

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 17

МАЙ, 1981

ВЫПУСК 2

УДК 524.33+524.352

БАЛЬМЕРОВСКИЕ ДЕКРЕМЕНТЫ ЗВЕЗД ТИПА Т ТЕЛЬЦА

Н. А. КАТЫШЕВА

Поступила 17 октября 1980

Принята к печати 29 марта 1981

Проведен анализ бальмеровских декрементов (б. д.) звезд типа Т Тельца из нового каталога Кохена и Кухи [15]. Найдена тенденция к смещению средних б. д. с переходом от звезд спектральных классов G5—K5 к звездам K5—M5. Проводится сравнение наблюдаемых б. д. [15] с теоретическими, вычисленными на основе метода Соболева [17]. Показано, что по сравнению со звездами спектральных классов G5—K5 у звезд классов K5—M5 меньший вклад в общее излучение дает оболочка и большая доля эмиссии возникает в плотном газе у поверхности звезды.

1. *Введение.* В настоящее время существуют три группы моделей эмиссионных областей звезд типа Т Тельца, различающихся как по кинематике газа, так и по его физическим параметрам: модель хромосферного типа [1—3], звездный ветер [4—7] и аккреция вещества на поверхность звезды из остатков протозвездного облака [8]. Последний тип движений предполагается у звезд типа YY Ori, обладающих характерными обратными P Cug профилями [9, 10].

В связи с указанной неоднозначностью важное значение имеет определение параметров излучающего газа из тщательного анализа основных эмиссионных линий, например, бальмеровской серии водорода. С этой целью в КрАО были выполнены подробные расчеты [11, 12] относительных интенсивностей водородных линий для общего случая ударных и радиативных ионизации и возбуждения атомов и исследована зависимость бальмеровских декрементов (б. д.) от физических параметров излучающего газа. На основании этих расчетов Гринин [13, 14] проанализировал б. д. совокупности звезд типа Т Тельца из нового каталога Кохена и Кухи [15], спектральные классы которых заключены в интервале от G5 до K5. Ока-

залось, что примерно у 2/3 звезд линии водорода возникают в среде с параметрами, характерными для звездных оболочек: $n_e \sim 10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $W = 10^{-2}$. Остальные наблюдаемые б. д. находятся в зоне «избегания» теоретических треков для однородных моделей и отражают реально существующую неоднородность физических условий в эмиссионных областях: наличие газа вблизи поверхности звезды и разреженной протяженной оболочки (см. также [15]). Сравнение теоретических и наблюдаемых б. д. показало, что эмиссия хромосферного происхождения в чистом виде не характерна для большинства звезд типа Т Тельца.

В настоящей работе, являющейся продолжением [12—14], проводится сравнение относительных интенсивностей линий бальмеровской серии, вычисленных на основе вероятностного метода Соболева [17], и совокупности наблюдаемых б. д. звезд типа Т Тельца из каталога Кохена и Кухи [15] со спектральными классами между K5 и M5.

2. Анализ наблюдательных данных. На рис. 1 представлены значения б. д. для звезд типа Т Тельца различных спектральных классов из [15], исправленные за покраснение по данным этой же работы. Крестиками на рис. 1 обозначены б. д. для звезд со спектральными классами от G5 до K5, точками — от K5 до M5. Для звезд более ранних спектральных классов средние значения относительных интенсивностей равны $\langle I_{H_2}/I_{H_3} \rangle = 6.9 \pm 3.2$, $\langle I_{H_1}/I_{H_3} \rangle = 0.4 \pm 0.2$, а для звезд более поздних $\langle I_{H_2}/I_{H_3} \rangle = 5.2 \pm 2.5$, $\langle I_{H_1}/I_{H_3} \rangle = 0.6 \pm 0.2$. Средние значения обозначены на рисунке квадратами.

Статистический анализ показал, что различие средних значений двух совокупностей звезд при данных дисперсиях реально с доверительной вероятностью 0.99.

Сдвиг средних б. д. двух групп звезд наводит на мысль, что изменение б. д. связано с наличием околозвездной пылевой оболочки, более мощной у звезд более ранних спектральных классов. Если принять межзвездный закон поглощения в оболочке, то для исправленных за покраснение в оболочке интенсивностей линий имеем

$$\lg(I_{H_2}/I_{H_3})_{\text{испр.}} = \lg(I_{H_2}/I_{H_3}) - 0.140 A_V,$$

$$\lg(I_{H_1}/I_{H_3})_{\text{испр.}} = \lg(I_{H_1}/I_{H_3}) + 0.064 A_V,$$

где A_V — ослабление света в полосе V^* в звездных величинах. Согласно этим формулам точки на рис. 1 должны сдвигаться влево и вверх, что указано стрелками для точек, соответствующих средним значениям. В данном случае по смещению б. д. двух групп звезд можно найти разность величин A_V для этих групп, равную $\Delta A_V = 0.9$.

Вопрос о существовании околозвездных пылевых оболочек очень сложен и до сих пор не решен [15, 18]. В 1974 г. Кухи [19] пришел к выводу о том, что существует связь между A_V и спектральным классом звезды (у звезд более поздних классов), свидетельствующая в пользу околозвездных оболочек. Найденное выше смещение согласуется с этим выводом.

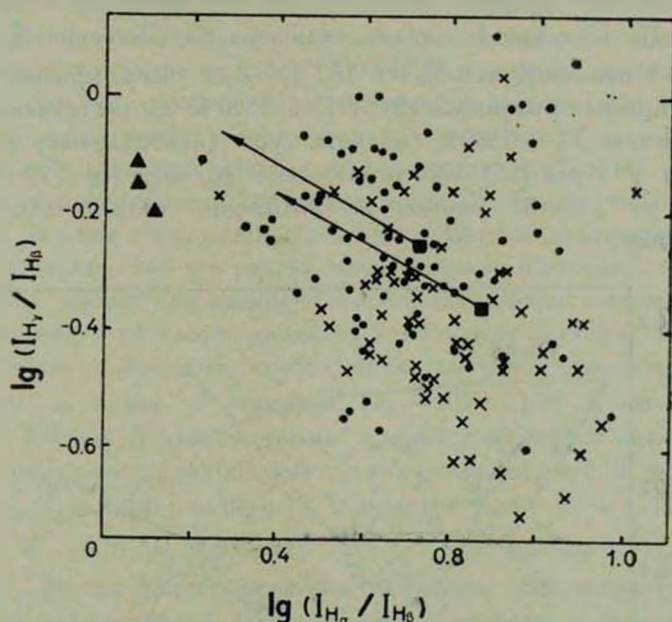


Рис. 1. ● — бальмеровские декременты в спектрах звезд типа Т Тельца спектральных классов K5—M5 по данным каталога Кохена и Кухи [15]. × — то же самое для звезд спектральных классов G5—K5. ■ — средние б. д. для двух совокупностей звезд: слева б. д. совокупности звезд K5—M5; справа — G5—K5. Стрелками указано направление сдвига б. д. вследствие межзвездного покраснения. ▲ — б. д. в спектрах вспыхивающих звезд в спокойном состоянии (по данным Гершберга [22] и Гринстейна [23]).

Однако в недавно опубликованной работе [15] Кохен и Кухи пишут, что новые данные не подтверждают вывода работы [19] о связи между A_V и спектральным классом: « A_V уменьшается от 0 до 3.5 звездных величин для одного и того же спектрального класса для много большего числа звезд», чем в [19]. Если это так, то приходим к заключению, что сдвиг б. д. при переходе от звезд более ранних спектральных классов к звездам более поздних классов вызван различием физических условий в эмиссионных областях звезд типа Т Тельца разных спектральных классов.

3. Сравнение теоретических и наблюдаемых бальмеровских декрементов. На рис. 2 изображены наблюдаемые б. д. для звезд типа Т Тельца

спектральных классов K5—M5 и теоретические кривые, вычисленные на основании вероятностного метода Соболева [17] с учетом всех существенных процессов возбуждений и ионизаций (см. [11, 12]). Каждой линии соответствуют определенные значения электронной температуры T_e , температуры звезды T_* , коэффициента дилуции W и электронной концентрации n_e . Вдоль кривой меняется значение вероятности выхода кванта из среды в линии L_α , т. е. величины β_{12}^0 (значения β_{12}^0 указаны сбоку: 5—5 означает, что $\beta_{12}^0 = 5 \cdot 10^{-5}$). Для всех кривых значения T_e и T_* приняты равными 15 000 К и 3500 К соответственно. Температура звезды $T_* = 3500$ К соответствует спектральному классу M2 по Кохену и Кухи [15]. Как показывают расчеты (см. [12—14]) параметры T_e и T_* слабо влияют на положение теоретических кривых на диаграмме.

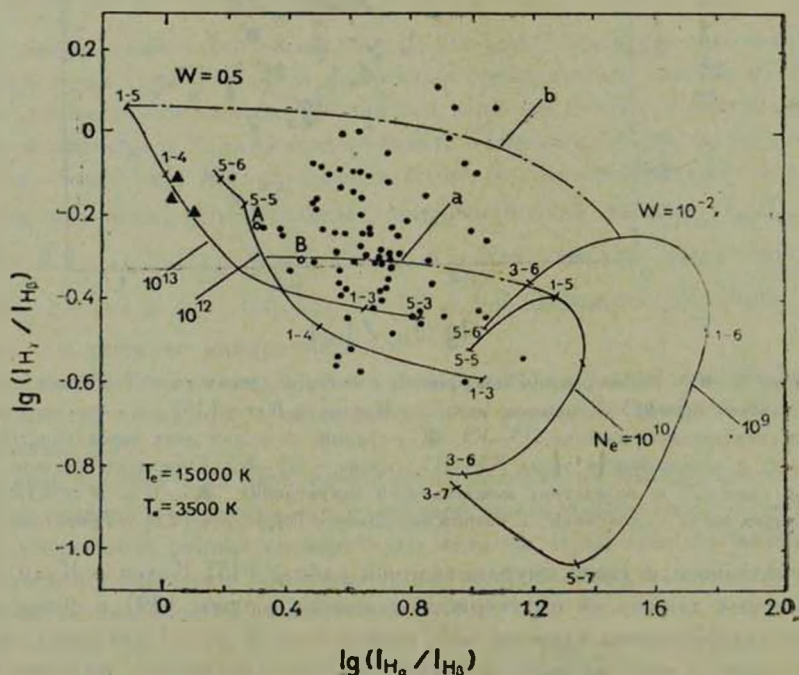


Рис. 2. ● — б. д. совокупности звезд спектральных классов K5—M5 по данным [15], ○ — б. д. в случае А и В планетарной туманности. Сплошные линии представляют теоретические б. д. для ряда значений параметров, штрих — пунктирные кривые соответствуют линейной комбинации зон с различной плотностью. ▲ — то же, что и на рис. 1.

На рисунке представлены два семейства кривых, отвечающие двум различным моделям: модели хромосферного типа (с высокой плотностью)

с $W = 0.5$, $n_e = 10^{12} - 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и оболочечной модели (с низкой плотностью) с $W = 10^{-2}$, $n_e = 10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

Из рисунка видно, что б. д. большинства звезд лежат левее треков, соответствующих условиям оболочек, и выше хромосферных кривых. Примерно 1/4 часть точек лежит вдоль кривых с $W = 0.5$ и $n_e = 10^{12} - 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Из сравнения теоретических и наблюдаемых б. д. следует, что эмиссия чисто хромосферного происхождения присуща лишь небольшому числу звезд типа Т Тельца, что подтверждает вывод работ [13, 14, 16]. В то же время, в отличие от работ [13, 14], где основная часть б. д. группируется в области треков, соответствующих однородным оболочкам, большинство точек лежит в зоне, промежуточной между значениями высокой и низкой плотностей газа. Расчеты показывают [12—14], что в этой области отсутствуют кривые, соответствующие однородным моделям. Следовательно, эмиссии образуются как в зоне с высокой плотностью, вблизи поверхности звезды, так и в разреженных внешних областях.

На рис. 2 кривые, соединяющие теоретические треки с высокой и низкой плотностями, — результат линейной комбинации двух зон. Видно, что почти все точки на диаграмме соответствуют линейной суперпозиции б. д., возникающих в зонах с высокой ($n_e \sim 10^{12} - 10^{13} \text{ см}^{-3}$) и низкой ($n_e \sim 10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$) электронными концентрациями. Кривая (а) получена в результате комбинации зон с параметрами $W = 0.5$, $n_e = 10^{12} \text{ см}^{-3}$, $\beta_{12}^0 = 8 \cdot 10^{-5}$ и $W = 10^{-2}$, $n_e = 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $\beta_{12}^0 = 1 \cdot 10^{-5}$, кривая (б) — $W = 0.5$, $n_e = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $\beta_{12}^0 = 1 \cdot 10^{-5}$ и $W = 10^{-2}$, $n_e = 10^9$, $\beta_{12}^0 = 2 \cdot 10^{-6}$. Вдоль кривых меняется величина, характеризующая относительный вклад каждой из зон в общую эмиссию в линиях.

Отметим, что б. д., которые нельзя получить линейной комбинацией зон с высокой и низкой плотностями газа, можно объяснить, предположив, что существует радиативное взаимодействие между этими зонами [20].

Происхождение эмиссии как хромосферного типа, так и оболочечного может быть двояким. В хромосферном случае она может быть связана с активными областями на поверхности звезды, подобными активным областям на Солнце, либо с излучением газа за фронтом ударной волны при аккреции газа на звезду. В [13, 14] приведены свидетельства о возможном сосуществовании аккреции во внутренних слоях околосредней оболочки с оттоком газа на ее периферии. Возможными представителями таких систем являются звезды DM Tau [18] и RW Aur [21]. Излучение оболочечного типа может возникать в газе, оттекающем от звезды (модель звездного ветра), а при аккреции вещества — в протяженной оболочке до пересечения фронта ударной волны.

4. *Обсуждение.* Результаты, полученные в [13, 14] и здесь, показывают, что у звезд типа Т Тельца эмиссионные линии водорода могут возникать в протяженных оболочках, в условиях хромосферного типа, а также одновременно в двух зонах. Этот вывод отражает сложность физических процессов, протекающих в эмиссионных областях рассматриваемых звезд.

В данной работе выяснено, что имеется существенное различие между условиями образования линий у двух групп звезд типа Т Тельца. Для первой группы звезд, изученной в [13, 14], характерна в основном эмиссия оболочечного типа, а излучение хромосферного типа дает меньший вклад в наблюдаемую эмиссию. Звезды данной группы, видимо, имеют мощные излучающие оболочки.

Среди звезд K5—M5 есть такие, у которых линии водорода в основном образуются в плотных, близких к звезде слоях. Остальные б. д. лежат в области, соответствующей комбинации двух зон. Вероятно, у этих звезд менее мощные оболочки, чем у звезд первой группы, и большую роль играет «хромосферное» излучение.

Для сравнения на рис. 1, 2 нанесены б. д. вспыхивающих звезд в спокойном состоянии (они отмечены треугольниками) по данным Гершберга [22] и Гринштейна [23]. Эти точки находятся в области трека с $n_e = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, соответствующего излучению хромосферного типа.

Из сопоставления б. д. звезд типа Т Тельца разных спектральных классов и вспыхивающих звезд видно, что при переходе к звездам меньшей светимости увеличивается роль хромосферного излучения. Если принять предположение об эволюционной последовательности «фаза Т Тельца → фаза UV Кита» [24—27], то получаем, что звезды типа Т Тельца малых масс, превращаясь во вспыхивающие звезды, постепенно теряют оболочки и к началу стадии UV Кита в качестве эмиссионной области обладают лишь хромосферой.

В заключение автор выражает благодарность В. П. Гринину за советы и замечания.

Ленинградский государственный
университет

THE BALMER DECREMENTS OF T TAU STARS

N. A. KATYSHEVA

The analysis of the Balmer decrements (b.d.) of T Tau stars from the new catalogue by Cohen and Kuhi [15] has been carried out. The tendency to the displacement of average b.d. from stars with spectral classes G5—K5 to K5—M5 stars is obtained. The comparison of obser-

ved b.d. [15] with the theoretical ones calculated on the basis of Sobolev's method [17] has been made. It is shown that for stars with spectral classes K5—M5 in comparison with G5—K5 stars, the envelope gives smaller contribution to general emission and the largest part of emission originates in dense gas near the surface of the star.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. E. Gershberg, L. Luud, Preprint No-7, Tartu Obs., 1975.
2. S. Dumon, N. Heldman, L. V. Kuhl, R. N. Thomas, *Astron. Astrophys.*, 29, 199, 1973.
3. Р. Е. Гершберг, П. П. Петров, *Письма АЖ*, 2, 499, 1976.
4. L. V. Kuhl, *Ap. J.*, 140, 1409, 1964.
5. L. A. Wilson, *Ap. J.*, 197, 365, 1975.
6. Г. С. Бисноватый-Козан, С. А. Ламзин, *Астрон. ж.*, 53, 742, 1976.
7. Г. С. Бисноватый-Козан, С. А. Ламзин, *Письма АЖ*, 6, 34, 1980.
8. R. K. Ulrich, *Ap. J.*, 210, 377, 1976.
9. M. F. Walker, *Ap. J.*, 175, 89, 1975.
10. L. V. Kuhl, *P. A. S. P.*, 87, 502, 1975.
11. В. П. Гринин, Н. А. Катышева, *Изв. Крымской обс.*, 62, 1980.
12. В. П. Гринин, Н. А. Катышева, *Изв. Крымской обс.*, 62, 1980.
13. В. П. Гринин, *Астрофизика*, 16, 241, 1980.
14. В. П. Гринин, в сб. «Вспыхивающие звезды, фуоры и объекты Хербига—Аро», под ред. Л. В. Мирзояна, Ереван, 1980, стр. 162.
15. M. Cohen, L. V. Kuhl, *Ap. J., Suppl. ser.*, 41, 743, 1979.
16. L. E. Cram, *Ap. J.*, 234, 949, 1979.
17. В. В. Соболев, *Движущиеся оболочки звезд*, Изд. ЛГУ, Ленинград, 1947.
18. A. E. Rydgren, S. E. Strom, K. M. Strom, *Ap. J., Suppl. ser.*, 30, 307, 1976.
19. L. V. Kuhl, *Astron. Astrophys., Suppl. ser.*, 15, 47, 1974.
20. В. П. Гринин, *Изв. Крымской обс.*, 62, 1980.
21. П. П. Петров, в сб. «Вспыхивающие звезды, фуоры и объекты Хербига—Аро», под ред. Л. В. Мирзояна, Ереван, 1980, стр. 93.
22. Р. Е. Гершберг, *Астрон. ж.*, 51, 552, 1974.
23. J. L. Greenstein, *P. A. S. P.*, 89, 304, 1977.
24. G. Haro, in "Symposium on Stellar Evolution", La Plata, 1962, p. 37.
25. G. Haro, in "Nebulae and Interstellar Matter", v. 7, 1968, p. 141.
26. В. А. Амбарцумян, *Астрофизика*, 6, 31, 1970.
27. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, в сб. «Вспыхивающие звезды», под ред. Л. В. Мирзояна, Ереван, 1977, стр. 63.