

УДК 524.33—352

Изменение эквивалентных ширин эмиссионных линий при некоторых источниках переменности в нестационарных объектах

У. Ш. Баязитов

Приводятся простые соотношения между блеском звезды и эквивалентной шириной эмиссионных линий в случаях, когда переменность звезды вызвана либо фотосферой, либо затмевающей околозвездной средой. На основе анализа этих соотношений предлагаются источники переменности для уникальной переменной V348 Sgr и двух звезд типа T Tau: CO Ori и RW Aur.

EQUIVALENT WIDTH CHANGES OF EMISSION LINES IN NON-STABLE OBJECTS IN THE PRESENCE OF SOME SOURCES OF THEIR VARIABILITY, by Bayazitov U. Sh.— Simple relationships between stellar brightness and equivalent widths of emission lines are presented when variability of a star is due to the photosphere or variable circumstellar extinction. On the basis of these relationships an attempt is made to derive sources of variability for one unique variable V348 Sgr and two T Tauri stars, CO Ori and RW Aur.

Эмиссионные линии наблюдаются в спектрах физических переменных звезд разных типов, в частности, иррегулярных объектов типа T Tau, RCB, так называемых «антивспыхивающих» звезд и других, природа переменности которых в большинстве случаев все еще не ясна. В некоторых случаях по данным анализа связи между интенсивностью эмиссионных линий и блеском звезды можно судить об источниках переменности таких звезд. Мы попытались показать, как изменяются эквивалентные ширины этих линий в двух простых случаях: источник переменности связан с фотосферой или с околозвездной затмевающей средой. Зная поток в непрерывном спектре в области эмиссионной линии, можно по известной эквивалентной ширине ее найти поток в линии в абсолютных единицах. Поэтому при исследовании связи интенсивности линии с потоком в непрерывном спектре, выраженным в звездных величинах, не имеет существенного значения, используем ли мы относительные потоки (эквивалентные ширины) или абсолютные потоки в эмиссионных линиях.

Выражение для эквивалентной ширины эмиссионной линии можно представить в виде

$$W = \int_0^{\infty} (H_{\lambda}^{l+c}/H_{\lambda}^c - 1) d\lambda = \int_0^{\infty} (H_{\lambda}^l/H_{\lambda}^c) d\lambda, \quad (1)$$

где H_{λ}^c — поток в непрерывном спектре; H_{λ}^l — поток в эмиссионной линии; $H_{\lambda}^{l+c} = H_{\lambda}^l + H_{\lambda}^c$.

Предположим, что переменность звезды вызвана изменениями излучения фотосферы (пульсация, появление пятен и др.) при постоянном излучении в линии (т. е. H_{λ}^c постоянно, а H_{λ}^l переменна). Пусть в моменты t_i и t_j потоки в непрерывном спектре равны соответственно H_{λ}^c и H_{λ}^c . Тогда, в соответствии с (1), для отношения эквивалентных ширин линии получим

$$W_i/W_j = \int_0^{\infty} (H_{\lambda}^l/H_{\lambda}^c) d\lambda / \int_0^{\infty} (H_{\lambda}^l/H_{\lambda}^c) d\lambda. \quad (2)$$

Поток в непрерывном спектре в пределах линии можно считать не зависящим от длины волны, поэтому

$$W_i/W_j = H_{\lambda_i}^c/H_{\lambda_i}^c, \quad (3)$$

или в звездных величинах

$$\Delta m_{\lambda ij} = -2.5 \lg (W_i/W_j). \quad (4)$$

Таким образом, при ослаблении фотосферного излучения эквивалентная ширина эмиссионной линии увеличивается, а при усилении — уменьшается в соответствии с соотношениями (3) и (4).

Если можно фотометрировать свободный от эмиссионных линий участок непрерывного спектра вблизи эмиссионной линии с $H_{\lambda}^t = \text{const}$ и зависимость между Δm_{λ} и W для всех таких линий выражается в виде (4), то можно утверждать, что механизм переменности связан с фотосферой звезды. Для эмиссионных линий, возникающих близко к фотосфере, могут наблюдаться отклонения от соотношения (4) (воздействие фотосферы на внешние слои). Это означает, что $H_{\lambda}^t = \text{var}$ и $H_{\lambda}^c = \text{var}$ или $H_{\lambda}^t = \text{var}$ и $H_{\lambda}^c = \text{const}$. В последнем случае связь между эквивалентными ширинами и потоками в линиях будет

$$W_i/W_j = \int_0^{\infty} H_{\lambda_i}^t d\lambda_i / \int_0^{\infty} H_{\lambda_j}^t d\lambda_j. \quad (5)$$

Для запрещенных линий, возникающих в разреженных областях оболочки далеко от звезды, естественно предположить отсутствие влияния изменений в фотосфере или в плотных внутренних областях оболочки, и поведение их эквивалентных ширин, описываемое соотношением (4), наиболее вероятно.

Рассмотрим другой источник переменности звезды — затмевающее околос звездное пылевое облако переменной оптической толщины τ_{λ} , расположенное над оболочкой, где образуются эмиссионные линии. Предполагается, что это облако достаточно однородно ослабляет излучение оболочки и фотосферы в направлении к наблюдателю. Пусть $H_{\lambda}^c = \text{const}$ и $H_{\lambda}^t = \text{const}$. Тогда ослабление потоков в эмиссионной линии и непрерывном спектре будет соответственно $H_{\lambda}^t \exp(-\tau_{\lambda})$ и $H_{\lambda}^c \exp(-\tau_{\lambda})$, и из (1) следует, что эквивалентные ширины эмиссионных линий не будут изменяться с изменением τ_{λ} затмевающего облака, а значит, и с изменением блеска звезды, т. е. $W = \text{const}$.

Если затмевающая пылевая среда расположена под эффективным уровнем образования эмиссионных линий, то будет поглощаться только излучение в непрерывном спектре. Пусть оптическая толщина оболочки в моменты t_i и t_j равна соответственно $\tau_{\lambda i}$ и $\tau_{\lambda j}$, тогда изменение эквивалентных ширин

$$W_i/W_j = H_{\lambda_i}^c \exp(-\tau_{\lambda i}) / H_{\lambda_i}^c \exp(-\tau_{\lambda i}) = \exp(\tau_{\lambda i} - \tau_{\lambda j}), \quad (6)$$

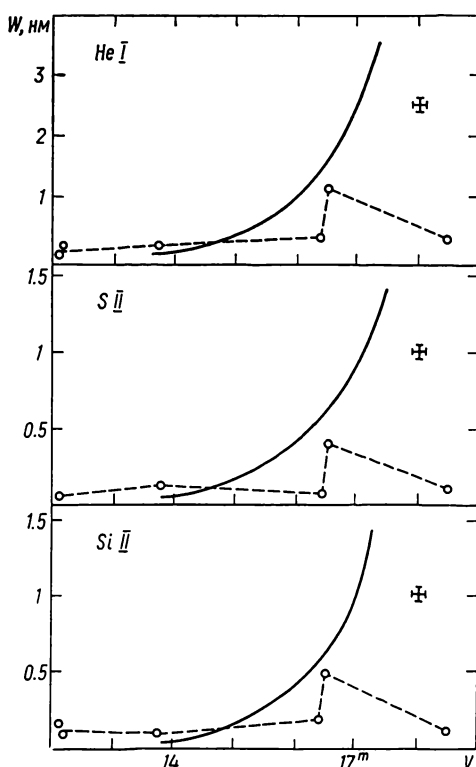
а изменение звездной величины

$$\begin{aligned} \Delta m_{\lambda ij} &= -2.5 \lg [H_{\lambda_j}^c \exp(-\tau_{\lambda j}) / H_{\lambda_i}^c \exp(-\tau_{\lambda i})] = \\ &= 1.086 (\tau_{\lambda i} - \tau_{\lambda j}) = -2.5 \lg (W_i/W_j), \end{aligned} \quad (7)$$

т. е. совпадает с тем, что получено для фотосферного источника переменности (соотношение (4)). Эти два случая можно различить, если при изменении блеска наблюдаются эмиссионные линии с постоянной W (эффективный уровень образования этих линий расположен ниже затмевающей среды) и эмиссионные линии, эквивалентная ширина которых изменяется в соответствии с (7) (эффективный уровень находится выше затмевающей среды). Картина становится неоднозначной, если все излучающие атомы достаточно равномерно размещены как над данной средой, так и под ней (отсутствие стратификации).

Для иллюстрации изложенного мы воспользовались результатами наблюдений трех звезд: V348 Sgr (уникальная переменная, ранее классифицировавшаяся как звезда типа RCB), CO Ori и RW Aur (переменные типа T Tau).

V348 Sgr характеризуется сильными вариациями блеска (12—18.5^m) и окружена планетарной туманностью. Дахари и Остерброк [5]



выполнили спектральные наблюдения этой звезды при разных значениях блеска. Звездная величина V вычислялась по спектру с учетом и без учета вклада эмиссионных линий (сверткой с кривой пропускания фильтра V). На рис. 1 приведены эквивалентные ширины эмиссионных линий He I, S II и Si II для разных значений V , полученных без учета вклада эмиссионных линий в полосу V . Для сравнения сплошной кривой нанесена зависимость (4). Наблюдаемая зависимость значительно отклоняется от нее. При большом изменении блеска звезды (12—18.4^m) эквивалентные ширины линий остаются приблизительно постоянными, лишь при $V=16.6^m$ отмечено резкое усиление эмиссионных линий. Отсюда

Рис. 1. Связь между эквивалентной шириной линий He I (λ 501.5 нм), S II (λ 542.8 нм), Si II (λ 634.7 нм) и блеском V для V348 Sgr, по данным [5]

следует, что источником изменения блеска V348 Sgr является околозвездная затмевающая среда, причем оболочка, где образуются линии He II, S II и Si II, нестационарна.

CO Ori принадлежит к молодым объектам типа T Tau. Ее спектр характеризуется слабыми эмиссионными линиями и хорошо выраженными линиями поглощения. Фотоэлектрические ($U, B, V, R, I, H_{\alpha}$) наблюдения этой звезды приводятся в работе [6]. На рис. 2 представлена зависимость эквивалентной ширины H_{α} от блеска V для CO Ori, по данным [6]. Вклад эмиссионных линий в звездную величину V не учитывался вследствие их слабости в спектре звезды. Сплошной линией на рисунке отмечена зависимость (4). Она достаточно хорошо описывает увеличение W с уменьшением блеска. Поэтому можно заключить, что за изменение блеска CO Ori ответственна фотосфера звезды.

RW Aur — типичный представитель звезд T Tau. Ее спектр характеризуется сильными эмиссионными линиями водорода и металлов и крайне слабыми абсорбционными линиями. Для этой переменной И. Р. Салманов [3] выполнил спектральные наблюдения (12 щелевых спектрограмм в синей области спектра) с синхронным определением фотографической звездной величины $m_{\text{набл}}$ в фильтре с областью пропускания, близкой к фильтру V фотоэлектрической системы UBV . Блеск звезды m_* получен вычитанием вклада эмиссионных линий; поправка составляла 0.1—0.4^m. В работе [3] установлено, что существует обратная корреляция между эквивалентной шириной эмиссионных линий и блеском. На рис. 3 приведены связи между W и m_* для H_{γ}, K Ca II и

бленды $H\text{ Ca II} + H_\epsilon$. Выборочные коэффициенты корреляции между W и m_* для названных линий равны соответственно 0.81; 0.77; 0.78. Зависимость (4) (рис. 3, сплошная линия) хорошо аппроксимирует наблюдаемые значения. Следовательно, в период наблюдений [3] для этой звезды источником переменности блеска была фотосфера.

Аналогичное поведение эквивалентных ширин в зависимости от блеска у RW Aur отмечали З. А. Исмаилов [2], Шалонж и др. [4]. В. П. Гринин и др. [1] не обнаружили какой-либо корреляции между эквивалентными ширинами водородных линий H_α , H_β и H_γ и блеском звезды. Это, возможно, вызвано нестационарностью водородной оболочки, что временами может приводить к нарушению соотношения (4).

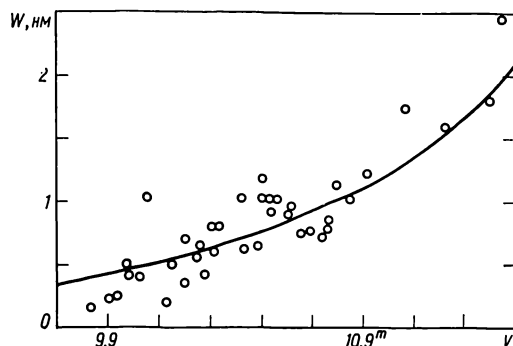
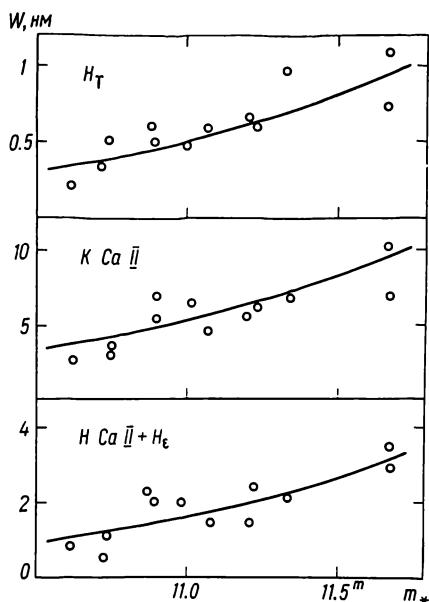


Рис. 2. Связь между эквивалентной шириной эмиссионной линии H_α и звездной величиной V для CO Ori, по данным [6]

Рис. 3. Связь между эквивалентной шириной эмиссионных линий H_γ , $K\text{ Ca II}$ и $H\text{ Ca II} + H_\epsilon$ и звездной величиной m_* для RW Aur, по данным [3]



Таким образом, по данным анализа связи между эквивалентными ширинами эмиссионных линий и блеском для трех звезд, принадлежащих двум различным типам физических переменных, нам удалось довольно уверенно локализовать источники переменности у этих звезд. Дальнейший анализ таких зависимостей (с учетом приведенных тривиальных соотношений) для эмиссионных объектов с неизвестной причиной переменности, вероятно, позволит предложить более реальные модели их переменности.

Автор искренне благодарен Р. Е. Гершбергу, В. М. Лютому, З. А. Исмаилову, П. П. Петрову за полезные обсуждения и замечания.

1. Гринин В. П., Петров П. П., Шаховская Н. И. Результаты патрульных спектральных и фотометрических наблюдений RW Aur. I. Переменность бальмеровских линий // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1985.—71.— С. 109—127.
2. Исмаилов З. А. О причинах изменения спектра RW Aur // Сообщ. Шемах. астрофиз. обсерватории.—1969.— Вып. 4.— С. 45—65.
3. Салманов И. Р. О корреляции между блеском и эквивалентными ширинами эмиссионных линий в спектре RW Возничего // Циркуляр Шемах. астрофиз. обсерватории.—1979.— Вып. 67.— С. 3—10.
4. Chalonge D., Divan L., Mirzoyan L. V. Spectrophotometric studies of non-stable stars. II. On the spectrum of RW Aurigae in the region 3080—6100 Å // Астрофизика.—1971.—7, № 3.— С. 345—362.
5. Dahari O., Osterbrock D. E. The spectrum of V348 Sagittarii // Astrophys. J.—1984.—277, N 2.— P. 648—674.
6. Herbst W., Holtzman J. A., Klasky R. S. Photometric variations of Orion population stars. II. // Astron. J.—1983.—88, N 11.— P. 1648—1664.

Шемах. астрофиз. обсерватория АН АзССР,
Шемаха

Поступила в редакцию 14.04.86,
после доработки 15.07.86