

УДК 324.387

М. М. Закиров

Астрономический институт АН Узбекистана,
700052 Узбекистан, Ташкент, ул. Астрономическая, 33
Национальный университет Узбекистана,
700174 Узбекистан, Ташкент, Вузгородок

Тесные двойные системы в спиральном рукаве Персея. II. DN Кассиопеи

В течение 1988—1999 гг. проведены новые фотоэлектрические UBVR-наблюдения затменной переменной звезды раннего спектрального класса DN Cas. Уточнена эфемерида главного минимума. Все кривые блеска звезды решены прямым методом Лаврова, и получены элементы фотометрической орбиты. Даны результаты решения кривых блеска в двух предположениях: гипотеза $B \rightarrow M$ и $M \rightarrow B$. Обсуждена природа двойной системы при двух гипотезах. Отдано предпочтение последней гипотезе, и в ее рамках сделана оценка ожидаемых абсолютных фундаментальных характеристик компонентов DN Cas: $M_h = 26.5 M_\odot$, $M_c = 16.4 M_\odot$, $R_h = 7.6 R_\odot$, $R_h = 6.7 R_\odot$, $M_{h, \text{bol}} = -7.6^m$ и $M_{c, \text{bol}} = -6.6^m$. Возраст звезд 4.5—6 млн лет. Модуль расстояния переменной составляет 10.9 ± 0.6^m . Двойная система отнесена к вероятным членам OB-ассоциации Cas OB6, являющаяся частью спирального рукава Галактики в Персее.

ТІСНІ ПОДВІЙНІ СИСТЕМИ У СПІРАЛЬНОМУ РУКАВІ ПЕРСЕЯ. II. DN КАССІОПЕЯ, Закиров М. М. — Протягом 1988—1999 рр. провадили нові фотоелектричні UBVR-спостереження затемнюваної змінної зірки раннього спектрального класу DN Cas. Уточнено ефемериду головного мінімуму. Всі криві блиску зірки розв'язані прямим методом Лаврова, і отримані елементи фотометричної орбіти. Подаються результати розв'язування кривих блиску при двох припущеннях: гіпотеза $B \rightarrow M$ і $M \rightarrow B$. Обговорюється природа подвійної системи при двох гіпотезах. Перевага віддається останній гіпотезі, і в її рамках зроблено оцінку очікуваних абсолютних фундаментальних характеристик компонентів DN Cas: $M_h = 26.5 M_\odot$, $M_c = 16.4 M_\odot$, $R_h = 7.6 R_\odot$, $R_h = 6.7 R_\odot$, $M_{h, \text{bol}} = -7.6^m$ і $M_{c, \text{bol}} = -6.6^m$. Вік зірок 4.5—6 млн років. Модуль відстані змінної становить 10.9 ± 0.6^m . Подвійну систему віднесено до ймовірних членів OB-асоціації Cas OB6, що є частиною спірального рукава Галактики в Персеї.

CLOSE BINARY SYSTEMS IN THE PERSEUS SPIRAL ARM. II. DN CASSIOPEIAE, by Zakirov M. M. — New UBVR photoelectric observations of the early type eclipsing variable DN Cas were obtained at the Maidanak Observatory in 1988—1999. We improved the binary's ephemeris: $\text{Min I} = \text{JDH}2441388.561(8) + 2.3109530(19) \cdot E$. All light curves of the DN Cas

were solved by Lavrov's direct method, and the elements of the photometric orbit were obtained. The solutions were calculated in the framework of two hypotheses ($S \rightarrow L$ and $L \rightarrow S$). We discuss the nature of the binary in these two cases. We preferred the latter hypothesis and estimated the expected absolute basic parameters for the components: $M_h = 26.5 M_\odot$, $M_c = 16.4 M_\odot$, $R_h = 7.6 R_\odot$, $R_c = 6.7 R_\odot$, $M_{h, \text{bol}} = -7.6^m$, $M_{c, \text{bol}} = -6.6^m$. The age of the stars is $4.5\text{--}6 \cdot 10^6$ yrs. The distance modulus for DN Cas is 10.9 ± 0.6^m . The binary is a probable member of the Cas OB6 association, a part of the Perseus spiral arm.

ВВЕДЕНИЕ

На область OB-ассоциация Per OB1, центром которой является массивное двойное рассеянное скопление η и χ Per, проектируются около четырех десятков затменных систем, и из них для 12 переменных нами выполнены *UBVR*-фотоэлектрические наблюдения в рамках комплексной Голосеевской программы «Млечный путь» [5]. В результате были выделены четыре тесные двойные системы (ТДС) как возможные члены спирального рукава Персея. К настоящему времени исследована только HS Per, и она была отнесена к физическим членам спирального рукава, не достигших начальной главной последовательности (НГП) [6]. Наблюдения последних лет позволили получить новый фотометрический материал, достаточный для анализа кривых блеска трех остальных ТДС (DN Cas, IQ Cas и CS Per). В данной работе приведены результаты исследования DN Cas.

Затменная переменная звезда DN Cas (= BD+60°470 = 26.1940: Sp: O8V + O8V) является самой яркой ТДС нашей программы и наиболее изученной переменной. Изменения блеска звезды обнаружил Хоффмейстер [37], и он же определил первые световые элементы по 14 наблюдениям моментов главного минимума [38].

Первые *UBV*-фотоэлектрические наблюдения DN Cas (207 измерений) получены Фрезером и Хэллом [26] на 61-см рефлекторе обсерватории Дейер за 16 с октября 1971 по декабрь 1972 г. Интерес к данной переменной был вызван сообщением Льюиса, что эта ТДС типа EA не укладывается в зависимость период—спектр. Был установлен новый период переменной, который оказался вдвое большим, чем его старая оценка [38], и с новым периодом DN Cas оказалась на зависимости период—спектр [26]. Была получена следующая эфемерида главного минимума:

$$\text{Min I} = \text{JDH } 2441388.571 + 2.310955^d \cdot E.$$

Продолжительность главного минимума составила 0.15^p , и не наблюдалась остановка блеска в минимумах.

Полученная кривая блеска DN Cas сильно искажена, так как звезда сравнения HD14817 = ADS 1833AB оказалась короткопериодической затменной переменной (V559 Cas, $P = 1.58^d$) с амплитудой $\Delta V = 0.22^m$ [26]. Как отмечают авторы, для решения кривой блеска DN Cas наблюдения звезды следует повторить. Новые фотоэлектрические *UBV*-измерения ТДС выполнены Дэвиджем [24], который наблюдал звезду в течение 9 осенних ночей 1979 г. на 40-см телескопе Ротнейской астрофизической обсерватории университета Калгари. К сожалению, автору не удалось прописать всю кривую блеска ТДС (отсутствуют восходящая ветвь главного минимума и фазы около 0.75^p). Автор отмечает асимметрию максимумов (эффект О'Конелла) и возможную асимметрию кривой блеска во вторичном минимуме. Показатели цветов ТДС в максимуме и минимумах изменяются незначительно, и следовательно, температуры компонентов близки [24].

DN Cas, будучи звездой раннего спектрального класса O8 [36], была объектом многих наблюдений и различных астрофизических исследований. Так, Хилтер [35] измерил поляризацию звезды ($p = 0.068^m$). Первые фотоэлектрические *UBV*-измерения звезды даны в работе [36]. С целью изучения закона межзвездного поглощения эти измерения звезды и собственные были использованы многими исследователями [22, 27, 30, 36, 54, 58 и др.]. DN Cas можно найти во многих каталогах звезд ранних спектральных классов [29, 32, 33, 39, 49].

Фотографические *BV*-величины и спектр переменной получены при выполнении комплексной Голосеевской программы исследования Млечного Пути [2]. Фотометрия звезды в четырехцветной среднеполосной системе Стремгрена сделана в работе [34], измерения в системе *wgr* [57] — Кентом [41], а в многоцветной Вильнюсской системе *UPXYZVS* — Суджюсом и Бобинасом [55, 56]. Сканерные наблюдения DN Cas на длине волны λ 443 нм проведены в [59]. Абсолютная фотометрия звезды выполнена в работе [48], а ее эффективная температура определена в [47]. ТДС расположена в области молодого рассеянного скопления IC 1805 и рассматривается в [46] как объект в области H II. DN Cas анализируется Матисом [44] в качестве голубого страглера в OB-ассоциации в Персее. Принадлежность ТДС к двойному рассеянному скоплению h и χ Per рассматривается в работах [10, 60]. Как звезда раннего спектрального класса, DN Cas служила тестом эволюционных моделей массивных звезд [8, 40]. Она также использовалась при построении функции начальной массы массивных звезд [28]. В этом кратком обзоре DN Cas рассматривалась без указания на ее двойственность, и она фигурирует под названием BD + 60°470. ТДС попала в каталог затменных и спектральных двойных звезд в области рассеянных скоплений [51]. Звезда находится на окраине скопления Stock-2 (тип III Im) на расстоянии 3.8 его углового радиуса.

Статистические свойства кривой блеска, периода и спектрального типа DN Cas обсуждаются в [31]. Глубина вторичного минимума и спектральный класс главного компонента ТДС предсказана в [13].

Приближенные значения характеристик DN Cas, включая массы и радиусы компонентов, получены статистическим методом с использованием соотношений между фундаментальными параметрами звезд и видом кривой блеска, без ее решения [12, 23].

НАБЛЮДЕНИЯ

Фотоэлектрические *UBVR*-наблюдения DN Cas выполнены на 1-м и 60-см телескопах Майданакской обсерватории в 1988—1999 гг. с перерывом в 1992—1997 гг. Около 35 % всех измерений получены на 1-м телескопе в 1998 г. Наблюдения проводились дифференциальным методом путем привязки к звезде сравнения, постоянство блеска которой проверялось по контрольной звезде. Нами не были замечены переменности звезды сравнения в пределах точности фотометрии. Звездные величины и цвета звезды сравнения и контрольной звезды определены относительно многоцветных фотометрических стандартов в рассеянных скоплениях h и χ Персея [45]. Измерения опорных и стандартных звезд в площадках выполнялись при близких воздушных массах с целью сведения к минимуму ошибок учета атмосферного поглощения. Во всех расчетах фотометрических величин опорных и переменных звезд мы использовали среднемесячные значения коэффициентов атмосферной экстинкции на горе Майданак [4]. Все измерения звезд редуцированы в фотометрическую систему Джонсона по методу Харди [17] с учетом рекомендаций [14]. Полученные фотометрические

Таблица 1. Фотометрические величины опорных звезд

Звезда	Номер по каталогу BD	V	U - B	B - V	V - R
Сравнения	+60°471	8.973±0.004 ^m	0.088±0.003 ^m	0.189±0.002 ^m	0.120±0.002 ^m
Контрольная	+60°467	9.643±0.002	0.327±0.003	0.448±0.002	0.395±0.003

Таблица 2. Фотометрические характеристики кривой блеска DN Cas

Фаза	V	U - B	B - V	V - R
Max	9.866 ^m	-0.360 ^m	0.720 ^m	0.654 ^m
Min I	10.247	-0.354	0.734	0.641
Min II	10.174	-0.350	0.714	0.669

Таблица 3. Наблюдаемые моменты минимумов DN Cas и отклонения O - C

Литературный источник	Моменты минимумов JDN2400000+	E	O - C, сут
[38]	28180.31	-5715.5	0.00
	28427.60	5608.5	-0.02
	28835.51	-5432	-0.04
	28865.42	-5419	0.09
	29103.48	-5316	0.05
	29163.59	-5290	0.03
	29646.65	-5081	-0.04
	29697.48	-5059	-0.03
	29957.47	-4946.5	-0.04
	30023.40	-4918	-0.10
	30321.38	-4789	0.03
	30372.26	-4767	-0.01
	30582.53	-4676	0.01
	30590.55	-4672.5	0.08
BBSAG	41359.6405	-12.5	0.0336
[26]	41388.571	0	-0.010
[24]	44191.765	1213	-0.018
BBSAG	45653.4610	1845.5	-0.0362
Настоящая работа	47420.1460±0.0007	2610	0.0023
BBSAG	47928.5575	2830	0.0005
Настоящая работа	48157.3429±0.0012	2929	0.0006
BBSAG	48619.5315	3129	0.0014
[20]	49615.5498±0.0010	3560	0.0039
	49615.5516±0.0017	3560	0.0021
Настоящая работа	51108.4230±0.0005	4206	0.0063
	51459.6879±0.0007	4358	0.0062

величины опорных звезд даны в табл. 1.

Погрешность одного определения блеска ТДС в фильтре V составила ±0.006^m, а погрешность показателей цвета составляет ±0.009^m в U - B, ± 0.005^m в B - V и ±0.007^m в V - R. Всего было получено 325 измерений блеска звезды в U-, 329 в B-, 330 в V- и 337 в R-полосе.

Фотометрические значения основных фаз кривой блеска ТДС даны в табл. 2. В работе [36] получено для звезды V = 9.88^m, U - B = 0.36^m и B - V = 0.70^m. В средне-широкополосной системе uvgr звезда была измерена в [41] и определены V = 9.89^m, B - V = 0.83^m и V - R = 0.68^m. (Эти величины были получены по редуционным формулам перевода uvgr-величин в UVVR-систему Джонсона, приведенным там же). Авторы не указывают время наблюдения DN Cas, но полученные величины относятся к внезатменной части кривой блеска ТДС.

Орбитальный период. Вычисления фазы наблюдений ТДС по вышеприведенной эфемериде показывает небольшое смещение главного минимума от нулевой фазы ($\Delta\varphi = -0.0026 \pm 0.00001^p$). Мы собрали все известные моменты минимумов ТДС, включая определенные нами, и улучшили световые элементы переменной методом наименьших квадратов. Линейная формула наилучшим образом описывает эти моменты:

$$\text{Min I} = \text{JDH}2441388.561 + 2.3109530^d \cdot E \\ \pm 0.008 \quad \pm 0.0000019$$

В табл. 3 даны отклонения наблюдаемых моментов минимумов DN Cas от нашей эфемериды. Мы использовали наблюдения минимумов звезды членами Швейцарского астрономического общества, опубликованные в бюллетене *Bedeckungsveränderlichen Beobachter der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft (BBSAG)*. При уточнении световых элементов переменной были включены и моменты вторичных минимумов.

Решения кривых блеска ТДС были выполнены методом Лаврова [7], базирующимся на ректифицируемой модели Рессела—Меррилла. Коэффициенты потемнения к краю дисков компонентов брались из таблицы в [11], где они рассчитаны для различных звездных фотосфер в полосе *UBVR*. Кривые блеска DN Cas в цветах *UBVR*, построенные по нашим эфемеридам, показаны на рис. 1. Как было отмечено выше, кривая блеска ТДС имеет некоторые особенности. На наших кривых блеска звезды наблюдается

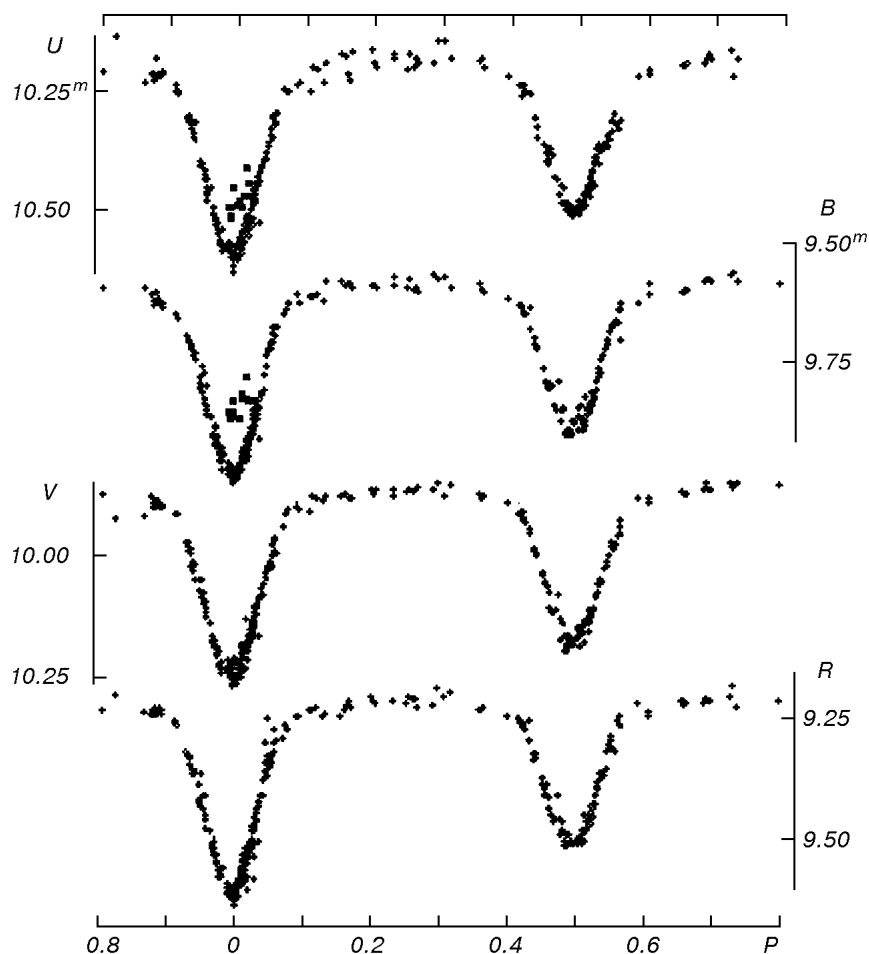


Рис. 1. Кривые блеска затменной переменной DN Cas

заметный разброс точек. Особенно большие флуктуации наблюдаются в моменты главного минимума JD2448134 в U - и B -полосах. При решении кривых блеска ТДС мы исключили эти точки из анализа. Продолжительность затмения в минимумах почти одинакова и составляет 0.15^p , что совпадает с данными ОКПЗ.

На всех кривых блеска ТДС ярко выражен эффект фазы. Ректификация кривых блеска во всех фильтрах показала, что этот эффект отражает эллипсоидальность компонентов (коэффициент $A_2 = -0.0347 \pm 0.0036$ для U -, -0.0301 ± 0.0023 для B -, -0.0295 ± 0.0023 для V - и -0.0279 ± 0.0021 для R -полосы). Поиск минимума отклонения нормальных точек от теоретической кривой блеска DN Cas дал два набора элементов фотометрической орбиты (ЭФО). Все кривые блеска ТДС решаются как и в предположении затмения горячего (меньшего по размерам) компонента (гипотеза $B \rightarrow M$), так и в предположении прохождения холодного (также меньшего по радиусу) компонента звезды в главном минимуме (гипотеза $M \rightarrow B$). В первом случае один компонент более горячий, но меньший по размерам и светимости. Во втором случае высокотемпературный компонент имеет большой радиус и светимость. Точности полученных ЭФО и критерий χ^2 не дал предпочтения определенному решению кривых блеска ТДС. К сожалению, отсутствие спектроскопических элементов DN Cas не позволяет выбрать нужное решение. Результаты решения кривых блеска приведены в табл. 4. Размеры компонентов выражены в единицах радиуса орбиты, а их блеск дан в относительных единицах от общего блеска звезд в максимуме. В последней строке показаны средневзвешенные отклонения нормальных точек от их теоретических значений. Геометрические значения ЭФО системы усреднены в отдельном столбце. В двух последних столбцах даны некоторые элементы ТДС по данным других авторов. Как было отмечено во введении, эти авторы не решали кривые блеска затменных систем, а получили характеристики компонентов, пользуясь некоторыми свойствами кривых блеска ТДС и статистическими зависимостями между фундаментальными параметрами звезд. В работе [12] приведены два набора данных: если DN Cas относится к разделенным системам на главной последователь-

Таблица 4. Элементы фотометрической орбиты DN Cas

Параметр	Гипотеза $B \rightarrow M$					Гипотеза $M \rightarrow B$					Литературный источник	
	U	B	V	R	$\langle UBVR \rangle$	U	B	V	R	$\langle UBVR \rangle$	[23]	[12]
a_c	0.359	0.345	0.255	0.338	0.347 ± 0.005	0.271	0.264	0.271	0.256	0.266 ± 0.004	0.251	0.372 (0.40)
b_c	0.342	0.330	0.340	0.324	0.332 ± 0.005	0.258	0.252	0.259	0.245	0.254 ± 0.003	—	—
a_h	0.205	0.197	0.209	0.192	0.210 ± 0.007	0.309	0.298	0.308	0.293	0.302 ± 0.004	0.300	0.284 (0.35)
b_h	0.195	0.188	0.200	0.184	0.200 ± 0.007	0.294	0.284	0.294	0.281	0.288 ± 0.003	—	—
$x_c \approx x_h$	0.25	0.23	0.19	0.16	—	0.25	0.23	0.19	0.16	—	—	—
i , град	77.56	78.40	77.71	78.72	77.50 ± 0.48	76.02	76.53	76.04	77.00	76.40 ± 0.23	—	84(71)
L_c	0.699	0.705	0.700	0.701	—	0.364	0.347	0.383	0.363	—	0.538	0.68 (0.60)
$L_c + L_h$	± 0.002	0.002	± 0.003	± 0.002	—	± 0.002	± 0.004	± 0.004	± 0.004	—	—	—
ε	0.005^m	0.004^m	0.005^m	0.005^m	—	0.004^m	0.005^m	0.005^m	0.005^m	—	—	—
$\chi^2 \cdot 10^{-4}$	0.853	1.922	1.172	5.214	—	0.818	2.160	1.258	2.577	—	—	—

Таблица 5. Фотометрические величины компонентов DN Cas

Гипотеза Б → М				Гипотеза М → Б			
V	U - B	B - V	V - R	V	U - B	B - V	V - R
Горячая звезда							
10.21±0.001	-0.39±0.01	0.74±0.01	0.65±0.01	10.37±0.01	-0.39±0.01	0.72±0.01	0.69±0.01
Холодная звезда							
10.23±0.00	-0.36±0.00	0.64±0.00	0.65±0.00	10.93±0.01	-0.33±0.01	0.74±0.02	0.59±0.02

ности и если она — контактная система раннего спектрального класса. Для последнего предположения о типе ТДС ее ЭФО приведены в скобках.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данные табл. 2 и 4 позволяют легко вычислить фотометрические характеристики каждого компонента ТДС. В табл. 5 они приведены с учетом поправки за отражение, которые вычисляются при решении кривой блеска программой Лаврова [7]. Горячая звезда ТДС в гипотезе Б → М более слабая, а в гипотезе М → Б более яркая.

На рис. 2 показаны положения компонентов на двухцветных диаграммах U - B, B - V и U - B, V - R. По линии нарастающего покраснения компоненты пересекают стандартные кривые в точках O5 и B0.5 (гипотеза Б → М), O8 и B0 (гипотеза М → Б). Точность метода спектральной классификации звезд на двухцветных диаграммах составляет ±2.5 подкласса [1].

Интерпретация ЭФО DN Cas зависит от принятой гипотезы затмения в главном минимуме. Если имеет место гипотеза Б → М, то следует ожидать, что горячая, меньшая по радиусу и светимости (возможно и по массе) звезда была раньше главным компонентом системы и в ходе эволюции стала вторичным, т. е. в системе произошла «перемена ролей». Этот процесс должен иметь место при истощении водорода в ядре горячего компонента, когда происходит первое расширение звезды (случай А [18]). В результате переноса массы горячего (бывшего массивного) компонента на более холодный орбитальный период системы должен уменьшиться, и наблюдаемый период ТДС раньше был больше.

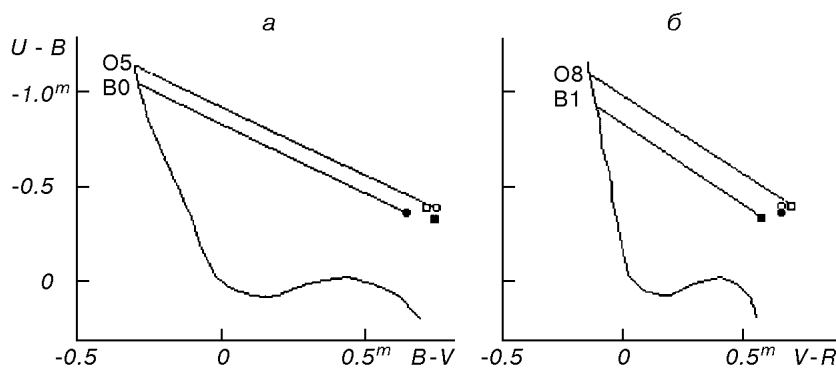


Рис. 2. Положения компонентов DN Cas на двухцветных диаграммах U - B, B - V и U - B, V - R. Кружки — компоненты ТДС при гипотезе Б → М, квадратики — М → Б (темные символы — главные, светлые — вторичные компоненты)

В настоящее время обмен масс в ТДС прекратился, или он слаб и не повлиял на орбитальный переход в течение последних шестидесяти лет. Первоначальные абсолютные характеристики компонентов DN Cas могут быть вычислены только из модельных расчетов. Однако в настоящее время нам не известны наблюдаемые абсолютные параметры ТДС, и это создает большие неопределенности в расчетах. Другая возможная интерпретация ТДС как экстремально молодой системы, компоненты которой не достигли НГП, по-видимому, неприемлема. Массивные звезды проходят фазу Кельвина—Гельмгольца довольно быстро, и это время можно оценить из следующей приближенной формулы [19]:

$$\tau_c \approx 6.7 \cdot 10^7 (\Omega/\Omega_\odot)(L_\odot/L) \text{ лет,}$$

где Ω и Ω_\odot — потенциальная энергия звезды и Солнца, а L и L_\odot — их полные светимости соответственно. Подставив в данную формулу табличные значения звезды O8V (спектр DN Cas), получаем $\tau_c = 4 \cdot 10^6$ лет. В таком случае мы должны были наблюдать остатки протозвездного облака и область Н II вокруг DN Cas, и возможно, звезда должна была быть подобна Ae/Be-звездам Хербига [16], как области вокруг V380 Ori, AB Aur, HD 259431 и т. п. На картах Паломарского атласа неба вокруг DN Cas никакой светлой туманности не наблюдается. Кроме того, в спектре ТДС не отмечены характерные эмиссионные линии звезд типа Ae/Be Хербига.

Природа компонентов DN Cas более ясна, если примем гипотезу М → Б. В этом случае ТДС состоит из горячей, большей по радиусу и светимости главной звезды и холодного, меньшего по радиусу и светимости спутника, с характерными данными для нормальных звезд на главной последовательности (ГП). Рассмотрим положения компонентов на диаграмме Г—Р, построенной для эволюционирующих звезд больших масс с потерей вещества [25]. Чтобы определить место главного компонента DN Cas на этой диаграмме, возьмем за основу температуру звезды по ее спектру O8V [35]. Температурную шкалу примем по [52]. Вертикальная линия с данной температурной пересекает эволюционные треки звезд с различными массами и радиусами (рис. 3). Для выбора возможного значения абсолютных характеристик главного компонента привлечем результаты решения кривой блеска. Из полученных ЭФО для гипотезы М → Б (табл. 4) и данных фотометрии DN Cas (табл. 2) с учетом эффекта отражения находим

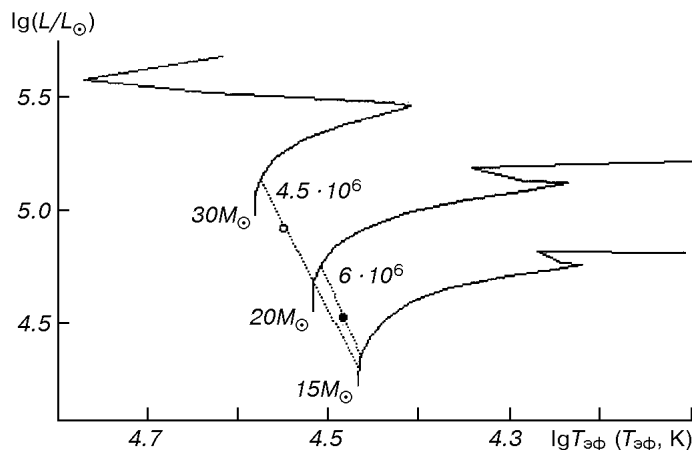


Рис. 3. Компоненты DN Cas на диаграмме Г—Р, построенная для эволюционирующих звезд с теряющей массой по расчетам [25]. Светлый кружок — главный, темный — вторичный компонент. Пунктирной линией показаны изохроны 4.5 и 6 млн лет

Таблица 6. Абсолютные характеристики компонентов DN Cas

Параметр	Главный компонент			Вторичный компонент		
	Литературный источник					
	настоящая работа	[23]	[12]	настоящая работа	[23]	[12]
M/M_{\odot}	26.5	23.73	22.0(22)	16.4	15.53	14.5(17.2)
R/R_{\odot}	7.6	3.95	9.1(9.9)	6.7	4.72	7.0(8.8)
M_{bol}	-7.6	-4.97	-8.0(-8.2)	-6.6	-4.80	-6.7(-7.25)
T, K	35500	27150	35800 (3600)	30200	23880	30300 (30700)
	O8	O8V+	O8V	O9.8		O9.5

разность визуальных звездных величин компонентов ТДС $\Delta V = 0.56^m$. По визуальной абсолютной светимости главного компонента оцениваем возможный спектр спутника по стандартным табличным данным [15], используя полученную величину ΔV ($\Delta V = \Delta M_V$). Найдем разность абсолютных болометрических светимостей звезд ΔL по спектрам звезд из табличных данных. Теперь, чтобы оценить абсолютные параметры звезд, обратимся к построенной диаграмме Г—Р (рис. 3) и найдем такие положения компонентов, когда их светимости отличаются на ΔL , а отношение радиусов $k = 0.879$ (табл. 4). При этом температура главного компонента остается постоянной и равной ее принятой величине (спектр O8V). В качестве независимого контроля абсолютных значений звезд используем третий закон Кеплера. В результате нам удалось получить оценку абсолютных параметров компонентов DN Cas (табл. 6). В таблице также приведены данные других авторов. Температура звезд в столбце [12] вычислена нами из приведенных авторами значений радиуса и светимости компонентов. Пояснения к величинам в скобках те же, что и к табл. 5. Видно, что наши оценки абсолютных характеристик в целом ближе к данным [12], чем к результатам вычислений [23].

Полученные нами величины для компонентов DN Cas ближе к абсолютным параметрам звезд, находящихся на НГП, чем на ГП. На рис. 3 показаны изохроны по расчетам [25], по которым возраст компонентов ТДС можно оценить в пределах 4.5—6 млн лет. Интересно, что Масевич [8] вычислила основные характеристики звезды из модели с переменной массой при отсутствии перемешивания вещества между лучистой оболочкой и конвективным ядром и получила следующие величины: $M = 20.9 M_{\odot}$, $R = 7.2 R_{\odot}$, $M_{bol} = -8.2^m$ и возраст звезды $3 \cdot 10^5$ лет. По-видимому, эти величины должны относиться к горячей звезде ТДС. За исключением массы и возраста, эти величины близки к нашим данным.

Отношение масс компонентов DN Cas $q = 0.62$, что определяет критические радиусы полости Роша $r_{h, crit} = 0.419$ и $r_{c, crit} = 0.331$ [50]. Сравнение относительных полярных радиусов компонентов показывает, что звезды заполняют свои полости Роша на 69 % и 77 % соответственно. На этом основании мы относим ТДС к разделенным системам. В работе [23] указано, что компоненты не превышают свои критические радиусы.

У звезд высокой светимости происходит непрерывное истечение вещества из-за сильного звездного ветра, и средний темп потери вещества у сверхгигантов составляет $10^{-5}—2 \cdot 10^{-2} M_{\odot}/год$ [19]. Потеря вещества горячими массивными звездами высокой светимости на ГП значительно меньше, чем у сверхгигантов. Оценим темп истечения вещества из горячего компонента DN Cas по следующей формуле [21]:

$$dm/dt = L^{3/2}(R/M)^{9/4}G^{-7/4},$$

где L , R , M — светимость, радиус и масса звезды, а G — гравитационная постоянная. Подстановка данных горячего компонента из табл. 6 приводит к темпу потери вещества звездой $1.7 \cdot 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$. Если предположить, что эта масса захватывается более холодным компонентом (нет истечения вещества в околозвездное пространство), то можно вычислить изменение орбитального периода ТДС [53]:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{3(1 - q^2)}{q} \frac{\Delta m}{M},$$

где P и ΔP — орбитальный период и его изменение, M и Δm — сумма масс компонентов и темп потери вещества за один орбитальный период. Подставив полученную выше оценку темпа ожидаемого истечения вещества горячего компонента в данную формулу, получим $\Delta P/P = -3.2 \cdot 10^{-10}$. Представление наблюдаемых минимумов DN Cas (табл. 3) параболической формулой незначительно уменьшило сумму $\Sigma(O - C)^2$ (всего на 0.2 % относительно линейной аппроксимации). Значение параболического члена эфемериды составило $-(3.2 \pm 11.7) \cdot 10^{-10}$, т. е. совпало с ожидаемым темпом уменьшения орбитального периода ТДС. Однако низкая точность полученной величины не позволяет нам быть уверенными в действительном изменении периода. Следует отметить, что в ТДС имеют место нестационарные процессы, вызвавшие значительные флюктуации блеска в отдельные даты, особенно ярко проявляющие себя в ультрафиолетовом диапазоне спектра (см. выше).

Избыток цвета DN Cas как одиночной звезды определялся по результатам фотометрии [36] и составил $E_{B-V} = 1.01^m$ [46, 47, 58]. Близкая величина (1.02^m) получена в [56] из многоцветной фотометрии звезды в Вильнюсской системе. Из двух измерений ТДС в системе Стремгrena [34], полученных вне затмения, мы вычислили $E_{B-V} = 0.97^m$. По нашим измерениям мы нашли для горячего компонента $E_{B-V} = 1.07^m$, что при нормальном законе поглощения дает $A_V = 3.6^m$. Визуальную абсолютную величину компонента ТДС найдем из табл. 9, с учетом болометрической поправки для главного компонента. Мы получили $M_{B,V} = -4.2^m$, и модуль расстояния системы, с учетом космической дисперсии абсолютных величин O, B-звезд [9], равен $m - M = 11.0 \pm 0.6^m$.

Оценим расстояние до ТДС из соотношения Барнеса—Эванса [43]:

$$F_V = 6.6576 - 0.1V_0 - 0.5 \lg R \pi'',$$

где F_V — поток энергии с единицы площади звезды в визуальной области спектра, V_0 — блеск звезды с учетом поглощения, R — радиус звезды в км, π'' — параллакс. Значения F_V можно вычислить [43] или же воспользоваться их табулированными значениями [52]. Подставив необходимые величины для компонентов ТДС в данную формулу, получим $(m - M)_h = 10.9^m$ и $(m - M)_c = 10.8^m$. В [23] оценено расстояние до ТДС в 550 пк ($m - M = 8.7^m$), а в [54] нашли его равным 2.4 кпк ($m - M = 11.9^m$). По предварительной оценке автора [5] было получено расстояние 2.8 кпк ($m - M = 12.2^m$) до ТДС. Измерения астрометрического спутника HIPPARCOS дали отрицательный параллакс DN Cas с большой ошибкой ($\pi = 0.0086 \pm 0.017''$), что характерно для очень удаленных звезд (>1 кпк).

В направлении DN Cas находятся две близкие на небе O, B-ассоциации: Per OB1, содержащая двойное молодое рассеянное скопление h и χ Per, и Cas OB6, включающая очень молодое рассеянное скопление IC 1805. Обе

ассоциации следует считать частью спирального рукава в Персее. Новое определение расстояний до ОВ-ассоциаций, на основе измерения тригонометрических параллаксов звезд HIPPARCOS, дает для Cas OB6 $m - M = 11.7^m$ [3]. По степени близости на небе и по удаленности DN Cas тяготеет к ассоциации Cas OB6. По результатам фотометрии звезды в Вильнюсской системе ТДС была также отнесена к этой ассоциации [55].

Окончательный вывод о природе DN Cas можно получить из спектроскопических элементов, поэтому измерения лучевых скоростей компонентов представляется важной задачей. При разности звездных V -величин компонентов 0.6^m должны наблюдаться линии обоих компонентов в классической области H_γ . Исходя из условия устойчивости ТДС, можно предсказать полуамплитуды лучевых скоростей компонентов v_h и v_c из решения равенства [42]:

$$\left(\frac{v_h + v_c}{\sin i} \right)^2 = \frac{G(M_h + M_c)}{A^3},$$

и простого соотношения $M_h/M_c = v_c/v_h$. Здесь A — радиус орбиты и i — угол наклона плоскости орбиты. Максимальные лучевые скорости компонентов получились следующими: $v_h = 220$ км/с и $v_c = 360$ км/с, т. е. легко измеряемые при средней обратной дисперсии спектра (4 нм/мм).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получены полные высокоточные кривые блеска затменной переменной раннего спектрального класса DN Cas в фильтрах U , B , V , R . Проведено уточнение эфемериды минимумов по наблюдениям звезды за последние 60 лет. Все кривые блеска решены прямым методом Лаврова и получены ЭФО при двух гипотезах затмения в главном минимуме: $B \rightarrow M$ и $M \rightarrow B$. Дана интерпретация природы компонентов ТДС. Наиболее предпочтительной является гипотеза затмения горячей и большей по радиусу звезды в главном минимуме. В рамках этой гипотезы сделана оценка ожидаемых абсолютных физических характеристик компонентов DN Cas. Компоненты ТДС находятся на стадии эволюции после ухода с НПП и их возраст оценен в 4.5—6 млн лет. По расположению на небе и удаленности DN Cas, возможно, принадлежит ОВ-ассоциации Cas OB6, являющейся фрагментом спирального рукава в Персее.

Автор выражает свою признательность А. М. Мельник за присланные данные об ОВ-ассоциациях и А. А. Азимову за помощь в наблюдениях.

1. Белякина Т. С., Чугайнов П. Ф. О точности определения спектральных классов и избытков цвета звезд O—A2 с помощью метода двухцветных диаграмм // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1960.—22.—С. 257—274.
2. Ворошилов В. И., Гусева Н. Г., Каландадзе Н. Б. и др. Каталог BV-величин и спектральных классов 6000 звезд. — Киев: Наук. думка, 1985.—140 с.
3. Дамбис А. К., Расторгуев А. С. Тригонометрический параллакс и кинематически согласованная шкала расстояний до ОВ-ассоциаций // Письма в Астрон. журн.—2001.—27, № 1.—С. 68—75.
4. Железнякова А. И. Результаты исследования прозрачности и влагосодержания атмосферы на астропункте Майданак // Астроклимат и эффективность телескопов. — Л.: Наука, 1984.—С. 55—59.
5. Закиров М. М. Затменные переменные в площадке № 1 программы «Млечный Путь» // Кинематика и физика небес. тел.—1990.—6, № 3.—С. 18—21.
6. Закиров М. М., Азимов А. А. Тесные двойные системы в рукаве Персея. I. NS Персея // Кинематика и физика небес. тел.—1993.—9, № 2.—С. 82—88.
7. Лавров М. И. Комплекс программ на языке «Бейсик» для анализа кривых блеска затменных двойных систем // Тр. Казан. город. астрон. обсерватории.—1993.—№ 53.—С. 34—47.

8. Масевич А. Г. Эволюция звезд в скоплении η и χ Персея // Астрон. журн.—1957.—34, № 2.—С. 176—182.
9. Мдзинаришвили Т. Г. Задача определения функции пространственной плотности звезд по данным каталогов BV -фотометрии и МК-классификации // Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории.—1985.—№ 59.—С. 117—124.
10. Мирзоян Л. В., Амбарян В. В., Гарибджанян А. Т. Распределение и движение OB-звезд в направлении η и χ Персея // Астрофизика.—1991.—34, № 3.—С. 357—378.
11. Рубашевский А. М. Законы потемнения к краю в фотометрических системах $UBVR$ и $uvby$ // Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории.—1985.—№ 58.—С. 389—408.
12. Свечников М. А., Кузнецова Э. Ф. Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд. — Свердловск: Уральский гос. ун-т, 1990.—Т. 1.—224 с.
13. Сви́рская Е. М., Воронова Н. А. Прогнозирование глубин вторичных минимумов и спектральных классов главных компонентов затменных переменных звезд типа РПГ // Астрон. журн.—1993.—70, № 6.—С. 1193—1204.
14. Страйжис В. Многоцветная фотометрия звезд. — Вильнюс: Моклас, 1977.—312 с.
15. Страйжис В. Звезды с дефицитом металлов. — Вильнюс: Моклас, 1982.—312 с.
16. Шевченко В. С. Ae/Be звезды Хербига. — Ташкент: Фан, 1989.—262 с.
17. Харди Х. Редукция фотоэлектрических наблюдений // Методы астрономии / Под ред. В. А. Хилтнера. — М.: Мир, 1965.—С. 157—183.
18. Юнгельсон Л. Р., Масевич А. Г. Эволюция звезд в тесных двойных системах. — М., 1989.—С. 27—62.—(Итоги науки и техники. Сер. Астрономия; Т. 21).
19. Ягер К. Звезды наибольшей светимости. — М.: Мир, 1984.—494 с.
20. Agerer F., Hubscher J. Photometric maxima/minima of selected variables // Inform. Bull. Var. Stars.—1995.—N 4222.—P. 1—4.
21. Andriesse C. D. On the relation between stellar mass loss and luminosity // Astrophys. J.—539, N 1.—P. 364—365.
22. Ardeberg A., Virdefors B. The influence of interstellar absorption on measured strengths of the Balmer discontinuity // Astron. and Astrophys.—1978.—69, N 1.—P. 1—10.
23. Branciewicz H. K., Dworak T. Z. A catalogue of parameters for eclipsing binaries // Acta Astron.—1980.—30, N 4.—P. 501—524.
24. Davidge T. J. UVB photometry of DN Cassiopeiae // Inform. Bull. Var. Stars.—1980.—N 1817.—P. 1—2.
25. Doom C. The combined effect of mass loss and overshooting // Astron. and Astrophys.—1982.—116, N 2.—P. 303—307.
26. Frazier T. H., Hall D. S. The O8 eclipsing binary DN Cassiopeiae and new variable HD 14817 // Publ. Astron. Soc. Pacif.—1974.—86, N 513.—P. 661—667.
27. Friedmann C., Roder U. K. The interstellar 217 nm band: a third catalogue of equivalent widths // Astron. Nachr.—1987.—308, N 1.—P. 41—46.
28. Garmani C. D., Conti P. S., Chiosi C. The initial mass function for massive stars // Astrophys. J.—1982.—263, N 2.—P. 777—790.
29. Germani C. D., Stencel R. E. Galactic OB-associations in the northern Milky Way Galaxy. Longitudes from 55 to 150 // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1992.—94, N 2.—P. 211—244.
30. Gebel W. L. Interstellar reddening for H II regions and Lyman visual colors of their exciting stars // Astrophys. J.—1968.—153, N 3.—P. 743—760.
31. Guiricin G., Mardirossian F., Mezzeti M. Statistics of categorized eclipsing binary systems. Lightcurve shapes, periods, and spectral types // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1983.—54, N 2.—P. 211—220.
32. Goy G. A new general O type stars catalogue // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1973.—12, N 3.—P. 277—312.
33. Goy G. A general O type stars catalogue third addition — magnetic type // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1976.—26, N 2.—P. 273—274.
34. Hilditch R. W., Hill G. Stromgren four — color observations of northern hemisphere binary systems // Mem. Roy. Astron. Soc.—1975.—79, N 2.—P. 101—129.
35. Hiltner W. A., Johnson H. L. The law of interstellar reddening and absorption // Astrophys. J.—1956.—124, N 2.—P. 367—378.
37. Hoffmeister C. 238 neue Veränderlichen // Ergänz. Astron. Nachr.—1942.—10, N 2.—P. 1—7.
38. Hoffmeister C. Die veränderlichen Sterne der nördlichen Milchstraße Teil IV // Veröff. Stern. Sonnenberg.—1947.—1, N 2.—P. 47—117.
39. Humphreys R. M. Studies of luminous stars in nearby galaxies. I. Supergiants and O stars in the Milky Way // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1978.—38, N 4.—P. 309—350.
40. Johnson H. L., Hiltner W. A. The law of interstellar reddening and absorption // Astrophys. J.—1956.—123, N 2.—P. 367—378.

41. *Kent S. M.* Photometry of stars in the uvgr system // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1985.—97, N 588.—P. 165—174.
42. *Kopal Z.* Close binary systems. — London: Chapman & Hall Ltd, 1959.—558 p.
43. *Lacy C. H.* Distances to eclipsing binaries: an application of the Barnes—Evans relation // *Astrophys. J.*—1977.—213, N 2.—P. 458—463.
44. *Mathys G.* Properties of the stragglers in young OB-associations // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1987.—71, N 2.—P. 201—219.
45. *Mendoza E. E. V.* Multicolor photometry of stellar agregates // *Bol. observ. Tonantzintla y Tacubaya.*—1967.—4, N 29.—P. 149—196.
46. *Miller J. S.* Radial velocities and kinematics of galactic H II regions // *Astrophys. J.*—1968.—151, N 2.—P. 473—489.
47. *Morton D. C.* The effective temperatures of the O stars // *Astrophys. J.*—1969.—158, N 2.—P. 629—640.
48. *Neff J. S.* Relative and absolute photometry of 185 stars // *Astron. J.*—1968.—73, N 2.—P. 75—83.
49. *Ochsenbein F.* On the relationship between the apparent magnitudes given in several catalogues and the UBV system // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1974.—15, N 2.—P. 215—252.
50. *Plovec M., Kratochvil P.* Tables for the Roche model of close binaries // *Bull. Astron. Inst. Czech.*—1964.—15, N 5.—P. 165—170.
51. *Popova M., Kraicheva Z.* Catalogue of eclipsing and spectroscopic binary in the regions of open clusters // *Астрофиз. исслед. Изв. Спец. астрофиз. обсерватории.*—1984.—18.—С. 64—89.
52. *Popper D. M.* Stellar mass // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1980.—18.—P. 115—164.
53. *Pribulla T.* Efficiency of mass transfer and outflow in close binaries // *Contrib. Astron. Observ. Skalnete Pleso.*—1998.—28, N 2.—P. 101—108.
54. *Savage B. D., Massa D., Meade M., Wesselius P. R.* A catalogue of ultraviolet interstellar extinction excesses for 1415 stars // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1985.—69, N 3.—P. 397—432.
55. *Sudzius J., Bobinas V. B.* Photoelectric photometry of OB stars in the Vilnius system // *Bull. Vilnius Astron. Observ.*—1992.—N 86.—P. 59—79.
56. *Sudzius J., Bobinas V. B.* Intrinsic colour indeces of O- and B-type stars in the Vilnius photometric system // *Baltic astron.*—1994.—3, N 1/2.—P. 158—167.
57. *Thuan T. X., Gunn J. E.* A new four-color intermediate-band photometric system // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1976.—88, N 524.—P. 543—547.
58. *Wampler E. J.* Observed variations in the law of interstellar reddening // *Astrophys. J.*—1962.—136, N 1.—P. 100—106.
59. *Wampler E. J.* Scanner observations of λ 4430 // *Astrophys. J.*—1966.—144, N 3.—P. 921—936.
60. *Wildey R. L.* The stellar content of h and χ Per cluster and association // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1964.—8, N 3.—P. 439—496.

Поступила в редакцию 19.03.01