

А. Н. ЗАРИТОВСКИЙ, М. А. МАРСАГИШВИЛИ, Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН

О ПРИРОДЕ УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД

Углеродные звезды-гиганты с повышенным содержанием углерода обладают рядом интересных и довольно необычных особенностей. Некоторые из этих свойств обсуждаются ниже.

Уже давно было замечено, что холодные углеродные звезды сильно концентрируются к галактической плоскости [1, 2]. Для проверки этого мы вычислили среднее угловое расстояние от галактической плоскости для углеродных звезд различных температурных классов [3] из наиболее полного списка С-звезд каталога [4]. Результаты расчетов представлены в табл. 1, а также на рис. 1 и подтверждают наличие сильной концентрации холодных углеродных звезд к галактической плоскости.

По своей концентрации к галактической плоскости углеродные звезды значительно превосходят другие красные гиганты. Так, по данным [10] полуширина слоя гигантов М5—М10 более чем в два раза превосходит полуширину слоя углеродных звезд. Различие становится еще более значительным, если сравнить полуширину слоев поздних гигантов К—М и углеродных неправильных переменных (Lb). В этом случае отношение полуширин достигает 10. Все эти данные, на наш взгляд, вызывают сомнение в отношении распространенного представления об углеродных звездах, как о поздних стадиях красных гигантов. Если бы С-звезды действительно представляли собой далеко эволюционировавшие красные гиганты, то следовало бы ожидать, скорее, обратное: С-звезды должны были бы располагаться в более обширной области вокруг галактической плоскости, чем красные гиганты нормального химсостава, так как нет оснований полагать, что быстро эволюционирующие и, следовательно, наиболее массивные звезды имеют наименьшую скорость удаления от галактической плоскости.

О молодости холодных углеродных звезд свидетельствует также предполагаемое наличие больших группировок облакообразных концентраций холодных углеродных звезд [5—7].

Углеродные звезды образуют, по-видимому, отдельные группы или пары. Так, в [8] выявлено более десятка групп, включающих 4—5 углеродных звезд на квадратный градус. Обсуждалось сходство групп С-звезд с О-ассоциациями и ставился вопрос о связи С-звезд с областями H I [9]. Правда, высказывается предположение, что группы С-звезд обусловлены окнами прозрачности в поглощающей среде. Такие же сомнения высказывались в свое время относительно О-ассоциаций, и вряд ли они справедливы.

Приведенные выше данные заставляют нас считать углеродные звезды находящимися скорее на ранних стадиях эволюции и допустить, что избыток углерода появляется на ранних стадиях эволюции красных гигантов. Однако такое предположение находится в явном противоречии с известной моделью, согласно которой углерод, имеющийся в большом количестве на поверхности углеродных звезд, образовался в недрах звезд в процессе термоядерного синтеза и затем оказался на поверхности в результате конвекции или сброса оболочки. Действи-

тельно, при этом мы должны допустить также, что на поздних стадиях эволюции внешние слои звезды вновь обогащаются водородом. Однако это невозможно, так как весь водород должен был превратиться в гелий, и областей, содержащих водород, в таких звездах нет. Следовательно, следует искать другой механизм образования углерода в звездах.

Как видно из рис. 1, угловое расстояние углеродных звезд от галактической плоскости увеличивается с увеличением эффективной тем-

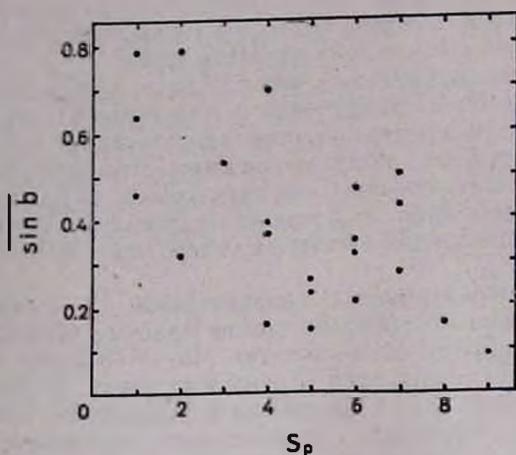


Рис. 1 Зависимость $\overline{\sin b}$ от спектрального класса. Цифры рядом с точками указывают класс содержания $\left[\frac{C}{O}\right]$ [3]

пературы звезды. По-видимому, это связано с уменьшением содержания металлов с удалением от галактической плоскости. Уменьшение непрозрачности и увеличение эффективной температуры из-за уменьшения содержания металлов дают нам основание для следующего рассуждения. Если углерод образовался, как это предполагается в упоминавшейся выше модели, в недрах проэволюционировавших звезд в термоядерных реакциях, то те звезды, которые содержат много углерода, должны иметь и высокий молекулярный вес. Следовательно, чем выше содержание углерода, тем больше должна быть непрозрачность и тем меньше эффективная температура. Однако, как видно из рис. 2, такой зависимости нет, во всяком случае, для холодных углеродных звезд. Это означает, что либо процесс образования углерода происходит только в поверхностных областях и не сопровождается увеличением молекулярного веса, во всяком случае, в звезде в целом, либо, наконец, есть какая-то причина, приводящая к обратному эффекту—уменьшению содержания углерода с уменьшением температуры. Такой причиной может быть, в принципе, фазовый переход между газообразным углеродом и графитовой пылью.

Попытаемся оценить роль этого эффекта. Для этого воспользуемся значениями температуры T_0 испарения графитовых пылинок [11]. Эти значения приводятся в табл. 2 для различных содержаний углерода. При этом температура испарения пыли будет уменьшаться, пока не

сравнивается с температурой пыли в атмосфере звезды, т. е. пока не наступит фазовое равновесие. То же самое произойдет и в том случае, когда температура пыли меньше температуры испарения пылинок; различие будет заключаться в том, что фазовое равновесие будет достигнуто путем образования пылинок, а не их испарения.

Приведенные выше рассуждения показывают, что наличие рассматриваемого фазового перехода приводит к уменьшению содержания газообразного углерода в атмосферах звезд с уменьшением их эффективной температуры. Для звезд постоянного блеска равновесное содержание углерода равно тому значению, при котором температура испарения пылинок соответствует температуре пыли.

Для переменных звезд, какими и являются большинство углеродных звезд, может оказаться так, что пылинки в атмосфере звезды могут существовать только в течение какой-то части цикла переменности. Относительная величина промежутка времени, в течение которого пылинки могут существовать в атмосфере звезды, может быть в первом приближении оценена по формуле:

Таблица 1

Зависимость $\sin b$ от спектрального подкласса

Sp	$\left[\frac{C}{O}\right]$				
	1	2	3	4	5
1	0,46	0,64	0,79	0,67	—
2	0,51	0,32	0,79	0,71	—
3	—	0,53	0,00	—	—
4	0,32	0,70	0,39	0,37	0,16
5	—	0,03	0,15	0,26	0,23
6	—	0,32	0,35	0,21	0,47
7	—	0,43	0,50	0,27	0,55
8	—	0,16	0,22	—	—
9	0,09	—	—	—	—
0	—	0,70	—	—	—

Зависимость $\sin b$ от спектрального подкласса

Таблица 2

Зависимость температуры испарения пылинок от содержания

$\left[\frac{C}{O}\right]$	1	2	3	4	5
T_0	1800	2250	2350	2450	2550

$$\delta = \min \left\{ \frac{T_0 - T_{\min} - 1}{T_{\max} - T_{\min}} \right\}$$

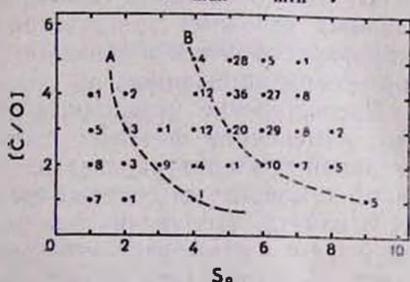


Рис. 2 Распределение звезд по температурным подклассам и подклассам содержания $\left[\frac{C}{O}\right]$ [3]. Цифры рядом с точками указывают количество звезд. Кривая А соответствует $\delta=0$, а кривая В— $\delta=1$

Зависимость δ от спектрального подкласса

Таблица 3

$\left[\frac{C}{O}\right]$	Sp	Зависимость δ от спектрального подкласса								
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1		0	0	0	0	0	0	0,2	0,6	1,0
2		0	0	0,1	0,3	0,6	0,9	1,0	1,0	1,0
3		0	0	0,3	0,5	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
4		0	0	0,5	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
5		0	0	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

где T_0 —температура испарения пыли при данном содержании углерода, T_{\max} и T_{\min} —температура пыли соответственно в максимуме и минимуме блеска. Принимая в качестве примера, что температура пыли равна эффективной температуре звезды и используя для эффективной температуры углеродных звезд значения [12], а также учитывая, что, согласно [12], $T_{\max} - T_{\min} \approx 500^\circ\text{K}$, находим значения δ , приведенные в табл. 3 (где спектральный класс относится к максимуму блеска).

Приведенные в табл. 3 результаты интересно сравнить с наблюдательными данными. С этой целью по данным [4] построена диаграмма «содержание углерода—спектральный класс» (рис. 2), на которой показаны также соответствующие зависимости, полученные решенном уравнении, для $\delta=0$ (кривая А) и $\delta=1$ (кривая В). Те звезды, которые на рис. 2 располагаются ниже кривой А, имеют эффективные температуры, превышающие даже в минимуме блеска температуру испарения пылинок. Звезды, расположенные на рис. 2 выше кривой В, напротив, даже в максимуме блеска имеют эффективные температуры меньше температуры испарения пылинок.

Как видно из рис. 2, в тех углеродных звездах, которые имеют сравнительно высокие эффективные температуры (С1, С2, С3), содержание углерода, как правило, не превосходит равновесное. Что же касается более холодных углеродных звезд (С5, С6 и т. д.), то у них содержание углерода, в среднем, уменьшается с уменьшением температуры, причем большинство холодных звезд располагается выше кривой В, которая соответствует равновесной зависимости при $\delta=1$. Это значит, что содержание газообразного углерода в атмосфере рассматриваемых холодных звезд установилось таким, что эффективная температура в процессе изменения блеска остается меньше, чем температура испарения пылинок.

Расположение углеродных звезд на рис. 2 объясняется, по-видимому, изменением фазового состояния углерода в ходе изменения эффективной температуры звезды. То обстоятельство, что наименьшее для данной температуры содержание углерода определяется кривой В, может означать, что увеличение содержания углерода осуществляется появлением в атмосфере этих звезд пылинок и их последующим испарением. Действительно, если бы в атмосферу этих звезд, как это обычно считают, поступал газообразный углерод, а не пыль, то при повышении содержания газообразного углерода выше определяемого кривой А значения, в течение какой-то части времени происходила бы конденсация пылинок и их рассеивание с поверхности звезды. Этот процесс должен препятствовать увеличению концентрации углерода выше уровня кривой А. Такое ограничение максимального содержания углерода наблюдается у горячих углеродных звезд (С1—С3) и совершенно не свойственно холодным углеродным звездам (рис. 2). Следовательно, приходится допустить, что в атмосфере холодных углеродных звезд действует отличный от конденсации источник пылинок.

Такое предположение, на первый взгляд, кажется невероятным. Однако оно не является, во всяком случае, новым. Аналогичное предположение приходится делать и для объяснения наблюдаемого уменьшения блеска звезд типа RCgV и «антивспыхивающих» звезд. Мы допускаем, что образование пыли может быть связано с распадом сверхплотного вещества—процессом, ответственным, согласно [13], за активность молодых звезд.

Перечисленные в данной заметке соображения указывают на то, что холодные углеродные звезды могут оказаться теми объектами, изу-

чение которых будет способствовать проверке и конкретизации гипотезы о природе активности, присущей молодым звездам.

Бюраканская астрофизическая обсерватория.
Абастуманская астрофизическая обсерватория
2 ноября 1981 г.

Ա. Ն. ԶԱՐԻՏՈՎՍԿԻ, Մ. Ա. ՄԱՐՍԱԳԻՇՎԻԼԻ, ԳՈՒ. Կ. ՄԵԼԻԿ-ԱԼԱՎԵՐԴԻԱՆ

ԱՄԽԱՄՆԱՅԻՆ ԱՍՏՂԵՐԻ ԲՆՈՒՅԹԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Բերված է ածխածնային աստղերի որոշ հատկանիշների վիճակագրական վերլուծությունը: Ենթադրվում է, որ ածխածնային աստղերը օրյեկտներ են՝ աստղային էվոլյուցիայի վաղ վիճակներին հատուկ ակտիվության ձևով:

A. N. ZARITOVSKIY, M. A. MARSAGISHVILI, Yu. K. MELIK-ALAVERDIAN.

ON THE NATURE OF CARBON STARS

Summary

Statistical analysis of some parameters of carbon stars is presented. The assumption is made, that carbon stars are young objects with form. of activity typical for early stars of stellar evolution.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. К. Алкснис, Я. Я. Икауниекс, Углеродные звезды, Рига, 1971.
2. W. C. Rufus, Publ. Univ. Obs. Michigan, 2, 103, 1916.
3. W. W. Morgan, P. C. Keenan, Ap. J., 94, 501, 1941.
4. C. B. Stephenson, Publ. Warner and Swasey Obs., 1, 4, 1973.
5. O. J. Lee, G. D. Gore, Th. I. Burtlett, Ann. Dearborn Obs. 5, 7, 1947.
6. R. F. Sauford, Ap. J., 99, 145, 1944.
7. C. B. Stephenson, Ap. J., 142, 712, 1965.
8. I. I. Nassau, V. M. Blanco, Ap. J., 125, 145, 1957.
9. S. Sharpless, Bull. Americ. Astron. Soc., 1, 62, 1969.
10. V. M. Blanco, Galactic Structure, 241, Chicago, 1965.
11. T. Tsuj, Ann. Tokyo Astron. Obs., 9, 1, 1964.
12. H. B. Richer, Ap. J., 167, 521, 1971.
13. B. A. Амбарцумян, Сообщ. Бюраканской обс., 13, 1, 1954.