АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 3 ФЕВРАЛЬ, 1967 ВЫПУСК 1

О ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ И КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЭРУПТИВНЫХ ЗВЕЗД. IV

Р. Е. ГЕРШБЕРГ

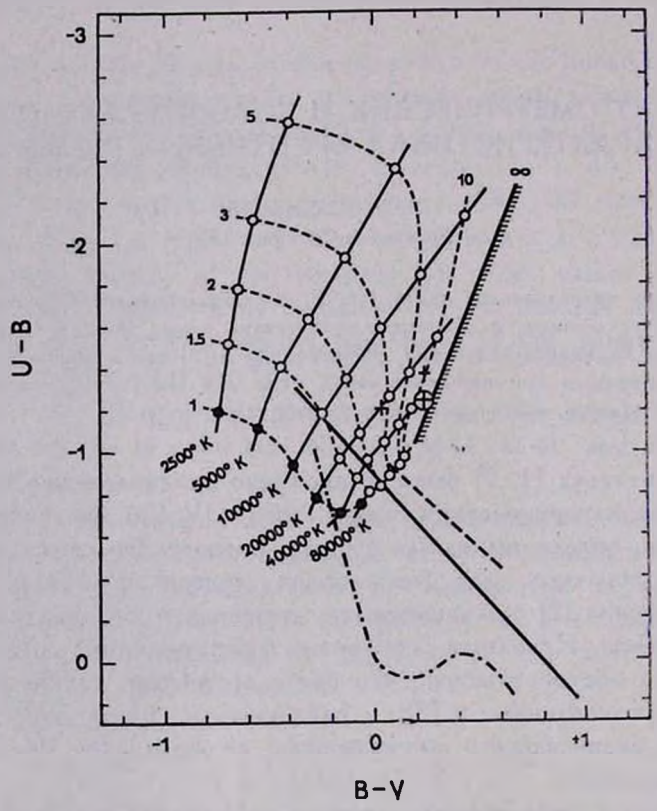
Поступила 25 июня 1966

Оценены теоретические цвета ($U-B$, $B-V$) горячего газа, оптически тонкого в непрерывном спектре и имеющего оптическую толщу порядка нескольких единиц в линиях бальмеровской серии. Вычисленные в [3] цвета дополнительного излучения, возникающего при вспышках звезд типа UV Cet, попадают на двуцветной диаграмме в область, соответствующую такому газу.

1. В статьях [1, 2] было рассмотрено предположение, что колориметрические характеристики звезд типа UV Cet во время вспышки могут быть объяснены как результат совместного свечения холодной звезды и горячего газа (небулярная модель вспышки). В заметке Л. В. Мирзояна [3] высказываются сомнения в справедливости этого предположения. Исходным моментом в рассуждениях Л. В. Мирзояна является то обстоятельство, что цвета оптически тонких газовых образований, вычисленные в [2], и наблюдаемые цвета дополнительного излучения, возникающего при вспышках, не совпадают. Рис. 1 поясняет это утверждение.

На рис. 1 представлена двуцветная диаграмма ($U-B$, $B-V$) из [4], где сделаны небольшие уточнения по сравнению с расчетами [2]. Черными кружками на диаграмме представлены теоретические положения оптически тонких газовых образований при $T_e = 2500 \div 80\,000°$K и $n_e > 10^6$ $см^{-3}$; сплошная линия соответствует излучению абсолютно черного тела при различных температурах, пунктир — синхротронному излучению с различными спектральными индексами и штрих-пунктир — звездам главной последовательности. Крестиками на диаграмме отмечены цвета дополнительного излучения во вспышках AD Leo и H II 1306, вычисленные в [3]. Из рассмотрения этой диаграммы формально

следует, что собственное излучение вспышки можно было бы отождествить с излучением горячего газа, если бы ее цвет $(U-B)$ был на $0^m.6$ „краснее“ или если бы цвет $(B-V)$ был на $1^m.0$ „синее“, чем это дают наблюдения, либо если, скажем, ее цвет $(U-B)$ был на $0^m.3$, „краснее“ и одновременно $(B-V)$ был на $0^m.5$, „синее“, чем это следует из наблюдений, и так далее. Рассмотрим это несоответствие — основной аргумент критической заметки Л. В. Мирзояна [3] — подробнее.



Фиг. 1. Двуцветная диаграмма источников излучения различного спектрального состава.

2. Случайная ошибка вычисленных цветов вспышки — ошибка, найденная формально по случайным ошибкам фотоэлектрических измерений блеска — не превышает $0^m.1$ и не может объяснить указанного расхождения. Но поскольку использованные в [3] наблюдения велись на одноканальном фотометре и быстро меняющийся блеск звезды записывался попеременно в каждой спектральной области, то по суще-

ству речь идет не об одновременных наблюдениях, которые могли бы дать собственные цвета вспышки с точностью, соответствующей точности обычных фотоэлектрических наблюдений. Все приведенные в [3] цвета получены с помощью интерполяции, причем по необходимости для двух из трех кривых блеска интерполяцией получен и блеск в момент максимума. Интерполяция кривых блеска проводилась на сравнительно больших временных интервалах и выполнена, естественно, по принципу сохранения подобия всех трех кривых блеска, что в значительной степени соответствует предположению о постоянстве цветов вспышки на разных стадиях ее развития. Однако, имеющиеся наблюдения противоречат такому предположению. В статье [5] приведены изменения собственного цвета $(B-V)$ четырех вспышек EV Lac. Эти наблюдения велись с частым переключением фильтров и интерполирование кривых блеска проводилось на сравнительно небольших участках плавной нисходящей ветви вспышек. Согласно [5], вблизи максимума вспышки ее цвет $(B-V) = -0^m.2 \div -0^m.3$ и затем быстро „краснеет" до $+0^m.2$ и даже $+0^m.4$. Наблюдения, аналогичные [5], в области U не проводились, но так как ультрафиолетовое излучение вспышек подвержено наибольшим временным изменениям, то можно ожидать, что цвет $(U-B)$ будет меняться в ходе развития вспышки не меньше, чем цвет $(B-V)$. Независимо от физических причин этого быстрого изменения цвета вспышек, сам факт такого изменения заставляет критически относиться к цветам, вычисленным в [3] по наблюдениям, в ходе которых смена спектральных областей производилась довольно медленно: цвета вспышки $U-B$ и $B-V$, полученные в разные моменты времени, могут дать на двуцветной диаграмме точку $(U-B, B-V)$, которая не соответствует цветам вспышки ни в какой момент времени. Следовательно, полученные в [3] результаты нельзя рассматривать как решительный аргумент против небулярной модели вспышек звезд типа UV Cet.

3. Обратимся теперь к другой стороне вопроса — к точности вычисленных теоретических положений горячего газа на двуцветной диаграмме. Разумеется, речь идет не о математической точности вычислений, а о правомерности физических допущений, использованных при вычислениях.

Небулярная модель вспышки является естественной альтернативой модели горячего пятна, модели, ошибочность которой была убедительно показана в [6, 7]. Расчеты [1, 2, 4] выполнены для простейшего случая небулярной модели — для случая, когда горячий газ является оптически тонким во всем диапазоне частот видимой области

спектра. Предположение о малой оптической толще горячего газа не только в континууме, но и в линиях является, естественно, довольно сильным физическим ограничением, и оно было использовано для проведения предварительных расчетов. Ослабим теперь это ограничение и допустим, что оптическая толща в центре бальмеровских линий не мала, а составляет несколько единиц. С точки зрения возможностей высвечивания и охлаждения газа такая модель мало отличается от рассмотренной ранее. Действительно, значительная часть энергии горячего газа высвечивается в спектральной области, охватываемой системой *UBV*; далее, согласно [4], бо́льшая часть энергии в *U*, заметная часть энергии в *B* и около половины энергии в *V* излучается горячим газом в частотах непрерывного спектра; поскольку при оптической толще в бальмеровских линиях $\tau_{Bal} \sim 1 \div 10$, оптическая толща в континууме $\tau_{cont} \ll 1$, то запасенная газом энергия излучается почти также свободно, как и в рассчитанной ранее модели $\tau_{Bal} \to 0$. Иными словами, модель с $\tau_{Bal} \sim 1 \div 10$ является вполне приемлемой с точки зрения требований, накладываемых на теоретические схемы характерными временами возгорания и затухания вспышек. Вместе с тем, как было отмечено в [2], с ростом оптической толщи в линиях будет иметь место ощутимое изменение цветов горячего газа.

Точный расчет величин, необходимых для вычисления теоретических цветов горячего газа при $\tau_{Bal} \sim 1 \div 10$, является исключительно трудной задачей, поскольку в нашем случае поле излучения L_c и L_ℓ, степень ионизации вещества и населенности возбужденных уровней атомов являются функциями времени. Однако общий характер изменения цветов ясен: это изменение будет связано с уменьшением доли линий в общем излучении горячего газа. Основной вклад в линейчатую эмиссию горячего газа в областях *UBV* дают линии H_δ, H_γ, H_β, и H_α. Для грубой оценки искомого эффекта можно пренебречь изменениями относительных интенсивностей этих линий (то есть пренебречь температурной зависимостью бальмеровского декремента, различиями эффекта дробления разных бальмеровских квантов при рассеянии, разницей в оптических толщинах для разных линий) и оценить изменения цветов горячего газа в предположении, что с ростом τ_{Bal} все эмиссионные линии, входящие в *UBV*, ослабляются одинаковым образом. Для таких оценок можно воспользоваться расчетами [4], где приведены порознь цвета линейчатого и непрерывного излучения горячего газа, а также доля этих компонентов в общем излучении газа в областях *UBV*. На рис. 1 приведены результаты соответствующих вычислений. Правее и выше черных кружков, которые соответствуют цветам горя-

чего газа, оптически тонкого во всех частотах видимого спектра, светлыми кружками нанесены цвета горячего газа, в котором интенсивности эмиссионных линий относительно небулярного континуума уменьшены в 1.5, 2, 3, 5 и 10 раз. (Согласно расчетам [8], в стационарном случае такое ослабление H_3 соответствует оптической толще в центре линии в несколько единиц). Сплошная линия со штриховкой справа соответствует цветам небулярного континуума и ограничивает область, доступную для цветов рассматриваемой модели. Вычисленные в [3] цвета вспышек оказываются левее этой предельной линии. Таким образом, если даже считать вычисления [3] методически корректными, то учет эффекта ненулевой оптической толщи в линиях снимает возражения, выдвинутые Л. В. Мирзояном против небулярной модели вспышек звезд типа UV Cet.

Что же касается вычисленных в [3] цветов вспышки SS Cyg (на рис. 1 они обозначены крестиком в кружке), то они тоже оказываются в пределах области, соответствующей цветам горячего газа. Это обстоятельство формально снимает возражания Л. В. Мирзояна и в этом случае. Однако следует подчеркуть, что вспышки звезд типа SS Cyg имеют принципиальные отличия от вспышек звезд типа UV Cet — по спектральным особенностям в максимуме блеска, по длительности и мощности вспышек. Поэтому расчеты небулярной модели, выполненные в применении к вспышкам звезд типа UV Cet, и выводы, полученные из сравнения этих расчетов с наблюдениями, не могут быть автоматически перенесены и на звезды типа SS Cyg. В частности, применимость небулярной модели к звездам этого типа может быть подтверждена или отвергнута лишь в результате детального анализа имеющихся фотометрических, колориметрических и спектральных наблюдений.

4. В заключение необходимо отметить, что предположение об оптической толще $\tau_{Bal} \sim 1 \div 10$ горячего газа, возникающего при вспышке звезд типа UV Cet, представляется весьма правдоподобным, так как оно дает естественное объяснение ряду важных наблюдательных фактов. В частности, в рамках этой модели можно понять характерный излом на нисходящей ветви кривой блеска, отмечавшийся многими наблюдателями; обнаруживается возможная причина изменения цвета вспышки по мере ее угасания; можно просто объяснить повышенное излучение в эмиссионных линиях по окончании фотометрической фазы вспышки. Все эти вопросы будут подробно рассмотрены при обсуждении спектрографических наблюдений вспышек AD Leo [9] и UV Cet [10].

Выражаю глубокую благодарность А. А. Боярчуку за полезное обсуждение работы и Э. А. Витриченко за помощь в вычислениях.

Крымская астрофизическая
обсерватория

PHOTOMETRIC AND COLORIMETRIC CHARACTERISTICS OF ERUPTIVE STARS. IV

R. E. GERSHBERG

Theoretical colors $(U-B, B-V)$ of a hot gaseous body which is optically thin in continuum and which has the optical thickness about several units in Balmer lines are evaluated. On the two-color diagram the colors of the additional radiation which appears during flares of the UV Cet type stars are located in the region corresponding to such a hot gaseous body.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Р. Е. Гершберг*, Изв. КрАО, 32, 133, 1964.
2. *Р. Е. Гершберг*, Изв. КрАО, 33, 206, 1965.
3. *Л. В. Мирзоян*, Астрофизика, 2, 121, 1966.
4. *Р. Е. Гершберг*, Изв. КрАО, 36, 216, 1966.
5. *П. Ф. Чугайнов*, Изв. КрАО, 33, 215, 1965.
6. *В. А. Амбарцумян*, Сообщ. Бюр. обс., 13, 1954.
7. *В. А. Амбарцумян*, Non-stable stars, IAU Symposium № 3, Edited by G. H. Herbig, Cambridge, 1957, 177.
8. *А. А. Боярчук*, Изв. КрАО, 35, 45, 1966.
9. *Р. Е. Гершберг, П. Ф. Чугайнов*, Астрон. ж., 43, 1168, 1966.
10. *Р. Е. Гершберг, Р. Ф. Чугайнов*, Астрон. ж., 44, 1967, (в печати).