

ЖНKLМ-НАБЛЮДЕНИЯ УНИКАЛЬНОЙ ЗАТМЕННОЙ СИСТЕМЫ ЭПСИЛОН ВОЗНИЧЕГО ВО ВРЕМЯ ВТОРИЧНОГО МИНИМУМА

И.А.МАСЛОВ^{1,2}, А.Э.НАДЖИП¹, О.Г.ТАРАНОВА¹,
А.М.ТАТАРНИКОВ¹, В.И.ШЕНАВРИН¹

Поступила 16 марта 2014

Принята к печати 30 апреля 2014

Представлены результаты фотометрии долгопериодической затменной системы эпсилон Возничего в полосах *ЖНKLМ* ближнего инфракрасного диапазона, полученные в 1999-2000гг. В соответствии с последними элементами орбиты системы предвычислен момент вторичного затмения, когда сверхгигант F2I затмевает пылевой диск, окружающий более массивный компонент системы. На фазе ожидаемого вторичного затмения ($\phi = 0.606$) во всех фильтрах обнаружен минимум блеска с амплитудой $\sim 0^m.05$. Предвычислен ближайший следующий момент вторичного затмения, который приходится на декабрь 2026 - февраль 2027гг. Показано, что во время вторичного минимума не может затмеваться предлагаемая в настоящее время на роль второго компонента системы звезда B5V. Предполагается, что затмеваемым компонентом является горячая звезда со светимостью и радиусом, превышающими характерные значения для звезд Главной последовательности, окруженная газопылевым диском.

Ключевые слова: *инфракрасная фотометрия; затменная переменная; ϵ Aur*

1. Введение. Эпсилон Возничего (ϵ Aur) - яркая двойная затменная система. Ее кривая блеска прослежена по архивным наблюдениям на протяжении более 190 лет. Известно, что вне затмений звезда предстает как сверхгигант спектрального класса F2I, затмения которого с амплитудой $\sim 0^m.8$ наблюдаются каждые 27 лет [1].

Несмотря на значительное число наблюдений этой звезды в широком спектральном диапазоне, долго оставалась не выясненной природа второго компонента. Только во время последнего минимума было получено [2] изображение затмевающего тела дискообразной формы.

В 1978г. вышла работа [3] с результатами анализа астрометрических наблюдений ϵ Aur в период с 1939 по 1977гг. Автор получил надежную оценку размера орбиты видимого компонента системы (13.2 а.е.) и расстояния до звезды (580 пк).

По результатам анализа УФ-спектров ϵ Aur в [4], а позднее в работе [5] был сделан вывод о том, что вторым компонентом системы является звезда спектрального класса B5V с температурой 15000 К.

Интерферометрические исследования [6] показали, что размер видимого

компонента - сверхгиганта F2I вне затмения в полосе K составляет 2.27 ± 0.11 миллиардсек., что соответствует 135 солнечным диаметрам для расстояния, определенного по данным Hipparcos (625 пк).

В [7] на основе анализа лучевых скоростей были опубликованы уточненные орбитальные элементы системы ϵ Aul, а в [8] указана эпоха возможного вторичного минимума. Кроме того в [7] было сделано предположение, что возможно гравитационный центр невидимого компонента не совпадает с центром затмевающего компонента.

2. *Наблюдения.* Инфракрасная фотометрия ϵ Aul проводится нами [9] с 1980г. До 1985г. при этом использовался [10] двухканальный JHK-фотометр. После 1985г. наблюдения ведутся в полосах JHKLM при помощи модуляционного фотометра [11] с охлаждаемым жидким азотом одноэлементным InSb-фотодиодом, установленного на 1.25-м телескопе Крымской лаборатории ГАИШ. Фотометрическим стандартом служила звезда BS1454 ($J=2.09$, $H=1.48$, $K=1.33$, $L=1.17$, $M=1.39$). В данной статье мы приводим данные, полученные для ночей вблизи ожидаемого вторичного минимума (см. табл.1).

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ БЛЕСКА
ЗАТМЕННОЙ СИСТЕМЫ ϵ Aul ВБЛИЗИ ОЖИДАЕМОГО
ВТОРИЧНОГО МИНИМУМА (жирным шрифтом выделены
наблюдения, попадающие на фазы вторичного минимума).

JD 2400000+	Фаза	<i>J</i>	<i>H</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>
51222.22	0.576	1.82	1.52	1.44	1.19	1.17
51447.55	0.599	1.86	1.55	1.42	1.22	1.22
51454.59	0.599	1.78	1.51	1.40	1.19	1.22
51475.61	0.601	1.82	1.54	1.42	1.22	1.19
51502.51	0.604	1.89	1.64	1.52	1.26	1.28
51514.45	0.605	1.89	1.61	1.48	1.26	1.28
51522.56	0.606	1.91	1.62	1.50	1.20	1.27
51524.45	0.606	1.85	1.60	1.47	1.24	1.24
51525.48	0.607	1.86	1.60	1.47	1.22	1.24
51548.34	0.609	1.82	1.55	1.43	1.24	1.20
51581.27	0.612	1.82	1.58	1.44	1.23	1.20
51641.26	0.618	1.85	1.60	1.47	1.23	1.21
51650.23	0.619	1.82	1.56	1.44	1.22	1.20

3. *Обсуждение.* Используя для расчетов элементы орбиты [7] (период - 9896, эксцентриситет - 0.227, аргумент перицентра - $39^\circ.2$, долгота восходящего узла - 92° , принимая радиус сверхгиганта равным 135 радиусов Солнца) и считая, что размер затмеваемого им источника мал, мы получили согласующиеся значения момента прохождения периастра - 2454513 ± 13

и наклона орбиты $87^{\circ}.2 \pm 0^{\circ}.1$. Используя вышеприведенные параметры, можно получить оценку для моментов вторичного затмения (табл.2).

Как видно из табл.1, в период 2451502-2451525, совпадающий с вторичным затмением, мы наблюдали кратковременное уменьшение блеска ϵ Aug. Длительность этого явления, исходя из наших наблюдений, составляла от 23 до 73 дней. Дальнейшее рассмотрение мы будем вести исходя из гипотезы, что наблюдаемый нами минимум на кривой блеска связан с затмением сверхгигантом F2I второго компонента системы.

Таблица 2

ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ ДВУХ ВТОРИЧНЫХ
МИНИМУМОВ БЛЕСКА СИСТЕМЫ ϵ Aug

Моменты затмения	1999-2000гг.	2026-2027гг.
Начало	2451490	2461386
Середина	2451513	2461409
Конец	2451537	2461433

Для оценки глубины минимума разобьем данные наших наблюдений на три группы с интервалами:

- а) перед вторичным минимумом JD 245(1222-1476);
- б) вторичный минимум JD 245(1502-1526);
- в) после вторичного минимума JD 245(1548-1651).

Усредненные значения изменения звездной величины и цвета ϵ Aug в минимуме по сравнению с рядом отстоящими интервалами вне минимума приведены в табл. 3. Видно, что во всех фильтрах (за исключением L) амплитуда затмения одинакова, а изменения показателей цвета не превышают ошибки наблюдений.

Исходя из глубины минимума вторичного затмения, можно оценить звездную величину затмеваемого источника. Большая ошибка этой оценки не позволяет сделать однозначный вывод о природе источника излучения. Согласно [2], главное затмение вызывается сильно вытянутым телом, скорее всего, пылевым диском, окружающим второй компонент ϵ Aug. Однако даже с такими ошибками показатели цвета (см. табл.3) говорят о высокой температуре затмеваемого источника (значительно превышающей температуру плавления пылевых частиц). Так, согласно показателю $J-K$ цветовая температура затмеваемого источника составляет $4000 - > 10000$ К. Таким образом, во время вторичного минимума мы видим затмение не пылевого диска, а другого тела - по всей видимости, звезды в центре диска.

Еще двумя аргументами в пользу такого вывода являются достаточно малая длительность затмения и относительно большая амплитуда затмения

в ближнем ИК-диапазоне (фильтры JH), где собственное излучение пыли мало. Если все же предположить, что затмевается горячий пылевой диск с температурой 1500 К и размером затмеваемой области, равным диаметру сверхгиганта, то, во-первых, длительность вторичного затмения будет порядка длительности главного (больше года), а во-вторых, даже в этом случае амплитуда затмения в ближнем ИК-диапазоне не превысит $0^m.002$.

Таблица 3

ИЗМЕНЕНИЕ БЛЕСКА И ЦВЕТА СИСТЕМЫ ϵ Aul ВО ВРЕМЯ
ВТОРИЧНОГО МИНИМУМА, БЛЕСК И ПОКАЗАТЕЛИ ЦВЕТА
(для $E(B-V)=0.3$ и нормального закона межзвездного покраснения
[12]) ЗАТМЕВАЕМОГО ИСТОЧНИКА

Полоса	J	H	K	L	M	$J-K$	$H-K$	$K-M$
Δm	0.06	0.06	0.06	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00
$\pm \Delta m$	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03
Затмеваемый источник	5.1	4.7	4.6	5.7	4.4	0.3	0.0	0.1
$\pm \Delta m$	0.4	0.4	0.4	0.6	0.4	0.8	0.8	0.8

Используя оценку расстояния ϵ Aul ([6], $D=625$ пк), оценку величины межзвездного поглощения $E(B-V)=0.3$ [4], полученную нами звездную величину затмеваемого источника $J=5^m.1$ и, следуя [5], принимая его эффективную температуру равной 15000 К (что соответствует спектральному классу B5, [13]), оценим его радиус и светимость. Они получаются равными $R=16 R_{\odot}$ и $L=10^4 L_{\odot}$. Такой источник невозможно было бы не заметить в спектре системы даже на фоне излучения F2 сверхгиганта.

Другая возможность объяснить наблюдаемый в ближнем ИК-диапазоне поток от вторичного компонента заключается в предположении, что горячий компонент окружен газопылевой оболочкой, которая перераспределяет излучение в спектре. Проведенное в простом приближении (оболочка имеет оптическую толщину порядка 5, поглощение на длинах волн, меньших 1 мкм, - серое) моделирование распределения энергии в спектре системы показало, что в этом случае светимость и размеры центрального горячего источника оказываются несколько выше величин, характерных для звезд Главной последовательности: светимость $\sim 500-600 L_{\odot}$ и радиус $\sim 4 R_{\odot}$.

4. **Заключение.** С большой степенью вероятности мы зафиксировали в системе ϵ Aul вторичное затмение. Оценка блеска затмеваемого компонента в ближнем ИК-диапазоне дает величину $5^m \pm 0.5$. Исходя из принятых нами элементов орбиты и радиусов звезд, можно предсказать интервал, в котором будет наблюдаться следующий вторичный минимум: декабрь

2026 - февраль 2027гг.

Оценки температуры и светимости затмеваемого компонента, полученные в предположении, что он имеет эффективную температуру $T = 15000$ (согласно [5] вторичный компонент системы является звездой спектрального класса B5), приводят нас к большому значению светимости $L = 10^4 L_{\odot}$. Вклад такого источника в излучение системы в видимом диапазоне длин волн составит около 10%, а в УФ-диапазоне будет доминировать над излучением F2I-компонента. Этого не наблюдается.

Мы предполагаем, что затмеваемым компонентом является горячая звезда со светимостью $\sim 500 - 600 L_{\odot}$ и радиусом $\sim 3 - 4 R_{\odot}$, окруженная плотной газопылевой оболочкой с размерами $\sim 40 R_{\odot}$ и $T \sim 3500$ К. Затмение большей части указанной оболочки и наблюдается во время обнаруженного нами вторичного затмения в ближнем ИК-диапазоне.

¹ Московский Государственный университет им. М.В.Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга,
e-mail: andrey.tatarnikov@gmail.com

² Институт космических исследований Российской академии наук

JHKLM-OBSERVATIONS OF THE UNIQUE ECLIPSING BINARY SYSTEM ϵ Aur AT THE TIME OF SECONDARY MINIMUM

I.A.MASLOV^{1,2}, A.E.NADJIP¹, O.G.TARANOVA¹,
A.M.TATARNIKOV¹, V.I.SHENAVRIN¹

The results of JHKLM photometry for long-period eclipsing binary system ϵ Aur obtained in 1999-2000 are presented. We calculated the date of the secondary minimum (the supergiant F2I eclipses the dusty disk surrounding the more massive component) according to the latest orbital elements of the system. We detected brightness minimum with amplitude about 0.05 mag near precalculated phase secondary eclipse ($\varphi = 0.606$). The next secondary minimum date was calculated (Dec 2026 - Feb 2027). It is shown that during the secondary minimum the eclipsed component is not consistent with currently proposed B5V. We suggest that the eclipsed component is a hot star surrounded by disk with luminosity and radius greater than typical values for main sequence stars.

Key words: *infrared photometry: eclipsing binary: ϵ Aur*

ЛИТЕРАТУРА

1. *S.M.Carroll, E.F.Gulnan, G.P.McCook, R.A.Donahue*, *Astrophys. J.*, 367, 278, 1991.
2. *B.Kloppenborg, R.Stencel, J.D.Monnier et. al.*, *Nature*, 464, 870, 2010.
3. *P. van de Kamp*, *Astron. J.*, 83, 975, 1978.
4. *M.Hack, P.L.Selvelli*, *Astron. Astrophys.*, 75, 316, 1979.
5. *D.W.Hoard, S.B.Howell, R.E.Stencel*, *Astrophys. J.*, 714, 549, 2010.
6. *R.E.Stencel, M.Creech-Eakman, A.Hart et. al.*, *Astrophys. J.*, 689, 137, 2008.
7. *R.P.Stefanik, G.Torres, J.Lovegrove et. al.*, *Astron. J.*, 139, 1254, 2010.
8. *P.Chadima, P.Harmanec, S.Yang et. al.*, *IBVS*, 5937, 2010.
9. *О.Г.Таранова, В.И.Шенаврин*, *Письма в Астрон. ж.*, 27, 393, 2001.
10. *В.И.Мороз, О.Г.Таранова, В.И.Шенаврин, Б.Ф.Юдин*, *Астрон. циркуляр.*, 1979, №1056.
11. *А.Э.Наджип, В.И.Шенаврин, В.Г.Тихонов*, *Тр. Гос. астрон. ин-та им. П.К.Штернберга*, 58, 119, 1986.
12. *В.Страйжис*, *Многоцветная фотометрия звезд*, Вильнюс: Мокслас, 1977.
13. *R.O.Gray, C.J.Corbally*, *Stellar spectral classification*, Princeton University Press, 2009.