



Динамическое исследование системы STEIN 2051

Н.А. Шахт, И.С. Измайлов, Е.А. Рощина

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

Abstract. В данной работе приводятся результаты динамического исследования звездной системы STAIN 2051. Элементы орбиты определены методом Параметров Видимого Движения на основе пулковских наблюдений на 26-дюймовом рефракторе и наблюдений обсерватории Ватикана начала XX в., дополненных параллаксом и новейшими определениями лучевой скорости. Фотографические наблюдения 1966-2005 гг. были оцифрованы и измерены с точностью около 1 мкм при помощи новой методики, разработанной в Пулковской обсерватории. Фотографические наблюдения были дополнены новыми ПЗС-наблюдениями 2004-2014 гг., Для уточнения орбиты был применен дифференциальный метод ПВД, в котором первоначальные значения ПВД согласуются с наблюдениями путем определения поправок параметров на основе дифференциальных формул, образующих систему условных уравнений по числу наблюдений для решения по способу наименьших квадратов. Получены орбитальные параметры для четырех вариантов орбит.

Визуально-двойная звезда Stein 2051 является одной из наиболее близких к Солнцу (5.6 пк). Система представляет собой пару карликов - красного **MIV** (компонент A) и более слабого белого **DC5 VII**.

Звезда наблюдалась как двойная в 1908 и 1911 гг. в Ватикане, а в 1965- 1976 гг. - на 155 см астрометрическом рефлекторе Морской обсерватории США и на 61 см рефракторе обсерватории Спрул, см. работу (*Strand 1977*).

Компонент B, как наиболее близкий белый карлик, был признан наилучшим кандидатом из близких звезд для наблюдений эффекта микролинзирования LSPM J0431+5858E (*Proft et al., 2011*) и наблюдался с помощью космического телескопа GAIA в январе 2014 г. (*Sahu, 2015*), однако конкретных данных о массе пока нет.

В настоящей работе приводятся результаты уточнения орбиты двойной звезды на основе 48-ми летнего пулковского ряда наблюдений для разных вариантов предполагаемой массы.

ОЦЕНКА МАСС КОМПОНЕНТ

Орбита В относительно А не определялась, очевидно, в связи с коротким периодом наблюдений. Было предположено, что период орбиты превышает 300 лет (предварительную оценку по короткому ряду наблюдений). Однако Стрэндом (Strand, 1977) было исследовано орбитальное движение А и В компонентов на фоне опорных звезд. Это позволило оценить отношение масс компонентов $M_B/(M_B+M_A)$. Фотометрическая масса красного карлика Stein 2051 А была оценена с учетом масс аналогичных красных карликов, близких спектральных классов (Strand, 1977):

- 1) **красный карлик $0.23 M_{\odot}$**
+ невидимый спутник $0.02 M_{\odot}$ (P= 23 года) $\rightarrow M_B = 0.50 \pm 0.05 M_{\odot}$
- 2) тесная двойная $0.19 M_{\odot} + 0.17 M_{\odot}$ $\rightarrow M_B = 0.72 \pm 0.08 M_{\odot}$

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ

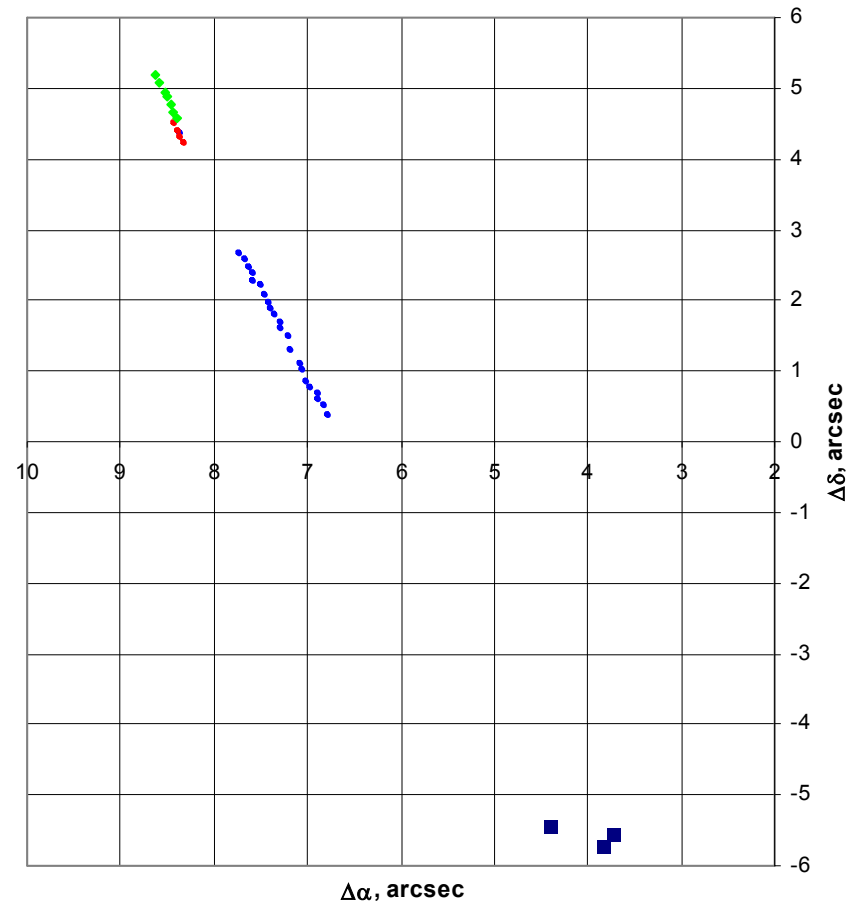
В работе (*Newtone et al., 2014*) приводится новая лучевая скорость **красного карлика А** - **29 ± 4 км/с**.

Белый карлик DC5 VII обладает непрерывным спектром с весьма слабо выраженными линиями поглощения. В связи с особенностями спектра возникают трудности в оценке доплеровского смещения спектральных линий и в определении лучевой скорости компонента В. В работе (*Silvestri et al, 2002*) приводится значение лучевой скорости с огромной ошибкой **2 ± 9 км/с**.

В работе (*Sion et al, 2014*) приводится значение полной пространственной скорости **35.6 км/с**. Относительная средняя тангенциальная скорость μ компонента В уверенно вычисляется по ряду позиционных наблюдений и составляет **2.8 ± 0.1 км/с**. В таком случае $V_r(B) = 36.5$ км/с, что дает относительную лучевую скорость $V_r(B) - V_r(A)$ от **3.5 до 11.5 км/с** с учетом ошибок $V_r(A)$. Относительная лучевая скорость выше **2.5 км/с** не удовлетворяет эллиптическому движению в данной системе. Поэтому для определения предварительной орбиты была взята оценка наиболее вероятной относительной скорости по теореме Клейбера

$$\Delta V_r = \mu \sin 38^\circ = 1.7 \text{ км/с}$$

Относительное движение в системе Stein 2051



- Ватикан 1908-1911
- Пулковое, фото+MDD 1966-2005
- Пулковое, CCD ST6, 2004-2007
- ◆ Пулковое CCD FliProline 9000, 2008-2014

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Система Stein 2051 наблюдается на 26-дюймовом пулковском рефракторе ($D=650$ мм, $F=10413$ мм, $M=19.8''/\text{мм}$) с 1966 г. Фотографический ряд был получен в 1966-1989 гг. и 2005 г.

В 2012 г. фотографические наблюдения были оцифрованы и измерены с точностью около 1 мкм при помощи новой методики, разработанной в Пулковской обсерватории (Измайлов, Рощина и др., 2015), что дало некоторое увеличение точности - средние погрешности относительных координат

$$\varepsilon_{\rho}=\mathbf{0.022''}, \varepsilon_{\theta}=\mathbf{0^{\circ}.21}.$$

Результаты новых определений относительных расстояний были дополнены ПЗС-наблюдениями: 2004-2007 гг. с камерой ST6 (1046x1046 px, FOV 3'x2') и 2008 г. по 2014 г. – с камерой FliProline (3056x3056, FOV 12'x12', 0.238''/px). Точность ПЗС-наблюдений составила, в среднем $\varepsilon_{\rho}=\mathbf{0.008''}, \varepsilon_{\theta}=\mathbf{0^{\circ}.03}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРБИТЫ МЕТОДОМ ПВД

Весь ряд состоит из 36-ти среднегодовых положений. Сравнение фотографических и ПЗС-наблюдений 2005 г. показало отсутствие систематической разности между разными методиками наблюдений в пределах случайных ошибок. За 48 лет наблюдений изменение позиционного угла составило 28° .

Для определения орбиты был применен дифференциальный метод ПВД, в котором первоначальные значения ПВД согласуются с наблюдениями путем определения поправок параметров Δp_i на основе дифференциальных формул

типа: $\sum_{i=1}^{i=m} \frac{\partial \rho}{\partial p_i} \Delta p_i = (O - C)_\rho$ $\rho \sum_{i=1}^{i=m} \frac{\partial \theta}{\partial p_i} \Delta p_i = \rho(O - C)_\theta$ образующих систему условных уравнений по числу наблюдений для решения по способу наименьших квадратов.

Здесь m – число изменяемых параметров p_i , $\partial \rho / \partial p_i$ и $\partial \theta / \partial p_i$ – частные производные ρ и θ по p_i , определяемые численными методами.

Определены следующие орбитальные параметры: ___

	M=0.73		M=1.08	
пвд	$\beta < 0$	$\beta > 0$	$\beta < 0$	$\beta > 0$
средний момент наблюдений T0	1991.250000	1991.250000	1991.250000	1991.250000
ρ_0 [arcsec]	8.345	8.324	8.345	8.326
θ_0 [deg]	69.50	69.50	69.50	69.50
$d\rho/dt$ [arcsec/yr]	0.072476	0.072890	0.072502	0.072847
$d\theta/dt$ [deg/yr]	-0.569018	-0.574179	-0.569102	-0.573842
ρ_s , arcsec	45.84	84.44	45.98	79.68
ΔV_r	1.7	1.7	1.7	1.7
MAB	0.73	0.73	1.08	1.08
π , arcsec	0.18	0.18	0.18	0.18
орбитальные параметры				
a [a.e.]	190.492420	1003.385865	123.395430	210.726458
e	0.55	0.95	0.26	0.75
Момент прохождения периастра	2036.5950	1848.1333	797.4948	1829.3361
период P [год]	3077.1957	37199.7943	1318.9755	2943.5182
ω [deg]	316.46	9.24	347.77	352.22
Ω [$\delta\epsilon\gamma$]	33.10	186.30	31.49	188.36
ι [$\delta\epsilon\gamma$]	69.84	66.96	72.25	69.94

Значение радиуса кривизны 45.84 и 45.98 для вариантов с отрицательным углом между картинной плоскостью и радиус-вектором положения звезды В $\beta < 0$ согласуются со значением 42 arcsec, определенным из наблюдений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

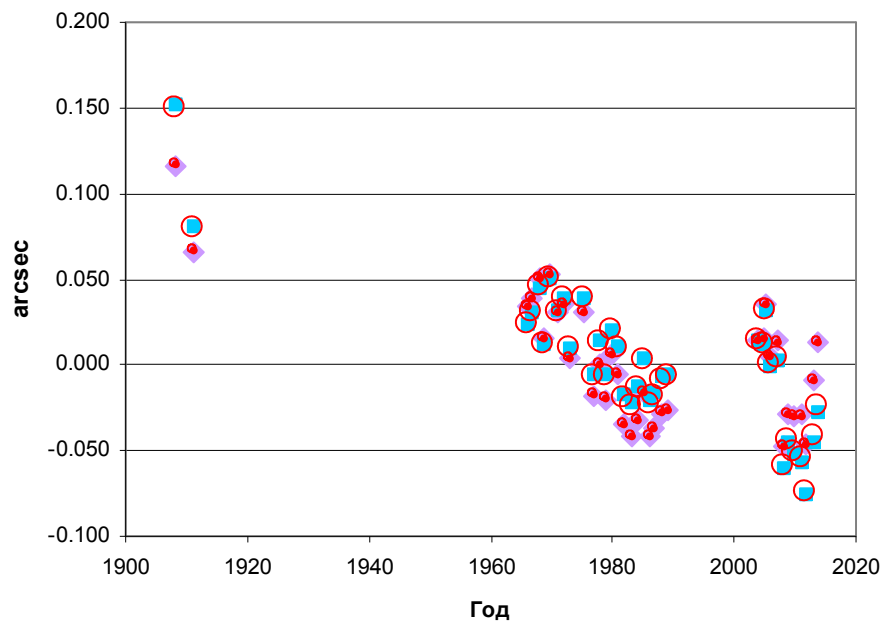
Вычислены орбитальные параметры для 4-х вариантов орбит, соответствующий двум оценкам масс компонент и разным геометрическим положениям орбиты. Варианты для $\beta < 0$ лучше согласуются с наблюдениями, но на данном этапе невозможно выбрать вариант орбитального решения из двух для разных оценок масс компонент. Для дальнейших исследований необходимы новые, более точные определения лучевых скоростей компонент, а также представляет интерес оценка массы белого карлика из наблюдений микролинзирования. Наблюдения этой двойной звезды весьма актуальны, так как они могут уточнить физическую природу компонент, а также динамику этой сложной системы. Большой интерес вызывают оценки масс компонент, проведенные в свое время разными способами, и дискуссии по этому поводу. Не исключено, что компонент A имеет маломассивный невидимый спутник.

ЛИТЕРАТУРА

- Киселев А.А., Гнедин Ю.Н., Грошева Е.А., и др. Астрон.Ж., т. 84, 2, .118, 2007.
- Shakht N.A., Kisselev A.A., Planetary Sp Sci, 2478, v.56, issue 14, p. 1903, 2008.
- Киселев А.А., Гнедин Ю.Н. Шахт Н.А. и др. ПАЖ, т.34, вып. 8, 585, 2008.
- Киселев А.А., Романенко Л.Г., Шахт Н.А., и др., Изв.ГАО, 219, вып.4, 135, 2010.
- Киселев А.А., Романенко Л.Г., Астрон. Ж. т. 32, 6, с. 875, 1996.
- Kiselev A.A., Kiyayeva O.V., Romanenko L.G., in:
Workshop "Visual Double Stars", Santiago de Compostela (Spain), ASSL 223, 377,1997.
- Gorshanov D.L., Shakht N.A., Kiselev A.A., Astrophysics, 49, 3, 386 , 2006.
- Josties F.J., IAU Coll. 62, Lowell obs. Bull., 167, 16, 1983.
- Vollmann, W., Univ. of South Alabama, Journ. of Double Stars Obs. v. 4, 2, 74, 2008.
- Strand K.Aa. Astron.J. 82, 9, 745, 1977.
- Proft S., Demleitner M., Wambsganss J., Astron.Astrophys., 536, A50,2011.
- Измайлов И.С., Ховричев М.Ю., Ховричева М.Л. и др. ПАЖ, 36,5, 2010.
- Плюгин Г.А., Известия ГАО , 193, 92, 1975.
- Selsis F., Kasting J.F., Levrard B., et al., Astron.Astrophys, 476,1373, 2007
- SILVESTRI N.M.; OSWALT T.D.; HAWLEY S.L. Wide binary systems and the nature of high-velocity white dwarfs // Astron. J., 124, 1118-1126 (2002)
- SION E.M.; HOLBERG J.B.; OSWALT T.D.; McCOOK G.P.; WASATONIC R.; MYSZKA J. The white dwarfs within 25 pc of the Sun: kinematics and spectroscopic subtypes. // Astron. J., 147, 129 (2014)
- Измайлов И.С., Рощина Е.А. и др. // ПИСЬМА В АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2015, том 41,№12, с. 1–14

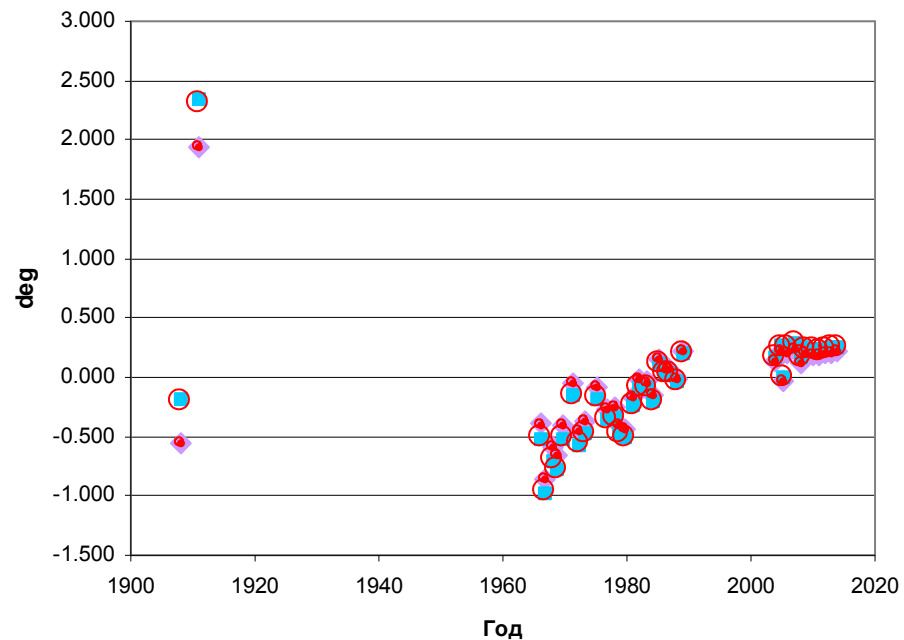
СРАВНЕНИЕ С НАБЛЮДЕНИЯМИ

(O-C) в угл. расстоянии ρ , arcsec



- ◆ $M_{ab}=0.73, b<0$ ■ $M_{ab}=0.73, b>0$
- $M_{ab}=1.08, b<0$ ○ $M_{ab}=1.08, b>0$

(O-C) в позиционном угле θ , deg



- ◆ $M_{ab}=0.73, b<0$ ■ $M_{ab}=0.73, b>0$
- $M_{ab}=1.08, b<0$ ○ $M_{ab}=1.08, b>0$