АСТРОФИЗИКА

ТОМ 49 АВГУСТ, 2006 ВЫПУСК 3

УДК: 524.3

АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ В КРАТНОЙ СИСТЕМЕ ADS 15571

Е.А.ГРОШЕВА

Поступила 11 апреля 2006
Принята к печати 9 июня 2006

Визуально-двойная звезда ADS 15571 наблюдается в Пулково на 26"-рефракторе с 1960г.. В данной работе представляются результаты исследования периодических возмущений в относительном движении компонент. Видимое движение компоненты В было разделено на орбитальное движение барицентра относительно компоненты А и эллиптическое движение фотоцентра относительно барицентра. По видимому эллипсу движения фотоцентра были определены элементы орбиты прямым геометрическим методом А.А.Киселева и произведена оценка возмущающей массы. Минимальная масса невидимой компоненты составляет 0.62 $M_\odot$.

1. *Введение*. Кратная звезда ADS 15571 наблюдается в Пулково на 26"-рефракторе с 1960г., а первые ее наблюдения относятся к 1832г. (наблюдения О.Струве). Интерес к системе возник в процессе исследования визуально-двойных звезд околополярной области в рамках программы наблюдений двойных звезд на 26"-рефракторе [1]. Кроме регулярных наблюдений известных двойных звезд, программа предусматривает массовые наблюдения визуально-двойных звезд околополярной области с целью определения среди них пар с заметным орбитальным движением для определения параллаксов, орбит и масс звезд. Общая информация о двойной звезде, а именно: экваториальные координаты в системе J2000.0 $\alpha_{J2000.0}$ и $\delta_{J2000.0}$, угловое расстояние ρ, визуальные звездные величины видимых компонент m_A, m_B, их спектральные классы, собственные движения μ_x и μ_y (mas), параллакс главной компоненты π_A и его ошибка ε (mas), лучевые скорости V_r (км/с) и оценки масс, содержится в табл.1, где

1. Лучевые скорости взяты из каталога лучевых скоростей Вильсона [2]. Положения, собственные движения, параллакс, спектральные классы и звездные величины - из каталога HIPPARCOS [3].

2. Компонента В, переменная типа RS CVn, является спектроскопической двойной с орбитальным периодом 1.1522 дня [4], минимальные массы спектральных компонент 0.65 и 0.61, два спектра классифицированы как F5s и G6 [5].

3. Масса компоненты А была оценена как 1.3 $M_\odot$, исходя из астрофизических оценок масс для звезд данных спектральных классов [6,7].

Таблица 1

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ВИДИМЫХ КОМПОНЕНТАХ ADS 15571

$\alpha_{J2000.0}$ $\delta_{J2000.0}$	ρ	m_A m_B	Sp_A Sp_B	μ_{xA} μ_{xB}	μ_{yA} μ_{yB}	π_A ± ε	V_{rA} V_{rB}	M_A M_B
$21^h58^m.2$ +82°52'	13".7	6.98 7.43	F6IV-V F5	-129.14 -132.18	-74.42 -40.28	25.38 ±1.92	-22.2 ± 2 -17.5 ± 0.9	1.3 1.26

2. *Наблюдения*. Период наблюдений составил 43 года. За это время наблюдателями Пулковской обсерватории было снято на 26"-рефракторе 110 астронегативов, которые были оцифрованы на сканере UMAX с проекционной приставкой и разрешением 1200 dpi. Для обработки сканированных изображений использовалось программное обеспечение, разработанное И.С.Измайловым специально для измерений двойных

Таблица 2

СРЕДНЕГОДОВЫЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ADS 15571

T	ρ	σ_ρ	$\theta_{J2000.0}$	σ_θ
1832.300	13.79	-	73.48	-
1889.420	13.65	-	71.58	-
1909.150	13.63	-	70.63	-
1914.780	13.8	-	70.46	-
1923.360	13.85	-	69.85	-
1960.682	13.688	0.018	68.650	0.010
1961.676	13.706	0.010	68.509	0.030
1963.724	13.757	0.004	68.600	0.047
1970.704	13.781	0.001	67.679	0.015
1971.867	13.742	0.003	67.704	0.012
1972.736	13.717	0.002	67.689	0.037
1975.787	13.698	0.005	67.736	0.02
1976.606	13.685	0.005	67.797	0.027
1977.645	13.679	0.002	67.768	0.012
1978.722	13.684	0.004	67.78	0.013
1979.531	13.678	0.006	67.764	0.019
1980.639	13.679	0.007	67.82	0.032
1981.738	13.708	0.008	67.617	0.006
1982.431	13.711	0.002	67.716	0.016
1984.621	13.723	0.007	67.646	0.014
1985.667	13.74	0.005	67.559	0.017
1987.765	13.772	0.006	67.433	0.025
1990.557	13.809	0.009	67.201	0.017
1992.703	13.832	0.004	66.826	0.007
1994.734	13.772	0.010	66.667	0.030
1995.666	13.755	0.007	66.698	0.003
1998.682	13.703	0.010	66.764	0.030
1999.623	13.697	0.002	66.792	0.058
2000.686	13.692	0.006	66.798	0.033
2003.708	13.707	0.009	66.768	0.075

звезд [8]. Эти измерения были использованы для вывода 25-ти среднегодовых положений, которые приведены в табл.2 вместе с пятью положениями (первые пять эпох) из каталога Айткена [5]. Дуга видимого движения в паре AB за 43 года наблюдений составила 2°. Табл.2 содержит следующую информацию: T - эпоха наблюдения; ρ - разрешение в секундах дуги; θ - позиционный угол в градусах; σ_ρ и σ_θ - соответствующие среднеквадратичные ошибки.

3. ***Определение орбиты широкой пары методом параметров видимого движения.*** Для определения орбиты движения компоненты B относительно A был использован метод параметров видимого движения, разработанный в Пулково Киселевым [9]. В этом методе орбита визуально-двойной звезды определяется по векторам положения и скорости в движении спутника B относительно A. В свою очередь, вектора положения и скорости вычисляются на основе высокоточных плотных рядов относительных положений, тригонометрического параллакса и относительной лучевой скорости, определенной на момент, близкий к среднему моменту астрометрических наблюдений. В табл.3 приведены параметры относительного движения, полученные из среднегодовых положений. Основные формулы метода параметров видимого движения следующие:

относительное движение $\mu'' = \sqrt{(\dot{\rho})^2 + \frac{\rho^2}{(57.3)^2}(\dot{\theta})^2}$,

радиус кривизны $\rho_c = \frac{T_k - T_n}{\psi_k - \psi_n}\overline{\mu}$,

позиционный угол относительного движения $\psi^\circ = \theta \pm 90^\circ \mp \arcsin\frac{\dot{\rho}}{\mu}$,

величина радиус-вектора расстояния между компонентами

$r^3 = \pm k^2 \frac{\rho\rho_c}{\mu^2}\sin(\psi - \theta)$ $[\mathrm{AU}^3]$, где $k^2 = 4\pi^2(M_A + M_B)$ $[\mathrm{AU}^3/\mathrm{год}^2]$,

величина вектора пространственной скорости компоненты B относительно A

$$v^2 = \left(\frac{\mu}{\pi_{tr}}\right)^2 + \left(\frac{v_r}{4.74}\right)^2 \quad [\mathrm{AU}^2/\mathrm{год}^2],$$

угол между радиус-вектором положения и картинной плоскостью

$$\beta = \pm\arccos\left(\frac{\rho}{r\,\pi_{tr}}\right).$$

Проблема определения орбиты заключалась в недостаточной точности лучевых скоростей компонент ввиду того, что одна из компонент спектрально-двойная. Лучевые скорости, взятые из каталога Вильсона

[2], приведены в табл.1. Относительная лучевая скорость 4.7 км/с не удовлетворяла орбитальному движению с данной массой, поэтому была варьирована в пределах ошибок, и для вычислений взято минимальное

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ

Средний момент, год	T_0	1967.93
Угловое расстояние, arcsec	ρ_0	13.739
Позиционный угол, градус	θ_0	68.119
Радиус кривизны траектории?, arcsec	ρ_c	13.9
Относительное движение, mas/год	μ	10
Позиционный угол относительного движения?, градус	ψ	338.23
Относительная лучевая скорость, км/с	V_r	1.8
Тригонометрический параллакс, mas	π_{tr}	25.38

значение 1.8 км/с. Таким образом, орбиту AB можно считать только предварительной, предназначенной для устранения орбитального движения из нелинейного движения фотоцентра. Уточнение орбиты требует новых спектральных наблюдений с целью получения точных лучевых скоростей. В табл.4 приведены орбитальные параметры, определенные методом ПВД для пары AB. Ввиду неоднозначности определения угла β, мы приводим в табл.4 оба варианта орбитальных элементов. Для выбора того или иного варианта используют старые наблюдения, но в данном случае видимая дуга относительного движения настолько мала, что этот выбор не представляется возможным.

Таблица 4

ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТЫ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ВИДИМЫХ КОМПОНЕНТ В ШИРОКОЙ ПАРЕ ADS 15571

	$\beta = -31°.7$	$\beta = 31°.7$
Большая полуось a	1081.8 a.e.	1081.8 a.e.
Период обращения P	19240 лет	19240 лет
Эксцентриситет e	0.5286	0.5299
Долгота периастра ω	20°.56	339°.12
Наклонность i	48°.90	48°.84
Долгота восходящего узла θ_Ω	35°.47	100°.84
Момент прохождения периастра T_p	3029	904

4. *Орбита фотоцентра.* После исключения орбитального движения, по остаточным невязкам, был построен видимый эллипс смещения фотоцентра и определен центр площадей. Для видимого эллипса смещения фотоцентра, удовлетворяющего наблюдениям в смысле среднеквадратичного уклонения, были определены следующие параметры:

Большая полуось	$a = 0''.087 \pm 0''.005$.
Малая полуось	$b = 0''.049 \pm 0''.005$.
Экцентриситет	$e = 0.823$.
Наклон большой полуоси к оси Ox	56°.5.

Координаты барицентра (x_j, y_j) вычислялись сравнением теоретической средней секториальной скорости $A = \pi ab/P$ с секториальной скоростью A_j, вычисленной для j-й точки наблюдения по формуле: $A_j = \rho_j^2 \dot{\theta}_j / 2$, где

$$\rho_j = \sqrt{(x_j - x_c)^2 + (y_j - y_c)^2},$$

$$\theta_j = \operatorname{arctg} \frac{x_j - x_c}{y_j - y_c}.$$

Критерием нахождения положения барицентра является минимум дисперсии секториальной скорости A_j.

Орбитальные параметры движения фотоцентра были определены прямым геометрическим методом Киселева [10], предварительным условием которого является построение видимого эллипса и определения центра площадей. Геометрический метод дает значения полуосей истинного эллипса и значения углов его ориентации относительно картинной плоскости. Момент прохождения периастра определялся из условия минимума расстояния между фотоцентром и найденным положением барицентра.

Период обращения был получен спектральным анализом остаточных невязок по алгоритму CLEAN. Использовалось программное обеспечение, разработанное в лаборатории астрометрии СПбГУ по материалам статьи Робертс и др., [11].

5. *Оценка массы невидимой компоненты.* Сумма масс компонент орбитальной системы соответствует отношению между массами, расстоянием и периодом обращения:

$$\frac{a^3}{P^2} = M_A + M_B.$$

Если компонента с массой M_B невидима и определен только период и большая полуось орбиты фотоцентра α, это соотношение имеет вид:

$$\frac{\alpha^3}{P^2} = (B - \beta)(M_A + M_B),$$

где $B = M_B/(M_A + M_B)$ и β - параметр, который учитывается в случае взаимодействующих изображений.

Исходя из предположения, что изображения не взаимодействуют, минимальная масса невидимой компоненты определялась из решения уравнения:

$$M_B = \frac{\alpha}{P^{2/3}}(M_A + M_B)^{2/3} .$$

В качестве M_A взята масса компоненты A (класс F5), принятая, согласно [6] и [7] за $1.3\,M_\odot$. Таким образом, минимальная масса невидимого спутника равна $0.62\,M_\odot$, если движение фотоцентра относится к компоненте A. Оценка массы скрытого спутника при помощи астрометрической орбиты фотоцентра яркой компоненты подробно рассматривается у ван де Кампа

Таблица 5

ОРБИТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО ВИДИМОМУ ЭЛЛИПСУ ДВИЖЕНИЯ ФОРОЦЕНТРА

Большая полуось a	$0''.87 \pm 0''.11$
Период обращения P	23 года
Эксцентриситет e	0.4 ± 0.2
Долгота периастра ω	$16° \pm 22°$
Наклонность i	$52° \pm 11°$
Долгота восходящего узла θ_Ω	$31° \pm 7°$
Прохождение периастра T_p	1993.5 ± 0.8
Минимальная масса системы	$0.6 \pm 0.1\,M_\odot$

[12]. Элементы орбиты фотоцентра приведены в табл.5. На рис.1 показаны наблюденные положения фотоцентра (ромбы), соединенные линиями с соответствующими им эфемеридными положениями, видимый эллипс и положение барицентра (большой крест), а также сравнение наблюдений с предполагаемым орбитальным движением.

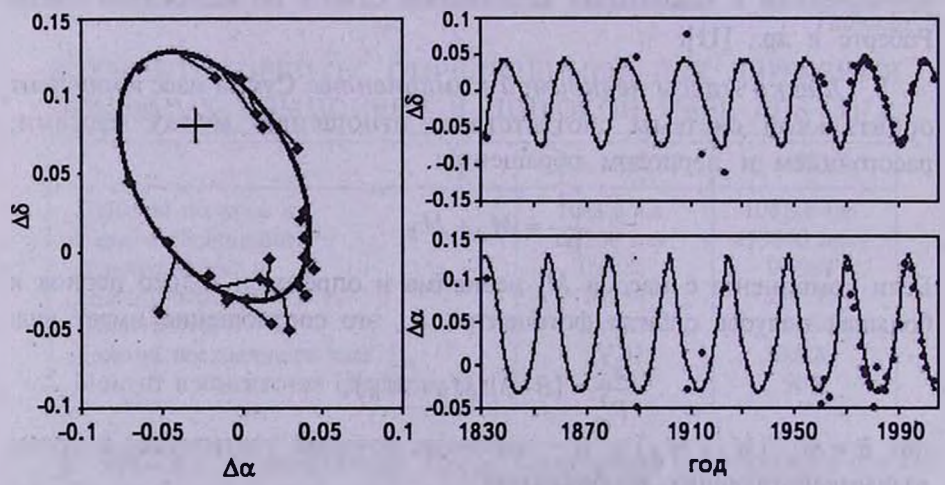

Рис.1. Видимый эллипс относительного движения фотоцентра и сравнение наблюдений с орбитальным движением. Крестом показано положение барицентра, сплошной линией - вычисленное орбитальное движение, ромбами - наблюдения.

6. *Заключение*. По 43 летнему ряду относительных положений визуально-двойной звезды ADS 15571 была определена предварительная орбита компонент широкой пары и исследованы возмущения в относительном движении. Исследование возмущений показало, что они вызваны спутником слабой светимости. Период обращения фотоцентра составил 23 года. Оценка минимальной массы невидимой компоненты дала значение $0.62\,M_\odot$. Эфемериды движения фотоцентра, вычисленные по полученным орбитальным элементам, находятся в хорошем согласии с наблюдениями. Предположительно, исходя из оценок массы, видимое угловое расстояние между яркой видимой и слабой возмущающей компонентами достигает в момент прохождения апоастра 0.5 с дуги.

Автор выражает благодарность лаборатории астрометрии СПбГУ и И.С.Измайлову (ГАО РАН) за предоставленное программное обеспечение.

Главная астрономическая обсерватория РАН,
Россия, e-mail: star-fox@yandex.ru

ANALYSIS OF PERIODIC PERTURBATIONS IN MULTIPLE SYSTEM ADS 15571

E.A.GROSHEVA

Visual double star ADS 15571 is observed in Pulkovo with 26"-refractor since 1960. The results of the study of periodic perturbations in components relative motion is presented. Apparent motion of component B was splited into barycenter orbital motion around component A and elliptic motion of photocenter relatively to barycenter. Apparent ellips of photocenter motion allowed to obtain orbital elements. Mass of perturbations source was estimated as $0.62\,M_\odot$ at least.

Key words: *(stars:)binaries: visual - individual: ADS 15571*

ЛИТЕРАТУРА

1. *А.А.Киселев, О.А.Калиниченко, Г.А.Плюгин и др.*, "Каталог относительных положений и движений 200 визуально-двойных звезд по наблюдениям в Пулкове на 26"-рефракторе в 1960-1986гг.", Наука, Л., 1988.
2. *R.E.Wilson*, General Catalogue of Stellar Radial Velocities, Carnegie Inst. Washington D.C. Publ. 601, 1953.
3. *M.A.C.Perryman, L.Lindegren, J.Kovalevsky et al.*, Astron. Astrophys., **323**, 49, 1997. "The Hipparcos Catalogue".
4. *R.F.Sanford*, Astrophys. J., **65**, 295, 1927.
5. *R.G.Aitken*, "New General Catalogue of Double Stars", Edinburgh, 1932.
6. *П.П.Паренаго*, "Курс звездной астрономии", 1954.
7. *A.N.Belikov*, Stellar Mass Catalogue (SMAC). Preliminary version. Bull. Inf. Centre Donnees Stellaires, **47**, 9, 1995.
8. *И.С.Измайлов*, Изв. ГАО в Пулкове, N214, с.533, 2000.
9. *А.А.Киселев, Л.Г.Романенко*, Астрон. ж., **73**, 875, 1996.
10. *A.A.Kiselev*, in "Visual Double Stars: Formation, Dynamics and Evolutionary Tracks. Ed. J.A.Docobo et al. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997, p.357.
11. *D.H.Roberts, J.Lehar, J.W.Dreher*, Astron. J., **93**, 968, 1987.
12. *P. van de Kamp*, "Stellar Path". Astrophysics and Space Science Library, **85**, 1981.