

Обзор наблюдательных данных о звездах типа R Северной Короны М. Я. Орлов

Приводится обзор основных данных о звездах типа R CrB. Подробно рассматриваются спектральные особенности этих звезд.

Review of Observational Results on the R Coronae Borealis Stars by M.Ya. Orlov

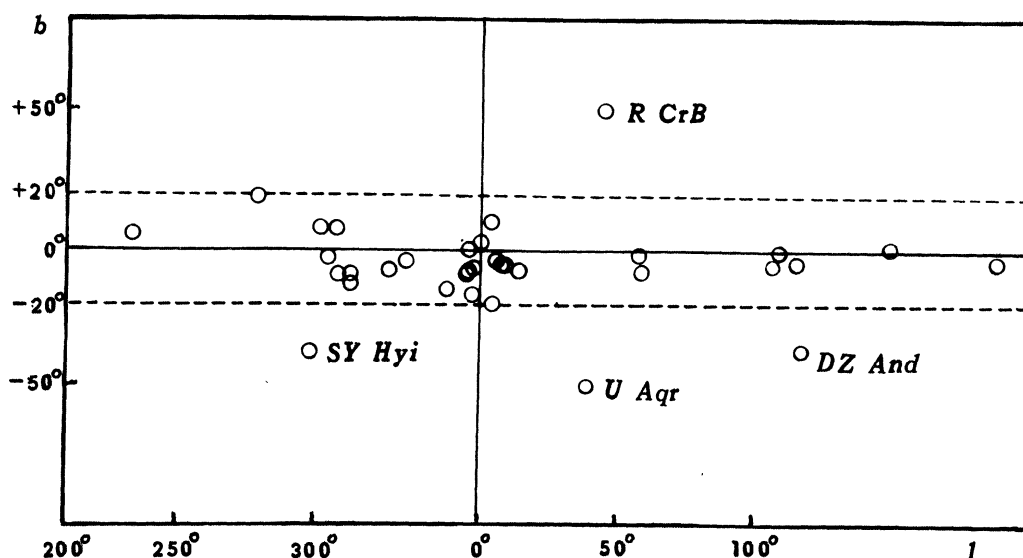
Basic observational data on the R CrB stars are summarized with emphasis on spectral behaviour of these stars.

В третьем издании Общего каталога переменных звезд (Кукаркин и др., 1969) и в первом дополнении к нему (1971) к типу R CrB отнесено 34 звезды (в том числе 15 звезд, отмеченных знаком ?). Около половины из них находятся на небе южного полушария ($\delta < -34^\circ$). В 1969 – 1972 г.г. обнаружено еще 4 звезды этого типа. Общие сведения о звездах типа R CrB собраны в табл. 1. Галактическое распределение этих звезд показано на рисунке 1. Они обнаруживают сильную концентрацию как к галактической плоскости, так и к галактическому центру.

Спектральные классы известны лишь для 17 звезд, причем только для 11 они определялись с целью исследования данной звезды, установления ее принадлежности к рассматриваемому типу переменности, изучения характеристик атмосферы и т. д. Для остальных же звезд они взяты из HD или других источников массового определения спектральных классов. Распределение звезд типа R CrB по спектральным классам таково:

S p	Колич. звезд	S p	Колич. звезд
B	1	M	1
F	3	R	7
G	3	C	1
K	1		

Светимости. Тригонометрический параллакс измерен только у R CrB ($\pi = 0''.012 \pm 0.006$). Из анализа атмосфер R CrB и RY Sgr следует, что их плотности сравнимы с плотностью атмосфер сверхгигантов. Наличие у RY Sgr спутника (в $12''$ от нее) позволило, в предположении, что это физическая пара, получить $M_v = -4^m$. Принадлежность W Men к Большому Магелланову Облаку (БМО) приводит к $M_v = -5.4$. Еще для двух звезд в БМО (HV 5637 и HV 12 842) получено $M_v = -4$ (Фист, 1972). Таким образом, есть



Р и с. 1.

основания считать, что звезды типа R CrB являются сверхгигантами (класса светимости $\sim I b$).

Изменения блеска. Звезды типа R CrB находятся, в основном, в нормальном (максимальном) блеске, когда их фотометрические характеристики мало меняются, и временами, без определенной периодичности, ослабевают на $1^m.0-9^m.0$, после чего медленно (в течение нескольких месяцев) возвращаются к прежнему блеску. Минимумы имеют различную глубину, продолжительность и форму. К настоящему времени достаточно полные кривые блеска построены для нескольких звезд данного типа:

R CrB (1843-1960), Мейолл (1960)
 RY Cgr (1892-1972), Мейолл (1972)
 GU Sgr (1889-1959), Лейтен (1927), Хоффлейт (1959)
 MV Sgr (1924-1949), Хоффлейт (1959)
 UW Cen (1955-1970), Бейтсон (1972).

Для большинства остальных звезд имеются лишь эпизодические наблюдения, особенно в минимуме блеска. Так у одной из наиболее ярких звезд данного типа XX Cam ($V=7^m.35$) наблюдался единственный минимум (ноябрь 1939 — февраль 1940, продолжительность 94^d , $\Delta m \approx 1^m.7$).

Спектральные особенности

I. Нормальное состояние (максимум блеска)

1. R CrB

Спектр этой звезды в максимуме исследовали Берман (1935), Сирл (1961), Кинани и Гринстейн (1963), Уорнер (1967), Стейн и др. (1969), Форрест и др. (1971).

Берман (1935) установил, что он подобен спектру сверхгиганта F7 с аномально слабыми балмеровскими линиями водорода и аномально сильными линиями Si и полосами C_2 . Приближенный анализ показал, что ат-

ношение числа атомов C:H в атмосфере звезды весьма высоко (2:1); для сравнимой в других отношениях нормальной звезды γ Cyg (F8Ib) оно составляет 1:100. По данным Бермана (1935) и Шайна (1942) в спектре R CrB нет изотопных полос молекул $C_2(C^{13}C^{12}$ и $C^{13}C^{13})$. Это подтверждено Сирлом (1961), а для RY Sgr — Данцигером (1965).

Сирл (1961), используя спектрограммы с высокой дисперсией (2.8 Å/мм, 3 спектрограммы; 7.2 Å/мм, 1 спектрограмма), выполнил количественное сравнение R CrB и стандартного сверхгиганта δ CMa (F8Ia). По эквивалентным ширинам 200 неблендированных линий в области $\lambda\lambda 4000-4700$ методом кривой роста найдено, что отношение C:H ≈ 10 , а отношение C:Fe у R CrB в 25 раз больше, чем у δ CMa. Не обнаружено аномалий содержания металлов (более, чем в 2 раза). В частности, содержание редкоземельных элементов (относительно Fe) одинаково для R CrB и стандартной звезды. Грубые оценки интенсивностей блендированных молекулярных полос C_2 и CN дают основания полагать, что отношение C:N у R CrB должно быть больше, чем у звезд с солнечным составом, за счет повышенного содержания C при обычном содержании N. Сирл наблюдал также линии N и O в ИК-области, причем интенсивности их были нормальными. Принимая, что состав атмосферного вещества R CrB отличается от солнечного состава только содержанием C, H и He, он получил следующие параметры содержания для R CrB: $X=0.0005$, $Y=0.91$, $Z=0.09$, $Z_c=0.75Z$. Источником непрозрачности у R CrB Сирл считал фотоионизацию нейтрального углерода. Определены также микротурбулентная скорость 7.0 км/сек (для δ CMa 9.4 км/сек); температура ионизации $\theta=0.77$ (для δ CMa $\theta=0.89$); электронное давление $\lg p_e=+0.87$ (для δ CMa $\lg p_e=-0.45$).

Кинан и Гринштейн (1963) детально рассмотрели нормальный спектр поглощения R CrB. Они привели длины волн и визуальные оценки интенсивностей ~ 1200 линий (по 10 спектрограммам куде). Отождествлено 243 линии CI, CII слабо представлен лишь 3 линиями, а молекула C_2 — слабыми полосами Свана. Остались неотожествленными некоторые линии, которые, как и CI, сильнее у R CrB, чем у стандартной звезды α Per (F5Ib). Также усилены у R CrB большая часть линий сильных мультиплетов Sc II, несколько мультиплетов Fe II и Ti II и ряд сравнительно сильных линий OI и NI. Оценена эффективная температура $T \sim 6000-6300^\circ\text{K}$. Подтверждена чрезвычайная слабость линий водорода. Из других возможных аномалий химического состава отмечается большая интенсивность линии Li I, свидетельствующая о его высоком содержании, а также наличие линии He I $\lambda 5876$. Средняя лучевая скорость звезды $V_r=+24.3 \pm 0.2$ км/сек, с некоторым указанием на переменность с амплитудой в несколько км/сек. Линии ионизованных элементов дают положительную V_r , в среднем на 1.2 км/сек большую, чем линии нейтральных атомов. Линии углерода, в среднем, дают ту же скорость, что и линии металлов. В спектре видны узкие межзвездные линии D Na, по-видимому, обусловленные поглощением в единичном облаке, имеющем $V_r=-22$ км/сек (относительно Солнца).

Уорнер (1967) пересмотрел результаты Сирла (1961) по определению химического состава R CrB. Используя его эквивалентные ширины линий и приняв другие значения θ_{ex} и коэффициента непрозрачности, он получил, что новый анализ не изменил вывода о нормальном относительном содержании элементов тяжелее Na, но отношение $(C:Fe)_{R CrB} / (C:Fe)_\odot$ несколько уменьшилось и составляет ~ 10 .

Майерскоф (1968) построила ряд моделей атмосферы (в предположении ЛТР) без учета покровного эффекта для анализа R CrB. Использовались параметры химического состава X, Y, Z, принятые Сирлом (1961), а для остальных существенных элементов взяты солнечные значения. Диапазон T_{eff} : $5000 \div 7000^\circ\text{K}$, диапазон $\lg g$: $-1.0 \div 3.0$. Найдено, что основным источником непрозрачности близ поверхности являются ионы C^- и электронное рассеяние, а в более глубоких слоях значительный вклад вносят нейтральные атомы C и He. Предсказываемая моделью величина потока в красной и ближней ИК-области, по-видимому, почти не зависит от ускорения силы тяжести на поверхности для данной T_{eff} . Сравнение с данными сканирования непрерывного спектра R CrB в максимуме приводит к $T_{\text{eff}} = 5800 \pm 200^\circ\text{K}$. Согласование этих моделей с наблюдательными данными об электронном давлении и непрозрачности (Уорнер, 1967) дает величину g между 0.1 и 1.0. Имеется слабое указание на то, что содержание металлов у R CrB несколько пониженное.

Стейн и др. (1969) выполнили наблюдения R CrB в диапазоне $2.8-14\mu$ ($\lambda\lambda$ 3.5; 4.7; 8.5 и 11.5μ) при помощи ИК-спектрометра 120" рефлектора Ликской обсерватории. Блеск звезды во время наблюдений составлял $V \approx 6^{\text{m}}.4$ что несколько меньше нормального $V = 5^{\text{m}}.8$. Наблюдаемый поток в ИК-области хорошо представляется планковской кривой с $T = 940 \pm 150^\circ\text{K}$. Общее количество энергии, излучаемой в этом диапазоне, составляет $\sim 40\%$ общей светимости звезды.

Форрест, Джилетт и Стейн (1971) в течение 1968–1971 гг. проводили наблюдения R CrB в ИК-диапазоне ($\lambda\lambda$ 3.5 – 11μ). Отмечены значительные изменения ИК-потока (до $\sim 1^{\text{m}}.5$ на волне $\lambda 3.5\mu$), не коррелирующие с изменениями блеска в визуальной области. Наконец, следует отметить, что Хоббс и Марионни (1971) не обнаружили радиоизлучения R CrB на волне $\lambda 3.5\text{ мм}$ (верхний предел $0.7 \cdot 10^{-26}\text{Вт/м}^2\cdot\text{Гц}$).

2. RY Sgr

Данцигер (1965) исследовал спектр этой звезды в максимуме блеска по спектрограммам с высокой дисперсией, полученным в фокусе куде 74" рефлектора обсерватории Маунт-Стромло ($6.7-20.4\text{ Å/мм}$, 11 спектрограмм). Методом дифференциальных кривых роста выполнено сравнение RY Sgr с нормальным сверхгигантом βAqr , G0Ib. Общий вид спектра: всдородные линии настолько слабы, что на спектрограммах с низкой дисперсией они практически не видны, а при высокой дисперсии видны как очень слабые; совсем не видна полоса G; усилены линии и полосы углерода, причем наиболее заметны как линии высокого возбуждения C I, так и полосы Свана C_2 низкого возбуждения.

Показано, что атмосфера RY Sgr имеет характеристики сверхгиганта, более горячего, чем Солнце. Найдено, что $\text{C:H} = 25:1$, а C:Fe в 35 раз больше нормального. Из других элементов аномально высокое содержание имеют Na и Li. Во многих отношениях RY Sgr весьма сходна с R CrB и источник непрерывного поглощения, вероятно, один и тот же для обеих звезд.

Сравнение параметров атмосфер и химического состава RY Sgr и R CrB (см. Боярчук М. Е., 1970) показывает, что звезды очень сходны. Единственное явное различие – в отношении C:H, но оно почти полностью исключается, если исправить ошибку в принятых Сирлом (1961) значе-

ниях сил осцилляторов. Одинаковый дефицит кальция не позволяет сделать какие-либо заключения, так как соответствующие ошибки велики. Содержание натрия у RY Sgr существенно выше солнечного (для R CrV нет определений).

3. XX Cam

В ходе исследования спектральных характеристик сверхгигантов промежуточных классов с малой дисперсией в обсерватории Мак-Дональд Байделман (1948) получил одну спектрограмму этой звезды (ноябрь 1947, $125 \text{ \AA}/\text{мм}$). Наиболее поразительной особенностью спектра является аномальная слабость водородных линий, но отмечен и ряд других особенностей, не характерных для нормальных звезд. Спектр весьма похож на спектр R CrV в максимуме блеска; интенсивности линий и полос углерода у XX Cam и R CrV сравнимы. Чанг Ю йн (1948), исследовав 1170 снимков Гарвардской обсерватории с 1898 по 1947 г., обнаружил лишь один минимум между ноябрем 1939 и февралем 1940 г. продолжительностью 94^d . Самый малый блеск звезда имела примерно в середине минимума. Форма минимума очень симметрична. В остальное же время звезда имела, по-видимому, постоянный блеск между $8^m.6$ и $8^m.7$ pg. Амплитуда равна $\sim 1^m.7$.

4. MV Sgr

Хербиг [см. Хоффлейт (1959)] получил 2 спектрограммы этой звезды близ максимума блеска, которые показывают, что она имеет необычный спектр, вероятно раннего класса В. В спектре не обнаруживается при малой дисперсии ($430 \text{ \AA}/\text{мм}$) ничего, кроме линий поглощения HeI. В 1963 г. Хербиг (1964) наблюдал эту звезду с несколько большей дисперсией ($100 \text{ \AA}/\text{мм}$ в фотографической области, $374 \text{ \AA}/\text{мм}$ — в желто-красной) также близ максимума блеска. MV Sgr, по-видимому, является очень горячей углеродной звездой, так как ее спектр весьма сходен с тем, что можно было бы ожидать от R CrV, если бы повысить температуру до $\sim 20000^\circ\text{K}$. Наиболее сильными линиями в спектре MV Sgr являются линии HeI; совершенно не видны (при данной дисперсии) линии поглощения водорода, имеются линии CII. Отмечены несколько очень слабых линий поглощения около $\lambda\lambda 3664, 3694$ и 3713 , которые могут принадлежать HeII. В желто-красной области на двух спектрограммах (июнь 1963 г.) видны эмиссионные линии (отождествлены уверенно только 2 линии He I). На спектрограмме, полученной в августе 1963 г., в фотографической области нет заметных эмиссионных линий.

5. W Men (в БМО)

Фист (1956) получил 2 спектрограммы этой звезды (в декабре 1953 и феврале 1954 г., $86 \text{ \AA}/\text{мм}$ у Н₂). Лучевая скорость звезды ($\sim 260 \text{ км/сек}$) хорошо согласуется с ожидаемой скоростью для члена Облака. Спектральный класс определен несколько неуверенно: это, по-видимому, сверхгигант F5—G0, вероятнее всего F8 со слабой для этого класса линией Н₂. На основании кривой блеска и слабости водородных линий Фист предположил, что она относится к типу R CrV, хотя спектрограммы не позволили определить, имеются ли линии или полосы углерода. Фист нашел абсолютную звездную величину W Men в максимуме: $M_v = -5.4$. Недавно Роджерс (1970) в обсерватории Маунт-Стромло получил спектрограммы W Men с дисперсией 100 и $200 \text{ \AA}/\text{мм}$ ($\lambda\lambda 3700\text{--}5800$). Обнаружены сильные полосы Свана C₂ и сильные бленды линий CI. Подтверждена слабость бальмеровских линий.

Полоса G не видна, а полосы CN $\lambda\lambda$ 4215 и 3883 имеют, по-видимому, нормальную для класса F5 I: интенсивность. Измеренная лучевая скорость $+264 \pm 12$ км/сек находится в хорошем согласии со значением, полученным Фистом.

6. HV 5637 (в БМО)

Ходж и Райт (1969) исследовали блеск HV 5637 и отнесли ее к типу R CrB. За 60 лет найден лишь один определенный минимум, когда звезда ослабела по меньшей мере на $2^m.3$ (в лучах В) по сравнению с нормальным блеском. После этого падения блеска звезда очень медленно (22 года) возвращалась к первоначальному блеску. На 3 спектрограммах, полученных Фистом (1972), в декабре 1971 г., марте и апреле 1972 г. (дисперсия 145 Å/мм) отмечены очень сильные полосы C_2 . Депрессия континуума, обусловленная последовательностью $C_2(1,0)$, составляет $\sim 72\%$. Оценена абсолютная величина $M_v \approx -4.0$.

7. HV 12842 (в БМО)

На спектрограмме с дисперсией 145 Å/мм, полученной Фистом (1972), обнаружены полосы C_2 , примерно такой же интенсивности, что и у W Men. Лучевую скорость определить не удалось, но большие положительные смещения линий H и K свидетельствуют в пользу принадлежности звезды к БМО. Абсолютная звездная величина $M_v \approx -4$.

8. SU Tau

По данным Пэйн-Гапошкиной (1936) спектр этой звезды обнаруживает те же особенности, что и спектры R CrB и RY Sgr, и оценивается как G0ep. В атласе Моргана, Кинана, Келлман (1943) приводится следующее описание спектра SU Tau (по спектрограмме с дисперсией 125 Å/мм у Ну): линии водорода чрезвычайно слабы, линии однократно ионизованных металлов сходны по интенсивности с линиями сверхгиганта F5Ib α Per; полоса $C_2 \lambda$ 4737 слаба, линии CI около λ 4770 образуют широкую бленду.

9. DZ And (?)

Этой звезде посвящена одна заметка (Крэгг, 1961). С 25 мая 1960 г. по февраль 1961 г. звезда имела нормальный блеск ($\sim 10^m$), 9 ноября 1959 г. была слабее $13^m.5v$ и 20 февраля 1960 г. — слабее $14^m.0v$.

Слабая спектрограмма звезды (в максимуме блеска) показывает, что она, вероятно, класса R. Автор сделал вывод, что это звезда типа R CrB 10^m с амплитудой более 4^m .

10. U Aqr (?)

Хербиг (1969) отмечает лишь, что U Aqr несомненно является звездой класса R или N. Других данных о спектре этой звезды, по-видимому, нет.

11. UW Cen

По данным Пэйн-Гапошкиной (1938) спектральный класс этой звезды (K) определен по спектрограмме низкого качества, на которой нельзя обнаружить особенности, характерные для звезд типа R CrB.

12. S Aps

Спектрограмма этой звезды (R3 по HD) была получена Фистом (1972). Депрессия континуума, обусловленная последовательностью $C_2(1,0)$ составляет $\sim 79\%$.

13. Anon. Sgr

Блеск этой переменной, обнаруженной в 1972 г. (см. Хоффлейт, 1972), меняется в пределах $11^m.5$ – 15^m , отмечено 3 глубоких минимума (в 1936, 1944 и 1971 гг.). По двум спектрограммам, полученным в Ликской обсерватории 20 и 21 сентября 1971 г. (подъем блеска), установлено, что звезда имеет спектр с линиями поглощения без полосы G, напоминающий спектр R CrB.

14. ρ Cas (?)

Эта звезда не является типичным представителем класса звезд R CrB. Изменения блеска у нее сравнительно невелики. Сарджент (1961) определил абсолютную звездную величину $-8^m.6$ и массу $25\odot$; она не характеризуется ни дефицитом водорода, ни избытком углерода. Спектр звезды исследовали Бирдсли (1961), Сарджент (1961) и М. Е. Боярчук (1965).

II. Активное состояние (минимумы блеска).

Для R CrB опубликованы результаты наблюдения спектра в 3 минимумах: 1923 г., Джой и Хьюмассон (1923); 1948–1949 гг., Хербиг (1949); 1960 г., Пэйн-Гапошкина (1963); а также краткие сообщения о минимумах 1963–1964 гг., 1969 г. и 1972 г.

Для RY Sgr имеются наблюдения в одном минимуме: 1967–1969 гг., Фист (1969), Александер и др. (1972).

R CrB

Минимум 1923 г. Звезда ослабела до $12^m.5$ (на $\sim 6^m.5$). При этом появились эмиссионные линии Ca II, Ti II, Sc II и Sr II. Они исчезали при подъеме блеска, когда звезда была в 4^m от максимума блеска.

Минимум 1948–1949 гг. Звезда ослабела до $14^m.0$ (на $\sim 8^m$). Спектральные наблюдения проводились при ослаблении блеска и в течение некоторого времени после того, как она достигла минимума. Получено 18 спектрограмм (дисперсия 48, 75, 169, 332 Å/мм у Н γ). Пока звезда не ослабела до 10^m (на 4^m), в спектре не отмечено никаких изменений. При блеске $10^m.0$ появились слабые узкие эмиссионные ядра в линиях H и K Ca II. По мере дальнейшего ослабления блеска эти эмиссии усиливались, появлялись другие эмиссионные линии. Кроме того наблюдалось замыкание абсорбционного спектра. Близ минимума наиболее сильными эмиссионными линиями были D Na I (единственная эмиссия в области $\lambda > 5000$), затем H и K Ca II и линия около $\lambda 3888$. Большинство других эмиссионных линий принадлежали Sc II, Ti II, Sr II, Ca II, кроме того, наблюдались линии Cr II, Y II, и несколько неотожествленных, (CN?), а также [O II] $\lambda\lambda 3726$ – 3729 . Не наблюдалось следов водородной эмиссии (в т. ч. H α), а эмиссия Fe II была слабой. Всего в области $\lambda > 3900$ Å наблюдалось 36 эмиссионных линий, а в $\lambda\lambda 3888$ – 3234 – 47 линий (потенциалы возбуждения верхних уровней 2–6 эв). По мере ослабления блеска (до $10^m.0$ и вероятно далее) не наблюдалось заметных изменений абсорбционных деталей C I (группа линий у $\lambda \sim 4770$) или C $_2$ (бленда у $\lambda 4737$). Также не наблюдалось изменений лучевой скорости при ослаблении блеска на $4^m.8$ (после этого линии поглощения были слишком слабы; да и дисперсия спектрограмм значительно уменьшилась). Эмиссионные линии (при $m > 10^m.0$) смещены в коротковолновую сторону (в среднем ~ 12 км/сек; Джой и Хьюмассон (1923) дают для минимума 1923 г. ~ 20 км/сек). Спектрофотометрия эмиссионных линий H и

К показала, что их относительные интенсивности (по отношению к непрерывному спектру) возрастают при падении блеска.

Минимум 1960 г. Этот минимум изучен наиболее детально. Звезда ослабела до $> 11^m.50$ (на $\sim 5^m.5$); минимум был менее глубоким и менее длительным, чем в 1948–1949 гг. Было получено 15 спектрограмм (дисперсия 18–27, 38, 60–80 Å/мм) (Пэйн-Гапошкина, 1963). Они охватывают 5 стадий минимума 1960 г :

1) Первый глубокий минимум ($11^m.00$). Широкие, очень сильные эмиссии ($\lambda 3889$, H и K, D-линии); резкие эмиссии, очень сильные в УФ, прогрессивно ослабевающие к длинноволновой области.

2) Второй глубокий минимум ($11^m.00$). Широкие эмиссии очень сильны; резкие эмиссии несколько ослабели.

3) Падение к третьему минимуму ($10^m.50$ – $10^m.68$). Широкие эмиссии очень сильны; резкие эмиссии видны в УФ, но ослабели в синей области (до центральных обращений) и не видны в желтой и красной областях; абсорбционный спектр замывает.

4) Подъем из третьего глубокого минимума ($11^m.50$, $11^m.25$). Широкие эмиссии сильны, но ослабевают и сопровождаются смещенными в коротковолновую сторону абсорбционными линиями; резкие эмиссии еще видны в УФ; весь абсорбционный спектр становится более выразительным.

5) Подъем из глубокого минимума до $7^m.00$ (в пределах 1^m от максимума). Спектр – как в максимуме, за исключением того, что все еще видны широкие смещенные в коротковолновую сторону абсорбции, связанные с широкой сильной эмиссией.

Таким образом, спектральные изменения в течение минимума обусловлены взаимодействием трех составляющих:

- а) широких эмиссий и связанных с ними абсорбций,
- б) резких эмиссий и
- в) абсорбционного спектра.

Профили линий претерпевают дисторсию или иногда раздваиваются. Спектр поглощения присутствует всегда. Широкие эмиссионные линии появились в ходе первого быстрого падения блеска, оставались почти постоянной интенсивности в минимуме блеска и ослабевали к максимуму блеска. Резкие эмиссии были наиболее интенсивны при первом появлении во время падения блеска и ослабевали в течение минимума. Падение блеска сопровождается покраснением звезды.

Минимум 1963–1964 гг. При достижении глубокого минимума ($\sim 14^m.00$) сложный эмиссионный спектр Ti II, Sr II, Sc II, Cr II исчез, и были отмечены сильные линии [O II] $\lambda\lambda 3726$ – 3729 (Хербиг, 1969).

Минимум 1969 г. При ослаблении блеска на 3^m наблюдались слабые очень резкие эмиссионные линии Ti II, Sc II, Sr II и $\lambda 3884$; полосы Свана C_2 были усилены; профили большинства линий поглощения металлов стали шире и мельче (Гринштейн, 1969).

Минимум 1972 г. Звезда ослабела до $12^m.5$. На спаде блеска наблюдались широкие эмиссионные линии H и K Ca II, $\lambda 3889$, D Na, а также многочисленные узкие линии (Circ. IAU, март–май 1972 г.). Тоточава (1973) отметила изменения в распределении энергии, когда звезда ослабела на $\sim 4^m$. Поляриметрические наблюдения, выполненные при подъеме блеска (Орлов, Родригес, 1972 г.), показали (по сравнению с максимумом бле-

ска) увеличение степени поляризации p , изменения позиционного угла плоскости преимущественных колебаний электрического вектора и характера зависимости p от длины волны. Проведены также наблюдения в ИК-диапазоне (Уинг и др., 1972г., $\lambda\lambda 0.7-1.1\mu$, $1-20\mu$; Форрест и др., 1972г., $\lambda\lambda 3.5-11\mu$). Измеренные потоки на волнах $\lambda\lambda 3.5\mu$, 10μ и 20μ (при $V=12^m.5$) представляются планковской кривой с $T=720^\circ\text{K}$. Было отмечено отсутствие корреляции между изменениями блеска в видимой и ИК-областях спектра: в то время, как поток в видимой области менялся более чем в 200 раз, ИК-потоки ($\lambda\lambda 3.5-11\mu$) почти не менялись. Цветовая температура ИК-избытка в области $3.5-11\mu$ уменьшилась от $\sim 950^\circ\text{K}$ (в максимуме блеска) до $\sim 730^\circ\text{K}$.

RY Sgr

Минимум 1967–1969гг. Начиная с июля 1967г., когда было замечено ослабление блеска звезды, проводились спектральные (со средней и малой дисперсией) и UVB-наблюдения на 74" рефлекторе Радклиффской и 40" рефлекторе Капской обсерваторий (Фист, 1969; Александер и др., 1972). Этот минимум самый глубокий из наблюдавшихся за 20 лет, и удалось довольно хорошо охватить его наблюдениями.

Первоначальное падение блеска было очень быстрым, около $3^m.5$ за 15 дней. Первые спектральные наблюдения были проведены при $V\approx 9^m.5$ (т. е. в $\sim 3^m$ от максимума). В это время был виден богатый эмиссионный спектр, который усиливался (относительно континуума) при дальнейшем ослаблении блеска. В первом минимуме ($\sim 10^m.3$) в спектре (при дисперсии $48\text{ \AA}/\text{мм}$) обнаружено 382 эмиссионных линии (большой частью отождествленных) на довольно слабом континууме. Большая часть эмиссионных линий соответствует линиям поглощения, наблюдаемым в максимуме блеска — это Fe II, Ti II, Sc II и др.

Континуум в этой фазе обнаруживает интересную особенность. От длинноволнового предела обычных фотографических эмульсий до $\lambda\approx 4000\text{ \AA}$ непрерывный спектр слаб и является сравнительно слабым фоном для эмиссионных линий (возможно, это остаточный звездный континуум). У $\lambda=4030\text{ \AA}$ он уже довольно слаб. Однако у $\lambda\approx 4000\text{ \AA}$ интенсивность непрерывного спектра значительно возрастает, и видны линии поглощения, в основном H и K, причем не обычные широкие звездные линии H и K, видимые в максимуме блеска, а значительно более узкие, со структурой предполагающей наличие бленды. Кроме этого континуума намечается полосчатая структура в области $\lambda 3880$. Это почти определенно эмиссионные полосы CN. Высказано предположение, что этот континуум образуется в результате свободно-связанных переходов электронов молекулы CN^+ и, возможно C_2 для $\lambda < 3900\text{ \AA}$.

После быстрого падения до $10^m.3$ отмечалось некоторое увеличение блеска (до $\sim 9^m$), затем звезда ослабела до $13^m.6$ (V) около момента соединения с Солнцем, и спустя несколько месяцев оказалась примерно такого же блеска.

Возвращение к нормальному блеску характеризовалось постепенным исчезновением следов эмиссионного линейчатого спектра и восстановлением нормального спектра поглощения, характерного для максимума (при $V\approx 9^m.5$). Затухание эмиссионного спектра произошло за $\sim 22^d$, ослабление фотосферного излучения — за 5^d или менее.

Фотоэлектрические наблюдения показали, что подъем сопровождался рядом плавных волн с периодом $38^d.6$. Эти волны видны в V ($\sim 0^m.5$), $B-V$ ($\sim 0^m.3$) и $U-B$ ($\sim 0^m.5$). Сходную периодичность показывают и лучевые скорости (амплитуда ~ 30 км/сек). Продолжительных фотометрических наблюдений в максимуме нет, но визуальные наблюдения показывают изменения с амплитудой $\sim 0^m.5$ и периодом $\sim 39^d$, близким к наблюдавшемуся при подъеме из минимума.

Примечательны изменения цвета. В конце первого быстрого спада звезда была довольно голубой: $B-V \sim +0.24$, $U-B \sim -0.60$. Это, по крайней мере частично, обусловлено влиянием (нетеплового) глубокого минимума. Сложные изменения цвета на нисходящей ветви, вероятно, вызваны эффектом эмиссионных линий. В течение более поздних стадий, когда блеск звезды увеличивался и когда эмиссионные линии, вероятно, не влияли существенно на цвет, звезда была очень красной (достигая $B-V \sim +1.48$, $U-B \sim +1.32$) и описывала также петли как на двцветной, так и на $(V, B-V)$ — диаграммах.

Во время подъема блеска Ли и Фист (1969) выполнили 11-цветные ($\lambda\lambda 0.36-10.2\mu$) наблюдения RY Sgr (в две даты). Обнаружен большой ИК-избыток ($T \sim 900^\circ K$) и изменение ИК-потока.

Во время этого минимума Серковский и Кручевский (1969) выполнили поляриметрические наблюдения. Результаты для 17 дат показывают, что степень поляризации увеличивалась от 0.5% до $\sim 1.3\%$, позиционный угол менялся от 10° до 150° . Изменения поляризации в желтой и синей областях спектра хорошо коррелируют между собой. Наблюдения, выполненные тогда, когда степень поляризации была велика, показывают, что она увеличивается с уменьшением длины волны.

Минимум 1971–1972 гг. Звезда ослабела на $\sim 7^m$. Когда блеск уменьшился на 4^m , в спектре появились эмиссионные линии D Na (Circ. IAU, № 2320, 1971). Пока не опубликованы результаты исследований, выполненных во время этого минимума.

Таблица 1.

	Max	Min	Sp	Фотометрические величины в максимуме
	(данные из ОКПЗ)			
DZ And?	$10^m.0$	$(14^m.0)$	v R	$V=10.29, B-V=1.23, U-B=1.29$ [1]
UX Ant?	12.2	15.8	p —	
S Aps	9.6	15.2	v R3	$V=9.79, B-V=1.23, U-B=0.63$ [2], $J=7.80$, $H=7.26, K=6.81, L=5.28, N=2.0$ [8]
U Aqr?	10.5	(14.4)	p R или N [3]	
XX Cam	8.7	10.3	p cG1e	$V=7.35, B-V=0.85, U-B=0.28$ [1]
UV Cas	11.8	16.5	p —	$V=10.85, B-V=1.46, U-B=0.87$ [1]
V 425 Cas?	14.5	18	p —	
ρ Cas?	4.1	6.2	v F8p–K5p	$V=4.47, B-V=1.05, U-B=0.82$ [1]
UW Cen	9.6	(13)	p K	$V=9.20, B-V=0.72, U-B=0.19$ [2], $J=8.57$, $H=8.01, K=6.94, L=4.65$ [8]
DY Cen	12.0	(16.4)	p —	$V=12.23, B-V=0.39, U-B=-0.62$ [2] $J=11.9, H=11.1, K=10.9, L=8.88$ [8]

Таблица 1 (продолжение)

Z Cir?	12.0	15.0	p Me	
AE Cir	12.2	16.0:	p —	
V Cr A	9.4	(14.0	p R0	J=8.91, H=8.41, K=7.51, L=5.46, N=2.1 [8]
WX Cr A	11.0	(16.5	p R5	J=9.18, H=8.63, K=8.05, L=6.70 [8]
R Cr B	5.8	14.8	v cFпер	V _E =5.60, B-V=0.60, U-B=0.10 [4]
SY Hyi?	13.4	15.5	p —	
W Men	13.37	17.57	5 F8: Ip	V _E =13.90, B-V=0.45, U-B=-0.24, R=13.67, R-I=0.15 [4]
Y Mus	10.5	12.1	p —	
RT Nor	11.3	16.3	p R	J=8.89, H=8.66, K=8.16, L=6.42 [8]
RZ Nor	11.1	(12.7	p —	J=9.14, H=8.57, K=8.49, L=8.01 [8]
V973 Oph?	12.6	13.5	p —	
V1773 Oph?	16.8	19.1	p —	
MT Pup?	15	19	p —	
CL Sge?	13.9	15.2	p —	
RY Sgr	6.5	14.0	v G0ep	J=8.54, H=6.97, K=5.19, L=2.59, N=-0.4, Q=-0.8 (звезда слабее макс.) [8]
GU Sgr	11.3	15.0	p —	J=8.70, H=8.22, K=7.59, L=6.08, N=3.0, Q=1.4 [8]
MV Sgr	12.0	15.6	p B?	V=12.70, B-V=0.26, U-B=-0.60 [6], J=11.11, H=9.85, K=8.95, L=7.32 [8]
V 589 Sgr?	14.2	17.6	p —	
V 618 Sgr	11.0	(16.5	p —	
V 1860 Sgr?	13.5	15.5	p —	
Anon Sgr	11.5	15	—	
V 731 Sco?	12.9	(14.9	p —	
SU Tau	9.5	16.0	v G0ep	V=9.77, B-V=1.02, U-B=0.43 [1]
RS Tel	9.3	(13.0	p R8	J=10.92, H=9.97, K=9.07, L=7.03, N>2.1, Q>-2.8 (звезда слабее макс.) [8]
CT Vul?	13.9	15.6	p C	
HV 5637	16.38	18.20 [5]	—	V=14.99, B-V=1.20 [7]
HV 12842	14.15	17.92 [5]	—	
HV 12671	14.47	16.81 [5]	—	

Примечания к таблице 1.

1. Ферни и др. (1972); 2. Марино, Уокер (1971); 3. Хербиг (1969);
 4. Эгген (1970); 5. Пэйн-Гапошкина (1971); 6. Хербиг (1964);
 7. Ходж, Райт (1969); 8. Фист, Гласс (1973).

Литература:

- Александер и др., 1972 — Alexander J. B., Andrews P. J., Catchpole R. M., Feast M. W., Lloyd Evans T., Menzies J. W., Wisse P. N. J., Wisse M., MN 158, 305.
 Байделман, 1948 — Bidelman W. P., ApJ 107, 413.
 Бейтсон, 1972 — Bateson F. M., NZ Circ. No. 185.
 Берман, 1935 — Berman L., ApJ 81, 369.
 Бирдсли, 1961 — Beardsley W. R., ApJ Suppl. 5, No. 50, 381.
 Боярчук М. Е., 1965, Изв КрАО 34, 136.

- Боярчук М.Е., 1970, в кн. "Эруптивные звезды", М., стр. 167.
- Данцигер, 1965 — Danziger I. J., MN 130, 199.
- Джой, Хьюмасон, 1923 — Joy A. H., Humason M. L., PASP 35, 325.
- Кинан, Гринстейн, 1963 — Keenan P. C., Greenstein J. L., Perkins Contr. Ser. 11, No. 13, 199.
- Крэгг, 1961 — Cragg T., PASP 73, 453.
- Кукаркин Б. В., Холопов П. Н., Ефремов Ю. Н., Кукаркина Н. П., Курочкин Н. Е., Медведева Г. И., Перова Н. Б., Федорович В. П., Фролов М. С., 1969—1971, ОКПЗ и ДІ к ОКПЗ.
- Лейтен, 1927 — Luyten W. J., HB No. 852, 4.
- Ли, Фист, 1969 — Lee T. A., Feast M. W., ApJ 157, L 173.
- Майерскоф, 1968 — Myerscough V. P., ApJ 153, 421.
- Марино, Уокер, 1971 — Marino B. F., Walker W. S. G., NZ Circ. No. 184.
- Мейолл, 1960 — Mayall M. W., JRAS Can 54, 193.
- Мейолл, 1972 — Mayall M. W., JRAS Can 66, 233.
- Морган, Кинан, Келлман, 1943 — Morgan W. W., Keenan P. C., Kellman E., An Atlas of Stellar Spectra, Univ. Chicago Press.
- Орлов М. Я., Родригес М. Г., 1972, IBVS, No. 742.
- Пэйн-Гапошкина, 1936 — Payne-Gaposchkin C., HB No. 903, 35.
- Пэйн-Гапошкина, 1963 — Payne-Gaposchkin C., ApJ 138, 320.
- Пэйн-Гапошкина, 1971 — Payne-Gaposchkin C. H., Smith Contr., No. 13.
- Роджерс, 1970 — Rodgers A. W., Obs. 90, 197.
- Сарджент, 1961 — Sargent W. L. W., ApJ 134, 142.
- Серковский, Кручевский, 1969 — Serkowski K., Kruszewski A., ApJ 155, L 15.
- Сирл, 1961 — Searle L., ApJ 133, 531.
- Стейни др., 1969 — Stein W. A., Gaustad J. E., Gillett F. C., Knacke R. F., ApJ 155, L 3.
- Тоточава А. Г., 1973, АЦ № 744, 2.
- Уингидр., 1972 — Wing R. F., Baumert J. H., Strom S. E., Strom K. M., PASP 84, 646.
- Уорнер, 1967 — Warner B., MN 137, 119.
- Фернии др., 1972 — Fernie J. D., Sherwood V., DuPuy D. L., ApJ 172, 383.
- Фист, 1956 — Feast M. W., MN 116, 583.
- Фист, 1969 — Feast M. W., Non-Periodic Phenomena in Variable Stars, Acad. Press, Budapest.
- Фист, 1972 — Feast M. W., MN 158, 11P.
- Фист, Гласс, 1973 — Feast M. W., Glass I. S., MN 161, 293.
- Форрест и др., 1971 — Forrest W. J., Gillett F. C., Stein W. A., ApJ 170, L 29.
- Форрест и др., 1972 — Forrest W. J., Gillett F. C., Stein W. A., ApJ 178, L 129.
- Хербиг, 1949 — Herbig G. H., ApJ 110, 143.
- Хербиг, 1964 — Herbig G. H., ApJ 140, 1317.
- Хербиг, 1969 — Herbig G. H., Mém Liège 17, 353.
- Хоббс, Марионни, 1971 — Hobbs R. W., Marionni P., ApJ 167, 85.
- Ходж, Райт, 1969 — Hodge P. W., Wright F. W., ApJ Suppl. 17, No. 153, 467.

Хоффлейт, 1959 – Hoffleit D., AJ 64, 241.
Чанг Юин, 1948 – Chang Yuin, ApJ. 107, 413.
Шайн Г. Ф., 1942, Obs. 64, 255.
Эгген, 1970 – Eggen O. J., PASP 82, 851.

Главная астрономическая
обсерватория АН УССР