G. Thompson, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 25, 1085, 1963.
3. Э. Сегре. Экспериментальная ядерная физика, ИЛ, М., 1955.
4. H. Suess, H. C. Urey, *Revs. Mod. Phys.*, 28, 53, 1956.
5. Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов, Таблицы математической статистики, Наука, М., 1965.
6. M. G. Mayer, E. Teller, *Phys. Rev.*, 76, 1226, 1949.
7. В. А. Амбарцумян, *Астрофизика*, 7, 557, 1971.
8. Paul W. Merrill, *Ap. J.*, 116, 21, 1952.