

*К. Г. ДЖАКУШЕВА*

## **КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗВЕЗД С ЭМИССИОННЫМИ ЛИНИЯМИ И ИНФРАКРАСНЫМИ ИЗБЫТКАМИ. I**

Приведен обзор фотометрии и поляриметрии звезд с эмиссионными линиями и инфракрасными избытками, выполненных синхронно в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра на 1-м телескопе АФИФ в 1985–2005 г. Работа разделена на две части. Общий список литературы дан в конце второй части.

Сложная структура рассматриваемых объектов, множественность механизмов возникновения наблюдаемых особенностей приводят к неоднозначности интерпретации данных наблюдений. Ключом к решению этих проблем может быть расширение спектрального диапазона на-

блюдений, детальное исследование их развития во времени. Это требует проведения кооперативных программ с использованием современных приборов и более крупных телескопов. Реализация именно такой программы была начата в Астрофизическом институте им. В.Г. Фесенкова

совместно с коллегами из Пулковской обсерватории ГАО России в 1985 г. и в целом продолжается по настоящее время. За этот период создан банк данных, который включен в международный банк ежегодных астрофотометрических стандартов [1]. Благодаря широкой полосе (от УФ до ИК включительно) и синхронности эти исследования позволили с высокой степенью достоверности оценить физические характеристики звездных объектов, их околозвездных оболочек и выработать необходимые критерии классификации этих объектов по различным физическим и эволюционным типам.

**Наблюдения.** Была поставлена задача поиска регулярных явлений и корреляций между изменениями блеска и поляризации излучения звезд на *разных длинах волн*. Механизмы переменности можно разделить на две категории: 1) процессы в газовой оболочке, 2) затмение планетезималиями или пылевыми неоднородностями.

Корреляция блеска звезды в УФ- и ИК-областях спектра должна указывать на то, что за переменность в ИК-диапазоне отвечает свободно-свободное излучение оболочки. Антикорреляция блеска УФ-ИК требует присутствия пылевого компонента в оболочке звезды.

UBVRJHK-фотометрия (*система Джонсона* в полосе 0,3–2,5 мкм) и *синхронная* UBVRJ-поляриметрия звезд выполнены на 1-м телескопе АФИФ (Обсерватория Ассы-Тургень, высота 2700 м) с двухканальным электрофотометром ГАО России с GaAs фотумножителем в UBVRJ и PbS детектором в JHK (с диафрагмой 26") [2].

Аналоговый режим наблюдений и неизбежно разное качество наблюдательных ночей делают проведение любого анализа данных без учета весовых коэффициентов недопустимым. Поэтому был предложен метод расчета парных коэффициентов корреляции для неравнооточных рядов наблюдений [3].

Переменность звезд на стадии эволюции до Главной последовательности имеет случайный характер. По статистике поведение спектральных функций величины переменности молодых звезд или соответствует, или близко к нормальному процессу. В первом приближении можно предположить, что процесс переменности молодых звезд имеет нормальное распределение. Рассмотрим наблюдаемую случайную величину как сумму двух компонентов:

$$x_j = X_j + \xi_j,$$

где  $X_j$  – случайный нормально распределенный процесс переменности блеска звезды;  $\xi_j$  – шумовая составляющая наблюдаемого потока. Применение метода максимального правдоподобия к суперпозиции этих процессов дает следующий результат:

$$L(x, S_{|x_1, x_2, \dots, x_n}) = \ln \left( \prod_j \frac{1}{(2\pi(S + \frac{1}{\omega_j}))^{1/2}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \frac{(x_j - X_0)^2}{S + \frac{1}{\omega_j}}} \right),$$

где  $L$  – функция правдоподобия для рассматриваемой случайной величины;  $S$  – дисперсия случайного процесса переменности звезды;  $X_0$  – среднее значение случайной величины;  $\omega$  – вес  $i$ -го измерения. Дифференцируя функцию правдоподобия  $L$  по  $X_0$  и  $S$ , получаем

$$\sum_j \frac{\omega_j}{1 + S \cdot \omega_j} (x_j - X_0) = 0,$$

$$\sum_j \frac{\omega_j}{1 + S \cdot \omega_j} = \sum_j \frac{\omega_j^2}{(1 + S \omega_j)^2} (x_j - X_0)^2.$$

Отсюда методом последовательных итераций можно рассчитать дисперсию  $S$ , очищенную от шумовой составляющей:

$$X_{0i} = \frac{\sum_j \frac{\omega_j}{1 + S_{i-1} \cdot \omega_j} x_j}{\sum_j \frac{\omega_j}{1 + S_{i-1} \cdot \omega_j}},$$

$$S_{i-1} = \frac{\sum_j \left( \frac{S_{i-1} \cdot \omega_j}{1 + S_{i-1} \cdot \omega_j} \right)^2 (x_j - X_0)^2}{\sum_j \frac{S_{i-1} \cdot \omega_j}{1 + S_{i-1} \cdot \omega_j}}.$$

Применяя описанную процедуру к наблюдениям в различных фотометрических полосах, можно рассчитать двухмерный коэффициент корреляции для неравнооточных наблюдений:

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y},$$

где ковариацию проще рассчитывать из соотношения

$$S_{x+y} = S_x + S_y + 2 \text{cov}(x, y).$$

Использование данного метода позволяет проводить математическую фильтрацию наблюдений от аппаратурных и атмосферных шумов и соответственно получать корреляционные зависимости между изменениями блеска объекта в различных спектральных диапазонах, неотягощенных шумовым компонентом.

**Основные итоги наблюдательной программы.** Подробнее (в качестве типичных примеров) остановимся на результатах детальных синхронных оптических и ИК-наблюдений Z СМа и MWC 342 и их интерпретации.

**MWC 165.** После относительно стабильного состояния в течение 1980-х гг. дважды наблюдается увеличение яркости звезды: первое в 1985 г. и второе в 1986–1987 гг. В 1985 г. в полосе U блеск увеличивается до  $9.^m3$ . В 1985 г. в максимуме вспышки блеск достигает  $8.^m7$ –  $8.^m8$  [4, 5.6]. Во время следующей вспышки поляризация увеличивается до 5%, а в линии  $H_\alpha$  даже превышает степень поляризации в континууме [6]. Positionный угол плоскости поляризации остается практически постоянным.

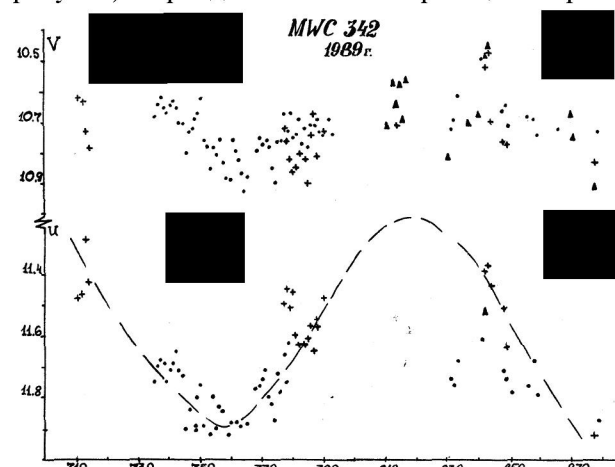
В ноябре 1987 г., когда блеск звезды в полосе V падает до  $9.^m7$ , степень поляризации уменьшается до 2%. Между 1987 и 1990 г. наблюдалась сильная переменность в позиционном угле. В январе 1988 г. степень поляризации излучения в линии  $H_\alpha$  постепенно увеличивается, E-вектор в континууме поворачивается к направлению оптического джета. В 1900–1992 гг. наблюдается дальнейшее ослабление яркости звезды.

Согласно данным поляризации околозвездная оболочка имеет двухкомпонентную структуру – состоит из пылевого диска и полярных газовых “шапок”. Значительный рост поляризации излучения Z СМа (MWC 165) во время повышения блеска в УФ-диапазоне спектра связан, скорее всего, с увеличением степени ориентации несферических пылевых частиц в околозвездной оболочке (диске размером 440 A.U.) в результате прохождения через нее потока газа. По нашим наблюдениям, как рост, так и падение степени поляризации в Z СМа произошли за 3 месяца после роста и падения блеска звезды соответственно. За тот же промежуток времени газовый выброс (при относительной скорости газа в джете у

молодых звезд  $6 \times 10^7$  см/с) достигает пыли с температурой 500–1300 К.

Поведение поляризации в эмиссионной линии можно объяснить соотношением между томсоновским рассеянием и рассеянием Ми на пылевых частицах в оболочке [7]: при резком уменьшении поляризации в линии во всех длинах волн доминирует томсоновское рассеяние, кроме линии  $H_\alpha$ , где основным является рассеяние Ми. В этом случае наблюдаются изменения позиционного угла плоскости поляризации излучения в линии. При преобладании поляризации излучения в  $H_\alpha$  во всем спектре доминирующим оказывается Ми-рассеяние. В полярной области поляризованное излучение в континууме “разбавляется” неполяризованным излучением в  $H_\alpha$ , т.е. суммарная поляризация системы в этой линии, представляющая собой векторную сумму двух компонентов, будет больше. В этом случае изменения позиционного угла E-вектора не должно быть, что согласуется с нашими наблюдениями.

**MWC 342.** Ранее этот объект относился к пекулярным В[e] звездам. Согласно нашим наблюдениям на диаграмме  $\log P/(V-K)$  MWC 342 располагается в промежуточной области между молодыми и Ве звездами, что свидетельствует о сходстве физических условий в оболочке данной звезды и звезд типа НАЕВЕ. Нами получен максимальный ряд фотометрических наблюдений (из 80 точек) для исследования периодических изменений блеска. Периодичность блеска, обнаруженная методом Деминга [8] в оптическом диапазоне, составляет  $132 \pm 4$  дня, амплитуда переменности блеска не превышает  $0^m$ , 65 (см. рисунок). Период изменения поляризации в 2 раза



Кривые блеска MWC 342: + – данные обсерватории Ассы-Тургень; черные треугольники и кружки – данные обсерватории Майданек

меньше. Максимум поляризации приходится на фазы 0,2 и 0,8 (132-дневного цикла), а в максимуме и минимуме блеска наблюдается минимум поляризации излучения.

Степень поляризации в линии  $H_{\alpha}$  в MWC 342 существенно превышает поляризацию в континууме [6]. Результаты наблюдений согласуются с моделью, рассмотренной выше [7], для объяснения поляризации излучения в линии  $H_{\alpha}$  для Z СМа. Периодические изменения поляризации, связанные с изменением блеска звезды, можно объяснить, если предположить, что MWC 342 является двойной системой, состоящей из звезды спектрального класса В и компактного рентгеновского источника (в окрестности MWC 342 действительно обнаружен компактный источник жесткого излучения, не отождествленный с каким-либо объектом). Именно такое поведение поляризации излучения от фазы теоретически ожидается для двойных рентгеновских систем [9], где возможно существование горячего пят-

на на поверхности В-звезды, связанного с переработкой X-rays. Если пятно однородно по яркости, то поляризация максимальна (около 6%), когда пятно уходит со стороны, обращенной к наблюдателю. Когда же пятно занимает более половины видимой полусферы, степень поляризации не превышает 0,6%.

#### Резюме

Шағын массалар мен жас жұлдыздар белсенділігін пайда болуын бақылау нәтижесіне қысқаша шолу жасалады.

#### Summary

The resume of photometric and polarimetric observations is presented for the emission-line stars with infrared excesses performed in 1985-2005 at the Fesenkov Astrophysical Institute telescopes synchronously in ultraviolet, visible and infrared ranges (0,3-2,5  $\mu$  m).

*Астрофизический институт  
им. В.Г.Фесенкова МОН РК,  
г. Алматы*

*Поступила 10. 04. 2006 г.*