

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ СПЕКТРА И БЛЕСКА DI SER

Н.З. ИСМАИЛОВ

*Шамахинская астрофизическая обсерватория им.Н.Туси НАН Азербайджана
Г.Шемаха, Азербайджан*

По результатам собственных спектральных и фотометрических наблюдений и данных, собранных из литературы, построена сводная кривая блеска и проанализированы данные наблюдений по отдельным массивам на предмет периодичности. По спектральным данным уверенно наблюдается период $P=9.^d24$. Данные отдельных авторов достаточно уверенно показывают 9-дневную квазипериодическую переменность блеска, хотя по всем вместе взятым фотометрическим данным этот период выявить не удастся. По V-значениям блеска также уверенно наблюдается период $P=18.^d28$. Обнаруживается изменение начальной эпохи 9-дневного периода, что возможно, связано с изменением местонахождение горячего пятна.

1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на многочисленные результаты наблюдений, собранные к настоящему моменту по отдельным звездам типа Т Тельца, до сих пор окончательно не выяснены основные причины переменности этой группы звезд. Предполагаемые причины переменности классических звезд типа Т Тельца (CTTS) и звезд типа Т Тельца со слабой эмиссией (WTTS) различны [1]. По мнению разных исследователей, в то время как, переменность CTTS чаще всего вызвана изменением параметров аккреционной зоны, изменение блеска и спектра WTTS скорее происходит из-за вращательной модуляции пятнистой фотосферы. Выявление общих закономерностей, способствующих пониманию природы молодых звезд, возможно лишь на основе длительных рядов наблюдений. В данной работе исследована периодическая переменность спектра и блеска звезды типа Т Тельца DI Ser на основе долголетних фотоэлектрических и спектральных наблюдений.

DI Ser является одним из классических звезд типа Т Тельца ($W(H\alpha) > 100 \text{ \AA}$) [8]. Впервые Джоем [2] опубликовано сведение об обнаружении у звезды эмиссионных линий CaII, FeII, HeI, HI и там же ее спектр был классифицирован, как dK3e. Наблюдение интенсивных линий H, K CaII отмечено и в работе [3]. Спектральный класс DI Ser также оценивался, как G5 [3], G8V [4,5]. Переменность спектрального класса в пределах F4-K5 (с наиболее вероятным спектром $G5-G7.5 \pm 1.5$ V) наблюдалась Н.З.Исмаиловым [6].

Значительные колебания интенсивностей эмиссионных линий у DI Ser в течение 10-15 минут обнаружили Бастиан и Мундт [7]. Изменение линейчатого спектра также обнаружено в работах Гринина и др. [8] и Краснобабцева [5]. В [5] и [14] было показано, что интенсивности эмиссионных линий меняются приблизительно с циклом ~ 16 дней, что объясняется существованием активных областей на поверхности звезды.

Анализируя блеск DI Ser по 240 пластинкам, Холопов [9] показал, что ее блеск характеризуется медленными колебаниями с амплитудой 1^m за год, на которые накладываются более быстрые флуктуации $0^m.5$ за день. По наблюдениям в фотометрической системе свободной от влияния эмиссионных линий Петров [10] отмечает наблюдение быстрых колебаний блеска с амплитудой до $0^m.8$ как в ультрафиолетовой, так и в красной областях спектра звезды. Келеман [11] наблюдал всплывающую переменность блеска DI Ser по *UBV* наблюдениям. Значительную амплитуду изменения блеска он обнаружил в JD 2445588 - 3^m в *U*, $0^m.8$ в *B*, $0^m.4$ в *V*. Длительный ряд наблюдений Кардополова и Филиппева [12]

показал изменение блеска DI Cep с максимальной амплитудой до $0^m.4$ в V-лучах в течении одного сезона.

Спектральные наблюдения [7,14,15] выявили быструю переменность спектра звезды от нескольких минут до часа. Исмаиловым [16] также обнаруживается вспышечная переменность спектра и блеска звезды в течении ~ 9 дней. В этой работе было показано, что повышение блеска может быть результатом образования горячего пятна с температурой около 8000K с относительной площадью пятна около 2% от общей площади поверхности звезды. Позже к аналогичному выводу пришли и авторы работы [25]. По мнению авторов [17], переменность звезды вызвана переменной околозвездной экстинкцией и эмиссионной активностью. В работе [18] предложен механизм магнитосферной дисковой аккреции DI Cep. В работе [26] кооперативное исследование ультрафиолетового и видимого блеска показало изменение с предположительным периодом 11 дня.

Скорость вращения DI Cep оценивалась $v \sin i = 28$ км/с [13], и 23 ± 4 км/с [24].

2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа нами использованы опубликованные результаты спектральных наблюдений Гринина и др.[8] (те же данные по спектральным наблюдениям приведены и в работе Краснобацева [5]) и Исмаилова [14-16]. Спектрограммы имели примерно одинаковые средние дисперсии ($93 \div 100 \text{ \AA}/\text{мм}$) и получены в Крымской и Шемахинской обсерваториях. Результаты наблюдений [8] выполнены в 1975 г. (в один сезон), а по [14-16] в 1975 -1987гг.

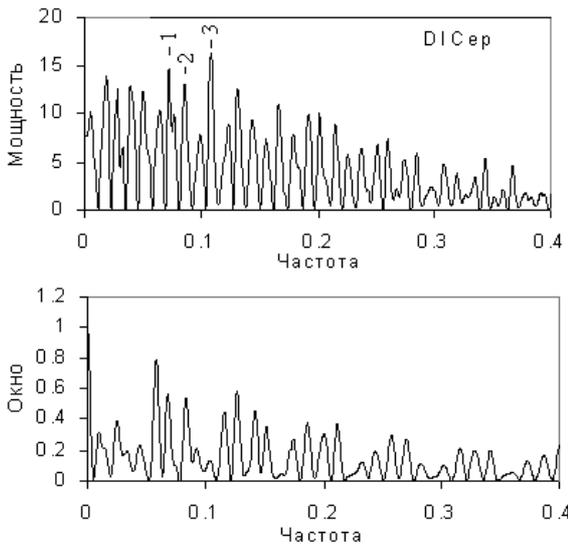
Для поиска возможной периодичности в изменении блеска и спектра звезды был применен метод Скаргла [21], позже усовершенствованный в работе [22]. Подробная методика применения описана в работе Антохина и др. [23]. Для сохранения однородности наблюдательные данные по каждому сезону обрабатывались отдельно. Поиск периода был проведен в пределах интервала частот $0 - 1 \text{ d}^{-1}$. Еще в работах [5] и [14] было сделано предположение о периодической переменности спектра DI Cep с характерным временем около 16-18 дней, по данным [25, 26] – переменность предполагалась с периодом 11 дней. Поэтому при частотном разрешении 0.0005 d^{-1} в спектре мощности мы искали значительные пики, в основном, входящие в интервал $0.025 - 1 \text{ d}^{-1}$. Спектры мощности, вычисленные по спектральным данным [8] и [14], показали значительные пики, превышающие уровень 3σ в основном в интервале частот $0.1 \div 0.2 \text{ d}^{-1}$.

Результаты частотного анализа, проведенные по эквивалентной ширине (W_λ) эмиссионных линий H_α и H_β , приведены во второй части Таблицы1. В первом массиве по значениям W_λ эмиссионной линии H_α наблюдается два вероятных пика, которые приведены в Таблице1. Результаты обработки показали, что по разным массивам уверенно наблюдается частота, равная периоду $P = 9.^d24 \pm 0.^d07$. При этом, наблюдательные данные, полученные за один год, дают высокую надежность этого периода переменности спектра.

На Рис.1, для примера, приводится часть спектра мощности и окна, полученный по значениям эквивалентной ширины линии H_α по данным [8]. Аналогичный график нами получен и по данным W_λ линии H_β .

На Рис.2 приведены графики зависимости эквивалентных ширин отдельных эмиссионных линий от фазы найденного 9-дневного периода по данным разных авторов. Как видно, оба спектральные наблюдения по данным разных авторов дают периодическое изменение с фазой. Для всех рисунков начальная эпоха взята JD2442616.472. Амплитуда изменений эквивалентных ширин по фазе при этом

составляет более 100%. Наибольший разброс точек получен по Рис.2б, который



построен по нашим данным, охватывающим разные сезоны наблюдений. Кроме того, как видно из Рис.2, по этим данным наблюдается смещение фазы относительно данных [8].

Рис.1.

Пример спектра мощности и окна по данным $W_{\lambda}(H\alpha)$ [8]. Положение цифрами указанных пиков соответствуют периодам: 1 - 13.^d79, 2 - 11.^d56, 3 - 9.^d24

Таблица1.

Результаты частотного Фурье анализа по спектральным и фотометрическим наблюдениям звезды DI Cep.

№	Массив	Наиболее значимые частоты, d ⁻¹	Периоды в сутках
	<u>По V-фотометрии</u>		
1	2443686-2443762	0.056, 0.112, 0.072	17.69, 8.91, 13.89
2	2444023-2444168	0.050, 0.095	20.00
3	2444393-2444530	0.028	35.71
4	2444822-2444942	0.051, 0.013	19.16, 7.5
5	2446593-2446663	0.097, 0.063	10.26, 15.8
6	2449934-2450004	0.053, 0.09	18.28, 11.1
	<u>По спектру</u>		
1	$W_{\lambda}(H\alpha)$ по [8]	0.0725, 0.1085	13.79, 9.24
2	$W_{\lambda}(H\beta)$ по [8]	0.1081, 0.073	9.24, 13.6
3	$W_{\lambda}(H\beta)$ по [15]	0.1096	9.12
4	$W_{\lambda}(H\delta)$ по [15]	0.1081	9.24

Основным наблюдательным материалом для анализа блеска звезды DI Cep были данные из каталога Хербста и др.[1]. Всего было использовано до 450 измерений из каталога (данные из [12] и по неопубликованным данным В.С. Шевченко), в том числе 58 собственных измерений автора, опубликованные частями ранее [16,19], и 97 UVV измерений по наблюдениям из [8]. Данные V-значений блеска [8] были усреднены по отдельным ночам наблюдений.

На рис.3 приведена сводная V-кривая блеска звезды по всем собранным данным. Как видно из рис.3, помимо быстрых изменений в течении одного сезона, наблюдается плавная медленная переменность среднего блеска от сезона к сезону. Судя по 20 летним наблюдениям, максимальные пределы изменения блеска и средних цветов соответствуют 11.^m14-11.^m71, $\Delta V=0.^m57$, $\Delta(B-V)=0.^m37$, $\Delta(U-B)=0.^m79$, $\Delta(V-R)=0.^m25$.

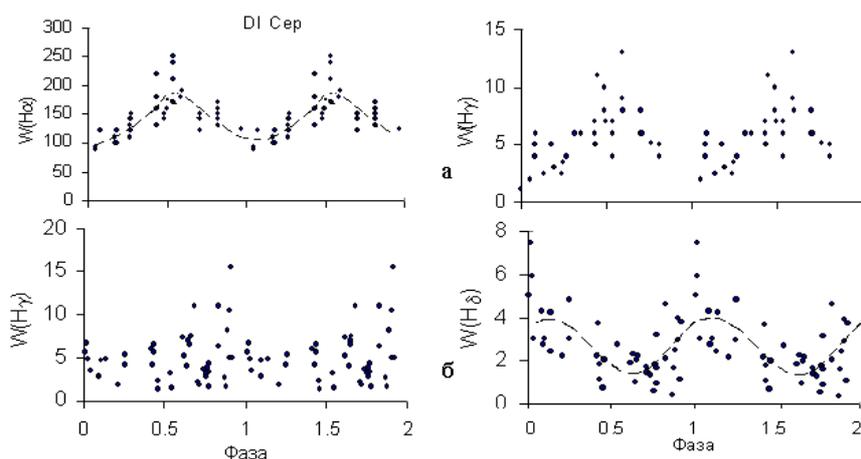


Рис.2.

Зависимость эквивалентных ширин эмиссионных линий от фазы 9-дневного периода по данным разных авторов а-[8], б-[14-16].

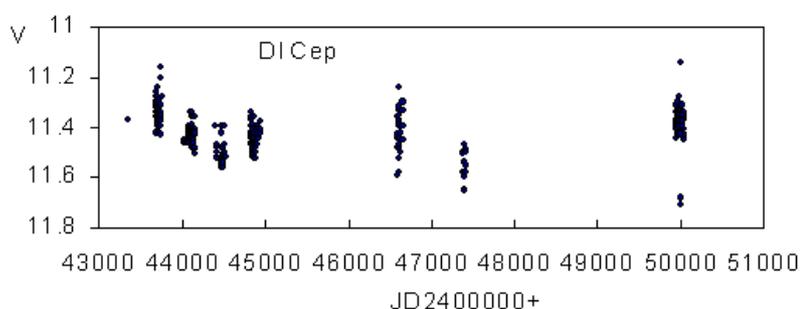


Рис.3.

Сводная V-кривая блеска DI Cep, построенная по данным [1] и [8], и [16,19].

По сводной кривой блеска звезды (Рис.3) можно заметить существование медленной переменной составляющей V-значений блеска с возможным характерным временем ≥ 5 лет, однако количество наблюдательных данных не позволяет установить периодичность этой составляющей блеска.

В спектре мощности, вычисленной по всем имеющимся фотометрическим V-значениям блеска, не выделяется какой-либо значительный период в искомом интервале частот. Это может быть из-за того, что полный массив собран по данным разных авторов. Периодичность может искажаться из-за различия фаз, систематических и случайных ошибок отдельных наблюдателей. Возможно поэтому поиск периода в интервале частот $0.01 \div 1 \text{d}^{-1}$ по всем данным с вычетом общего тренда не выявил каких-либо стабильно наблюдаемых пиков. Далее, для сохранения однородности наблюдений весь массив данных был разбит на 6 разных малых массивов, данные получены в течении одного года, и данные по каждому массиву обрабатывались отдельно.

Анализ показал, что массивы по V-значениям блеска в спектре мощности часто содержат частоту $0,053 \pm 0.003 \text{d}^{-1}$, что соответствует периоду $18.^{\text{d}}28 \pm 1.^{\text{d}}75$. Спектр мощности 3-го массива данных содержит сильнейший пик - частоту 0.028d^{-1} , что соответствует периоду $35.^{\text{d}}71$. Это значение в пределах ошибок в два раза больше, чем значение периода $18.^{\text{d}}28$. Часть фотометрических наблюдений из [8], содержит пик около 9-дневного периода. Частота 9-дневного периода уверенно наблюдалась и по нашим фотометрическим данным [16, 19].

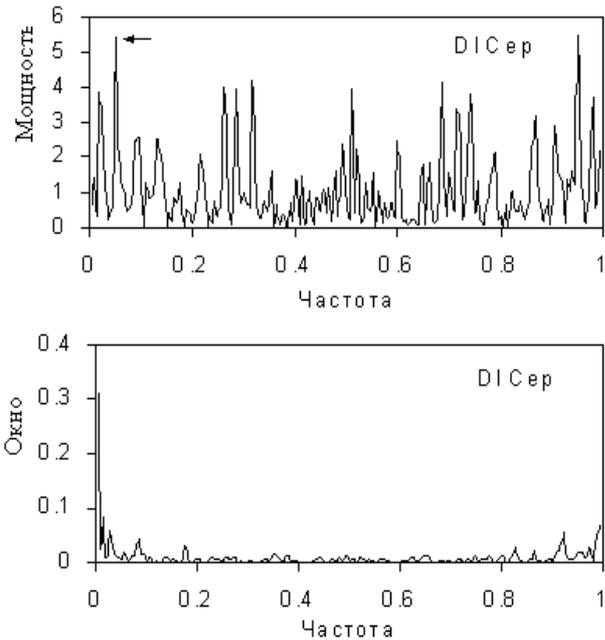


Рис.4.

Пример спектра мощности и окна по 6-му массиву V-значений блеска. Положение периода $18.^d.28$ отмечено стрелкой.

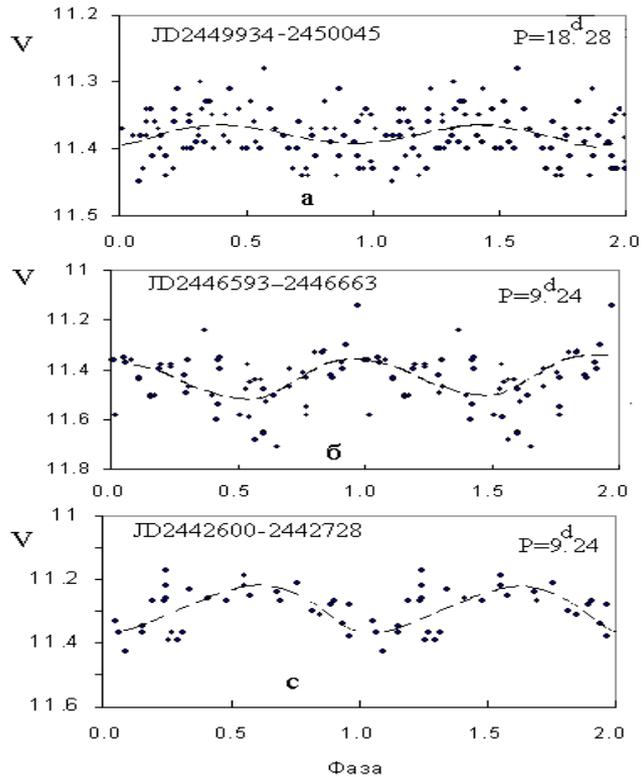


Рис.5.

Фазовые V-кривые блеска, свернутые по данным разных авторов. 5а- по данным 6-го массива (Таблица1) с фазой 18-дневного периода, 5б-данные автора и 5с –данные из [8] свернутые по фазам 9-дневного периода.

На Рис.4 для примера приведен спектр мощности и окна в интервале частот 0.1 для 6-го массива. Стрелкой указано положение пика $P=18.^d.28$. Кроме того, в отдельных спектрах по данным отдельных сезонов наблюдается 9-дневный период. Полный массив V-значений не дает удовлетворительной картины периодичности. Отдельные наблюдения, проведенные в течении одного года, показали более надежную периодичность блеска звезды доходящей до $0.^m.04$ в V-полосе.

На Рис. 5а приведена V- кривая блеска в фазах 18- дневного периода по данным [1], а на Рис.5б и Рис.5в в фазах 9-дневного периода по данным автора и [8] соответственно. Здесь данные [8] усреднены за ночь наблюдений. Выделенные временные интервалы массивов в каждом случае приведены на рисунках в JD. Здесь также для всех рисунков начальная эпоха взята $JD2442616.472$. Как отсюда видно, в случае 9-дневного периода амплитуда по отдельным наблюдениям достигает величин $0.^m.2 \pm 0.^m.01$, в то время как амплитуда 18-дневного периода равна $0.^m.04 \pm 0.^m.01$.

3. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

При спектральном классе G7-8V, согласно адаптированной шкале эффективных температур по данным Кохена и Кухи [20], для звезды получим

$T_{\text{eff}}=5400\text{K}$. Также при спектре G8V нормальный колор-индекс равен $(B-V)_0=0.^m75$, а наблюдения дают $\langle B-V \rangle=0.^m88$, получим $E(B-V)=0.^m13\pm 0.^m18$. Тогда при учете закона межзвездного покраснения, $A_V=0.^m52$. Тогда для модуля расстояния DI Cep получим 6^m-7^m и расстояние до звезды $150\div 200\text{пс}$, что хорошо согласуется с данными [8]. Тогда с учетом болометрической поправки абсолютная светимость звезды равна $L=5.1 L_{\odot}$, а возраст - $3\cdot 10^6$ лет. При расстоянии до звезды 200пс для абсолютной светимости получим $4.^m0\pm 0.^m3$, с учетом болометрической поправки для радиуса звезды получим $R_*=1.8\pm 0.2 R_{\odot}$.

Скорость вращения DI Cep оценивалась $v\sin i=28\text{км/с}$ [18], и $23\pm 4\text{км/с}$ [19]. Тогда, если найденный период является периодом осевого вращения звезды, можно оценить угол наклона оси вращения к лучу зрения, $i=27^{\circ}\pm 2.^{\circ}5$.

Анализ модуляции блеска WTTS звезд показал, что обычно начальная эпоха в таком циклическом процессе остается довольно стабильной [28]. Однако, еще Хербст и др.[1] отмечали нестабильность фаз периодической составляющей блеска у CTTS. На наш взгляд это может происходить по двум причинам:

- 1) либо неточно определяется значение периода, что можно уточнить, учитывая разность двух эпох. Тогда нужно принять, что активная эмиссионная область в оболочке звезды занимает постоянное местонахождение, что весьма маловероятно,
- 2) если же 9-дневный период связан с осевым вращением звезды, то смещение фазы 9-дневного периода вполне допустимо.

Для уверенного вывода о смещении местонахождения горячего пятна необходимы непрерывные длительные ряды наблюдений звезды. Если это действительно происходит, тогда возникает сомнение относительно предположений разных авторов, что процесс аккреции происходит по коллимированным направлениям под влиянием магнитных силовых линий [18,28]. При этом необходимо принять, что возможно, у CTTS меняется расположение магнитных силовых линий. Постоянство эпохи за длительный период у WTTS является косвенным аргументом того, что «пятнистая», более холодная структура расположена вблизи поверхности фотосферы, где физические процессы имеют относительно умеренные масштабы.

Поскольку переменность цветовых показателей DI Cep легко объясняется присутствием горячего пятна [16, 25], наблюдаемый нами 9-дневный период модуляции эмиссионного спектра и блеска при отсутствии корреляции абсорбционного спектра с эмиссией [14] показывает, что возможно горячее пятно образуется в областях возбуждения эмиссионного спектра водорода, т.е. в околзвездной оболочке или диске звезды.

Таким образом, по данной работе можно сделать следующие выводы. На основании собственных и литературных данных впервые обнаружена периодическая переменность спектра и блеска DI Cep. Показано, что как по спектральным, так и по фотометрическим наблюдениям значение периода составляет $P=9.^d24$. Значения эквивалентных ширин эмиссионного спектра по линиям водорода и H и K CaII хорошо коррелируются между собой и сворачиваются с найденным периодом.

По данным разных авторов наблюдается смещение начальной эпохи периодических изменений спектра и блеска, что можно объяснить неустойчивостью местонахождения аккреции околзвездного диска. Значение угла наклона оси вращения к лучу зрения определяется как 27° .

1. W.Herbst, D. K.Herbst , E.J.Grossman, D.Weinstein, *Astron.J.*, **108** (1994) 1906.
2. A.H.Joy, *Astrophys.J.*, **110**(1949)424.
3. Э.С.Бродская, *Изв. Крым. астрофиз. обсерв.*, **7** (1951) 133.

4. G.H.Herbig, *Astrophys.J.*, **214** (1977) 747.
5. В.И.Краснобабцев, *Изв. Крым. астрофиз. обсерв.*, **65** (1982) 100.
6. N.Z.Ismailov, *Odessa Astronomical Publications*, **14** (2001) 188.
7. U.Bastian, R.Mundt, *Astron.Astrophys.*, **78** (1979) 181.
8. В.П.Гринин, Ю.С.Ефимов, В.И.Краснобабцев и др., *Переменные звезды*, **21** (1980) 247.
9. П.Н.Холопов, *Переменные звезды*, **9** (1953) 157.
10. П.П. Петров, *Изв. Крым. астрофиз. обсерв.*, **44** (1972) 25.
11. J. Keleman, *Inform. Bull. Var. Stars.*, №2744 (1985) 1.
12. В.И.Кардополов, Г.Ф.Филиппев, *Переменные звезды*, **22** (1985) 103.
13. J.Bouvier, C.Bertout, W.Benz, M.Mayor, *Astron.Astrophys.*, **165** (1986) 110.
14. Н.З.Исмаилов, *Переменные звезды*, **22** (1987) 489.
15. Н.З.Исмаилов, *Переменные звезды*, **22** (1988) 500.
16. Н.З.Исмаилов, *Переменные звезды*, **22** (1988) 892.
17. G.P.Gahm, P.P.Petrov, *Activity in Red-Dwarf stars*, Copyright by Reidel publishing Company (1983) 497.
18. F.V.Hessman, E.W.Guenther, *Astronomy and Astrophysics*, 321 (1997) 497.
19. N.Z.Ismailov, *Inform. Bull. Var. Stars.*, №4470 (1997) 1.
20. M.Cohen, L.V.Kuhi, *Astrophys.J.Suppl.Ser.*, (411979) 743.
21. J.D.Scargle, *Astrophys.J.*, **263** (1982) 835.
22. J.H.Horne, S.L.Balinas, *Astrophys.J.*, **302** (1986) 757.
23. I.Antokhin, J.F.Bertrand, R.Lamontagne, A.F.J.Moffat, *Astron.J.*, **109** (1995) 817.
24. J.F.Gameiro, M.T.V.T.Lago, *MNRAS*, **265** (1993) 365.
25. M.Fernandez, C.Eiroa, *Astron.Astrophys.*, **310** (1995) 143.
26. A.I.Gomez de Castro, M.Fernandez, *Mon.Not.Roy.Astron.Soc.*, **283** (1996) 55.
27. К.Н.Гранкин, *Письма в АЖ*, **24** (1998) 580.
28. С.М.Johns-Krull, A.P.Hatzes, *Astrophys.J.*, **487** (1997) 896.

Dİ CEP ULDUZUNUN ÇOXİLLİK FOTOMETRİK VƏSPEKTRAL MÜŞAHİDƏSİNİN ANALİZİ

N.Z.İSMAYILOV

Müəllifin özünün aldığı və ədəbiyyatdan götürülmüş spektral və fotometrik müşahidələr əsasında Dİ Cep ulduzunun tarixi V-parlaqlıq əyrisi qurulmuş və ayrı-ayrı massivlər üzrə periodik dəyişmələr olması araşdırılmışdır. Spektral müşahidələr $P=9.24$ günlük periodik dəyişmə olduğunu böyük ehtimalla aşkar etmişdir. Ayrı-ayrı fotometrik massivlərdə də 9 günlük period müşahidə olunur, lakin bütün fotometrik ölçmələr birlikdə periodiklik aşkar etmir. V-parlaqlığı həmçinin 18.28 günlük period olduğunu göstərir. 9-günlük periodun başlanğıj dövrünün zamana görə dəyişməsi aşkar olunmuşdur, bu da ulduz atmosferində isti ləkənin yerini dəyişməsi ilə izah oluna bilər.

ANALYSIS OF LONG-TERM SPECTRAL AND PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF DI CEP

N.Z.ISMAILOV

On results of own and assembled from the literature spectral and photometric observations, the summary V-light curve was carried, and the data of observations on separate seasons were analyzed for periodicity. On the equivalent width of hydrogen emission lines the period $P=9.24$ was confidently observed. The data of the separate authors enough confidently showed 9-day's quasiperiodic variability of V-magnitudes, though on all taken total photometric data this period was not clear discovered. On V-light data the period $P=18.28$ also was confidently observed. The change of epoch of the 9-day's period was found, which possible shows that, the location of the hot spot was vary.

Редактор: А.Гулиев