

Фотоэлектрические наблюдения затменной переменной 44 i Boo в инфракрасной области

В. В. Прокофьева

Затменная переменная 44i Boo наблюдалась летом 1956 г. на 500-миллиметровом менисковом телескопе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. Наблюдения производились на фотоэлектрическом фотометре с кислородно-цезиевым фотоумножителем типа ВЭИ-1.

Получены кривые блеска в эффективных длинах волн $\lambda_{\text{эф}} = 7700 \text{ \AA}$, $8200 \text{ \AA}$, $9400 \text{ \AA}$ (рис. 2) и нормальная кривая цвета $CI_{7700/9400}$ (рис. 4).

Наблюдения показали, что разности глубин минимумов кривых блеска одинаковы в различных длинах волн и равны $0^{\text{m}}.035$. Разность высот максимумов в длине волны $7700 \text{ \AA}$ равна $0^{\text{m}}.035$, а в длине волны $9400 \text{ \AA}$ — $0^{\text{m}}.015$. Обнаружено изменение показателя цвета с периодом. В минимумах блеска звезда менее «красная», что согласуется с результатами Шмидта и Шрикка.

Кривые блеска в инфракрасной области подвержены быстрым изменениям, которые аналогичны колебаниям, наблюдавшимся Эггеном в видимой области спектра. Статистическое рассмотрение этих изменений показало, что увеличению блеска в фильтре $\lambda_{\text{эф}} = 7700 \text{ \AA}$ обычно соответствует уменьшение блеска в фильтре $\lambda_{\text{эф}} = 9400 \text{ \AA}$ и наоборот. Это указывает на наличие быстрых изменений распределения энергии в инфракрасной области спектра.

Photoelectric Observations in the Infrared of the Eclipsing Variable 44i Boo

V. V. Prokofyeva

Observations of the eclipsing variable 44i Boo were made with the 500 mm meniscus telescope of the Crimean Astrophysical Observatory during the summer of 1956. A photoelectric photometer with an oxygen-caesium photomultiplier of the ВЭИ-1 type was used.

A normal colour curve $CI_{7700/9400}$ (fig. 4) and light curves in the effective wavelengths $\lambda_{\text{ef}} = 7700 \text{ \AA}$, $8200 \text{ \AA}$, $9400 \text{ \AA}$ (fig. 2) were derived.

Observations showed that the differences between the depths of the light curve minima are the same for different wavelengths and equal $0^{\text{m}}.035$. The difference of the maxima is $0^{\text{m}}.035$ for $\lambda = 7700 \text{ \AA}$ and $0^{\text{m}}.015$ for $9400 \text{ \AA}$. A variation of the colour index with the period has been detected. At minimum brightness the star is not so «red», which agrees with the results of Schmidt and Schrick.

The light curves in the infrared show rapid variations, analogous to those observed by Eggen in the visual region. A statistical consideration of these variations showed that an increase in brightness observed with the filter $\lambda_{\text{ef}} = 7700 \text{ \AA}$ usually corresponds to a decrease for the filter $\lambda_{\text{ef}} = 9400 \text{ \AA}$ and vice versa. This points to a rapid variation of the energy distribution in the infrared region of the spectrum.

§ 1. Нет надобности говорить о том, какое большое значение для космогонии имеет всестороннее изучение двойных звезд. Отметим только, что особый интерес представляют наиболее тесные пары — так называемые соприкасающиеся двойные звезды. Как известно, к последним относятся две большие группы переменных: звезды типа β Лиры и W Большой Медведицы [1]. Последние, согласно подсчетам Шанли [2], образуют наиболее много-

численную группу среди всех затменных переменных звезд. К сожалению, вследствие их небольшой видимой яркости, звездам типа W UMa посвящено значительно меньшее число исследований, чем абсолютно более ярким (примерно на 10—12 величин) системам типа β Lyr.

В настоящее время известно около 260 [3] систем типа W UMa и только около 20 из них ярче 10 видимой величины, причем даже самые яркие не достигают в максимуме блеска 6^m5.

По своим физическим характеристикам звезды типа W UMa образуют весьма однородную группу [2, 4] со следующими особенностями: средний спектральный тип F8 (30 звезд спектральных классов от A0 до M), причем обе компоненты имеют обычно одинаковые спектры; средний период 0^d49 (123 звезды с периодами от 0^d2 до 1^d — 1^d5); амплитуда изменения блеска в первичном минимуме 0^m65, во вторичном — 0^m60 (123 звезды); среднее отношение радиусов компонент 0.76 (117 звезд); средняя абсолютная величина в пределах $4^m4 \pm 0^m3$ [5] (11 звезд). Дисперсия абсолютных величин настолько незначительна, что эти звезды могут использоваться для определения расстояний. Отношение масс компонент, определенное из лучевых скоростей, около двух, в то время как отношение светимостей компонент практически равно единице (от 1 до 1.3). Из этого следует, что либо одна, либо обе компоненты не подчиняются соотношению масса — светимость. Многие авторы [1, 6, 7] считают, что причиной этого является излучение общей газовой оболочки, окружающей компоненты. Благодаря этому компоненты кажутся более сходными фотометрически и спектроскопически.

Отметим следующие особенности спектров звезд рассматриваемого типа [1]:

1. Спектральные линии в спектрах звезд W UMa довольно широки, что указывает на быстрое вращение компонент. Период орбитального вращения равен периоду вращения компонент около оси.

2. Спектральный тип всегда становится более поздним в момент затмения независимо от того, какая компонента затмевается.

3. Когда линии раздвоены, сумма их интенсивностей не равна интенсивности одиночной линии. Во время затмений линии интенсивнее и глубже. Создается впечатление, что во время элонгаций либо какое-то непрерывное излучение, либо расширенные линии излучения накладываются на раздвоенные линии поглощения.

4. В элонгации линии расширены, но контуры их не соприкасаются. Это соответствует случаю, когда обе звезды излучают как сравнительно малые диски, достаточно удаленные друг от друга.

5. В спектрах некоторых систем наблюдаются очень широкие и размытые линии излучения CaII.

Фотометрические исследования последних лет показали, что кривые блеска звезд типа W UMa подвержены довольно быстрым нерегулярным изменениям [6–12]. Эти изменения выражаются в колебаниях блеска звезды на протяжении отдельного цикла относительно нормальной кривой блеска, построенной по наблюдениям переменной за достаточно большой промежуток времени. Иногда также наблюдается смещение вторичного минимума, во время которого обычно затмевается более массивная компонента.

Нормальные кривые блеска, полученные по наблюдениям различных лет, также отличаются друг от друга. Объяснить это только движением линии апсид не удастся.

Не остаются постоянными и периоды. В ряде случаев, например у 44i Boo и SW Lac, происходит постепенное увеличение периода [9–11]. Причиной подобных изменений периодов, по мнению некоторых авторов, являет-

ся потеря массы. *Койпер* предполагает, что у тесных пар истечение происходит из внешней критической точки, что должно вести к уменьшению периода. *Крат* [15] считает, что если скорость истечения велика (порядка 100 км/сек), то истечение должно происходить из внутренней критической точки без потери системой момента вращения. При этом должно происходить увеличение взаимного расстояния компонент и увеличение периода. Иногда наблюдается периодическое изменение периода, например у VW Сер и U Peg с периодами 30—40 и 80 лет соответственно [6, 13]. *Шмидт* и *Шрикк* объясняют изменение периодов систем W UMa влиянием третьего или даже четвертого невидимого тела.

Исследования кривых блеска в разных областях спектра показывают наличие изменений показателя цвета систем типа W UMa. *Брунли* у SW Lac [11], *Лафара* у U Peg [16] и *Шмидт* и *Шрикк* у VW Сер, W UMa и 44i Boo [7-9] обнаружили изменение показателя цвета этих систем в видимой области. Все звезды, кроме 44i Boo, в максимумах блеска „синееют“, что вполне согласуется со спектроскопическими данными. 44i Boo, наоборот, в максимумах блеска становится более „красной“. Кроме того, оказалось, что у SW Lac средний показатель цвета также не постоянен: так, в 1954 г. звезда была на 0^m.09 „синее“, чем в 1953 г.

Представляет несомненный интерес исследование кривых блеска звезд типа W UMa в возможно более широком спектральном диапазоне.

Настоящая работа и посвящена фотометрическому исследованию 44i Boo в инфракрасной области.

§ 2. Звезда 44i Boo является тройной системой. Как визуально-двойная она была открыта *Гершелем* в 1781 г. Согласно последним определениям *Странда* [17], ее период равен 219 лет, большая полуось составляет 3".609, эксцентриситет орбиты равен 0.42 и наклон плоскости орбиты к лучу зрения 83°.46. В 1936 г. *Схилт* [18] по негативам, полученным на 60" рефлекторе обсерватории Маунт-Вилсон, установил, что компонента В визуально-двойной в свою очередь является затменной переменной типа W UMa с периодом около $\frac{1}{4}$ дня и амплитудой блеска около 0^m.5. Компонента А на 0^m.76 ярче компоненты В в максимуме блеска. В дальнейшем эта звезда привлекала внимание многих авторов.

Согласно спектроскопическим наблюдениям, обе компоненты имеют один и тот же спектральный класс G2 и отношение масс компонент, равное двум. Более массивная компонента затмевается во время вторичного минимума.

Период 44i Boo определялся неоднократно. Сейчас установлено, что он увеличивается. Попытки объяснить это увеличение периода движением компоненты В вокруг общего центра тяжести тройной системы не увенчались успехом [21, 9]. *Биннендайк* отмечает, что около 1936 г., вероятно, произошло внезапное увеличение периода на 0.4 сек.

Фотоэлектрические наблюдения показывают, что кривая блеска 44i Boo подвержена как медленным, так и довольно быстрым изменениям. Медленные изменения выражаются в отличии кривых блеска, полученных в разные годы. Сопоставление таких кривых производилось неоднократно [8, 9, 10, 13]. Они показывают, что величины максимумов не остаются постоянными. Так, по наблюдениям между 1930 и 1935 гг. среднее различие в величине максимумов составляло $\Delta m = 0^m.022$. По наблюдениям, проведенным между 1936 и 1955 гг., величина максимумов почти одинакова (среднее значение разницы максимумов составляет $\Delta m = 0^m.003$). Разность глубин первичного и вторичного минимумов за период с 1930—1940 гг. по 1953—1955 гг. уменьшилась с 0^m.040 до 0^m.020. Кроме того, в 1930 г. максимумы были сдвинуты в сторону вторичного минимума, а в 1947 и 1952 гг. — в сторону первичного,

минимума. По наблюдениям же 1935—1936 гг. они расположены симметрично. Зависимости изменений вида кривой от спектральной области не обнаружено.

Шапли и Колдер [22] по наблюдениям 1935—1936 гг. обнаружили, что средняя кривая 1936 г. смещена на 0^m06 относительно кривой 1935 г., и заподозрили, что компонента А (спектральный класс G0 согласно *Адамсу и Джою*) переменна. На возможную переменность компоненты А с амплитудой 0^m09 указывает и *Биннендайк* [10]. *Шмидт* и *Шрикк* по наблюдениям 1954—1956 гг. переменности компоненты А не обнаружили [8]. В настоящее время вопрос о переменности компоненты А остается открытым.

Быстрые колебания блеска впервые были замечены *Шапли и Колдером* в 1936 г. [22]. *Эгген* [9] специально исследовал этот вопрос и показал, что в течение отдельных периодов наблюдаются нерегулярные отклонения от нормальной кривой блеска. Они особенно велики во время максимумов блеска, а также во время вторичного минимума. Один раз им наблюдалось смещение вторичного минимума.

В 1938 г. *В. Б. Николовым* был проведен небольшой ряд фотоэлектрических наблюдений 44i Воо в инфракрасной и синей областях спектра. Наблюдения в разных областях спектра велись одновременно, и нормальные кривые в обеих областях совпали. *Шмидт* и *Шрикк* [8] по наблюдениям 1954—1956 гг. обнаружили изменения цвета звезды с ее периодом. Амплитуда колебаний показателя цвета в фиолетовой области ($CI_{370/450}$) равнялась 0^m05 , а в видимой области ($CI_{450/580}$) — 0^m025 , причем в минимуме блеска звезда оказалась более „синей“, чем в максимуме. Это, как мы указывали выше, противоречит спектроскопическим и фотоэлектрическим данным для других звезд этого типа и указывает на некоторую аномальность 44i Воо, что дает дополнительные основания для исследования этой звезды в более широкой спектральной области.

§ 3. Переменная 44i Воо наблюдалась автором в 1956 г. Наблюдения проводились в красной инфракрасной области с помощью звездного электрофотометра, установленного в фокусе Кудэ менискового телескопа (МТМ—500). Светоприемником являлся фотоумножитель типа ВЭИ-1 (разработан чл.-корр. *П. П. Тимофеевым* и *Е. Г. Кормаковой*) [29] с кислородно-цезиевым катодом, охлаждаемым твердой углекислотой. На него подавалось напряжение 1000 в от высоковольтного стабилизатора ВВС-1. В этих условиях темновой ток составлял 10^{-11} а и среднее квадратичное значение шума 10^{-12} а. Отношение сигнала к шуму примерно в три раза превосходило теоретическое, обусловленное дробовым эффектом термоэмиссии. Изменение величины тока производилось простейшим усилителем постоянного тока, собранным по схеме *Дю-Бриджа-Броуна* [25]. Постоянная времени усилителя равнялась 2 сек. На выходе усилителя стоял зеркальный гальванометр с чувствительностью $3 \cdot 10^{-9}$ а/мм·м, показания которого регистрировались фотографически. Запись каждого отброса длилась 40 сек.

Наблюдения производились в двух фильтрах: красном (КС—19, толщина 1 мм) и инфракрасном (марблит, толщина 5 мм). С длинноволновой стороны рабочий участок длин волн ограничивался чувствительностью катода фотоумножителя. Кривые пропускания светсфильтров были определены на стандартном фотоэлектрическом спектросфотометре СФ-4, позволяющем вести измерения в диапазоне 2200—12000 Å. Спектральная чувствительность фотоумножителя была измерена на специально собранном для этой цели дифракционном монохроматоре и отнесена к источнику света с равномерным распределением энергии по спектру. Для этого распределение энергии на выходе монохроматора было измерено с помощью термоэлемента. На рис. 1 приведены полученные кривые пропускания фильтров (кривые 3 и 4) и

кривые чувствительности фотометра с красным (кривая 1) и инфракрасным (кривая 2) фильтрами. Эффективные длины волн, соответствующие кривым 1 и 2, составляют 8200 и 9400 Å соответственно.

Сравним проникающую способность нашего фотометра и фотометра *Крона*, который вел наблюдения в красной и инфракрасной областях спектра с помощью газополного кислородно-цезиевого фотоэлемента [26, 27]. На 100" телескопе им измерялись звезды поздних спектральных классов до 16-й фотографической величины. В пересчете для звезд спектрального класса A0 и для 500-миллиметрового телескопа это дает предельную величину, равную 11^m. В наших условиях с аналогичным фильтром величина тока от звезды 11-й величины спектрального класса A0 составля-

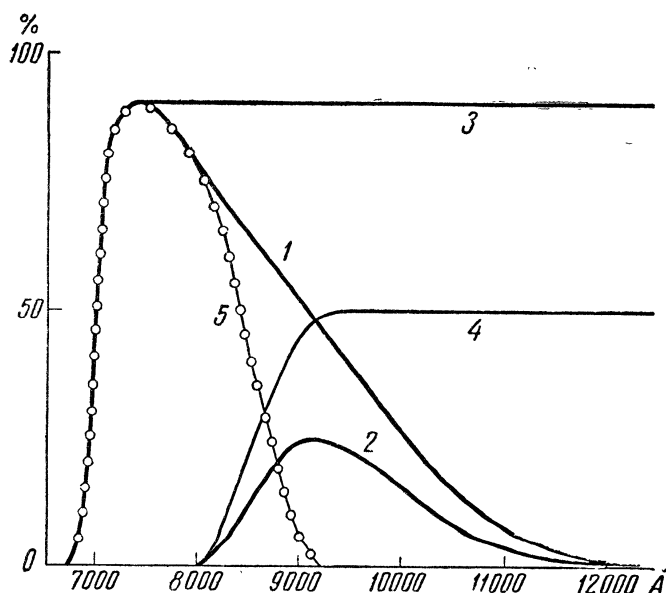


Рис. 1. Кривые спектральной чувствительности фотометра в красной и инфракрасной области

ла $2 \cdot 10^{-12} a$, что в два раза превосходило среднее квадратичное значение шума. Если считать, что при времени записи 40 сек. можно с достаточной точностью (порядка 1%) регистрировать отброс, в 5 раз превосходящий среднее квадратичное значение шума, то на нашем фотометре предельной величиной является 10^m звезды спектрального класса A0. Следовательно, применение фотоумножителя типа ВЭИ-1 с весьма несложной измерительной аппаратурой для измерения инфракрасного света звезд дает результаты, вполне сравнимые с результатами, полученными *Кроном* с помощью лучших инфракрасных фотоэлементов с весьма сложной усилительной аппаратурой.

Как видно из рис. 1, кривые 1 и 2 спектральной чувствительности фотометра с красным и инфракрасным фильтрами перекрываются. Представляется целесообразным при обработке наблюдений исключить это перекрытие, т. е. из отсчета с красным фильтром исключить ту долю, которая приходится на область чувствительности с инфракрасным фильтром. Это было

сделано следующим образом: пусть $A = c \int_0^{\infty} I_{\lambda} k'_{\lambda} d\lambda$ — отсчет в красном филь-

тре и $B = c \int_0^{\infty} I_{\lambda} k''_{\lambda} d\lambda$ — отсчет в инфракрасном фильтре, где I_{λ} — спектраль-

ное распределение энергии в световом потоке после прохождения через

оптическую систему телескопа, k'_λ, k''_λ — спектральные чувствительности аппаратуры в красном и инфракрасном фильтрах соответственно. Обозначим через λ_1 и λ_2 коротковолновые границы спектральной чувствительности фотометра с красным и инфракрасным фильтрами, через λ_4 — их общую длинноволновую границу, через λ_3 — длину волны, для которой пропускание инфракрасного фильтра достигает горизонтального участка. В области $\lambda \geq \lambda_3$ отношение коэффициентов пропускания фильтров $\frac{k'}{k''} = 1.8$. Имея в виду это отношение, составим разность:

$$A - 1.8B = c \int_{\lambda_1}^{\lambda_4} I_\lambda k'_\lambda d\lambda - 1.8c \int_{\lambda_2}^{\lambda_4} I_\lambda k''_\lambda d\lambda = c \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_\lambda k'_\lambda d\lambda + \\ + c \int_{\lambda_2}^{\lambda_3} I_\lambda k'_\lambda d\lambda + c \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} I_\lambda (k'_\lambda - 1.8k''_\lambda) d\lambda - 1.8 \int_{\lambda_2}^{\lambda_3} I_\lambda k''_\lambda d\lambda;$$

но

$$\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} I_\lambda (k'_\lambda - 1.8k''_\lambda) d\lambda = 0,$$

тогда

$$A - 1.8B = c \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_\lambda k'_\lambda d\lambda + c \int_{\lambda_2}^{\lambda_3} I_\lambda (k'_\lambda - 1.8k''_\lambda) d\lambda.$$

Таким образом, после вычитания отсчета в инфракрасном фильтре, умноженного на 1.8, влияние излучения с $\lambda > \lambda_3$ исключается полностью. Это вычитание произведено на рис. 1, где кривая 5 представляет эффективную область чувствительности для разности $A - 1.8B$. Введение этой разности приводит к тому, что эффективная длина волны для красного фильтра сдвигается в коротковолновую часть спектра и составляет 7700 Å. В соответствии с этим для количественного определения наблюдаемого значения цвета звезды принято выражение

$$C = -2.5 \lg \frac{A - 1.8B}{B} = -2.5 \lg \left(\frac{A}{B} - 1.8 \right). \quad (1)$$

§ 4. При наблюдениях 44! Воо в качестве звезды сравнения была взята β Воо ($m_v = 3^m6$, спектральный класс G5). Наблюдения велись по обычной схеме: $a_1, v_1, a_2, v_2, a_3, v_3, \dots$. Запись наблюдений каждой звезды была симметрична. Время между соседними наблюдениями переменной составляло 15—18 мин. Для проверки чувствительности аппаратуры через 15—18 мин. брался отсчет на эталоне (люминофор постоянного действия). Звезды наблюдались с диафрагмой поля 1 мм, что при фокусном расстоянии телескопа 6.5 м соответствует 31".6. Фон неба даже при полной Луне не превышал 2% от величины отсчета на переменной звезде и регистрировался только в лунные ночи.

Расстояние между звездой сравнения и переменной звездой в угловой мере составляло около 7°. Поэтому было необходимо учитывать поглощение в атмосфере. При обработке звездных величин внеатмосферное значение разности величин переменной звезды и звезды сравнения Δm_0 должно вычисляться по формуле [29]:

$$\Delta m_0 = m_v - m_a - \alpha(t, C_a)[F(z)_v - F(z)_a] - \gamma(C_v - C_a)F(z)_v, \quad (2)$$

где m_v и m_a — наблюдаемые значения блеска переменной звезды и звезды сравнения, $F(z)_v$ и $F(z)_a$ — соответствующие воздушные массы, $\gamma = \frac{d\alpha(t, C_a)}{dC}$, а C_v и C_a — наблюдаемые значения инфракрасного цвета данных звезд. В нашем случае спектральные классы переменной звезды и звезды сравнения близки, и разность $C_v - C_a$ составляла 0.^m03. Имея в виду, что обычно также и $\gamma \ll 1$, заключаем, что влиянием последнего члена в формуле (2) можно пренебречь и вести вычисление по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta m_0 &= m_v - m_a - \alpha(t, C_a)[F(z)_v - F(z)_a] = \\ &= m_v - m_a - \alpha(t, C_a) \cdot \Delta F(z). \end{aligned} \quad (3)$$

Величина $\Delta F(z)$ в условиях настоящих наблюдений не превосходила 0.2. Чтобы точность вносимых поправок не была ниже 0.^m01, необходимо было определять $\alpha(t, C_a)$ с точностью $\pm 0.^m05$.

Величина $\alpha(t, C_a)$ определялась следующим образом. По среднему фактору экстинкции $\alpha_{cp}(t, C_a)$ каждое наблюдение звезды сравнения $\beta_{\text{воо}}$ было вынесено за атмосферу. Были получены внеатмосферные значения $\beta_{\text{воо}}$:

$$m_{7700} = -1.^m82 \pm 0.^m06 \text{ и } m_{9400} = -0.^m52 \pm 0.^m06.$$

По этим внеатмосферным значениям были построены графики изменения $\alpha(t, C_a)$ в течение каждой ночи. В среднем значения фактора экстинкции колебались около 0.^m1 для инфракрасной величины и около 0.^m15 для красной величины. Поправка за член $\alpha(t, C_a) \Delta F(z)$ в редких случаях достигала 0.^m04, обычно же была значительно меньше.

Обработка значений цвета звезд велась отдельно от обработки величин. Внеатмосферное значение разности цвета переменной звезды и звезды сравнения вычисляется обычно по формуле, аналогичной (3):

$$\Delta C_0 = C_v - C_a - \alpha_C(t, C_a)[F(z)_v - F(z)_a].$$

В наших условиях ввиду малого значения фактора экстинкции $\alpha_C(t, C_a)$, равного в среднем 0.^m02, поправка за член $\alpha_C(t, C_a) \cdot \Delta F(z)$ не превосходила нескольких тысячных звездной величины и в наблюдения не вносилась.

§ 5. Наблюдения производились в течение девяти ночей в июне 1956 г. Всего получено 76 наблюдений. Результаты представлены в табл. 1. В первом столбце даны моменты наблюдений в юлианских днях; во втором — фазы наблюдений (фазы вычислялись со средним значением периода $P = 0.^d26780928$ и начальной эпохой $T_0 = 2421113.^d259$), в трех следующих — внеатмосферные разности звездных величин переменной звезды и звезды сравнения для трех эффективных длин волн $\lambda_{\text{эф}} = 7700 \text{ \AA}$, $\lambda_{\text{эф}} = 9400 \text{ \AA}$, $\lambda_{\text{эф}} = 8200 \text{ \AA}$, в последнем столбце — разность инфракрасного цвета переменной звезды и звезды сравнения.

На рис. 2 представлены полученные кривые блеска. Среднее квадратичное отклонение отдельных точек от нормальной кривой составляет для кривой $\lambda_{\text{эф}} = 7700 \text{ \AA}$ $\sigma_1 = \pm 0.^m015$ и для кривой $\lambda_{\text{эф}} = 9400 \text{ \AA}$ $\sigma_2 = \pm 0.^m013$. Обращает на себя внимание факт, что разброс точек относительно нормальной кривой значительно меньше в области главного минимума, среднее квадратичное отклонение здесь составляет $\sigma_{\text{min}} = \pm 0.^m010$. В связи с этим можно предполагать, что несколько больший разброс на всей кривой за исключением главного минимума обусловлен естественными колебаниями блеска переменной. Возможно, что источником этих колебаний является нестабильная зона, расположенная между двумя компонентами переменной звезды.

Т а б л и ц а 1

J.D.☉	Фаза	<i>m</i> 7700	<i>m</i> 9400	<i>m</i> 8200	<i>C</i>
2435657.4472	0.005	1.587	1.634	1.601	—0.045
654.5028	0.012	1.568	1.615	1.578	—0.069
656.3778	0.013	1.580	1.606	1.583	—0.024
661.4674	0.016	1.560	1.627	1.583	—0.073
644.3323	0.034	1.536	1.612	1.561	—0.084
661.4764	0.050	1.532	1.583	1.548	—0.058
657.4611	0.057	1.520	1.566	1.541	—0.052
656.3938	0.073	1.512	1.530	1.520	—0.021
644.3458	0.086	1.473	1.522	1.479	—0.060
656.4049	0.114	1.469	1.496	1.479	—0.029
659.3542	0.126	1.437	1.504	1.471	—0.065
637.3940	0.127	1.470	1.494	1.489	—0.015
644.3585	0.131	1.451	1.500	1.462	—0.051
659.3667	0.174	1.439	1.454	1.446	—0.019
644.3715	0.183	1.454	1.479	1.451	—0.028
659.3785	0.217	1.413	1.489	1.437	—0.075
644.3861	0.235	1.427	1.481	1.435	—0.056
637.4292	0.258	1.442	1.464	1.450	—0.009
659.3917	0.268	1.440	1.471	1.451	—0.032
644.3951	0.269	1.428	1.449	1.435	—0.020
659.4028	0.309	1.409	1.454	1.420	—0.037
637.4451	0.318	1.444	1.483	1.467	—0.035
644.4097	0.325	1.412	1.484	1.436	—0.069
643.3417	0.337	1.448	1.482	1.465	—0.030
665.3090	0.362	1.413	1.484	1.441	—0.073
644.4215	0.368	1.479	1.481	1.481	+0.001
659.4188	0.368	1.447	1.505	1.461	—0.071
637.4639	0.389	1.487	1.522	1.498	—0.036
654.3361	0.389	1.452	1.517	1.474	—0.065
665.3208	0.407	1.484	1.514	1.496	—0.030
643.3625	0.412	1.476	1.519	1.512	—0.014
659.4313	0.413	1.483	1.495	1.490	—0.015
644.4361	0.422	1.516	1.558	1.533	—0.045
654.3479	0.433	1.486	1.562	1.511	—0.073
665.3292	0.437	1.504	1.549	1.517	—0.043
644.4472	0.463	1.564	1.592	1.579	—0.028
665.3375	0.468	1.510	1.573	1.521	—0.072
637.4861	0.471	1.552	1.610	1.535	—0.040
654.3604	0.478	1.564	1.596	1.559	—0.033
665.3465	0.502	1.543	1.595	1.557	—0.050
644.4583	0.504	1.542	1.620	1.570	—0.074
661.3313	0.508	1.553	1.578	1.567	—0.038
654.3750	0.534	1.535	1.599	1.547	—0.065
665.3556	0.536	1.562	1.594	1.573	—0.031
644.4694	0.547	1.536	1.563	1.543	—0.029
661.3431	0.553	1.551	1.594	1.571	—0.054
665.3632	0.564	1.506	1.535	1.519	—0.023
657.3347	0.587	1.476	1.500	1.489	—0.024
661.3549	0.593	1.467	1.504	1.457	—0.049
644.4847	0.605	1.480	1.473	1.480	—0.009
665.3736	0.605	1.475	1.511	1.491	—0.039
657.3479	0.635	1.452	1.455	1.452	—0.010
644.4958	0.646	1.438	1.483	1.453	—0.042
657.3590	0.677	1.408	1.450	1.427	—0.040
661.3792	0.687	1.394	1.467	1.419	—0.064
661.3917	0.736	1.372	1.449	1.421	—0.065
657.3792	0.751	1.385	1.421	1.414	—0.038
661.4056	0.788	1.398	1.457	1.416	—0.057
657.3903	0.792	1.409	1.450	1.445	—0.044
654.4465	0.801	1.423	1.450	1.429	—0.034
661.4170	0.829	1.417	1.466	1.430	—0.051
654.4570	0.841	1.408	1.458	1.417	—0.055
656.3340	0.849	1.434	1.460	1.464	—0.023
657.4056	0.850	1.413	1.478	1.454	—0.075
661.4299	0.878	1.443	1.485	1.461	—0.041

J. D.☉	Фаза	Окончание табл. 1			
		<i>m</i> 7700	<i>m</i> 9400	<i>m</i> 8200	<i>C</i>
2435357.4236	0.881	1.496	1.521	1.501	—0.031
654.4688	0.885	1.475	1.499	1.487	—0.034
656.3438	0.886	1.446	1.468	1.453	—0.018
661.4417	0.922	1.485	1.539	1.503	—0.057
654.4799	0.926	1.497	1.534	1.507	—0.031
656.3556	0.931	1.495	1.541	1.508	—0.046
657.4361	0.964	1.548	1.587	1.555	—0.040
654.4910	0.968	1.551	1.582	1.566	—0.042
656.3674	0.973	1.563	1.599	1.562	—0.035
661.4563	0.975	1.545	1.611	1.568	—0.067
644.3188	0.985	1.583	1.645	1.610	—0.055

Во время главного минимума эта зона затмевается более массивной звездой и мало влияет на изменение блеска всей системы.

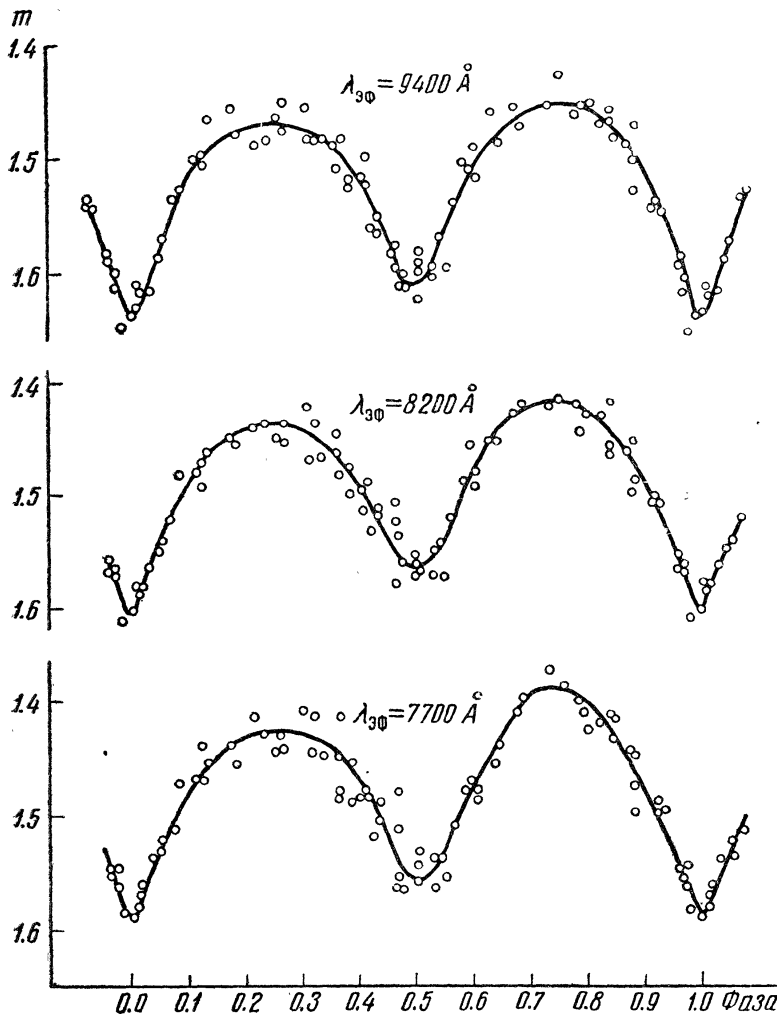


Рис. 2. Кривые блеска переменной 44i Boo

Из рис. 2 видно, что максимумы кривой блеска расположены симметрично относительно обоих минимумов. Вторичный минимум приходится на фазу $\varphi = 0.50$. Разность глубин минимумов одинакова в красных и инфракрасных лучах и составляет 0.^m035. Разность высот вторичного и первичного максимумов в длине волны 7700Å равна 0.^m035, а в длине волны 9400Å — 0.^m015.

Таблица 2

J. D.	O—C	Ссылка	J. D.	O—C	Ссылка	J. D.	O—C	Ссылка
2421113	0.000	29	2428314	—0.048	22	2434769	—0.016	8
22090	—0.009	29	28635	—0.051	21	34876	—0.015	8
24646	—0.030	18	30152	—0.051	20	34894	—0.014	10
25671	—0.035	30	32339	—0.040	9	35341	—0.005	8
26058	—0.039	31	34132	—0.022	8	35601	—0.001	8
27587	—0.046	21	34479	—0.018	8	35657	0.000	Настоящая работа
27948	—0.049	22	34589	—0.017	8	35694	—0.002	8

В табл. 2 даны эпохи наблюдений главного минимума, начиная с 1917 г., и разности $O - C$ наблюдаемых моментов минимумов и вычисленных с вышеприведенными элементами. На рис. 3 изображен ход разности $O - C$ со временем, кружком обозначена точка, полученная по нашим наблюдениям.

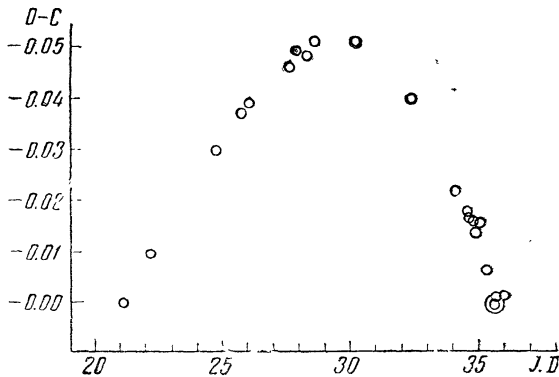


Рис. 3. Зависимость $O - C$ от времени переменной 44i Boo

На рис. 4,а представлены результаты наблюдений цвета переменной. Если предположить, что инфракрасный цвет i Boo постоянен и разброс точек обусловлен ошибками наблюдений, то среднее квадратичное значение этих ошибок будет $\pm 0^m.020$. Из наблюдений же следовало ожидать ошибку меньше $0^m.010$. Поэтому было сделано предположение, что такой большой разброс значений обусловлен естественными колебаниями цвета i Boo. По данным табл. 1 были вычислены нормальные точки, в каждую из которых входило по 4 наблюдения. В качестве верхнего предела ошибки отдельной нормальной точки по-

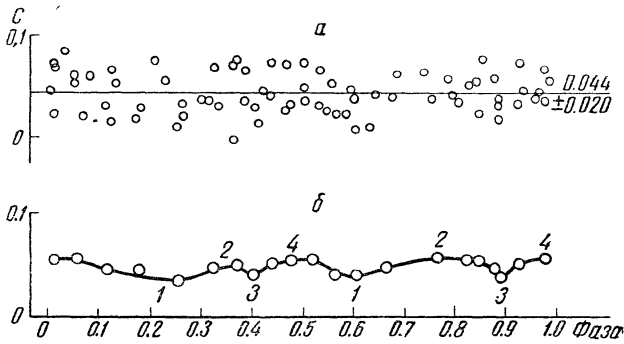


Рис. 4. Изменение цвета переменной 44i Boo
а — данные наблюдений, б — нормальная кривая цвета

$$\text{лучили } \sigma_{\max} = \frac{0^m.02}{\sqrt{4}} = 0^m.01$$

совершает два колебания цвета: вначале она становится „краснее“ (1) (см. рис. 4,б), затем кривая поднимается; звезда „синеет“ (2), потом делается снова на короткий промежуток времени более „красной“ (3) и затем возвращается к минимуму, становится менее „красной“ (4). Амплитуда изменения цвета доходит до $0^m.020$, что в два раза превосходит верхний предел ошибки нормальной точки. Поэтому можно считать, что изменения цвета с периодом реальны. Следует отметить, что эти результаты находятся в согласии с результатами, полученными Шмидтом и Шрикком для показателей цвета

$CI_{370/450}$ и $CI_{450/580}$. В обоих случаях ход показателей цвета с фазой таков, что в минимумах блеска звезда становится более „синей“.

Было проведено сопоставление изменений цвета в отдельные ночи с нормальной кривой цвета. На рис. 5 сплошной линией представлена нормальная кривая изменения цвета; точками — разности показателей цвета переменной звезды и звезды сравнения ΔC_0 ; кружками — наблюдаемые значения цвета звезды сравнения. Оказалось, что разброс отдельных наблюдений переменной звезды в течение ночи значительно превосходит разброс наблюдений звезды сравнения. Из шести ночей с большим рядом наблюдений в трех среднее квадратичное отклонение от нормальной кривой цвета составляло $\sigma = \pm 0^m022 - 0^m023$, а среднее квадратичное отклонение цвета звезды сравнения от средних значений ее цвета в эти ночи составляло всего 0^m010 . В ночь с 6 на 7 июля разброс значений цвета 44i Boo был значительно меньшим, точки довольно хорошо легли на прямую со средним квадратичным отклонением $\sigma = \pm 0^m008$. В эту ночь звезда была спокойна, но происходило медленное изменение показателя цвета со временем: за три часа показатель цвета изменился на 0^m02 . В эту же ночь разброс точек на кривых блеска также почти отсутствовал (рис. 6). Наоборот, для ночей, когда разброс значений показателя цвета велик, велико и отклонение значений звездных величин от нормальной кривой блеска, например, ночь с 4 на 5 июля (рис. 6).

Для всех наблюдений был вычислен коэффициент корреляции между величиной отклонения показателя цвета от нормальной кривой цвета и величиной отклонения звездной величины от нормальной кривой блеска. Для наблюдений с $\lambda_{\text{эф}} = 7700 \text{ \AA}$ коэффициент корреляции оказался $r_1 = +0.48 \pm \pm 0.09$, а для наблюдений с $\lambda_{\text{эф}} = 9400 \text{ \AA}$ $r_2 = -0.35 \pm 0.10$. Поэтому можно считать, что большой разброс точек на кривых блеска связан с быстрыми изменениями показателя цвета звезды в инфракрасной области.

Надо также отметить, что в главном минимуме таких быстрых и больших изменений показателя цвета не наблюдалось. Правда, показатель цвета звезды в главном минимуме в разные ночи получался несколько различным. Отклонения были порядка $0^m010 - 0^m015$, т.е. сравнимыми с ошибками наблюдений. В ночи с большим разбросом значений показателя цвета наблюдалось также небольшое смещение вторичного минимума (порядка $0.03 - 0.02$ периода).

Итак, фотоэлектрические наблюдения переменной 44i Boo в инфракрасной области в 1956 г. дают следующие результаты:

1. Период 44i Boo продолжает увеличиваться.
2. Разность глубин минимумов несколько увеличилась по сравнению с предыдущими наблюдениями и приближается к значению 1930—1940 гг. Разность высот максимумов также увеличилась и близка к значению, имевшему место в 1930-х годах.
3. Наблюдаются изменения инфракрасного показателя цвета с периодом. Характер этих изменений согласуется с изменениями показателей цвета $CI_{370/450}$ и $CI_{450/580}$, полученными Шмидтом и Шрикком, что подтверждает некоторую аномальность данной системы среди звезд типа W UMa.
4. Кривые блеска в инфракрасной области подвержены быстрым изменениям, подобным изменениям, наблюдавшимся Эггеном в видимой области. Эти изменения связаны с изменениями показателя цвета системы. Это говорит о том, что мы имеем не просто изменение излучения в непрерывном спектре звезды, а увеличение или уменьшение яркости в отдельных спектральных областях.

В заключение выражаю благодарность В. Б. Никонову за руководство работой и ценные указания при обсуждении результатов.

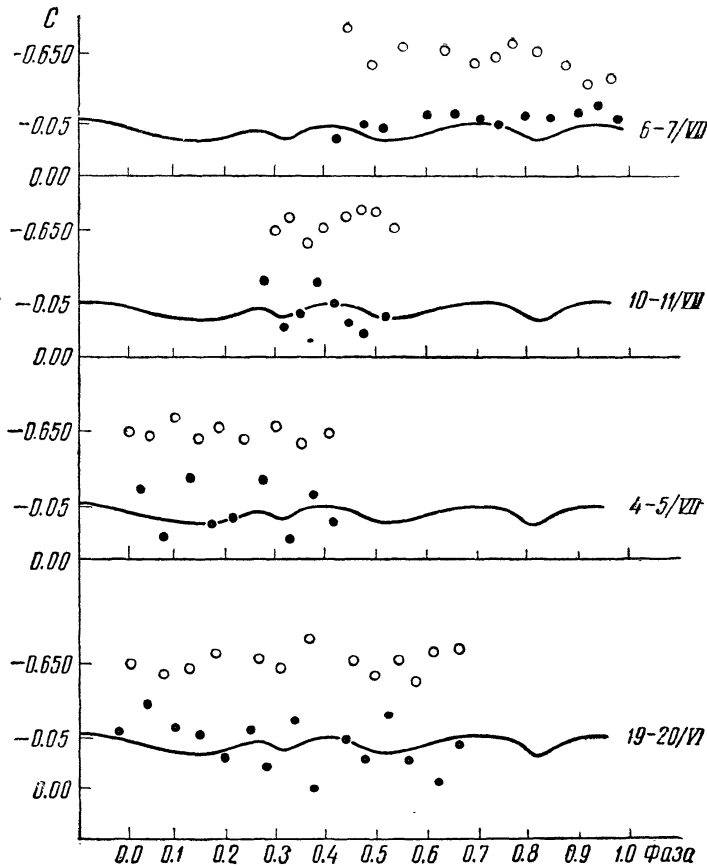


Рис. 5. Изменение цвета переменной 44i Boo в отдельные ночи

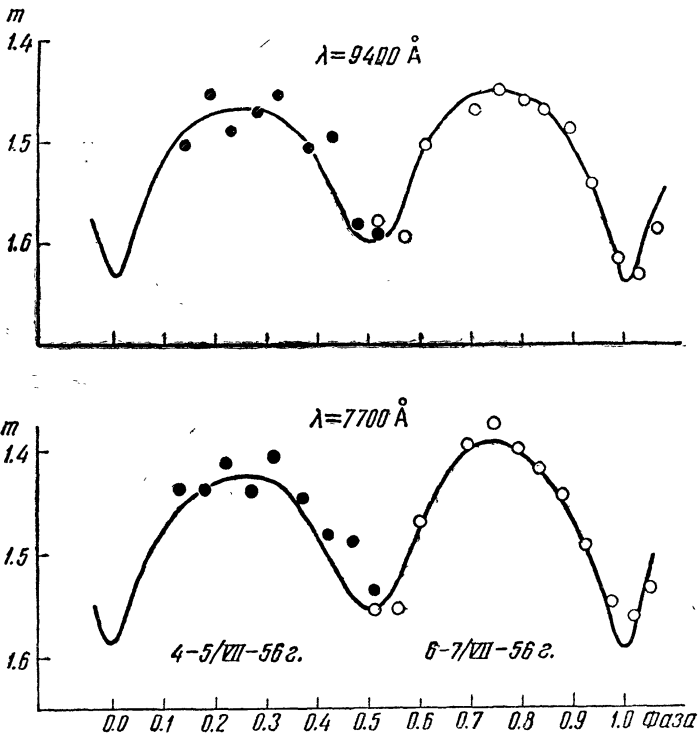


Рис. 6. Изменения кривой блеска переменной 44i Boo в отдельные ночи

Литература

1. *О. Струве*, Эволюция звезд, 1954.
2. *H. Shapley*, Harvard Observatory Monographs № 7, 249, 1948.
3. *Б. В. Кукаркин, П. П. Паренаго, Ю. И. Ефремов, П. Н. Холопов*, Общий каталог переменных звезд, 1958.
4. *E. J. Woodward*, HC 447, 1942.
5. *M. Huruata, M. Kitamura*, Tokyo Ann 5, № 1, 63, 1957.
6. *H. Schmidt and K. W. Schrick*, ZsAp 37, h. 2, 73, 1955.
7. *H. Schmidt and K. W. Schrick*, ZsAp 41, h. 1 1, 1956.
8. *H. Schmidt and K. W. Schrick*, ZsAp 43, h. 3, 165, 1957.
9. *O. Eggen*, ApJ 108, № 2, 15, 1948.
10. *L. Binnendijk*, ApJ 60, № 9, 355, 1955.
11. *R. R. Brownlee*, ApJ 125, № 2, 372, 1957.
12. *C. Hoffmeister*, AN 282, 257, 1955.
13. *M. Huruata, M. Kitamura, T. Nakamura, H. Tanabe*, Tokyo Ann 5, № 1, 31, 1957.
14. *G. P. Kuiper*, ApJ 93, 133, 1941.
15. *В. А. Крам*, Изв. ГАО № 149, 1952.
16. *R. LaFara*, ApJ 115, № 1, 14, 1952.
17. *K. A.A. Strand*, Leid Ann 18, 98, 1937.
18. *J. Schilt*, ApJ 64, 215, 1926.
19. *W. S. Adams, A. H. Joy, G. Stromberg, C. G. Burwell*, ApJ 53, 53, 1921.
20. *D. M. Popper*, ApJ 97, 407, 1943.
21. *L. Plaut*, BAN 9, 1, 1939.
22. *H. Shapley, W. A. Calder* HB 907, 1938.
23. *В. Б. Никонов*, Абаст. бюлл. № 4, 1, 1940.
24. *Н. О. Чечик, С. М. Файнштейн, Т. М. Лифшиц*, Электронные умножители. Гостехиздат, М., 1957.
25. *В. А. Альбицкий и др.*, Курс астрофизики и звездной астрономии, 1951.
26. *G. E. Kron, J. L. Smith*, ApJ 113, № 2, 324, 1951.
27. *G. E. Kron*, ApJ 118, № 3, 502, 1953.
28. *В. Б. Никонов, Е. К. Никонова*, Изв. Крым. астр. обс. IX, 41, 1952.
29. *G. P. Kuiper*, BAN 5, № 165, 29, 1929.
30. *P. Th. Oosterhoff*, BAN 9, № 321, 11, 1939.
31. *C. M. Huffer*, Publ ASS 6, 365, 1931.

Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР

Март 1958 г.