

Пулковские орбиты визуально-двойных звезд: от теста Gaia-DR2 к анализу свойств популяции двойных систем

Ховричев М.Ю., Измайлов И.С., Кияева О.В.,
Романенко Л.Г., Шахт Н.А.

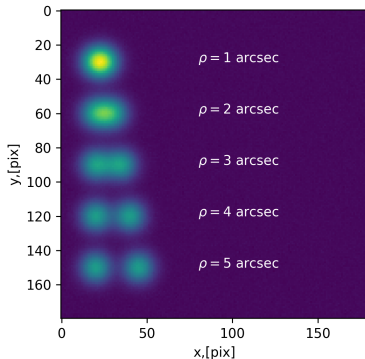
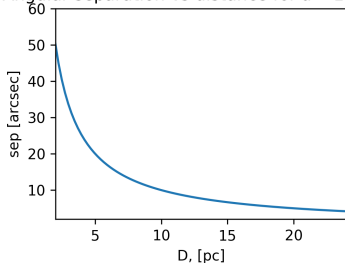
Пулковская обсерватория

4 октября 2018 г.

Визуально-двойные звезды. Что это такое?

Динамически связанная система двух звезд, разрешаемая при оптических наблюдениях.

Angular separation vs distance for $a = 100a.u.$



Зачем наблюдали?

Определение масс звезд и изучение их эволюции
(масса-светимость, масса-радиус)

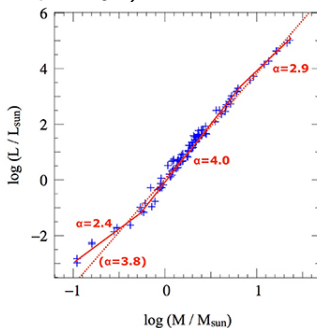
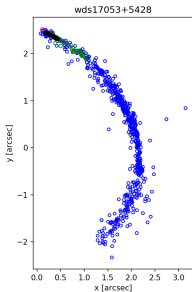
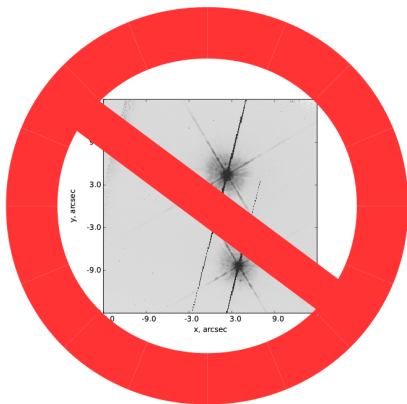


Рисунок на правой панели взят из книги [Henny J.G.L.M. Lamers and Emily M. Levesque](#)
[Understanding Stellar Evolution](#). IOP Publishing (2017)

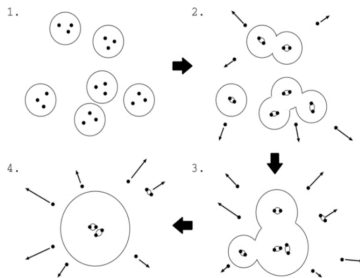
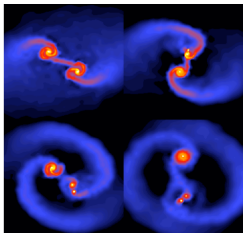
Довольно популярная точка зрения...

Тема изучения ВДЗ себя исчерпала :)



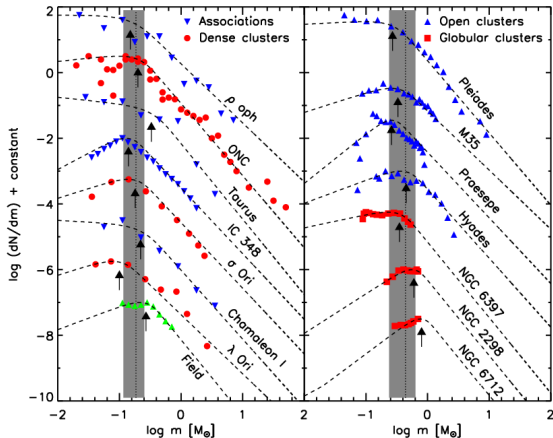
Основной мотив: космогония звездных популяций

Статистические свойства популяции двойных систем для проверки моделей формирования звездных комплексов



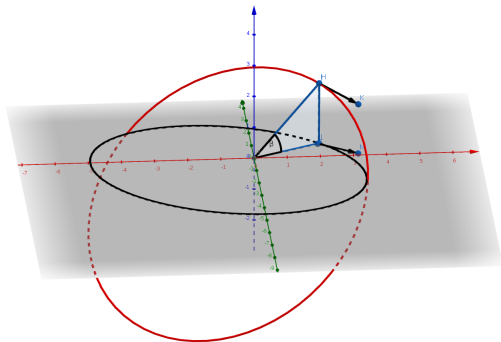
Основной мотив: космогония звездных популяций

Построение PDMF и IMF



Определение орбит

Существует довольно много методов определения $\{\rho, \theta\} \rightarrow a, e, P, i, \omega, \Omega, T_p$.



Например, пулковский метод ПВД (Параметры Видимого Движения)

Определение орбит

Ищем $a, e, P, i, \omega, \Omega, T$, опираясь только на ряд положений $x(t) = \rho(t) \cos(\theta(t)), y(t) = \rho(t) \sin(\theta(t))$ методом Тиле-Иннеса.

- Создаем несколько сотен наборов e, P, T ;
- Решаем систему уравнений относительно A, F, B, G

$$\begin{aligned}x(t) &= A \cdot X(E) + F \cdot Y(E) \\y(t) &= B \cdot X(E) + G \cdot Y(E)\end{aligned}$$

$$X(E) = \cos(E) - e, Y(E) = \sqrt{1 - e^2} \sin(E)$$

- Отбираем 10 наборов e, P, T , дающих наименьшие нормы невязок;

Определение орбит

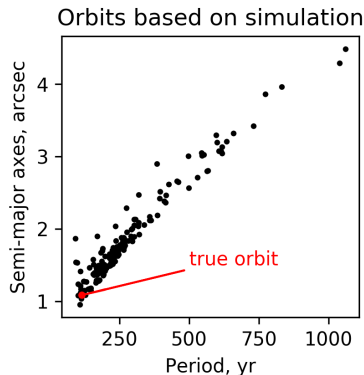
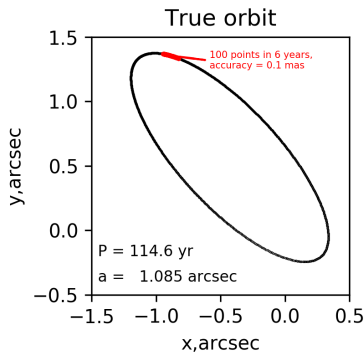
- Варьируем элементы e, P, T ;

$$\begin{aligned}x_o - x_c &= \sum_k \frac{\partial x_c}{\partial p_k} \Delta p_k \\y_o - y_c &= \sum_k \frac{\partial y_c}{\partial p_k} \Delta p_k\end{aligned}$$

- Добиваемся сходимости поправок $\Delta e, \Delta P, \Delta T$;
- Из элементов A, F, B, G получаем набор a, i, Ω, ω ;
- Вместо обычных оценок дисперсий элементов, естественно выдать несколько сотен наборов $a, e, P, i, \omega, \Omega, T$, описывающих доверительную область оценок параметров в 7-мерном пространстве. Это решает проблему распространения ошибок при вычислении эфемерид.
- Приложение для вычисления орбит доступно в [здесь](#).

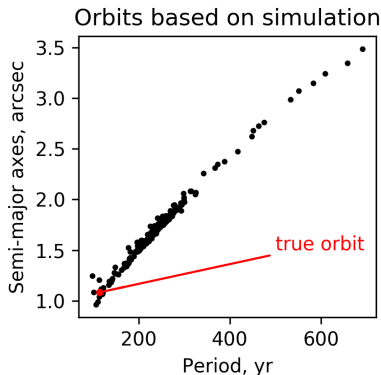
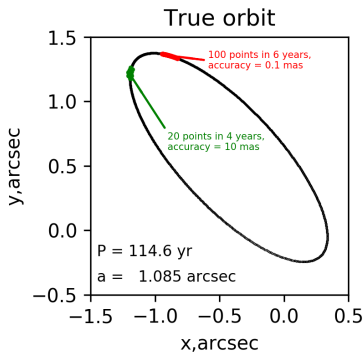
Закрывает ли Gaia наземные наблюдения ВДЗ?

Симуляция наблюдений Gaia для типичной ВДЗ и
результатирующие орбиты



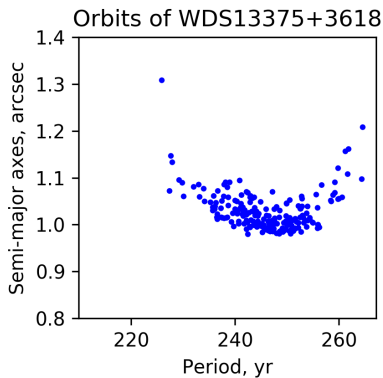
Закрывает ли Gaia наземные наблюдения ВДЗ?

Симуляция наблюдений Hipparcos и Gaia для типичной ВДЗ и результирующие орбиты



Закрывает ли Gaia наземные наблюдения ВДЗ?

Диаграмма $P - a$ для wds13375+3618



Для статистики нужны орбиты...

Сколько ВДЗ и сколько орбит?

- Каталог WDS - 145551 звездных пар.
- Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars - 2662 орбит.
- Регулярно разные авторы публикуют десятки и сотни орбит.

Контраст между количеством ВДЗ и количеством орбит естественно вытекает из бедной истории наблюдений и больших периодов обращений.

Исходные данные

Мы попытались построить орбиты на основе базы данных USNO (все мировые наблюдения) и наших собственных наблюдений. Такие данные доступны для 451 звезды (это широкие пары $\rho > 0.8 \text{ arcsec}$).

Доля пулковских наблюдений в этих наборах такова:

- За все время (200 лет) - 6.7 %;
- С 2000 года - 36 %.

Пулковские наблюдения

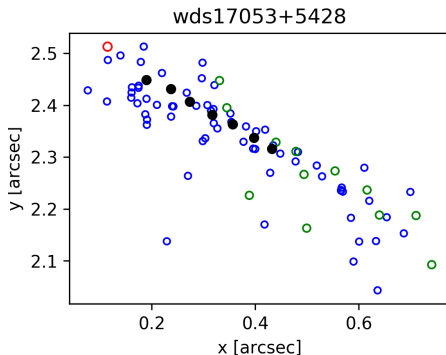
Главный калибр.

$D=0.65$ m, $F=10.5$ m, $FOV=12 \times 12$ arcmins,
 $CCD\text{-scale}=0.238$ arcsec/pix, $Ph\text{-scale}=19.81$ arcsec/mm



Качество пулковских наблюдений

Относительное движение μ Дракона. Черные точки - пулковские наблюдения, синие - остальные, зеленые -



Качество пулковских наблюдений

- Фотографические наблюдения: 7000 отдельных относительных положений для 395 пар визуально-двойных звезд со средней точностью 30 mas;
- ПЗС-наблюдения: 15184 положений 322 пар со средней точностью 5 mas;
- Однородность в случайном и систематическом отношении.
- Все результаты наблюдений доступны в [Астрометрической базе данных Пулковской обсерватории](#).

Качество пулковских наблюдений

Отклонения в орбитальном движении ADS15571
(невидимый спутник с массой 0.62 от солнечной).

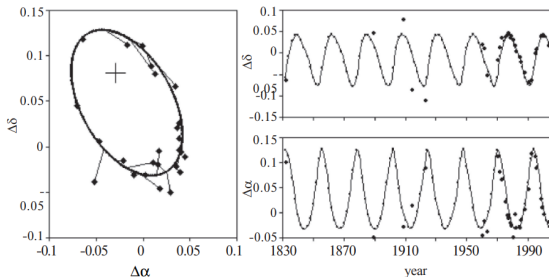
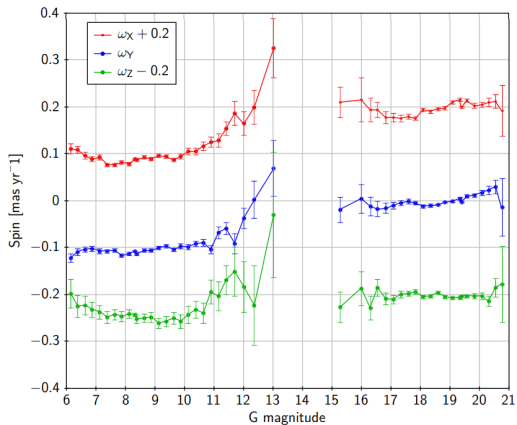


Fig. 1. The visible ellipse of the relative photocenter motion and a comparison of the observations with the orbital motion. The cross indicates the position of the barycenter, the smooth curve, the calculated orbital motion, and the diamonds, the observations.

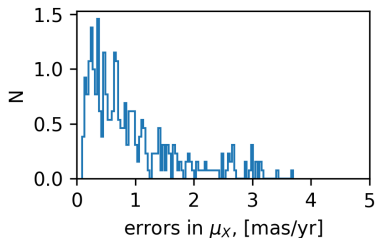
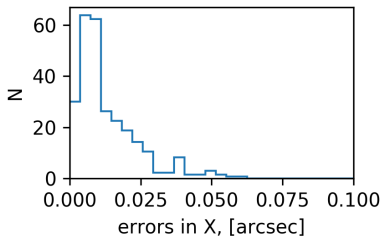
Тест Gaia DR2

Яркие звезды в Gaia DR2



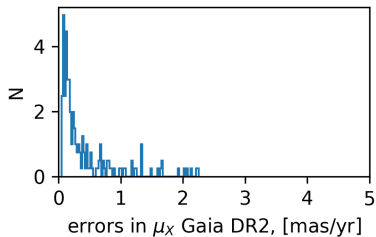
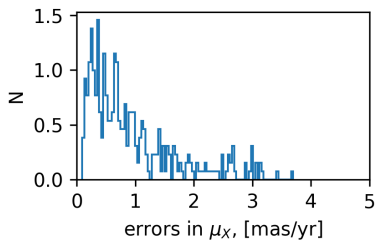
Тест Gaia DR2

Что можно узнать о качестве астрометрии ярких звезд из сравнения собственных движений?



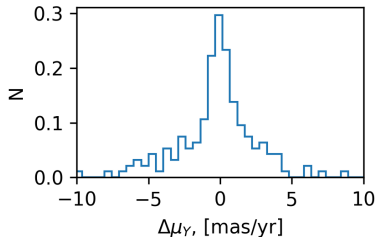
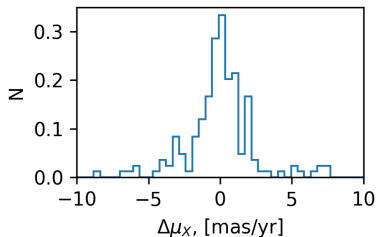
Тест Gaia DR2

Точность μ сопоставима.... :)



Тест Gaia DR2

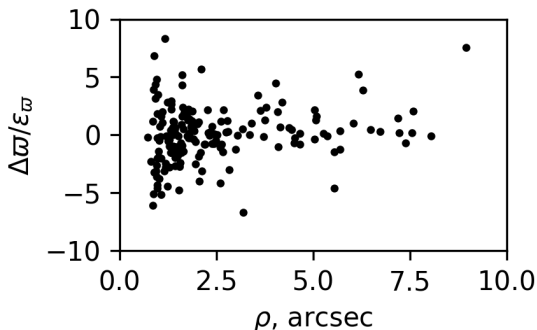
Большинство разностей укладывается в пределы ошибок.



Но мы наблюдаем и значимые отклонения. Их причины - предмет отдельного исследования.

Тест Gaia DR2

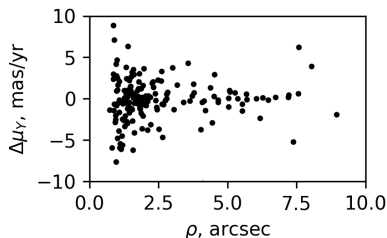
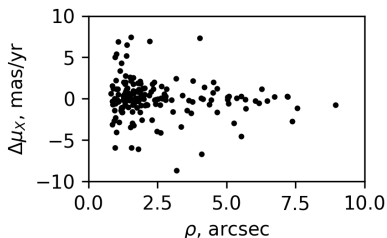
Относительные разности параллакс компонент очевидно зависят от ρ .



Ошибки параллакс Gaia DR2 для ярких звезд в тесных полях могут быть значительными...

Тест Gaia DR2

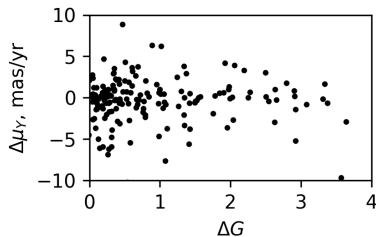
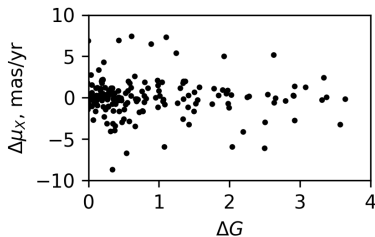
Аналогичная тенденция в разностях собственных движений



То есть значительные разности - есть просто результат роста случайных ошибок определения координат для тесных изображений.

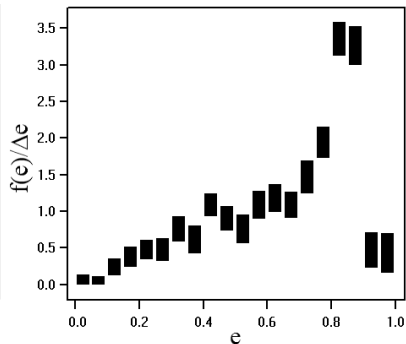
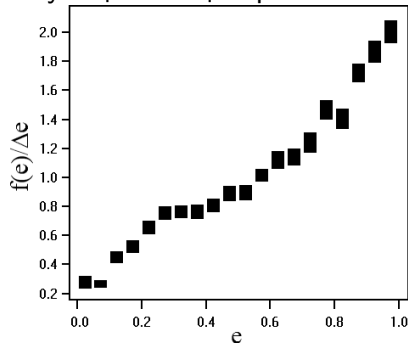
Тест Gaia DR2

Не видна явная зависимость от разности блеска компонент...



Пулковские орбиты. Статистика

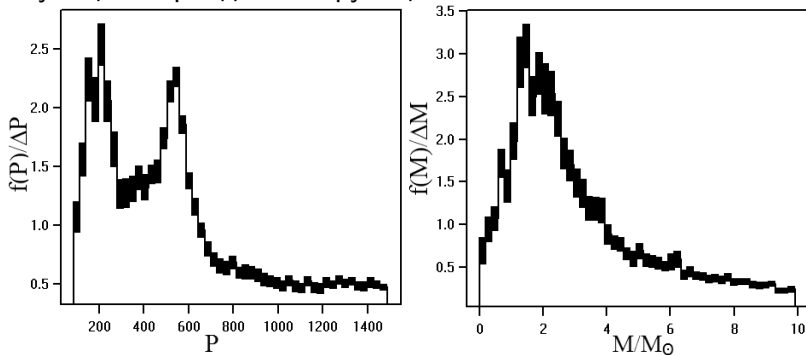
"Функция эксцентриситета".



Слева - по набору орбит ($f(e) = 2 \cdot e$), справа - по одиночным орбитам.

Пулковские орбиты. Статистика

"Функция периодов" и "функция масс".



Выводы

- Актуальность продолжения наблюдений ВДЗ не вызывает сомнений :)
- Пулковские наблюдения ВДЗ - одни из самых точных в мире.
- Пулковские ряды отличаются продолжительностью и однородностью как в случайном, так и в систематическом отношении.

Выводы

- Внутренняя точность положений ярких звезд в Gaia переоценена. Сравнение "орбитальных" μ и μ_{Gaia} открывает путь к поиску неизвестных компонент (темных спутников).
- Статистика пулковских орбит ВДЗ не противоречит ожиданиям в плане зависимости $f(e) = 2 \cdot e$.
- Выявлена бимодальность в распределении орбитальных периодов. Это нуждается в динамической трактовке.