

УДК 524.33:520.626

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ У Р СУГ

Г. А. ИСРАЕЛЯН, А. Г. НИКОГОСЯН

Поступила 15 июля 1992

Принята к печати 6 октября 1992

При тщательном анализе CCD-спектров Р Суг удалось отождествить 10 из 43 неотожествленных до сих пор линий. Большинство из них принадлежит многократно ионизованным атомам. Делается вывод о том, что в некоторых слоях звездного ветра существует аномальный нагрев. Приведены факты, свидетельствующие об изменении степени ионизации звездного ветра.

1. *Введение.* Звезда Р Суг привлекает внимание астрономов почти 400 лет. С тех пор, как в 1600 г. ее открыл Блау [1], исследованию Р Суг посвящено много работ, обзор которых можно найти в [2, 3]. Ее спектр изучен во всем доступном современным приемникам диапазоне электромагнитных волн. Несмотря на это, многие вопросы, относящиеся к этой звезде, остаются неразрешенными. Все еще неуверенно определены терминальная скорость ($V_{\infty} = 200$ км/с согласно [4, 5], 300 км/с по [6], 400 км/с по [3]) и эффективная температура ($T_{\text{eff}} = 19300$ К [7], 12200 К [3]). Неизвестен эволюционный статус звезды, а также механизм образования дискретных абсорбционных компонентов. Неточности в определении основных параметров звезды, таких, как V_{∞} , M , R , T_{eff} , $\dot{M}$, не позволяют построить адекватную теоретическую модель оболочки и ветра.

Важно отметить, что Р Суг является пекулярной звездой, поэтому к ней неприменимы стандартные методы определения указанных параметров, основанные на использовании статистического материала. Печулярными можно считать следующие свойства звезды: а) интегральному потоку звезды соответствует $T_{\text{eff}} = 1.22 \cdot 10^4$ К, однако ее спектральный класс—В1 Ia [3]; б) несмотря на ранний спектральный класс, в спектре отсутствуют сильные линии ионов CIV, NV, OIV; в) будучи до этого невидимой, звезда в 1600 г. внезапно увеличила блеск до 3^m, однако остатки этого взрыва до сих пор не обнаружены; г) терминальная ско-

рость V в 7—8 раз меньше, а темп потери массы $\dot{M}$ в 3—10 раз больше, чем у сверхгигантов спектрального класса В1.

2. *Спектральные изменения у P Cyg.* Известно, что P Cyg принадлежит к недавно выделенному классу яркоглубких переменных (LBV) звезд [2], которые квазипериодически приближаются к пределу светимости Хемфри-Девидсона [8]. При фотометрических изменениях болометрическая светимость LBV-звезд остается неизменной. Спектральные изменения были найдены у всех LBV-звезд, за исключением P Cyg [2]. Тем не менее, сравнивая CCD-спектры P Cyg с дисперсией 0.8 Å/мм, полученные Шталем и др. в 1990 г. [9], со спектрами Джонсона 1977 г. (дисперсия 6 Å/мм) [10], нам удалось выявить некоторые изменения. Так, например, интенсивные линии Fe II 4433, 4840, 4868 Å, присутствовавшие в спектрах 1977 г., исчезли. В то же время слабая линия N II 4802 Å осталась неизменной. Линии Fe II 5991, 5988 Å в спектрах 1977 г. были более интенсивными по сравнению с линией Fe III 5999 Å. Последняя присутствует в спектре 1990 г., в то время, как первые две линии не наблюдаются. Говоря о линиях Fe вообще, следует отметить, что почти все линии Fe II, наблюдавшиеся в 1977 г., в последнем спектре отсутствуют, а линии Fe III стали более интенсивными. Такого рода примеров можно привести много. Изменение степени ионизации в оболочке, по-видимому, можно объяснить изменением плотности звездного ветра и поверхностной температуры [7]. Тогда можно утверждать, что спектры 1977 г. и 1990 г. относятся к двум разным состояниям звезды с различным темпом потери массы. На это указывают также изменения крыльев балмеровских линий [11].

Представляет особый интерес проблема неотожествленных эмиссионных линий. Джонсон насчитал около 30 таких линий [10]. В спектре 1990 г. некоторые из них исчезли, и вместе с тем появились новые. В общем спектре мы насчитали 43 неотожествленные линии, из которых 10 нам удалось отождествить. Линии [Ni IV] являются самыми слабыми в мультиплетах (см. табл. 1). Некоторые из этих неотожествленных линий присутствуют в спектрах таких объектов, как ScoX-1, RR Tel, γ Cas, оболочки которых характеризуются аномально высокой степенью возбуждения.

3. *Обсуждение.* Можно указать на две причины присутствия в спектрах неотожествленных линий. Либо это известные слабые линии металлов, однако сильно смещенные от своего положения в системе отсчета звезды, либо эти линии принадлежат атомам многократно ионизованных металлов. Рассмотрим первую из указанных возможностей. Если неотожествленные линии, находящиеся в диапазоне 5000—8000 Å,

образуются в облаках оболочки звезды, движущихся со скоростью ~ 200 км/с, то ожидаемое смещение линий будет $\Delta\lambda \sim 3-5$ Å. Облака с более высокими скоростями не наблюдаются, а наши попытки отождествить эти линии, предполагая, что они смещены на 3—5 Å, не увенчались успехом. Из линий редких элементов нам удалось отождествить лишь линию Cu I 5218 Å.

Таблица 1

СПИСОК НЕОТОЖДЕСТВЛЕННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ P CYG

Линия	Отождествление	Линия	Отождествление	Линия	Отождествление	Линия	Отождествление
4843		5363	[Ni IV]	6047		6694	
4940		5368		6053		6710	
5033	[Fe IV]	5453		6106		6835	
5040	[Ni IV]	5613		6118		6890	
5032		5623		6169		7100	
5122		5639		6173	N II	7400	
5160		5647		6178		7500	
5218	Cu I	5572		6244		8110	
5234	[Fe IV]	5848	Ni I	6267			
5250		5853		6270			
5289	[Ni IV]	5959	[Ni IV]	6464	N III		
5310		6034					

В таблице, составленной на основе данных Теккеря [12], указаны несколько линий, которые удалось отождествить с запрещенными линиями ионов Ni IV и Fe IV. Присутствие линий столь высокоионизованных атомов указывает на существование в оболочке P Cyg горячих областей с $T_e \sim 10^5$ К. Такой вывод, вообще говоря, не является неожиданным, поскольку известно много сверхгигантов ранних типов, в оболочках которых имеются области с аномальным нагревом. Об этом свидетельствует и тот факт, что многие неотожествленные линии в спектрах P Cyg, ScoX-1, RR Tel и γ Cas одни и те же.

Одним из возможных механизмов аномального нагрева является диссипация ударных волн. О генерации последних можно судить по коротковолновым абсорбционным компонентам балмеровских линий, если принять, что они образуются за фронтом ударной волны. При появлении этим компонентам соответствуют $V_0 \sim 0.4-0.5V$. Однако затем

скорости растут и достигают значений порядка 200—220 км/с, при ускорении $a=0.6$ см/с². Временная эволюция этих компонентов у P Cyg, как было показано в [13], хорошо описывается формулой $M=\text{const} \cdot \rho(r)^{-1/\alpha}$ [14], где M представляет собой отношение скорости ударной волны к скорости звука в среде (число Маха), $\alpha=4.9$, а зависимость $\rho(r)$ берется из модели Полдраха и Пулса [7]. Кастором недавно было показано [15], что в оболочках звезд ранних типов неустойчивости, обусловленные излучением, могут порождать ударные волны и самовозбуждающиеся осцилляции.

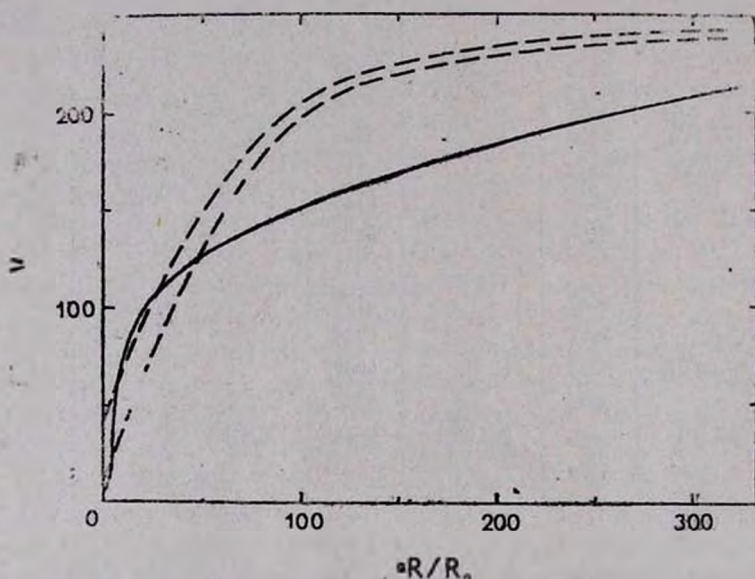


Рис. 1. Зависимость скорости от расстояния для плотных облаков, определенная по бальмеровским дискретным коротковолновым компонентам (пунктирная линия) и для спокойного ветра P Cyg (сплошная линия).

На рис. 1 показаны законы изменения скоростей бальмеровских дискретных коротковолновых компонентов, образующихся в плотных облаках [16], и спокойного ветра P Cyg [7]. Из рисунка видно, что плотные неоднородности ветра (облака), где образуются эти компоненты, имеют большее ускорение, чем разреженный звездный ветер. Следовательно, они ускоряются не радиативным давлением в оптически толстых линиях в бальмеровском континууме, а другим механизмом.

Авторы признательны проф. А. Андерхилл за полезные советы: и др-у О. Штальку за любезное предоставление CCD-спектров.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

SPECTRAL VARIATIONS OF P CYG

G. L. ISRAELIAN, A. G. NIKOSHOSSIAN

A comprehensive analysis of the P Cyg spectra has allowed to identify 10 from 43 weak hitherto unidentified spectral lines. The majority belongs to multi-ionized atoms of metal. Therefore an anomal heating at some layers of the stellar wind can be expected to occur. The facts, showing the variation of ionization degree are presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. *M. de Groot*, Bull. Astron. Inst. Netherl., 20, 225, 1969.
2. *H. J. G. L. M. Lamers*, in Proc. of Workshop on 'Instabilities in Early Type Stars', Ed. Lamers and de Loore, Reidel Dordrecht, 1987.
3. *A. B. Underhill, V. Doazan*, B-stars With and Without Emission lines, NASA SP-456, 1982.
4. *Г. Л. Израэлян, М. де Грут*, Астрон. циркуляр, № 1548, 15, 1991.
5. *H. J. G. L. M. Lamers, P. Korvuar, A. Cassatella*, Astron. Astrophys., 149, 29, 1985.
6. *A. Cassatella, F. Bessckmans, P. Benvenuti, J. Claval, A. Heck, H. J. G. L. M. Lamers, F. Machetto, M. Panston, P. L. Selvelli, D. Stizkland*, Astron. Astrophys., 79, 223, 1979.
7. *A. W. A. Powladrack, J. Puls*, Astron. Astrophys., 237, 403, 1980.
8. *R. M. Humphreys, K. Davidson*, Astrophys. J., 232, 403, 1990.
9. *O. Stahl, H. Mandel, Th. Szeifert, B. Wolf, F. Zhzo*, Astron. Astrophys., 244, 467, 1991.
10. *H. L. Johnson, W. Z. Wisniewski, T. D. Fay*, Ruv. Mex. Astron. y Astrofis., 2, 4, 273, 1978.
11. *Г. Л. Израэлян, М. де Грут*, Астрофизика, 34, 467, 1991.
12. *A. D. Thackeray*, Mem. Roy. Astron. Soc., 83 1, 1977.
13. *G. L. Israeliian*, in Proc. of IAU Coll. № 131. on „Nonlinear Oscillations of Stars“, Ed. Takeuti and Buchler, Mito, 1992.
14. *J. I. Castor*, in proc. of Workshop on 'Instabilities in Early Type Stars', Ed. Lamers and de Loore, Reidel Dordrecht, 1987.
15. *J. I. Castor*, in N A T O Workshop on „Stellar Atmospheres“, Ed. Hubeny and Crivellari, Trieste, 1990.
16. *R. H. van Gent, H. J. G. L. M. Lamers*, Astron. Astrophys, 158, 335, 1985.