

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ ЗАГЛАВНЫМИ БУКВАМИ

И. О. Автор^{1,*} И. О. Автор²

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, 196140 Россия

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия

По данным каталога Gaia DR2 о точных положениях и собственных движениях трех компонентов звезды ADS 48, их параллаксах и лучевых скоростях на эпоху 2015.5 определены мгновенные относительные положения и движения компонентов. Только по наблюдениям Gaia DR2 методом параметров видимого движения вычислено семейство орбит пары АВ, из которого выбраны те, что лучше всего согласуются с пулковскими данными. Сравнение с первыми наблюдениями XIX века позволило независимо оценить сумму масс компонентов в диапазоне $1.15 < M_{A+B} < 1.4 M_{\odot}$.

Ключевые слова: звезды: двойные и кратные—звезды: индивидуальные: ADS 48

1. ВВЕДЕНИЕ

Кратная звездная система ADS 48, открытая Отто Струве в 1876 году, неоднократно исследовалась разными авторами (см., например, Güntzel-Lingner 1955, Normann 1964), но их внимание привлекала в основном внутренняя пара АВ.

Физически связаны (общим параллаксом и собственными движениями) три звезды: А, В и F, согласно идентификации в каталоге Mason et al. (2016).

2. ГЛАВА 1

Верстка математических формул:

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \theta = \arctan \frac{x}{y}$$
$$\mu = \sqrt{\mu'_x{}^2 + \mu'_y{}^2}, \quad \psi = \arctan \frac{\mu'_x}{\mu'_y}.$$

Здесь

$$x = (\alpha_B - \alpha_A) \cos \delta \times 3600,$$
$$y = (\delta_B - \delta_A) \times 3600,$$
$$\delta = (\delta_A + \delta_B)/2,$$
$$\mu'_x = \mu_{xB} - \mu_{xA}, \quad \mu'_y = \mu_{yB} - \mu_{yA}.$$

В таблице 1 представлены ПВД, вычисленные по наблюдениям Gaia DR2 и многолетним рядам наблюдений пулковского 26-дюймового рефрактора. Для пары АВ мы проводим сравнение только с ПЗС-наблюдениями

2003–2012 гг. Для этой пары обнаружено систематическое расхождение по ρ , которое хорошо заметно на рис. 1.

3. ВТОРАЯ ГЛАВА

Текст второй главы.

4. ТРЕТЬЯ ГЛАВА

Движение внешней пары происходит по направлению ρ , и мы можем определенно утверждать, что для всех орбит семейства наклон орбиты $i \approx 90^\circ$, а долгота восходящего узла $\Omega \approx \theta - 180^\circ$. Поэтому можно вычислить угол между плоскостями внешней и внутренней орбит. В результате получаем, что плоскости орбит некомпланарны. Для всех внутренних орбит, представленных в таблице ??, угол между плоскостями превышает 67° .

Выключенная математика:

$$v_1 = \sqrt{\frac{4\pi^2 m_2^2}{r(m_1 + m_2)}}.$$

Полагая $m_2 \ll m_1$, получим

$$m_2 = v_1 \times \sqrt{\frac{m_1}{4\pi^2}} r,$$

$$\vec{v}_1 = f \times (\vec{\mu}_G - \vec{\mu}_{ph})/pt,$$

где $\vec{\mu}_{ph} = (\mu_{ph} \sin \psi_{ph}, \mu_{ph} \cos \psi_{ph})$ — среднее орбитальное движение, полученное по

* example@list.ru

Таблица 1. Таблица в две колонки

Пара	AB	AB	AB-F	AB-F	AB-F
Инструмент	26'', ПЗС индивидуальные	GAIA	26'', фото индивидуальные	26'', фото сглаженные	GAIA
Параметры					
$T_1 - T_2$	2003–2012	—	1968–1995	1971–1992	—
T_0	2008.6	2015.5	1981.5	1981.5	2015.5
n	48	—	115	30	—
ρ , угл. сек.	6.0534 ± 0.0012	6.00768* ± 0.00008	327.3322 ± 0.0023	327.3339 ± 0.0010	327.1754 ± 0.0002
θ_{2000} , град.	185.3604 ± 0.0059	188.2084 ± 0.0010	254.2942 ± 0.0017	254.2943 ± 0.0005	254.25739 ± 0.00001
μ , мсд/год	43.1 ± 0.3	44.94 ± 0.18	4.3 ± 0.5	3.9 ± 0.2	5.4 ± 0.1
ψ_{2000} , град.	283.09 ± 0.7	288.06 ± 0.16	86.4 ± 19.6	73.2 ± 7.4	37.8 ± 1.1
$\dot{\rho}$, мсд/год	−6.4 ± 0.5	−7.7 ± 0.1	−4.2 ± 0.4	−3.9 ± 0.2	−4.4 ± 0.1
$\dot{\theta}$, град./год	0.4034 ± 0.0024	0.4202 ± 0.0017	−0.0002 ± 0.0003	−0.0000 ± 0.0001	−0.00056 ± 0.00001

Здесь n — число индивидуальных или сглаженных наблюдений,

* — приводится значение ρ с учетом поправки Gaia-ПЗС = +0''03.

длинному ряду фотографических наблюдений; $\vec{\mu}_G$ — мгновенное орбитальное движение, определенное по наблюдению Gaia; $p_t = 87$ мсд — параллакс; f — коэффициент перехода от относительной скорости орбитального движения к скорости относительно центра масс иерархической тройной системы, который можно считать неподвижным. Если имеется спутник у компонента F, то

$$f_F = M_{A+B}/M_{A+B+F}.$$

Если колеблется центр масс системы AB, то

гда

$$\begin{aligned} f_C &= M_F/M_{A+B+F}, \\ f_A &= f_C (M_{A+B}/M_A), \\ f_B &= f_C (M_{A+B}/M_B). \end{aligned}$$

Если использовать значения μ_{ph} согласно сглаженному ряду, то

$$\begin{aligned} m_{2,F}/\sqrt{r} &= 0.0030 \pm 0.0006 M_\odot, \\ m_{2,A}/\sqrt{r} &= m_{2,B}/\sqrt{r} = 0.0027 \pm 0.0006 M_\odot; \end{aligned}$$

если использовать значения μ_{ph} согласно ин-

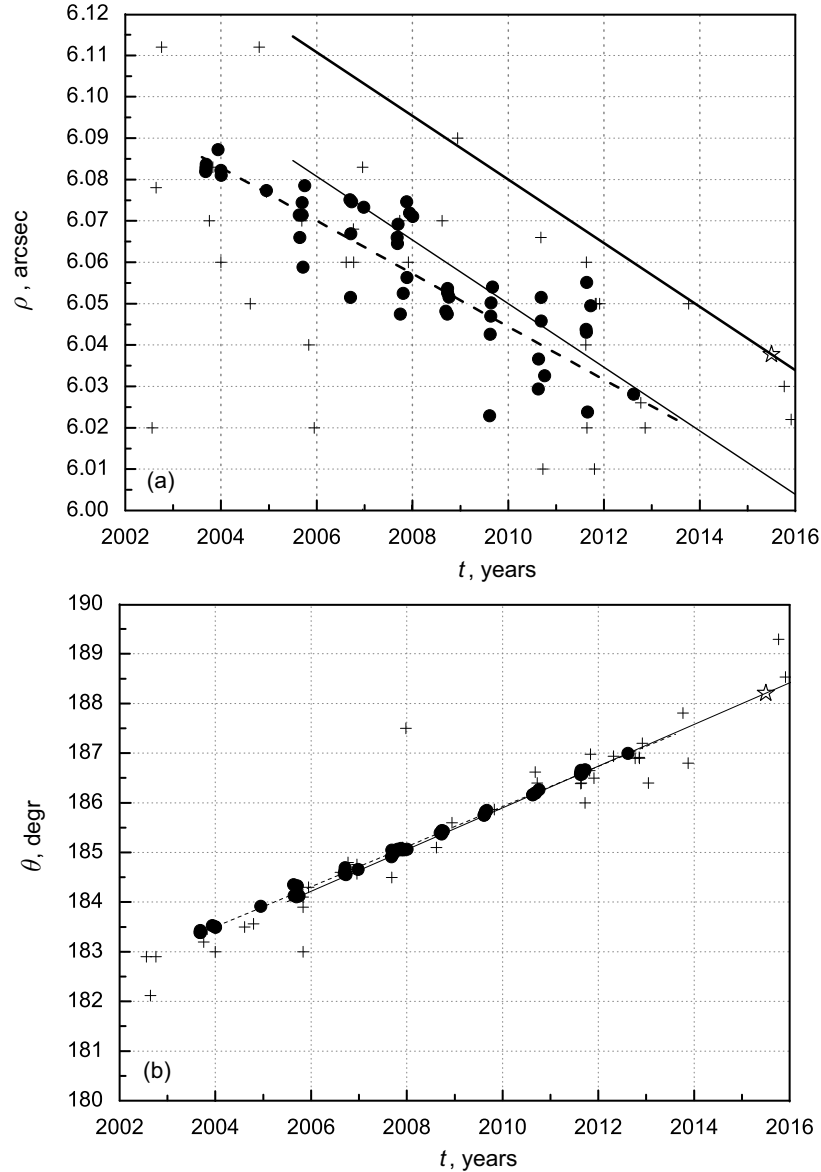


Рис. 1. Рисунок в две колонки.

дивикулярным наблюдениям, то

$$m_{2,F}/\sqrt{r} = 0.0039 \pm 0.0017 M_{\odot},$$

$$m_{2,A}/\sqrt{r} = m_{2,B}/\sqrt{r} = 0.0035 \pm 0.0015 M_{\odot}.$$

Решается система уравнений:

$$x(t) = x_0 + \dot{x}(t - t_0) + BX_{\varphi} + GY_{\varphi}, \quad (1)$$

$$y(t) = y_0 + \dot{y}(t - t_0) + AX_{\varphi} + FY_{\varphi}, \quad (2)$$

где $x = \rho \sin \theta$, $y = \rho \cos \theta$; фаза $\varphi = (t - t_0)/P$; $X_{\varphi} = \cos(E_{\varphi}) - e$, $Y_{\varphi} = \sqrt{1 - e^2} \sin(E_{\varphi})$ — орбитальные координаты, соответствующие динамическим элементам орбиты P , T и e ; x_0 и

y_0 — координаты центра масс в момент t_0 ; A , B , F и G — элементы Тиле-Иннеса, по которым получаем геометрические элементы орбиты (a , i , ω , Ω). В таблице 2 эта орбита представлена под номером 2.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе демонстрируется возможность...

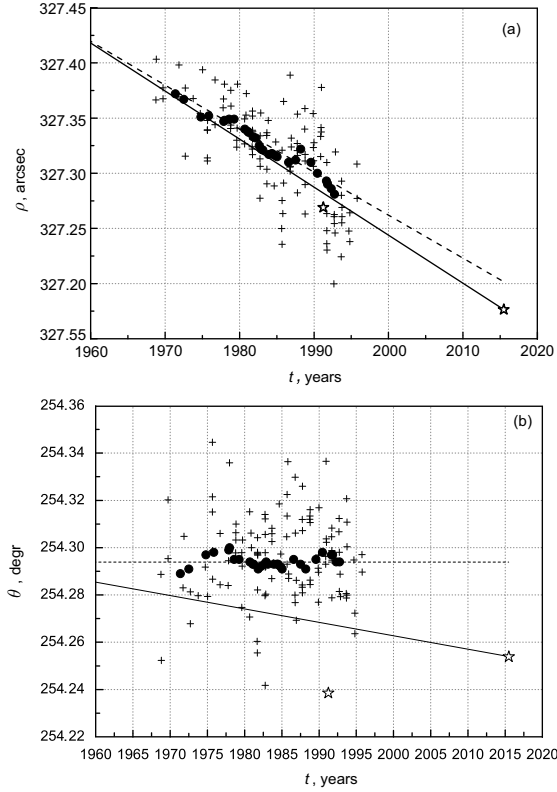


Рис. 2. Рисунок в одну колонку.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны...

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке...

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- R. P. Butler, S. S. Vogt, G. Laughlin, et al., *Astron. J.* **153** (5), 208 (2017).
Gaia Collaboration, A. G. A. Brown, A. Vallenari, et al., *Astron. and Astrophys.* **616**, A1 (2018).
G. A. Gontcharov, A. A. Andronova, and O. A. Titov, *Astron. and Astrophys.* **355**, 1164 (2000).

Таблица 2. Таблица в одну колонку

Параметры	Орбиты			
	1	2	3	4
a_{ph} , мсд	15.0	14.3	8.2	4.0
P , год	11.0	11.04	9.52	10.97
e	0.2	0.24	0.53	0.3
i , град.	97.0	96.3	179.98	44
ω , град.	235.0	258.6	79.8	56.2
Ω , град.	147.2	143.2	12.0	217.1
T , год	1980.0	1980.56	1988.15	1982.8
$V_{r\gamma}$, м с ⁻¹	—	—	−0.7	—
p_t , мсд	87.0	87.0	87.0	86.9
M_1 , M_{\odot}	0.5	0.5	0.5	0.65
a_1 , а.е.	0.17	0.16	0.094	0.046
M_2 , M_{\odot}	0.023	0.022	0.013	0.007
a_2 , а.е.	3.82	3.82	3.50	4.28
σ_x , мсд	2.2	2.0	3.6	5.1
σ_y , мсд	12.3	12.0	13.5	5.4
σ_{V_r} , мсд/год	—	—	0.078	—

- G. A. Gontcharov and O. V. Kiyayeva, *Astron. and Astrophys.* **391**, 647 (2002).
G. A. Gontcharov and O. V. Kiyayeva, *New Astronomy* **15** (3), 324 (2010).
U. Güntzel-Lingner, *Astronomische Nachrichten* **282** (4), 183 (1955).
W. I. Hartkopf and B. D. Mason, *Astron. J.* **150** (4), 136 (2015).
W. I. Hartkopf and B. D. Mason, *USNO, Washington*, version 2016 (2016).
J. Hopmann, *Annalen der K.K. Sternwarte Wien* **26**, 1 (1964).
I. S. Izmailov, *Astronomy Letters* **45** (1), 30 (2019).
I. S. Izmailov, M. L. Khovrichева, M. Y. Khovrichев, et al., *Astronomy Letters* **36** (5), 349 (2010).
I. S. Izmailov and E. A. Roshchina, *Astrophysical Bulletin* **71** (2), 225 (2016).
P. Kervella, F. Arenou, F. Mignard, and F. Thévenin, *Astron. and Astrophys.* **623**, A72 (2019).

- M. Y. Khovrichiev, A. M. Kulikova, E. N. Sokov, et al., *Astronomy Letters* **42** (10), 686 (2016).
- A. A. Kiselev and O. V. Kiyaeva, *Astron. Zh.* **57**, 1227 (1980).
- A. A. Kiselev, O. V. Kiyaeva, I. S. Izmailov, et al., *Astronomy Reports* **58** (2), 78 (2014).
- O. V. Kiyaeva, A. A. Kiselev, E. V. Polyakov, and V. B. Rafal'Skii, *Astronomy Letters* **27**, 391 (2001).
- B. D. Mason, W. I. Hartkopf, and H. M. Hurowitz, *Astron. J.* **146** (3), 56 (2013).
- B. D. Mason, G. L. Wycoff, W. I. Hartkopf, et al., *VizieR Online Data Catalog B/wds* (2016).
- V. Neves, X. Bonfils, N. C. Santos, et al., *Astron. and Astrophys.* **551**, A36 (2013).
- V. V. Orlov and R. Y. Zhuchkov, *Astronomy Reports* **49** (3), 201 (2005).
- G. M. Popović and R. Pavlović, *Bulletin Astronomique de Belgrade* **153**, 57 (1996).
- L. Tal-Or, T. Trifonov, S. Zucker, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **484** (1), L8 (2019).
- A. A. Tokovinin, *Catalogue of stellar radial velocities. Catalogue of proper motions.* (1990).
- R. Y. Zhuchkov and V. V. Orlov, *Astronomy Reports* **49** (4), 274 (2005).

Relative Motion in the Hierarchical Triple System ADS 48 on the Basis of Gaia DR2 and 26-Inch Refractor of Pulkovo Observatory Data

O. V. Kiyeva¹, R. Ya. Zhuchkov², and I. S. Izmailov¹

¹Central (Pulkovo) Astronomical Observatory RAS, St. Petersburg, 196140 Russia

²Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, 420008 Russia

According to the exact positions and proper motions of the three components of the star ADS 48 from Gaia DR2, their parallax and radial velocities for the epoch 2015.5 the instantaneous relative positions and motions of the components were determined. Only from the Gaia DR2 observations, the family of orbits of the AB pair was calculated by the method of apparent motion parameters, from which those that best agree with the Pulkovo data were selected. Comparison with the first observations of the 19th century made it possible to independently estimate the sum of the masses of the components in the range $1.15 < M_{A+B} < 1.4 M_{\odot}$. The orbits of the outer pair were calculated: with a minimum period of 79×10^3 years and the most probable one—about 3×10^5 years. It is concluded that the system is stable for the most probable value of the relative radial velocity $\Delta V_r = 0.7 \text{ km s}^{-1}$ and may be unstable near the boundaries of the possible velocity difference. A detailed analysis of homogeneous Pulkovo observations revealed a disturbance with a period of 11 years. It is shown that this disturbance is associated not with a star, but with a periodic climatic process that changes the observation conditions. Comparison of instantaneous and average relative motion does not exclude the presence of a planetary mass satellite in one of the components.

Keywords: *binaries: general—stars: individual: ADS 48*