

УТОЧНЕНИЕ ОРБИТЫ ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЫ 40/41 Dra

А.А.АФАНАСЬЕВА, Е.А.ГРОШЕВА

Поступила 14 марта 2012

Принята к печати 4 апреля 2012

В работе представлены результаты вычислений семейства орбит визуально-двойной звезды 40/41 Dra (ADS 11061). ADS 11061 - околополярная визуально-двойная звезда ($\alpha_{J2000} = 18^h00^m$; $\delta_{J2000} = +80^\circ00'$), широкая пара из окрестности Солнца ($\pi_r = 19 \text{ mas}$). Оба компонента являются спектрально-двойными и принадлежат поздним спектральным классам K2V и F7. Определение орбиты было выполнено на базе фотографических наблюдений визуально-двойной с 1970 по 2006гг. на 26-дюймовом рефракторе в Пулково. Для вычисления орбитальных элементов использовались последние спектроскопические данные о лучевых скоростях и массах компонент. Семейство орбит 40/41 Dra определялось методом Параметров Видимого Движения (ПВД), разработанным Киселевым. Фотографические пластинки были оцифрованы и автоматически измерены впервые. Параметры видимого движения были улучшены, и диапазон допустимых значений истинного расстояния между компонентами был сужен. Семейство орбит было получено с учетом минимальности разностей "O-C". Проводилось сравнение с ранее вычисленным семейством орбит. Результаты измерений размещены в базе данных "Pulkovo Database of Observations of Visual Double Stars".

Ключевые слова: двойные звезды; лучевые скорости; определение орбит - объект: ADS 11061, 40/41 Dra

1. *Введение.* Определение орбит широких пар звезд является важной задачей с точки зрения звездной динамики. В целях изучения гипотезы о возможном влиянии гравитационного поля Галактики на ориентацию долго эволюционирующих двойных систем необходим статистический анализ параметров ориентации орбит двойных звезд, не только полюсов орбит [1], но еще и направлений на периастр, в галактической системе координат [2]. Изучение двойных и кратных систем позволяет совершенствовать основные модели движения и эволюции небесных тел, уточнять зависимость масса-светимость.

40/41 Draonis - околополярная визуально-двойная звезда ($\alpha_{J2000} = 18^h00^m$; $\delta_{J2000} = +80^\circ00'$), широкая пара из окрестности Солнца ($\pi_r = 19 \text{ mas}$). Оба компонента являются спектрально-двойными и принадлежат поздним спектральным классам K2V и F7.

Впервые провел наблюдение объекта Гершель в 1782 г. В XIX в. систему наблюдал В.Я.Струве. С 1970 по 2007гг. ADS 11061 регулярно наблюдалась в Пулково фотографически. В 1996г. по пулковским наблюдениям было

впервые определено семейство орбит широкой пары методом параметров видимого движения (ПВД), разработанным Киселевым в Пулковом [3]. По оценкам период обращения системы превышает 50000 лет, а эксцентриситет близок к единице, что делает эту систему актуальным объектом для дальнейших исследований. К 2009г. получены орбиты всего для 126 широких пар звезд с периодом более тысячи лет [4] и необходимо дальнейшее накопление информации об орбитальных элементах долгопериодических двойных. К настоящему времени накоплены новые позиционные и спектральные наблюдения системы, получены новые определения масс и лучевых скоростей компонент, а также определены спектроскопические орбиты в тесных парах [5,6]. Это позволяет улучшить орбиту визуально-двойной звезды 40.41 Dra с учетом более длинного ряда позиционных наблюдений (до 2006г.) и свежих спектроскопических данных.

2. Наблюдательный материал. Фотографические наблюдения исследуемой двойной звезды получены на 26-дюймовом рефракторе ($D=65$ см, $F=10413$ мм, $M=19.81$ "/мм) в Пулковом ($59^{\circ}46'18''.22$ с.ш. $30^{\circ}19'33''.79$ в.д.).

К 2006г. накоплены 82 пластинки, которые были оцифрованы на сканере UMAX 2000 (аппаратное разрешение 1200 dpi). Измерения оцифрованных изображений проводились с помощью программного пакета Izmccd, разработанного в Пулковом Измайловым [7].

В результате измерений получен ряд относительных положений (ρ, θ) для каждой пластинки, где ρ - видимое расстояние между компонентами, а θ - позиционный угол спутника относительно главной компоненты на момент наблюдения в системе J2000. Измеренные положения размещены в базе данных Pulkovo Database of Observations of Visual Double Stars.

Оба компонента визуально-двойной звезды ADS 11061 (41/40 Dra) спектрально-двойные. При измерении изображения спектрально-двойной звезды получают положение фотоцентра, в то время как необходимое для вычисления орбиты широкой пары положение барицентра спектрально-двойного компонента

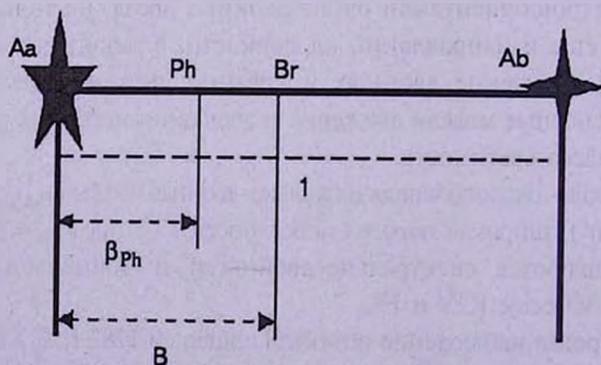


Рис.1. Положения барицентра и фотоцентра.

может быть смещено (рис.1). Таким образом видимое относительное движение в широкой паре АВ представляет собой суперпозицию орбитального движения барицентра системы Bab относительно Aab и орбитальных движений в тесных системах компонент. Период обращения тесной пары Bab (40 Dra) составляет 10 дней, большая полуось ее орбиты $a=0.003$ arcsec [5]. Видимое орбитальное движение системы 40 Dra значительно меньше ошибок определения относительных положений широкой пары и им можно пренебречь.

Период спектроскопической орбиты тесной пары Aab (41 Dra) равен $P=1246^d$, большая полуось орбиты $a=0.07$ arcsec [6]. Видимое орбитальное движение фотоцентра Aab относительно барицентра Aab уже сравнимо с ошибками ряда относительных положений широкой пары и должно быть принято во внимание для корректности определения орбиты широкой пары АВ [8].

Таблица 1

МАССЫ И ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ
СПЕКТРАЛЬНО-ДВОЙНОЙ Aab

Компонента	Масса M / M_{\odot}	Звездная величина в полосе V
Aa	1.39	2 ^m .99
Ab	1.30	3 ^m .42

Коэффициент смещения барицентра относительно фотоцентра для спектрально-двойной компоненты Aab (рис.2), (табл.1):

$$B - \beta_{ph} = 0.81,$$

где B вычисляется по формуле:

$$B = \frac{M_B}{M_A + M_B}, \quad (1)$$

где M_A и M_B - массы компонент системы. Тогда расстояние от барицентра до главной компоненты a_1 отличается в B раз от расстояния до второй звезды a :

$$a_1 = Ba. \quad (2)$$

Коэффициент β_{ph} вычисляется следующим образом:

$$\beta_{ph} = \left(1 + 10^{0.4\Delta m}\right)^{-1}, \quad (3)$$

где Δm - разность звездных величин компаньона и главной звезды.

Тогда расстояние α до фотоцентра в $(B - \beta_{ph})$ раз отличается от расстояния до барицентра a (рис.1):

$$\alpha = (B - \beta_{ph})a. \quad (4)$$

Вычисленные поправки за смещение барицентра $\Delta\rho$ и $\Delta\theta$ находятся на

уровне ошибок фотографических наблюдений. При дальнейших наблюдениях системы на ПЗС учет эффекта смещения барицентра обязателен ввиду их большей точности.

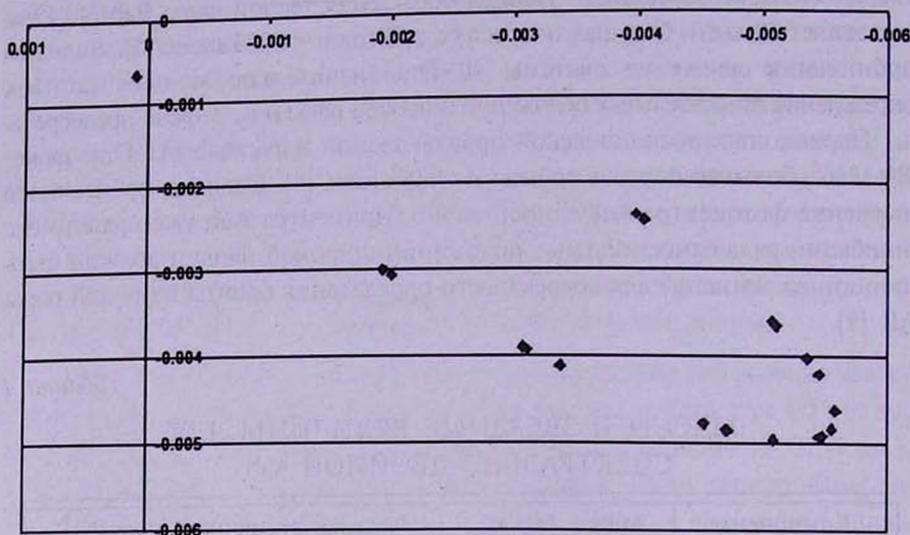


Рис.2. Положения барицентра относительно фотоцентра для спектрально-двойной компоненты Aab.

3. *Метод параметров видимого движения.* Для определения орбиты долгопериодической двойной классические методы не применимы, главным образом, из-за недостаточной длины дуги, что делает невозможным уверенное определение вторых и высших производных относительных координат из наблюдений. Наиболее подходящим методом является метод ПВД, предложенный Киселевым [9] в Пулковско, который позволяет найти основные орбитальные элементы по ряду высокоточных наблюдений короткой дуги орбиты визуально-двойной звезды. При этом не накладываются ограничения на размеры орбиты и скорость орбитального движения звезд. Важно, чтобы ряд наблюдений (10-30 лет) охватывал дугу достаточной длины для надежного определения ее кривизны и скорости изменения относительных координат ρ и θ . Метод ПВД дает две орбиты - одна реальная, другая - фиктивная, удовлетворяющие геометрическому и динамическому условиям движения. Выбор реальной орбиты возможен, если доступны надежные наблюдения, полученные более ста лет назад.

Орбита визуально-двойной звезды может быть определена, если для некоторого момента времени t_0 известны следующие восемь величин: ρ , θ , $\dot{\rho}$, $\dot{\theta}$, ρ_c , δV_r , π_l и M_{AB} . Здесь первые четыре параметра характеризуют положение и скорость звезды В относительно главной звезды А, ρ_c - радиус кривизны наблюдаемой короткой дуги видимой орбиты, δV_r -

лучевая скорость V относительно A , π_1 - тригонометрический параллакс двойной звезды, M_{AB} - суммарная масса обеих компонент. Пять первых из названных величин, определяются на основе высокоточных наблюдений продолжительностью несколько десятков лет (10-30 лет). Другие величины можно взять из любого надежного источника.

Ключевая формула метода ПВД позволяет определить истинное расстояние между компонентами в а.е., если известен радиус кривизны наблюдаемой дуги. Если ряд наблюдений недостаточен для вычисления радиуса кривизны видимой траектории, то для оценки расстояния используется неравенство:

$$\frac{\rho_0}{\pi_1} \leq R \leq \frac{8\pi^2}{v^2} M_{AB}, \quad (5)$$

где левая часть - проекция истинного расстояния на картинную плоскость, а правая часть определяет максимальное расстояние между компонентами, при котором возможно эллиптическое движение с заданными скоростью и массами.

Ориентация орбиты относительно картинной плоскости определяется углом β - углом наклона между вектором положения и картинной плоскостью. Методом ПВД определяются две равновероятные орбиты, соответствующие положительному и отрицательному значению угла β :

$$\beta = \pm \arccos \frac{\rho_0}{R\pi_1}. \quad (6)$$

Из этих данных методом ПВД вычисляется шесть основных элементов орбиты (a , P , e , i , ω , Ω) [10], где a - большая полуось орбиты, P - период обращения, e - эксцентриситет, i - наклонение орбиты, ω - аргумент перигентра, Ω - долгота восходящего узла.

Область применения метода ПВД ограничена только близкими яркими звездами, так как для определения орбиты необходимо знать тригонометрический параллакс и относительную лучевую скорость.

4. *Вычисление параметров видимого движения.* Для моментов наблюдений и соответствующих относительных положений была составлена система условных уравнений:

$$\rho_1(t_1) = \rho_0 + \dot{\rho}(t_1 - T_0), \quad (7.1)$$

$$\theta_1(t_1) = \theta_0 + \dot{\theta}(t_1 - T_0), \quad (7.2)$$

где T_0 - средний момент наблюдений. Таким образом, среднее относительное положение (ρ_0, θ_0) на момент T_0 и первые производные координат $\dot{\rho}, \dot{\theta}$, где ρ_0 - относительное расстояние между компонентами, а θ_0 - позиционный угол спутника B относительно главной звезды A на средний момент наблюдения T_0 . Ошибки вычислений (ρ_0, θ_0) были оценены по

формуле [11]:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2}}{N}, \quad (8)$$

где ε_i - невязки уравнений, а N - количество точек ряда среднегодовых положений.

Погрешности определения величин ρ_0 и θ_0 следующие:

$$(\sigma_\rho = 0''.004, \quad \sigma_\theta = 0''.02).$$

Дуга наблюдаемой орбиты оказалась недостаточна для вычисления радиуса кривизны, поэтому для оценки истинного расстояния использовалось неравенство (5). Для применения метода ПВД также необходимы лучевые скорости компонент, суммарная масса системы и тригонометрический параллакс главной звезды. Из всех определений лучевых скоростей было выбрано наиболее надежное значение относительной лучевой скорости, найденное по спектральным наблюдениям [6]: -0.05 км/с. Для определения семейства орбит было использовано значение суммарной массы системы $5.21 M_\odot$ [6]. Необходимый для вычисления орбиты методом ПВД тригонометрический параллакс был взят из каталога HIPPARCOS [12]:

$$\pi_i = 0''.01884 [0.00181].$$

По приведенному выше неравенству (5) был определен интервал допустимых значений истинного расстояния между компонентами R . Для значений R из полученного диапазона от 1007 до 1270 а.е. были вычислены предварительные орбиты. В результате анализа полученных разностей "Observed - Calculated" ("О-С"), исходя из условия их минимальности, максимально допустимое значение R было уменьшено до 1250 а.е.

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ И ИХ ПОПРАВКИ

	Параметры видимого движения	Поправки
ΔT , годы	1970-2006	
ρ_0''	18.974 [0.004]	-0.001
θ_0''	231.592 [0.02]	+0.008
T_0 , годы	1988.751	
μ , "/год	0.010773 [0.0003]	-0.000073
ψ°	29 [6]	+1
π_i''	0.01884 [0.00181]	
δV_r , км/с	- 0.05	
M_{AB} / M_\odot	5.21	
R , а.е.	1007.2 - 1250 (Удовлетворяет минимальности "О-С")	

Определение семейства орбит производилось для R из уточненного интервала значений с варьированием параметров видимого движения $\psi, \mu, \theta_0, \rho_0$, в пределах их погрешностей с целью минимизации разностей "О-С". Ниже приведены полученные параметры видимого движения и их поправки, которые находятся за пределами точности наблюдений (табл.2).

Параметры видимого движения, полученные по ряду положений до 2006г., отличаются от использованных для вычисления семейства орбит в 1996г. [4] (табл.3).

Таблица 3

СРАВНЕНИЕ ПВД

ПВД	1996	2010
ΔT , годы	1970 - 1992	1970 - 2006
Количество пластинок	42	80
ρ_0^*	19.05 [0.1]	18.973 [0.004]
θ_0^*	231.46 [0.3]	231.60 [0.02]
T_0 , годы	1985.0	1988.751
μ , "/год	0.0107 [0.0009]	0.0107 [0.0003]
ψ^*	19 [10]	30[6]
π_1^*	0.021 [0.004]	0.01884 [0.00181]
δV_r , км/с	0.42 [0.21]	- 0.05
M_{AB} / M_{\odot}	5.0	5.21
R , а.е.	907 - 1476	1007.2 - 1250

Для самой первой оценки орбиты [4] использовался ряд относительных положений длиной 22 года (42 пластинки), измеренный на полуавтоматическом измерительном приборе "Аскорекорд" с визуальным наведением, точность визуального наведения $\pm 1 \div 2$ мкм. Точность измерений оцифрованных пластинок в 1.5 раза лучше [7].

Увеличение длины наблюдательного ряда и более совершенный метод измерения дает увеличение точности параметров видимого движения, особенно угла ψ . На конечный результат также влияет использование разных тригонометрических параллаксов. В 1996г. при вычислении орбиты использовалось значение параллакса равное $0''.021$, полученное в Пулково. Так же сейчас для вычислений использовались более точные значения массы системы и лучевых скоростей, полученных с учетом движения спектроскопических компонент [6]. Благодаря уточнению ПВД по сравнению с работой 1996г. диапазон допустимых значений истинного расстояния между компонентами R был сужен в 2 раза.

5. Семейство орбит широкой пары. Результатом работы является однопараметрическое семейство орбит. Параметр - истинное расстояние между компонентами R . В табл.4 приведены пять вариантов орбитальных решений: для минимального, максимального и среднего R .

ОРБИТАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

R , а.е.	β	a , а.е.	P , годы	e	ω°	i°	Ω°	T
1250	36	32016	2509769	0.98	142	117	209	4058
1145	28	5619	184544	0.94	152	125	209	3802
1007.2	0	2399	51460	0.95	262	179	115	3299
1145	-28	5619	184544	0.94	328	123	31	3772
1250	-36	32016	2509769	0.98	318	116	31	4045

На рис.3 представлены проекции решений из табл.4 на картинную плоскость. Наблюдённая дуга настолько мала, что для данного периода наблюдений (1970–2006гг.) орбиты не различимы даже с учетом наблюдений

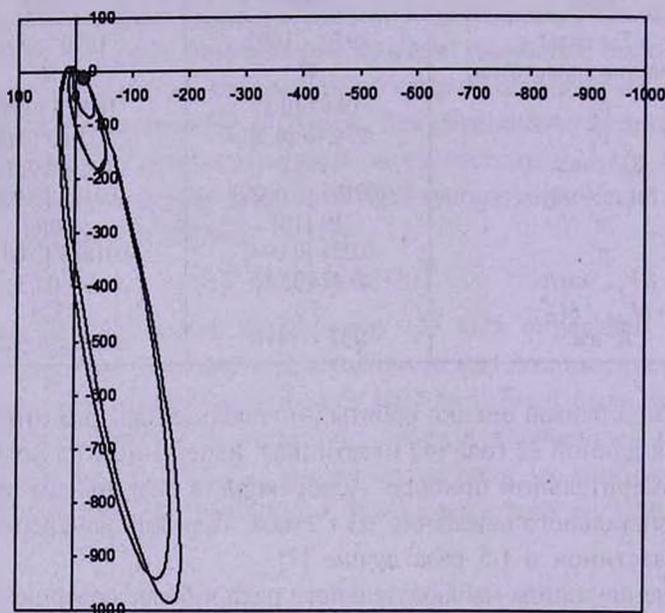


Рис.3. Проекция орбит на картинную плоскость.

В.Я.Струве (1832, 1851гг.). На рис.4 показаны участки орбит, соответствующие периоду наблюдений. Предварительный анализ показал, что для того чтобы различить данные орбиты, наблюдения системы должны продолжаться с той же точностью еще около трехсот лет.

В табл.5 для сравнения приведены варианты орбит, определенных в 1996г. Истинное расстояние между компонентами R было ограничено сверху значением 1476 а.е. по неравенству (5), при котором эллиптическое движение уже невозможно [4]. Новые данные и более точные измерения позволили оценить истинное расстояние между компонентами более узким интервалом (табл.4).

Таблица 5

СЕМЕЙСТВО ОРБИТ ШИРОКОЙ ПАРЫ, ОПРЕДЕЛЕННОЕ В 1996г.

β	R , а.е.	a , а.е.	P , годы	e	ω°	i°	Ω°	T ,
-52	1476	∞	∞	1.0	321	115	16	4647
-38	1155	2658	61000	0.84	347	130	12	4036
0	907	1178	18000	0.84	138	162	233	3381
38	1155	2658	61000	0.72	128	120	206	4154
52	1476	∞	∞	1.0	102	111	204	3929

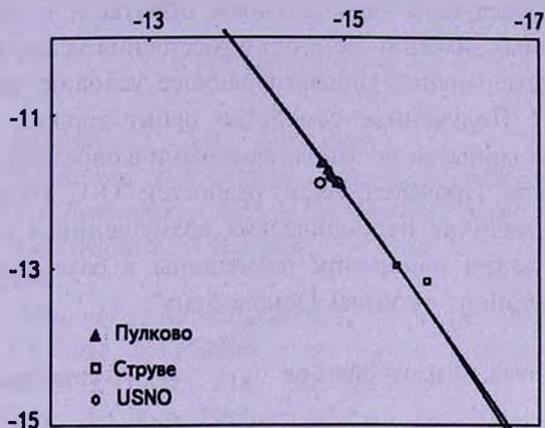


Рис.4. Дуга орбиты, соответствующая периоду наблюдений 1831-2006гг.

6. *Возможный невидимый спутник.* Токовинин в своей работе по изучению спектрально-двойных компонент ADS 11061 [5] указал на возможность существования пятой неустойчивой компоненты D, которая обращается вокруг компоненты В (40 Dra) с периодом приблизительно 8 лет. Также, по данным рентгеновских наблюдений, вблизи 40 Dra на расстоянии менее 2 arcsec находится источник рентгеновского излучения. Возможно, он гравитационно связан с системой. Поэтому ряды относительных координат исследовались на периодичность, с целью обнаружить возмущения от возможного невидимого компонента.

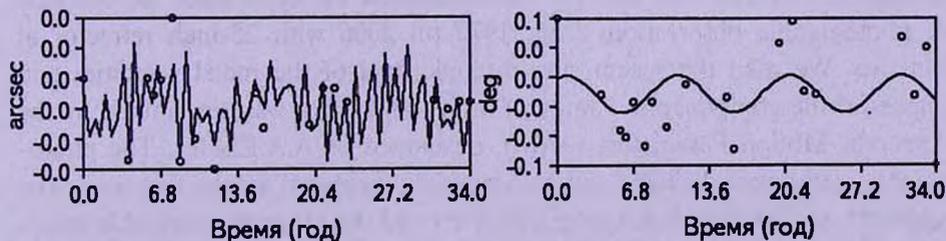


Рис.5. Периодические возмущения в относительных положениях.

Применение алгоритма спектрального анализа CLEAN [13] к ряду относительных положений широкой пары выявило периодические возмущения для угловых расстояний (период 10.7 лет и амплитуда 0.008 arcsec) с вероятностью 95% (рис.5). Для ряда позиционных углов с вероятностью 80% выявлена гармоника с периодом 10 лет. Такие периодические возмущения можно объяснить наличием невидимого спутника у компоненты В.

7. *Выводы.* Оцифрован и измерен весь фотографический ряд 40/41 Dra, полученный в Пулково. Уточнены параметры видимого движения по сравнению с предыдущим определением орбиты и в два раза сужен интервал допустимых значений истинного расстояния между компонентами. Получено семейство орбит, удовлетворяющее условию минимальности разностей "О-С". Полученное семейство орбит хорошо согласуется с наблюдательными данными, не использованными в определении параметров видимого движения. Проведен анализ разностей "О-С" на периодичность и подтверждено наличие периодических возмущений в относительном движении. Результаты измерений размещены в базе данных "Pulkovo Database of Observations of Visual Double Stars".

ГАО РАН, e-mail: shapan@inbox.ru

star-fox@yandex.ru

THE IMPROVEMENT OF ORBIT OF THE VISUAL DOUBLE STAR 40/41 Dra

A.A.AFANASYEVA, E.A.GROSHEVA

It is presented the results of determination of family orbits for visual binary 40/41 Dra (ADS 11061). ADS 11061 - visual double star ($\alpha_{J2000} = 18^h00^m$; $\delta_{J2000} = +80^{\circ}00'$) of north polar area, a wide pair of solar neighborhood ($\pi_r = 19 \text{ mas}$). Both components are spectroscopic binaries and belong to the late spectral classes K2V and F7. Determination has been made on the base of photographic observations from 1970 till 2006 with 26-inch refractor at Pulkovo. We used the recent spectroscopic data of the radial velocities and masses of the components. Family of orbits 40/41 Dra was determined by the Apparent Motion Parameters (AMP), developed by A.A.Kiselev. The photographic plates were digitized and automatically measured for the first time. The apparent motion parameters were improved and the range of acceptable values of the true distance between components was narrowed. The family of orbits was obtained with taking into account the condition of the minimum of "O-

C" differences. The comparison with the previously calculated family of orbits was carried out. Results of this measurement were added to the "Pulkovo Database of Observations of Visual Double Stars".

Key words: double star:radial velocities:stellar orbit - individual:
ADS 11061, 40/41 Dra

ЛИТЕРАТУРА

1. *R.H.Miller*, *Astrophys. J.*, **148**, 865, 1967.
2. *L.M.Close*, *H.B.Richer*, *D.R.Crabtree*, *Astron. J.*, **100**, №6, 1968, 1990.
3. *A.A.Kiselev*, *L.G.Romanenko*, *Astronomy Reports*, v.40, №6, 795.
4. *D.Pourbaix*, *A.A.Tokovinin*, *A.H.Batten*, *F.C.Fekel et al.*, *Astron. Astrophys.* **424**, 727, 2004.
5. *A.Tokovinin*, *Письма в Астрон. ж.*, **21**, №2, 286, 1995.
6. *A.Tokovinin*, *Y.Y.Balega*, *E.A.Pluzhnik et al.*, *Astron. Astrophys.*, **409**, 245, 2003.
7. *И.С.Измайлов*, *Изв. ГАО.*, **214**, 533, 2000.
8. *P. Van de Kamp*, the book "Stellar paths" in *Astrophys. Space SciLibrary*, **85**, 155, 1981.
9. *A.A.Киселев*, *О.В.Кияева*, *Астрон. ж.*, **57**, 1227, 1980.
10. *E.A.Grosheva*, *Astrophysics*, **49**, №3, 397, 2006.
11. *A.A.Киселев*, *М.*, Наука, 1989.
12. *M.A.C.Perryman*, *L.Lindgren*, *J.Kovalevsky et al.*, *Astron. Astrophys.*, **323**, L49-L52, 1997.
13. *В.В.Витязев*, *Анализ неравномерных временных рядов*, 2001.