

УДК 524.336—74—36

О КОРРЕЛЯЦИИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗБЫТКА  
С СОДЕРЖАНИЕМ ТЕХНЕЦИЯ В МИРИДАХ

А. А. АКОПЯН, Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН

Поступила 8 июля 1981

Принята к печати 27 января 1983

Установлено наличие корреляции между содержанием Тс и величиной ультрафиолетового избытка в миридах. Рассматриваются возможные причины этой корреляции.

1. *Введение.* В настоящее время распространена теория химической эволюции галактик, объясняющая наблюдаемые различия химических составов звезд взаимодействием звезд и межзвездной среды. Полагают, что в результате термоядерного синтеза и различных ядерных реакций, происходящих в звездах, в них увеличивается количество тяжелых элементов и что эти элементы попадают в межзвездную среду. Считается, что звезды сконденсировались из межзвездной среды и поэтому их химический состав отражает химический состав межзвездной среды. В пользу такой схемы химической эволюции свидетельствует тот факт, что старое население нашей Галактики — звезды сферической подсистемы — содержит меньше металлов, чем более молодое население плоской составляющей.

В работе [1], однако, указано на трудности этой схемы звездной эволюции. Там отмечается, в частности, что в рамках вышеупомянутой схемы невозможно объяснить одинаковый характер относительного распределения различных тяжелых элементов в металло-дефицитных звездах сферической подсистемы, в звездах диска и спиралей. Как могло сохраниться это подобие в результате действий совершенно разных ядерных реакций, ответственных, как полагают, за образование тяжелых элементов? Непонятно также, почему образование металлов не сопровождается увеличением содержания гелия. Нет ответа на вопрос, почему образование металлов останавливается на той же стадии в таких различных объектах, как Магеллановы облака, наша Галактика и NGC 205? Наличие как богатых металлами, так и металло-дефицитных звезд в лишенной структуры эллиптической галактике NGC 205 показывает, что различия в содержании металлов не связаны с дифференциацией диска и гало. Добавим также, что для неизбежного в рассматриваемой схеме химической эволюции вывода о том,

что подавляющее большинство тяжелых элементов образовалось за первые  $(1 \div 3) \cdot 10^9$  лет эволюции Галактики, нет убедительных ни наблюдательных, ни теоретических оснований. Все эти соображения, с нашей точки зрения, являются весьма принципиальными.

Приведенные выше рассуждения показывают, что мы еще далеки от правильного представления о химической эволюции звезд и галактик. Чтобы выяснить, как на самом деле происходит эта эволюция, полезно обратиться к изучению звезд с аномалиями химического состава. С этой точки зрения большой интерес представляют звезды, содержащие нестабильный элемент Тс, наиболее долгоживущие изотопы которого имеют периоды полураспада  $2.12 \cdot 10^6$ ,  $1.5 \cdot 10^6$  и  $2.6 \cdot 10^6$  лет [2].

2. Анализ наблюдательных данных. В спектрах звезд линии Тс ( $\lambda\lambda 4238, 4262, 4297 \text{ \AA}$  и др.) отождествлены в [3—5]: В работе [6] приводятся данные относительно наличия Тс в ряде звезд поздних спектральных классов. При этом оказалось, что в звездах постоянного блеска Тс отсутствует, в то время, как у долгопериодических переменных Тс встречается очень часто.

С другой стороны, известно [7], что у долгопериодических переменных часто наблюдается избыток ультрафиолетового излучения. Естественно возникает вопрос, не связано ли наличие избыточного ультрафиолетового излучения с образованием Тс? Для выяснения этого вопроса мы обратились к анализу наблюдательных данных. С этой целью были использованы результаты работы [6], в которой приводятся данные относительно содержания Тс в спектрах примерно 90 звезд спектральных классов М, MS, S, SC и C, как постоянного, так и переменного блеска. Из этих звезд была отобрана для дальнейшего анализа группа долгопериодических переменных М-звезд, наиболее полно представленная в [6] (около 60 звезд). В работе [7] для 16 из этих звезд приводятся исправленные за межзвездное поглощение цвета  $(B-V)$  и  $(U-B)$  в максимуме блеска. Для однородности статистики мы ограничились рассмотрением именно этих звезд. В табл. 1 приводятся данные о наличии в их спектрах абсорбционной линии Тс [6]. В этой же таблице приводятся цвета  $(B-V)$  и  $(U-B)$  [7] и избытки цвета  $\delta(U-B)$ , которые были вычислены с учетом зависимости  $(U-B)_d/(B-V)_d$  для нормальных гигантов [8]. Принимая, что  $(B-V) = (B-V)_d$ , нами определены цвета  $(U-B)_d$ , соответствующие наблюдаемым значениям  $(B-V)$ , а затем вычислены избытки цвета  $\delta(U-B) = (U-B) - (U-B)_d$ . Воспользовавшись приведенными в табл. 1 данными, мы рассчитали коэффициент корреляции  $\rho$  и коэффициент регрессии  $r$  между величинами  $\delta(U-B)$  и интенсивности  $I$  линии  $\lambda 4297 \text{ \AA}$  Тс. Оказалось, что между этими величинами существует довольно отчетливая корреляция ( $r = -1.2$  и  $\rho = 0.79$ ), которая хорошо видна на рис. 1.

3. *Обсуждение.* Можно подумать, что наблюдаемая корреляция связана с увеличением ионизации и возбуждения в более горячих из рассмотренных выше звезд. Для проверки этого построим диаграмму  $I(Tc) - Sp$ , показанную на рис. 2. Из этого рисунка видно, что действительно  $I(Tc)$

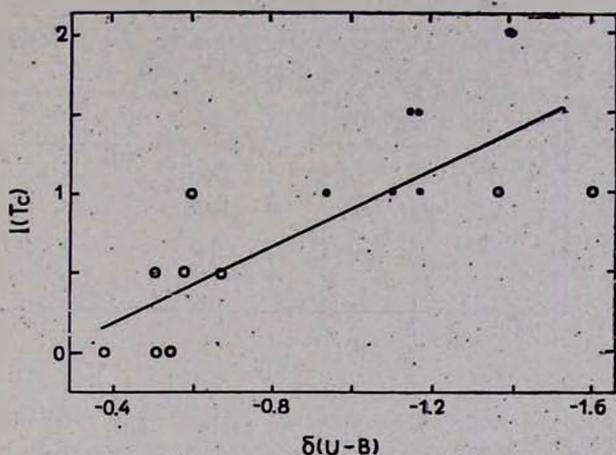


Рис. 1. Зависимость между интенсивностью линии  $\lambda 4297 \text{ \AA}$  Tc (в относительных единицах) и ультрафиолетовым избытком. Точками обозначены звезды, у которых уверенно отмечается Tc, а кружками — звезды, у которых присутствие Tc определяется неуверенно (согласно [6]).

в среднем увеличивается при переходе к звездам поздних спектральных классов. Однако, с другой стороны, расчеты по формулам Больцмана и Саха показывают, что отмеченное различие в интенсивности линии Tc может быть обусловлено только различием в содержании этого элемента, причем его содержание увеличивается при переходе к более поздним звездам с большим ультрафиолетовым избытком\*.

Что можно сказать о природе этой зависимости? По-видимому, ее объяснение следует искать в рамках одной из двух высказанных к настоящему времени гипотез о происхождении Tc. Напомним вкратце содержание этих гипотез.

Согласно первой из них, элементы s-процесса, в том числе и Tc, образуются в недрах звезд в результате ядерных реакций, связанных с термоядерным синтезом, и выносятся во внешние слои звезд конвекцией [9]. Трудностью для этой теории является наличие в звездах с повышенным

\* После представления данной работы к печати появилась работа [15], в которой наш вывод о незначительном влиянии различия физических условий в рассматриваемых звездах на интенсивность линии Tc подтвержден расчетами модели атмосфер.

содержанием элементов S-процесса также и лития — элемента быстро выгорающего при внутризвездных температурах. Примером может служить звезда T Sgr, содержащая как Tc, так и Li. Для объяснения присутствия Li в звездах с глубокой конвекцией в [9, 10] был предложен механизм рас-

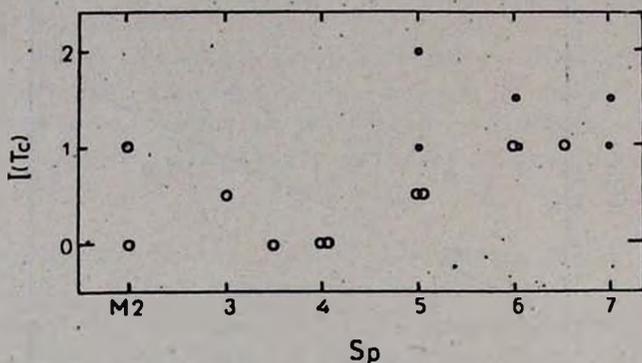


Рис. 2. Зависимость между интенсивностью линии  $\lambda 4297 \text{ \AA}$  Tc (в относительных единицах) и спектральным подклассом. Обозначения те же, что и на рис. 1.

пада  $\text{Be}^8$ , образовавшегося во внутренних слоях звезды и вынесенного во внешние слои конвекцией. Однако для этого механизма, как отмечается в [11], требуются весьма специфические условия: низкая плотность для предотвращения электронного захвата Be и высокая скорость конвекции.

Вторая точка зрения сводится к предположению о протекании ядерных реакций непосредственно на поверхности звезд [11—13]. Эта точка зрения имеет косвенное наблюдательное подтверждение: явные признаки ядерных реакций на поверхности Солнца. Однако эта гипотеза, в отличие от первой, теоретически не разработана. Отсутствие конкретной физической модели этих реакций побуждает обратиться к гипотезе сверхплотного дозвездного вещества [13]. Согласно [13], это вещество может распадаться на поверхности звезд, выделяя при этом огромную энергию, наблюдаемую в виде вспышек. Согласно [13], с этим процессом распада может быть связано и наличие Tc на поверхности звезд. Как это конкретно происходит — в [13] не указано.

4. *Заключение.* Наличие корреляции ультрафиолетового избытка с содержанием Tc дает основание сделать некоторые грубые подсчеты в рамках второй точки зрения. Согласно [14] поток в полосе U для M-гигантов составляет величину порядка  $10^8 \text{ эрг/см}^2\text{с}$ . Наблюдаемые избытки излучения составляют не менее 0.1 этой величины. Следовательно, избыточное излучение должно составлять величину более  $10^7 \text{ эрг/см}^2\text{с}$ . Учет возможного выделения энергии в ненаблюдаемых диапазонах только увеличит нашу

оценку полной выделяемой энергии. В течение какого времени наблюдается это избыточное излучение? Найденная корреляция дает основание допустить, что это время не может сильно отличаться по порядку величины от периода полураспада  $T_c$ . Действительно, если бы избыточное ультра-

Таблица 1

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
РАССМАТРИВАЕМЫХ ЗВЕЗД

Звезда	$B-V$	$U-B$	$(U-B)_0$	$\% (U-B)$	$I(T_c)$	$S_p$
R Aqr	1.4	0.4	1.57	-1.17	1.5	M7e
T Aqr	1.5	1.0	1.80	-0.80	0.0	M2e
R Boo	1.4	0.9	1.57	-0.67	0.5	M3c
R Cnc	1.4	0.4	1.57	-1.17	1.0	M6e
$\sigma$ Cet	1.4	1.0	1.57	-0.57	0.5	M5e
U Cet	1.2	0.7	1.30	-0.60	1.0	M2e
R CVn	1.4	0.2	1.57	-1.37	1.0	M6e
R Crv	1.5	0.7	1.80	-1.10	1.0	M5e
R Dra	1.2	0.7	1.20	-0.50	0.5	M5e
R Hya	1.6	0.7	1.85	-1.15	1.5	M6e
R LMi	1.3	0.5	1.44	-0.94	1.0	M7e
R Leo	1:2	-0.3	1.30	-1.60	1.0	M6.5e
U Ser	1:2	0.8	1.30	-0.50	0.0	M4e
R Tri	1.3	0.9	1.44	-0.54	0.0	M4e
R Tau	1.5	0.4	1.80	-1.40	2.0	M5e
R Vir	1.4	1.2	1.57	-0.37	0.0	M3.5e

фиолетовое излучение длилось бы существенно меньше периода полураспада, мы наблюдали бы большое количество звезд данного типа без ультрафиолетового избытка, содержащих  $T_c$ . В противоположном случае большой предполагаемой длительности ультрафиолетового излучения следовало бы ожидать наличия большого количества звезд рассматриваемого типа с ультрафиолетовым избытком без  $T_c$ . Так как ни тот, ни другой случай не соответствуют наблюдательным данным, примем, что длительность энерговыделения равна периоду полураспада  $T_c^{99}$ , который равен  $\tau = 6 \cdot 10^{12}$  с (учет двух более долгоживущих изотопов увеличит нашу оценку). Соответственно, получим оценку полной энергии  $E$ , выделившейся за это время:  $E \approx 10^{20}$  эрг/см<sup>2</sup>. Эта энергия выделяется, очевидно, не слишком глубоко в звезде, так как иначе произошла бы термализация и ультрафиолетовый избыток не наблюдался. Поэтому избыточное излучение может быть связано только с веществом атмосферы звезды, составляющим для звезд данного типа  $\sim 10^2$  г/см<sup>2</sup> [14]. Соответственно получаем

оценку энергосвыделения  $\epsilon \geq 10^{18}$  эрг/г. Полученное значение энергосвыделения мало отличается от соответствующего значения для случая распада радиоактивных ядер. Возможно, что это не простое совпадение, а некоторое свидетельство в пользу той точки зрения, что на поверхности рассматриваемых звезд действительно происходят процессы типа ядерных.

В заключение приносим благодарность академику В. А. Амбарцумяну за полезное обсуждение.

Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

## ON THE CORRELATION BETWEEN UV—EXCESS AND Tc CONTENT IN MIRA STARS

A. A. HAKOPIAN, Yu. K. MELIK-ALAVERDIAN

The correlation between content of Tc and the value of ultraviolet excess in Mira stars is found. The consideration of possible causes of this correlation is given.

### ЛИТЕРАТУРА

1. O. A. J. Unsold, *Science*, 163, 1915, 1969.
2. В. И. Спицын, А. Ф. Кузина, *Технеций*, Наука, М., 1981.
3. P. W. Merrill, *Ap. J.*, 116, 21, 1952.
4. P. W. Merrill, *IAU Transactions*, 8, 832, 1952.
5. P. W. Merrill, *Science*, 115, 484, 1952.
6. I. R. Little-Marentin, S. J. Little, *A. J.*, 84, 1375, 1979.
7. N. R. Evans, *A. J.*, 75, 636, 1970.
8. В. Страйжис, Многоцветная фотометрия звезд, изд. Мокслас, 1977.
9. A. G. W. Cameron, *Ap. J.*, 121, 144, 1955.
10. A. G. W. Cameron, W. A. Fowler, *Ap. J.*, 164, 111, 1971.
11. S. Torres-Petmbert, G. Wallerstein, J. G. Phillips, *Ap. J.*, 140, 1313, 1964.
12. A. A. Wyller, *Ap. J.*, 143, 828, 1966.
13. В. А. Амбарцумян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 13, 3, 1954.
14. К. У. Аллен, *Астрофизические величины*, Мир, М., 1977.
15. J. M. Scalo, G. E. Miller, *Ap. J.*, 246, 251, 1981.