

Н. Л. Иванова

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ζ ВОЗНИЧЕГО

В В Е Д Е Н И Е

Затменная переменная ζ Возничего, состоящая из сверхгиганта К5 и звезды В8, вращающихся вокруг общего центра тяжести с периодом около 972 дней, представляет собой почти идеальную систему для всестороннего изучения атмосферы звезды К5. Яркости обеих компонент у λ 4300 Å почти равны друг другу и вполне достаточны для получения спектров с небольшими выдержками. Абсолютные радиусы компонент системы, согласно фотоэлектрическим исследованиям Копала [1], равны приблизительно 200 и 2.8 радиусам Солнца, что позволяет, в первом приближении, рассматривать звезду В8 как точечный источник света. Последнее особенно важно, когда звезда В8 видна через атмосферу звезды К5. Массы звезд К5 и В8 равны 22 и 10 массам Солнца [1] соответственно.

Вне затмения спектр системы является сложным. В длинноволновой части основную долю вносит звезда К5, а в фиолетовой и ультрафиолетовой — звезда В8 (рис. 1, а). Когда звезда В8 приближается или выходит из состояния полной фазы затмения, то в фотографической и ультрафиолетовой областях спектра появляются многочисленные резкие линии поглощения, производимые атомами звезды К5 в ее обширной атмосфере при прохождении через нее непрерывного излучения звезды В8.

На записях спектров (рис. 1, б и с), полученных для двух моментов частной фазы при выходе звезды из полной фазы, в частности, видны интересные изменения вида спектра в ультрафиолетовой области. В момент минимума спектр

звезды (рис. 1, d) является типичным для сверхгигантов типа K5.

Впервые двойственность ζ Возничего была отмечена Кэмбеллом [2] в 1908 г. В 1917—1924 гг. Харпер [3] исследовал элементы ее спектроскопической орбиты. Наблюдения Гутника и Шеллера [4] минимума 1932 г. еще раз подтвердили затменный характер этой звезды. Начиная с 1934 г. ζ Возничего исследовались в каждый удобный для наблюдения минимум. Среди работ, посвященных этой звезде, следует особенно отметить фотозлектрические наблюдения Хаффера [5], Коппа [1] и Роуча [6], а также интересные спектроскопические исследования Вильсона и Кристи [7]. Изучение распределения плотностей в атмосфере K5, произведенное ими посредством использования теоретических кривых роста и определения эквивалентных ширины линий различных элементов, показало, что градиент плотности вещества во много раз меньше, чем при гидростатическом равновесии. Те же авторы показали, что температура возбуждения атомов, а также турбулентная скорость увеличиваются с высотой в атмосфере звезды K5. В своей последней работе, посвященной исследованию атмосферной структуры компоненты K5, Вильсон и Абт [8] привели подробное сравнение и обсуждение результатов наблюдений минимумов 1939—40 и 1947—48 гг.

В настоящей работе исследуется распределение энергии в непрерывном спектре обеих компонент системы, включая ультрафиолетовую часть спектра. Из полученных наблюдений была определена глубина затмения для разных длин волн на участке λ 3200—4800 Å, а также отношение яркостей компонент и оптическая глубина τ для разных точек атмосферы K5 вдоль линии наблюдатель-звезда ВВ.

В соответствии с изложенным в нашем распоряжении возможностями спектрофотометрические измерения производились фотографическим методом. При этом было обращено внимание на то, чтобы добиться большей точности, придав наблюдениям в возможной степени дифференциальный характер. С этой целью мы решали исследуемую звезду

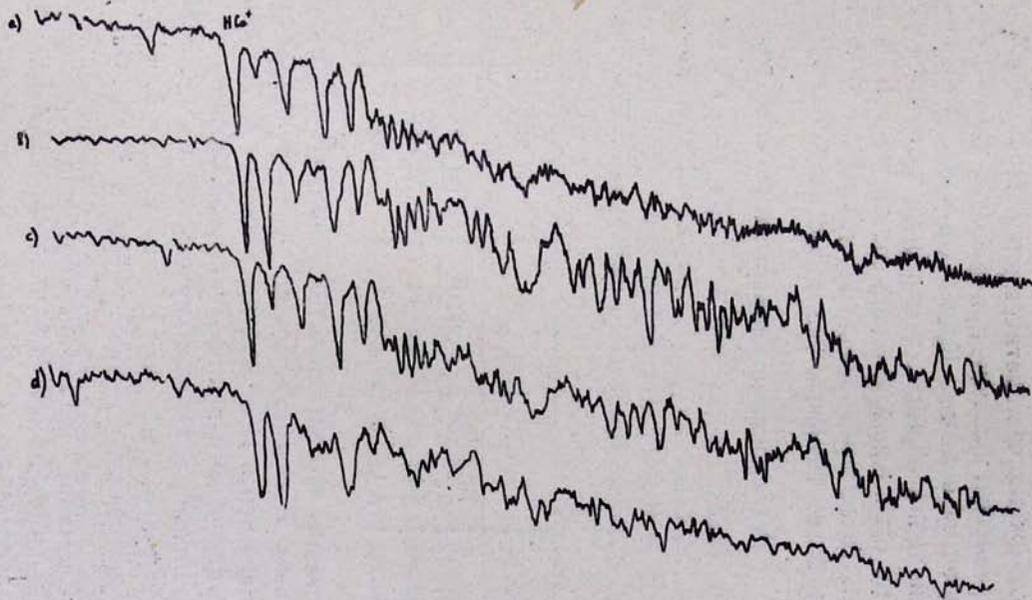


Рис. 1.

привязать к соседним звездам, фотографируя спектры звезд сравнения систематически и с теми же выдержками в промежутках между снимками спектров ϵ Возничего. Для устранения возможных систематических ошибок были выбраны звезды сравнения, имеющие примерно тот же порядок блеска, что и сама переменная. Кроме того, мы выбрали звезды сравнения таким образом, чтобы одна из них по спектральному типу была близка к одной составляющей, а другая — к другой. Такое планирование наблюдений дало возможность получить более точные и уверенные результаты.

Исследование непрерывного спектра

В течение декабря 1955 и января 1956 гг. на $10''$ телескопе АСН-5 было получено свыше 50 спектров ϵ Возничего и такое же число снимков спектров звезд сравнения (табл. 1), которые были выбраны вблизи исследуемой звезды.

Таблица 1

| Звезда | α | δ | Спектр | Величина |
|------------------------|--|------------------|--------|----------|
| 8 ϵ Возничего | $4^{\text{h}}55^{\text{m}}28^{\text{s}}$ | $+40^{\circ}50'$ | K5+Ve | 5—5.6 |
| 4 Возничего | $4^{\text{h}}52^{\text{m}}23^{\text{s}}$ | $+37^{\circ}41'$ | A0V | 4.90 |
| 7 Возничего | $5^{\text{h}}12^{\text{m}}6^{\text{s}}$ | $+40^{\circ}1'$ | K0 | 4.85 |

Отметим, что затмение 1955—1956 гг. было весьма благоприятным в том отношении, что прохождение звезды ϵ Возничего через меридиан приходилось в середине ночи, когда, в основном и производились наблюдения.

Калибровка пластинок осуществлялась при помощи сетчатых диафрагм, употреблявшихся ранее. Для этой цели фотографировались α Большого Пса и γ Орiona. Спектры обрабатывались на микрофотометре с увеличением в 20 раз. Использовались пластинки трех сортов: „Нильфорд зенит“, „Кодак“ и „НРЗ“.

а) *Определение глубины затмения.* Из всего наблюдательного материала были отобраны спектры ϵ и 4 Возничего (равных звездных величин), снятые с одинаковыми выдержками: спектр расширился за счет расстройств часо-

вого механизма, при этом обе звезды проходили через нити в окуляре одинаковое число раз и с одной и той же скоростью.

При обработке строилась зависимость $\lg \frac{I_c}{I_d}$ от $1/\lambda$ для максимума и минимума ζ Возничего (рис. 2). Эта зависимость дает возможность сразу же определить глубину затмения Δm (табл. 2). Как видно из рис. 2 и табл. 2, глубина

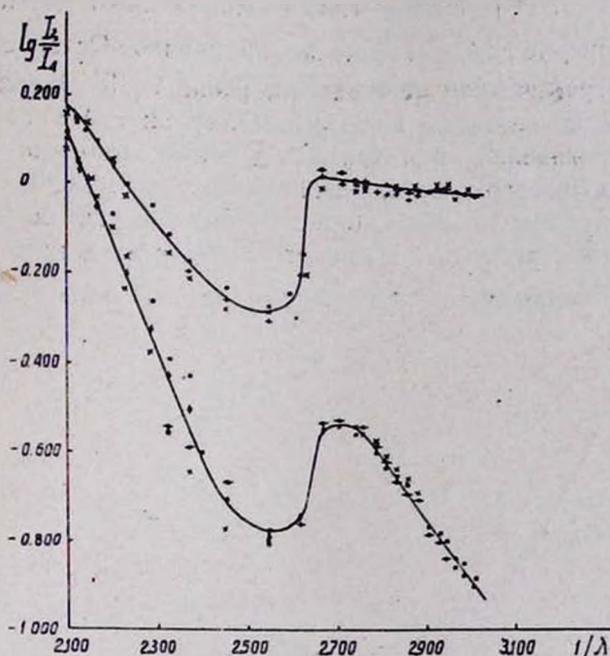


Рис. 2.

затмения для разных длин волн меняется в значительных пределах: от $0^m.2$ около $\lambda 4800 \text{ \AA}$ до двух звездных величин в далеком ультрафиолете. Значение глубины затмения, равное $0^m.46$ у $\lambda 4480 \text{ \AA}$, согласуется с результатами других наблюдателей. Так, например, из фотоэлектрических наблюдений в области $\lambda 4200$ Хаффер [5] получил значение $0^m.50$ и Роуч [6] — $0^m.47$.

Таблица 2

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $1/\lambda$ | 2,100 | 2,123 | 2,145 | 2,169 | 2,202 | 2,232 | 2,288 |
| Δm | 0,175 | 0,248 | 0,280 | 0,325 | 0,365 | 0,463 | 0,675 |
| $1/\lambda$ | 2,325 | 2,339 | 2,450 | 2,541 | 2,590 | 2,617 | 2,668 |
| Δm | 0,738 | 0,925 | 1,013 | 1,228 | 1,295 | 1,488 | 1,415 |
| $1/\lambda$ | 2,703 | 2,741 | 2,762 | 2,793 | 2,803 | 2,832 | 2,857 |
| Δm | 1,400 | 1,375 | 1,400 | 1,488 | 1,538 | 1,613 | 1,675 |
| $1/\lambda$ | 2,881 | 2,905 | 2,928 | 2,944 | 2,967 | 2,986 | 3,012 |
| Δm | 1,738 | 1,828 | 1,913 | 1,975 | 2,063 | 2,116 | 2,225 |

Значение глубины затмения, полученное Остерхофом [11] из фотографических наблюдений, равно $0^m 15$. Однако в области более длинных волн эти значения Δm несколько меньше значений, полученных другими авторами [12] из фотоэлектрических наблюдений. Вполне возможно, что значения глубины затмения, определенные из наблюдений на нашем инструменте, имеющем в области длинных волн малую дисперсию (порядка 210 Å mm), менее точны.

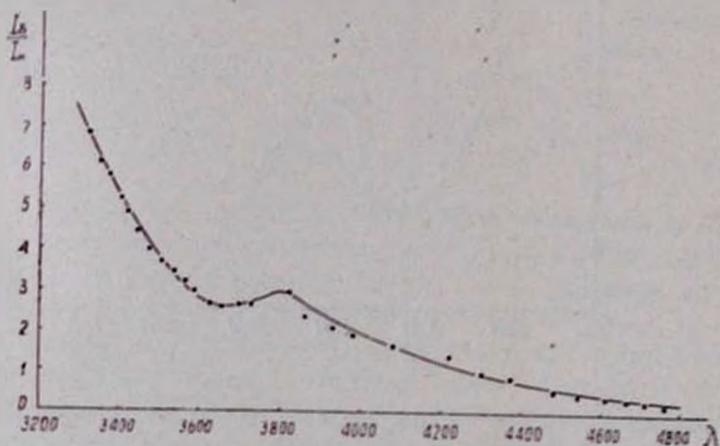


Рис. 3.

Приняв полученные значения глубины затмения и считая в минимуме затмения полных, можно определить зависимость отношения $\frac{L_R}{L_K}$ от длины волны. Из рис. 3 видно,

что спутник В8, яркость которого в длинноволновой части составляет лишь незначительную долю (0.175) от яркости сверхгиганта К5 в длинноволновой части, в далеком ультрафиолете становится ярче в 7 раз. Резкое понижение яркости у звезды К8 в области около λ 3600—3800 Å в результате наличия у нее значительного Бальмеровского скачка (0^m7) приводит к нарушению монотонного хода зависимости $\frac{L_B}{L_K}$ от длины волны λ .

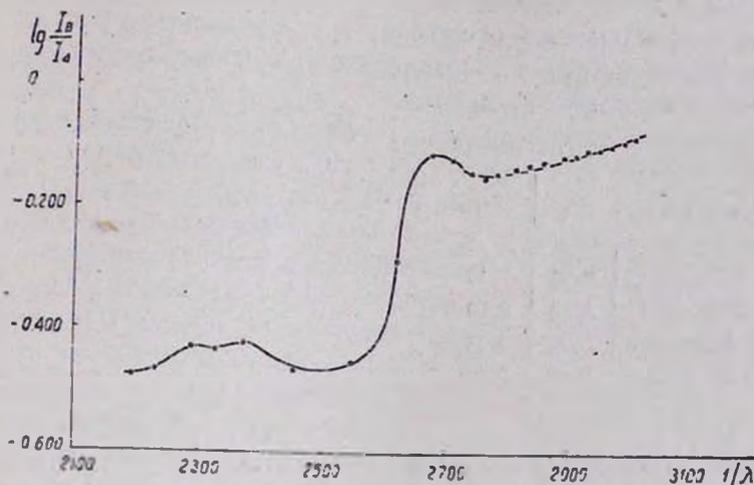


Рис. 4.

б) *Определение спектрофотометрических температур компонент системы ζ Возничего.* Относительный спектрофотометрический градиент $\Delta\Phi = 0.921 \frac{d(\Delta m_\lambda)}{d(1/\lambda)}$ опреде-

лялся для двух областей спектра: от 3200 Å до 3647 и от 3647 до 4800 Å. Интенсивности спектра измерялись в 20 точках. Абсолютный градиент звезды сравнения 4 Возничего (табл. 3) был взят из работы Диван и Меннерга [13]. Абсолютный градиент звезды сравнения λ Возничего был определен путем привязки к 4 Возничего.



Измерения величины $\lg \frac{I_2(\lambda)}{I_1(\lambda)}$ в минимуме для 12 спектров

дало возможность непосредственно определить градиенты для двух областей спектра звезды К5 (табл. 3). Отдельные наблюдения удовлетворительно согласуются друг с другом.

Разница

$$I_{\max} - I_{\min} = \frac{I_B(\lambda)}{I_A}$$

т. е. разница между отношением интенсивности исследуемой звезды к интенсивности звезды сравнения для максимума I_{\max} и подобным же отношением для минимума I_{\min} дает нам непосредственно распределение энергии в непрерывном спектре звезды В8 (рис. 4).

Таблица 3

| Звезда | Φ_1 | Φ_2 |
|--------------|----------|----------|
| 4 Возничего | 0,98 | 1,46 |
| 7 Возничего | 4,50 | 3,00 |
| К5 Возничего | 5,62 | 4,15 |
| В8 Возничего | 0,89 | 0,91 |

Если принять спектрофотометрическую температуру звезды 4 Возничего равной 16500 в фотографической области и 11000° — в ультрафиолетовой, то спектрофотометрические температуры для звезды К5 оказываются равными 2600 и 3600° соответственно.

Абсолютные градиенты звезды В8, приведенные в табл. 3, соответствуют спектрофотометрической температуре, близкой к 20000° для обеих областей спектра. Бальмеровский скачок в спектре звезды В8, определенный по отношению к звезде 4 Возничего, для которой, по определению Диван [13], $D = 0,50$, оказался равным 0,28.

с) *Оптическая глубина τ атмосферы звезды К5.*

Оптическую глубину τ вдоль линии наблюдатель — звезда В8 для разных высот атмосферы К5 можно определить, если измерить изменение яркости звезды В8 при входе и выходе ее из полного затмения, т. е. для промежутков времени прохождения ее за атмосферой сверхгиганта К5. Для решения этой задачи использовались спектры исследуемой звезды и звезды сравнения, полученные на одной и той же пластинке с одинаковой выдержкой.

В этом случае, как уже было сказано выше, получим:

$$L_{\max} - L_{\min} = \frac{L_B(\lambda)}{L_d(\lambda)}$$

Обозначим через $L' = \frac{I_\zeta(\lambda)}{I_d(\lambda)}$ интенсивность ζ Возничего для некоторого момента прохождения звезды В8 за атмосферой К5. Тогда

$$\frac{L_{\max} - L'}{L_{\max} - L_{\min}} = i - e^{-\tau_\lambda}$$

К сожалению, небольшая продолжительность времени прохождения звезды В8 за атмосферой звезды К5 не позволяет получить непрерывный ряд значений τ_λ . Ниже приведена указанная продолжительность времени прохождения по данным разных исследователей:

Вследствие неблагоприятной погоды во время захода звезды В8 удалось получить негативы спектров лишь в момент перехода системы к состоянию минимума, т. е. к полной фазе. В момент же выхода звезды В8 погода была благоприятной, однако начало этого выхода пришлось, по видимому, на дневное время. Поэтому первое же наблюдение в фотографической области, полученное вечером 16 января 1956 г., дало совпадение интенсивностей со значениями, полученными для максимума. В ультрафиолетовой же области замечалось некоторое поглощение.

Величина τ_λ в этой области спектра для трех разных моментов (в юлианских днях) дается в таблице 4.

Небольшие значения τ_λ (даже для самых коротких длин волн) свидетельствуют о крайней разреженности атмосферы сверхгиганта, что отмечалось неоднократно.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

К группе затменных переменных звезд типа ζ Возничего, у которых одна компонента гигант или сверхгигант

| Автор | t в днях |
|-----------|-------------|
| Хаффер . | 1.0 |
| Роуч . . | 1.3 |
| Остерхоф | 1.5 |
| Вильсон . | 1.7 |

Таблица 4

| Номер наблюдения | J. D | λ в Å | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 3617 | 3620 | 3540 | 3550 | 3550 | 3470 | 3415 | 3400 | 3370 | 3318 | 3320 | | |
| 279 | 490.232 | 0,428 | 0,385 | 0,374 | 0,400 | 0,408 | 0,406 | 0,453 | 0,510 | 0,588 | 0,583 | 0,616 | 0,677 | 0,684 |
| 261 | 490.340 | 0,288 | 0,281 | 0,289 | 0,300 | 0,320 | 0,321 | 0,342 | 0,355 | 0,361 | 0,372 | 0,380 | 0,390 | 0,402 |
| 261 | 491.279 | 0,110 | 0,195 | 0,207 | 0,226 | 0,229 | 0,192 | 0,175 | 0,161 | 0,183 | 0,200 | — | — | — |

спектрофотометрической температуры в ультрафиолете — характерно для звезд позднего класса. Например, для

больших размеров, но с низкой поверхностной температурой, а другая карликовая звезда, но с высокой поверхностной температурой, т. е. раннего типа, относятся также затменные звезды 31, 32 Лебеда и VV Цефея. Из этой группы звезд наиболее изучена γ Возничего. Однако наблюдения этой звезды, выполненные ранее, в основном были сделаны в фотографической области спектра. Кварцевая и алюминированная оптика телескопа-спектрографа АСИ-5 (9), а также большая высота места Бюраканской обсерватории над уровнем моря ($h = 1500$ м), позволили выполнить наблюдения в области далекого ультрафиолета.

Из наблюдений выяснилось следующее:

1) Яркость звезды В4, составляющая совсем незначительную долю от яркости К5 в области 4800 Å, становится больше в 7 раз у λ 3200 Å. Глубина затмения меняется в пределах от $0^m,2$ звездной величины ($\lambda = 4800$) до $2^m,2$ — в далеком ультрафиолете.

2) Определение спектрофотометрических градиентов показало, что звезда К5 имеет в фотографической области температуру $T_1 = 2600^\circ$, а в ультрафиолете более высокую — $T_2 = 3600^\circ$. Повышение

1958 թ. մինիմում ԱՄՍ-5 10⁹ հեոպիտակի միջոցով, Բյուրո-
կանի աստղադիտարանում:

Համեմատման աստղեր 4 և 1 հաստիարի գտնվում են
ուսումնասիրվող աստղին շատ մոտ և համարյա նույն պայծա-
ռություն կարգի են: Աստղասիրված է Լենրդիայի բաշխումը
սխառմի երկու բաղադրիչների անընդհատ օպեկարում:

Ստացված գիտական արժեքները համարման խորու-
թյանը ըն 3200 — 4800 Ա սիրույթի տարրեր պլիքների համար,
բաղադրիչների պայծասությունների հարաբերությունը և օպե-
կական շախմատներ K5-ի միևուրտի տարրեր կետերի հա-
մար գիտվող — B8 աստղի զգալի թյանը:

Պարզվում է, որ B8 աստղի պայծասությունը, որը կազ-
մում է K5 աստղի պայծասության չնչին ասիար 4800 Ա -ում,
7 անգամ գերազանցում է այն և 1300 Ա-ում:

Ստիարման խորությունը փոփոխվում է 9² 2-ից (և 4800 Ա)
մինչև 2¹⁰ 2 (հեոպիտ աստղարանի շահագույնում):

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Z. Kopal, Ap. J., 103, 319, 1946.
2. L. Campbell, Lick. Obs. Bull., 5, 62, 1905.
3. Harper, Pub. Dom. Ap. Obs., 3, 151, 1925.
4. P. Guthnick and H. Schneller, Sitzungsberichte Preuss. Acad. der
Wissenschaften, P. 1, 1932.
5. C. Huffer, Ap. J., 81, 292, 1945.
6. F. Roach, Ap. J. 83, 1, 1941.
7. O. Wilson and W. Christie, Ap. J., 81, 426, 1935.
8. O. Wilson and H. Abt, Ap. J. Suppl., 1, 1951.
9. O. Мельникова и Б. Иоаннисиди, Изв. ГАО, 147, 1951.
10. Н. Т. Иличов, «Сообщения Бораканской обсерватории»,
изд. 16, 1955.
11. P. Oosterhoff, Ap. J. 81, 461, 1935.
12. J. Hall, Ap. J., 90, 317, 1939.
13. L. Ditsan et C. Mennert, Journal des Obs., 28, № 12, 1955.
14. Э. Мусель, Успехи астр. наук, 3, 170, 1947.
15. D. Barbier et D. Chalonge, Ann. d'Astr., 4, № 1, 1941.