

Исследование ориентации орбит визуально-двойных звезд по наблюдениям в Пулково

О.В.Кпяева, Л.Г.Романенко, О.А.Калиниченко



Посвящен памяти А.А.Киселева

Пулково 2018

Историческая справка.

- 1957 – начало фотографических наблюдений визуально-двойных звезд (ВДЗ) на 26-дюймовом рефракторе. Дисперсия наблюдений – **20-25мсд.**
- 1980 – предложен метод ПВД для определения орбит ВДЗ по коротким дугам Киселев А.А., Кияева О.В.//Астрон.ж.,т.57,1227(1980).
- 2004 – по выборке из 30 пар А.А.Киселев и Л.Г.Романенко сделали предположение, что большинство орбит широких пар (**67%**) круто наклонены к плоскости Галактики.
- 2010 – проверка данного предположения на материале ORB6 (из **134** орбит с периодом $P > 1000$ лет **56%** круто наклонены к плоскости Галактики.)
- с 2003 –регулярные ПЗС наблюдений, с 2011 года телескоп автоматизирован. Внешняя точность наблюдений – **7-10мсд.**

Возникла необходимость пересмотра полученных ранее орбит.

Цель данного исследования – подвести итог многолетней работы.

Метод параметров видимого движения

Параметры видимого движения (ПВД) на момент T_0 :

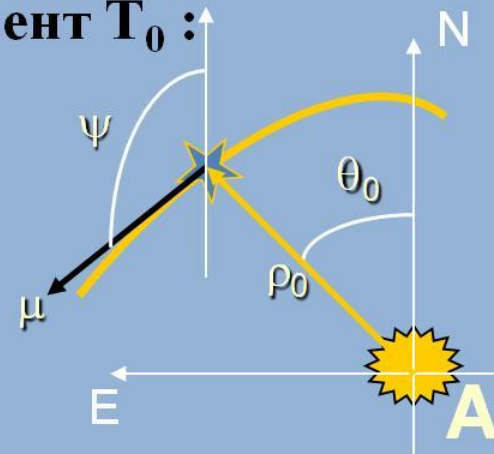
ρ'' – расстояние между компонентами

θ° – позиционный угол спутника относительно
главной звезды A в системе J2000.0

$\mu''/\text{год}$ – скорость видимого относительного
движения

ψ° – позиционный угол направления движения в системе J2000.0

ρ_c - радиус кривизны видимой орбиты вблизи точки (ρ_0, θ_0)



Дополнительно требуются:

$\Delta V_r = V_{rB} - V_{rA}$ – относительная лучевая скорость компонент (км/с),

π_t'' – тригонометрический параллакс,

M_{AB} – масса звездной системы в единицах массы Солнца.

Метод параметров видимого движения

Истинное расстояние
между компонентами

$$r^3 = \left| k^2 \frac{\rho \rho_c}{\mu^2} \sin(\psi - \theta) \right| \quad [\text{a.e.}^3]$$

$$k^2 = 4 \pi^2 (M_A + M_B) [\text{a.e.}^3/\text{год}^2]$$

$$\cos \beta = \frac{\rho}{r \pi_t}$$

Если ρ_c определить
невозможно, то

$$\frac{\rho}{\pi_t} < r < \frac{2k^2}{v^2}$$

Относительная
пространственная
скорость

$$v^2 = \left(\frac{\mu}{\pi_{tr}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta V_r}{4.74} \right)^2$$

$$\text{tg } \gamma = \frac{\Delta V_r}{4.74} \cdot \frac{\pi_t}{\mu}$$

По короткой дуге однозначно
орбиту получить невозможно

Варианты орбитальных решений для каждой пары.

k – число решений

1. Необходимое условие – оценка суммы масс компонентов + знание $\rho, \theta, \mu, \psi, \pi_t$ с максимально высокой точностью. Желательно иметь однородные наблюдения, выполненные на одном телескопе.

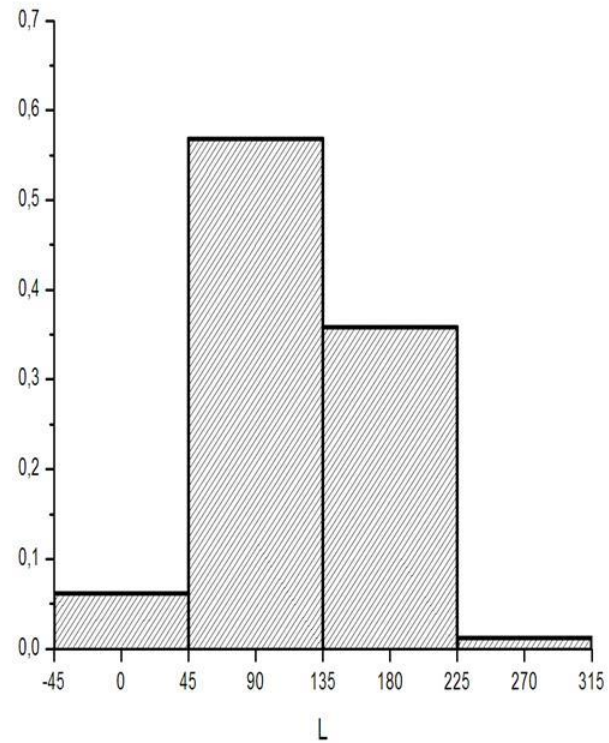
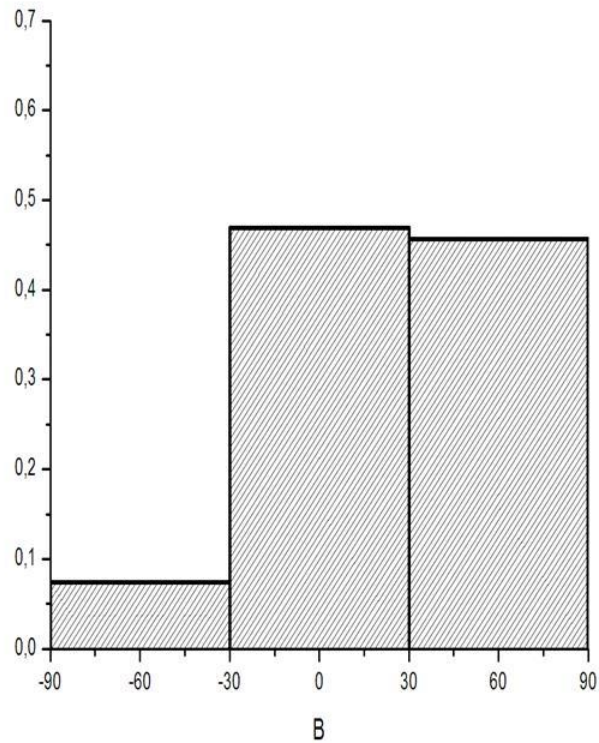
ΔV_r из набл. \implies Семейство орбит, $-\beta_{\max} < \beta < +\beta_{\max}$

2. Наличие удаленных наблюдений XIX века позволяет подобрать недостающие параметры (β или $|\Delta V_r|$, уточнить сумму масс)
+ иногда удается выбрать единственное решение
+ САМОКОНТРОЛЬ

Следовательно

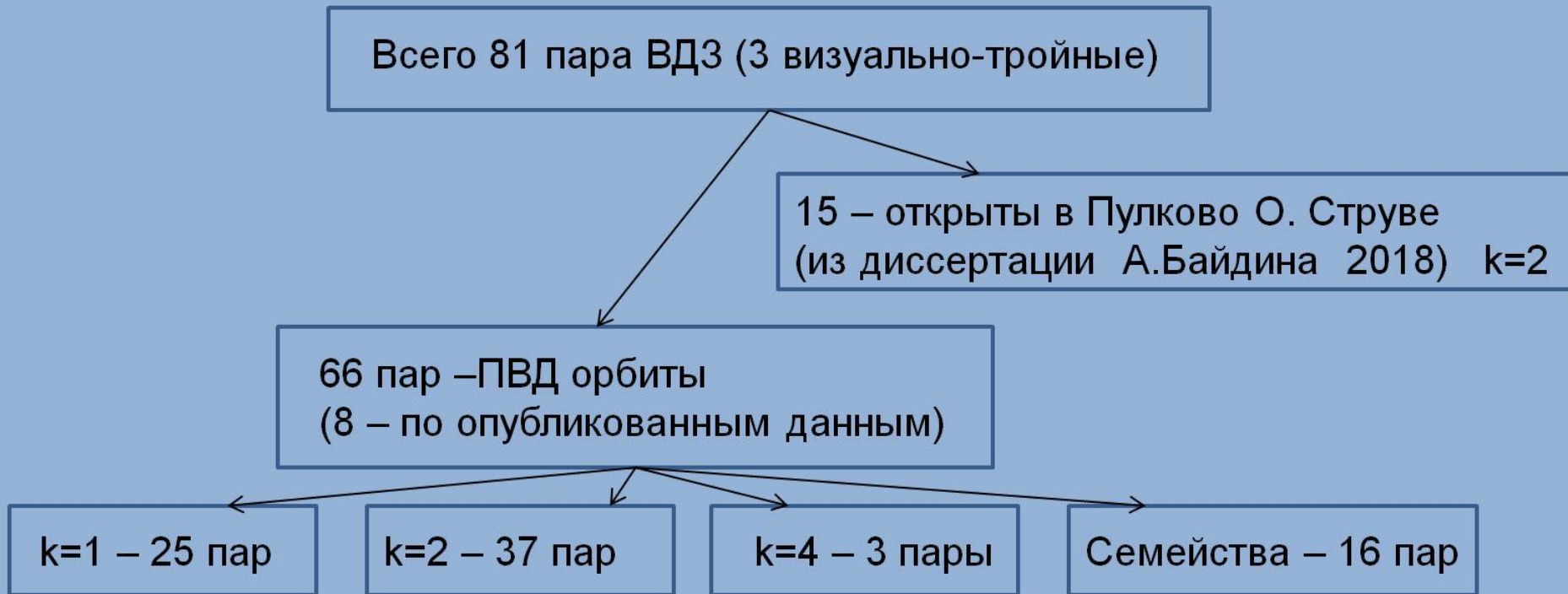
- $k=1$ – лучевая скорость известна из наблюдений, выбор одного решения из 2-х или из семейства по удаленным наблюдениям.
- $k=2$ – $\pm\beta$ или $|\Delta V_r|$ подобран.
- $k=4$ – $\pm\beta$ и $|\Delta V_r|$ подобран.
- Семейство орбит: $\Delta\beta = \beta_{\text{mid}}/2$, где $\beta_{\text{mid}} = \arcsin(0.5 \sin \beta_{\max})$

Положение выборки в Галактике



93% исследуемых нами звезд расположены в области
 $45^{\circ} < L < 225^{\circ}$, $-30^{\circ} < B < 90^{\circ}$

Исследования ориентации орбит.



Суммарный вес пары =1, вес каждого решения =1/ k .

Вычисляем галактические координаты векторов Q и P :

$$L_Q, B_Q, L_P, B_P.$$

Вычисляем, какая часть всех орбит выборки попадает в следующие интервалы:

$$(-45^\circ < L < +45^\circ \text{ или } 135^\circ < L < 225^\circ) \text{ и } (45^\circ < L < 135^\circ \text{ или } 225^\circ < L < 315^\circ)$$

$$|B| < 30^\circ \text{ и } 30^\circ < |B| < 90^\circ$$

→ Распределение координат вектора \vec{Q} ($0 < e < 1$)

а, АЕ	N пар	N орбит	$ \mathbf{B}_Q < 30^\circ / \mathbf{B}_Q > 30^\circ,$ %	$L_{Q_{cp}} = 0^\circ, 180^\circ /$ $L_{Q_{cp}} = 90^\circ, 270^\circ, \%$
Все ($a > 40$)	81	269	50 / 50	56 / 44
< 185	42	72	44 / 56	60 / 40
> 185	41	197	56 / 44	52 / 48
-15 (Байдин)	66	239	49 / 51	53 / 47
< 185	36	60	45 / 55	60 / 40
> 185	32	179	54 / 46	44 / 56
-16 (семейства)	65	111	49 / 51	60 / 40
< 185	40	68	44 / 56	61 / 39
> 185	25	43	56 / 44	58 / 42
-31 пара	50	81	47 / 53	57 / 43
< 185	34	56	44 / 56	61 / 39
> 185	16	25	53 / 47	47 / 53

→ Распределение координат вектора \vec{P} ($0 < e < 1$)

а, АЕ	N пар	N орбит	$ \mathbf{B}_P < 30^\circ / \mathbf{B}_P > 30^\circ,$ %	$L_{P_{cp}} = 0^\circ, 180^\circ /$ $L_{P_{cp}} = 90^\circ, 270^\circ, \%$
Все ($a > 40$)	81	269	49 / 51	53 / 47
< 185	42	72	45 / 55	59 / 41
> 185	41	197	52 / 48	47 / 53
-15 (Байдин)	66	239	47 / 53	55 / 45
< 185	36	60	47 / 53	59 / 41
> 185	32	179	47 / 53	49 / 51
-16 (семейства)	65	111	48 / 52	52 / 48
< 185	40	68	45 / 55	59 / 41
> 185	25	43	54 / 46	40 / 60
-31 пара	50	81	46 / 54	53 / 47
< 185	34	56	47 / 53	59 / 41
> 185	16	25	44 / 56	41 / 59

→ Распределение координат вектора \vec{P} ($e > 0.5$)

a , АЕ	N пар	N орбит	$ \mathbf{V}_P < 30^\circ / \mathbf{V}_P > 30^\circ$, %	$L_{P_{cp}} = 0^\circ, 180^\circ /$ $L_{P_{cp}} = 90^\circ, 270^\circ$, %
Все ($a > 40$)	50	173	42 / 58	55 / 45
< 185	22	38	35 / 65	63 / 37
> 185	30	135	47 / 53	48 / 52
-15 (Байдин)	44	161	40 / 60	57 / 43
< 185	19	32	38 / 62	63 / 37
> 185	27	129	42 / 58	52 / 48
-16 (семейства)	34	57	40 / 60	52 / 48
< 185	20	35	35 / 65	63 / 37
> 185	14	22	48 / 52	36 / 64

Для большинства тесных пар большая ось орбиты направлена в сторону центра-антицентра Галактики и круто наклонена к плоскости Галактики. Следовательно, и плоскости орбит круто наклонены.

Распределение координат вектора \vec{Q} ($e > 0.5$)

а, АЕ	N пар	N орбит	$ B_Q < 30^\circ / B_Q > 30^\circ,$ %	$L_{Q_{cp}} = 0^\circ, 180^\circ /$ $L_{Q_{cp}} = 90^\circ, 270^\circ, \%$
Все ($a > 40$)	50	173	50 / 50	62 / 38
< 185	22	38	46 / 54	72 / 28
> 185	30	135	54 / 46	54 / 46
-15 (Байдин)	44	161	50 / 50	58 / 42
< 185	19	32	45 / 55	70 / 30
> 185	27	129	55 / 45	48 / 52
-16 (семейства)	34	57	46 / 54	70 / 30
< 185	20	35	45 / 55	73 / 27
> 185	14	22	48 / 52	64 / 36

Для большинства тесных пар полюс орбиты направлен в сторону центра-антицентра Галактики, **но плоскости орбит не наклонены к плоскости Галактики.**

Более детально полная выборка.

Распределение по широте векторов \vec{Q} и \vec{P} ($e > 0.5$).

a, АЕ	N пар	N орбит	$ B_Q < 30^\circ / 30^\circ < B_Q < 60^\circ /$ $ B_Q > 60^\circ, \%$	$ B_P < 30^\circ / 30^\circ < B_P < 60^\circ$ $/ B_P > 60^\circ, \%$
>40	50	173	32.5 / 30.4 / 37.2	24.0 / 29.0 / 47.0
< 185	22	38	26.8 / 26.3 / 46.9 (?)	17.4 / 23.3 / 59.3
> 185	30	135	38.2 / 34.4 / 27.5	31.1 / 35.2 / 33.7

Вес орбиты $w_B = 1/k/\alpha$, $\alpha = S_{B_1-B_2}/S = |\sin B_2 - \sin B_1|/2$

Распределение по широте векторов \vec{Q} и \vec{P} ($0 < e < 1$).

a, АЕ	N пар	N орбит	$ B_Q < 30^\circ / 30^\circ < B_Q < 60^\circ /$ $ B_Q > 60^\circ, \%$	$ B_P < 30^\circ / 30^\circ < B_P < 60^\circ$ $/ B_P > 60^\circ, \%$
>40	81	269	31.6 / 28.1 / 40.3	30.7 / 30.0 / 39.3
< 185	42	72	27.2 / 31.7 / 41.1	25.6 / 25.0 / 49.4
> 185	41	197	36.2 / 24.4 / 39.4	36.9 / 36.1 / 27.0

Противоречие не разрешилось.

Более детально полная выборка.

Распределение по долготе векторов \vec{Q} и \vec{P} ($e > 0.5$).

а, АЕ	N пар	N орб.	$L_{Q_{cp}} = -45^\circ / 0^\circ / 45^\circ / 90^\circ$ ($\pm 180^\circ$), %	$L_{P_{cp}} = -45^\circ / 0^\circ / 45^\circ / 90^\circ$ ($\pm 180^\circ$), %
>40	50	173	34.3 / 18.3 / 31.3 / 16.1	23.6 / 37.6 / 19.4 / 19.2
< 185	22	38	26.6 / 18.9 / 33.8 / 10.7	26.2 / 46.0 / 10.1 / 17.7
> 185	30	135	32.3 / 17.8 / 29.2 / 20.5	21.4 / 30.5 / 27.2 / 20.4

Преимущественное направление для долготы полюса орбиты не совпадает с направлением большой полуоси и равно $\pm 45^\circ (\pm 180^\circ)$.

Распределение по долготе векторов \vec{Q} и \vec{P} ($0 < e < 1$).

а, АЕ	N пар	N орб.	$L_{Q_{cp}} = -45^\circ / 0^\circ / 45^\circ / 90^\circ$ ($\pm 180^\circ$), %	$L_{P_{cp}} = -45^\circ / 0^\circ / 45^\circ / 90^\circ$ ($\pm 180^\circ$), %
>40	81	269	30.9 / 21.5 / 29.3 / 18.3	27.4 / 30.8 / 20.9 / 20.7
< 185	42	72	34.1 / 21.7 / 29.8 / 14.5	36.0 / 30.6 / 15.5 / 17.9
> 185	41	197	27.6 / 21.4 / 38.5 / 22.1	18.9 / 30.9 / 26.3 / 23.5

Сравнение с результатами других авторов.

Поиском преимущественного направления для полюса орбиты занимались:

J. Dommagnet, Bull. Astron. Obs. Royal Belgique 6, 246 (1968)

J. Dommagnet, Astrophys. Space Sci. 142, 171 (1988).

R. Glebocki, Acta Astron. 50, 211 (2000).

Полюса орбит 19 систем до 10пк от Солнца сконцентрированы в 2-х точках (L_Q, B_Q): $(-70^\circ, -10^\circ)$ и $(+65^\circ, -5^\circ)$. Распределение по 252 системам – изотропно.

J.-L. Agati, D. Bonneau, A. Jorissen, E. Soulie, S. Udry, P. Verhas, and J. Dommagnet, Astron. Astrophys. 574, A6 (2015).

Анализ 20 систем до 8 пк от Солнца - (L_Q, B_Q): $(+46^\circ, +37^\circ)$.

Анализ 51 системы до 18 пк не показал преимущественного направления.

Средние значения координат векторов \vec{Q} и \vec{P}

a, АЕ	$0 < e < 1$				$e > 0.5$			
	$ L_{Qcp} , ^\circ$	$ B_{Qcp} , ^\circ$	$ L_{Pcp} , ^\circ$	$ B_{Pcp} , ^\circ$	$ L_{Qcp} , ^\circ$	$ B_{Qcp} , ^\circ$	$ L_{Pcp} , ^\circ$	$ B_{Pcp} , ^\circ$
все	41.1	33.2	39.4	34.5	34.5	31.9	36.1	37.6
<185	39.7	35.5	38.4	37.3	33.7	33.3	36.8	42.5
>185	45.3	30.9	42.5	31.8	45.1	30.8	37.0	33.6

Заключение.

- Эффект А.А.Киселева – орбиты широких пар круто наклонены к плоскости Галактики – заметен для орбит с большим эксцентриситетом ($e > 0.5$).
- Неожиданно обнаружены преимущественные направления большой полуоси и вектора полюса орбиты. Вектор полюса орбиты имеет преимущественное направление по долготе, отстоящее на 45° от направления на центр-антицентр Галактики. Для большинства тесных пар большая ось орбиты направлена по долготе в сторону центра-антицентра Галактики.

Требуются дополнительные исследования.

- А.Н.Дейч и А.А.Киселев обратили внимание на широкие двойные звезды, которые менее всего изучены, т.к. невозможно быстро получить орбиту. В результате мы имеем **длинные ряды однородных наблюдений** – уникальный материал для исследования.
- Из 66 орбит, полученных нами методом ПВД, 40 орбит были получены впервые и до сих пор остаются лучшими, а 10 орбит не первые, но лучше, чем орбиты предшественников, удовлетворяют наблюдениям.
- Сочетание длинных однородных рядов с высокоточными наблюдениями GAIA на эпоху 2015.5 открывает новые возможности для изучения двойных и кратных звезд.

Спасибо за внимание