

## ПРИЛОЖЕНИЕ

к статье "Орбиты визуально-двойных и кратных звезд, полученные методом параметров видимого движения в течение последних 40 лет". Комментарии и графики. Часть I

Л.Г. Романенко<sup>1,\*</sup>, О.В. Кияева<sup>1</sup>, И.С. Измайлов<sup>1</sup>, Н.А. Шахт<sup>1</sup>, Д.Л. Горшанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГАО РАН

\* *e-mail*: [lrom1962@list.ru](mailto:lrom1962@list.ru)

Февраль 2023

### Описание

В данном Приложении представлены комментарии и графики для каждой звезды. В комментариях кратко изложена история исследования системы и обоснование данного результата. Для всех графиков обозначения следующие: наблюдения из WDS (Mason et al., 2016) — зеленые кружки (в том числе, наблюдения В.Я. Струве — красные треугольники), пулковские фотографические наблюдения — (Kiselev et al., 2014; Izmailov et al., 2016) — красные крестики, пулковские ПЗС наблюдения — (Izmailov et al., 2010; Izmailov, Roshchina, 2016; Izmailov et al., 2020) — сиреневые звездочки, наблюдения Гиппаркос (Mason et al., 2016) и Gaia DR2 (Gaia Collaboration et al., 2018) — желтые ромбы, линиями обозначены эфемериды орбит в сравнении с наблюдениями, оранжевая прямая линия — направление движения по данным Gaia DR2 на момент 2015.5.

Для орбит из таблицы 3 приведены следующие зависимости:  $\rho(t)$ ,  $\theta(t)$  и  $y(x)$ . График в картинной плоскости  $y(x)$  иногда представлен в двух видах: фрагмент дуги, охваченной наблюдениями, и полная орбита за весь период. Тогда видно, насколько мала наблюденная дуга. Если известна относительная лучевая скорость, но при этом получаем 2 решения, то сплошная линия соответствует  $+\beta$ , штриховая —  $-\beta$ . Если модуль лучевой скорости подобран, то получаем 4 решения (2 пары орбит) и эфемериды каждой пары орбит совпадают.

Для всех семейств диапазон эфемерид удовлетворительных орбит в зависимости от  $\beta$ , представленный в таблице 4, ограничен красной и синей линией. Орбита, соответствующая минимальному периоду ( $\beta = 0^\circ$ ), обозначена сплошной черной линией, а орбиты, соответствующие экстремальным значениям эксцентриситета, обозначены сплошной ( $+\beta$ ) и штриховой ( $-\beta$ ) линиями.

Кроме того, графически представлена зависимость большой полуоси от эксцентриситета. Верхняя прямая линия ограничивает область, ниже которой влияние гравитационного поля Галактики несущественно. Для визуально-тройных звезд (ADS 48, ADS 7034 и ADS 10288) нижняя линия ограничивает область, выше которой тройная система устойчива (описание см. в статье Кияева, Романенко (2020)).

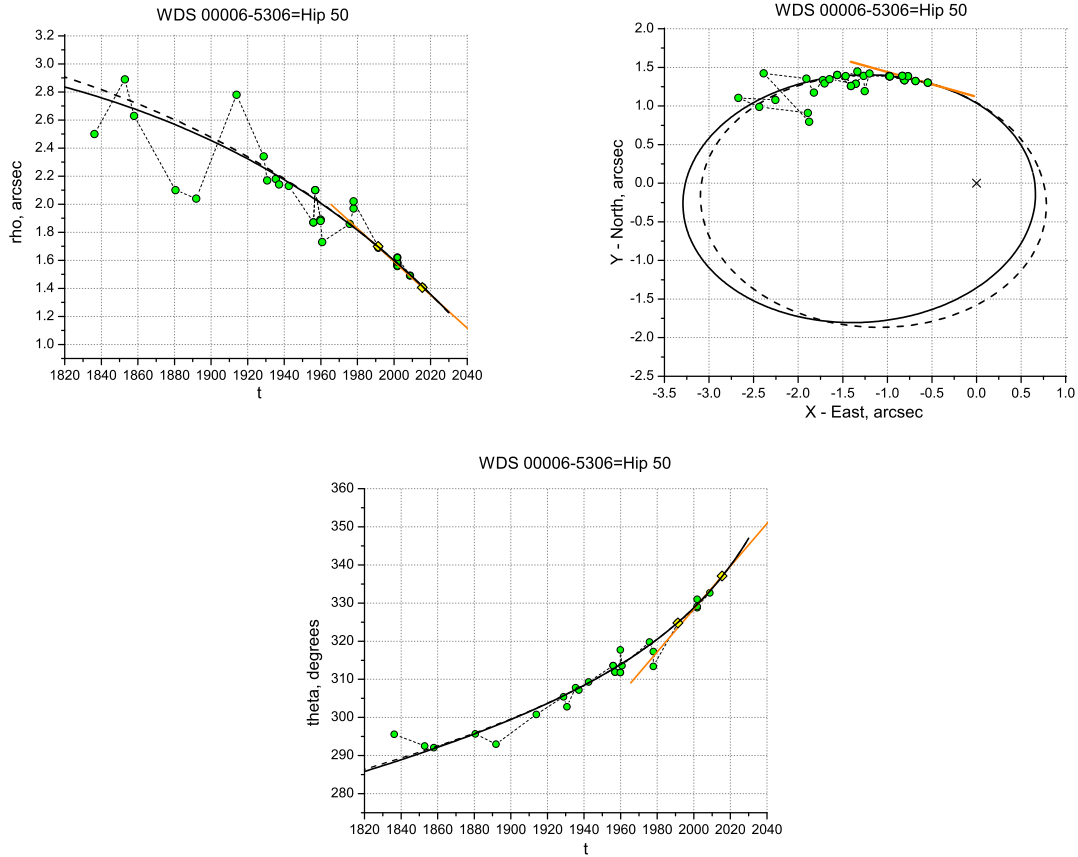


Рис. 1: Hip 00050

## 1 WDS 00006-5306=Hip 50

Ранее, в работе (Кияева et al., 2017) были впервые определены ПВД-орбиты. ПВД были получены по восьми высокоточным наблюдениям 1991-2015гг из каталога WDS. Использовались параллакс из Hipparcos (van Leeuwen, 2007), оценка массы из работы (Tokovinin, Кияева, 2016), относительная лучевая скорость подобрана по согласованию со всем рядом наблюдений. Получены 2 пары орбит, соответствующие  $\beta = \pm 5^\circ$ .

Движение в паре по данным Gaia DR2 (Gaia Collaboration et al., 2018) на момент 2015.5 идет по касательной и не противоречит ни наблюдениям, ни эфемеридам. Указана лучевая скорость только одного компонента. Орбита, полученная в работе (Кияева et al., 2017) не требует улучшения.

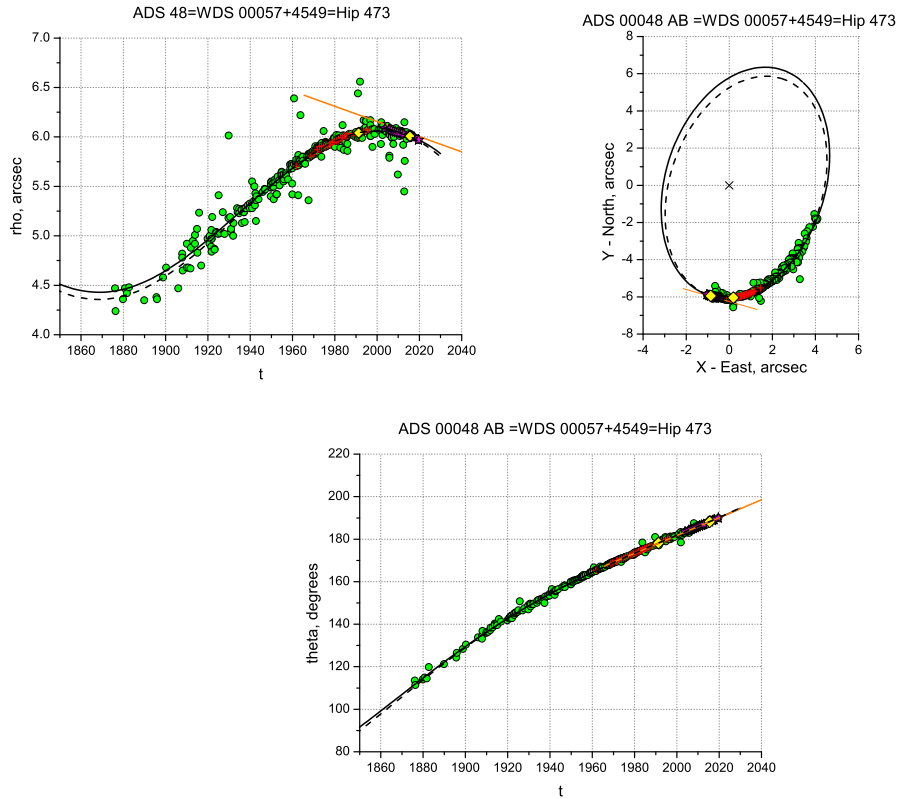


Рис. 2: ADS 00048 AB

## 2 WDS 00057+4549= ADS 48 AB=Hip 473

ПВД-орбита внутренней пары ADS 48 AB была вычислена на основе пулковских фотографических наблюдений (ПВД на эпоху 1980.0, на графиках — штриховая линия). Она представлена в статье (Кияева et al., 2001). Здесь дана также ПВД-орбита из работы (Кияева et al., 2020), которая рассчитана на основе положений и собственных движений из каталога Gaia DR2 (ПВД на эпоху 2015.5, на графиках — сплошная линия). При этом была учтена систематическая разность между космическими и наземными наблюдениями  $\Delta\rho = 0.03''$ .

В данную работу мы включили обе орбиты, которые хорошо согласуются между собой и с орбитой из статьи (Измайлов, 2019), что говорит о надежности метода и хорошем качестве фотографических наблюдений. Расхождение говорит о фактической точности элементов.

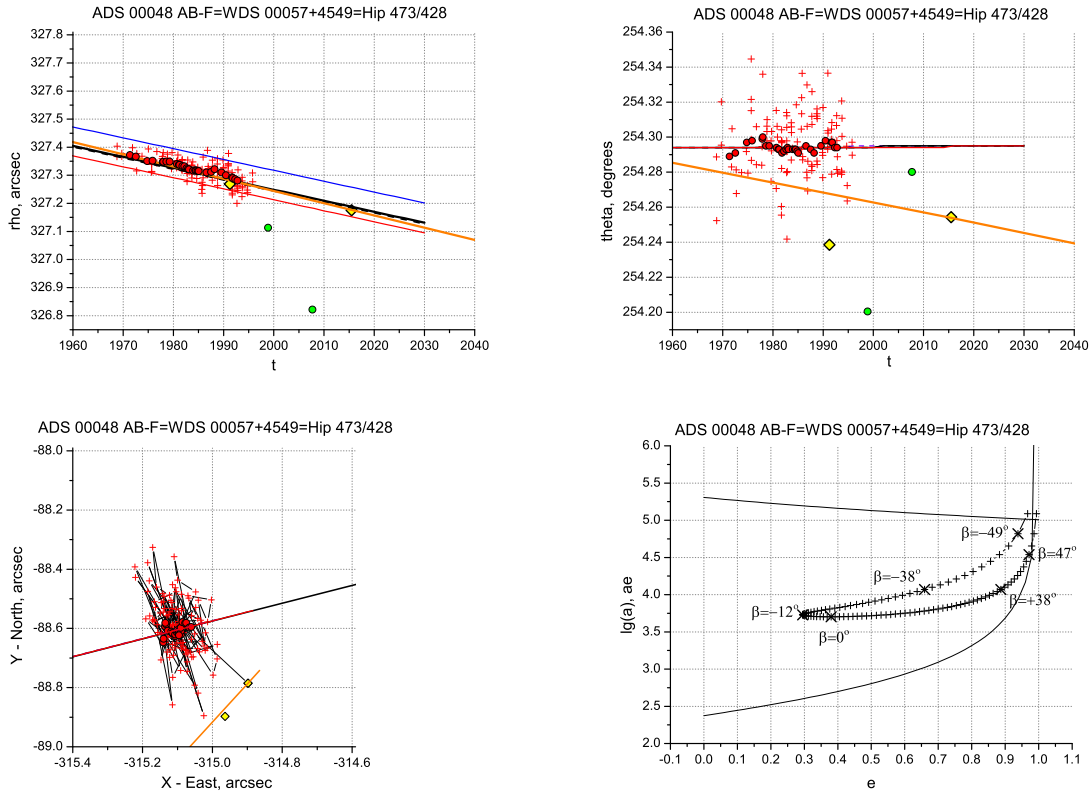


Рис. 3: ADS 00048 AB-F

### 3 WDS 00057+4549 = ADS 48 AB-F = Hip 473/428

Внешняя пара ADS 48 AB-F является самой широкой физически связанной парой Пулковской программы исследований ( $\rho = 327''$ ). На автоматической измерительной машине "Фантазия" нами был измерен довольно продолжительный ряд однородных фотографических наблюдений 1968–1995 гг (117 фотопластинок, (Кияева et al., 2001)), который является основой для исследования. После учета внутренней подсистемы были вычислены нормальные места в скользящем окне 5 лет (на графиках — красные кружки) и получено семейство орбит, которое включено в настоящую работу. Используются параллаксы и лучевые скорости из Gaia DR2, массы взяты из работы (Neves et al., 2013). Все орбиты семейства перпендикулярны картинной плоскости.

Движение по позиционному углу в фотографических наблюдениях не проявляется из-за его малой величины ( $\dot{\theta} = -0.0000 \pm 0.0001^\circ/\text{г}$ ), но проявляется в движении Gaia DR2 ( $\dot{\theta} = -0.00056 \pm 0.00001^\circ/\text{г}$ ). Это объясняет расхождение на графике  $\theta(t)$ . Возмущение с периодом 11 лет в движении внешней пары с амплитудой примерно 30 мсд, проявляется не только в зависимостях  $\rho(t)$  и  $\theta(t)$ , но и в зависимости  $y(x)$ . Причины возмущения и устойчивость тройной системы подробно анализируются в статье (Кияева et al., 2020).

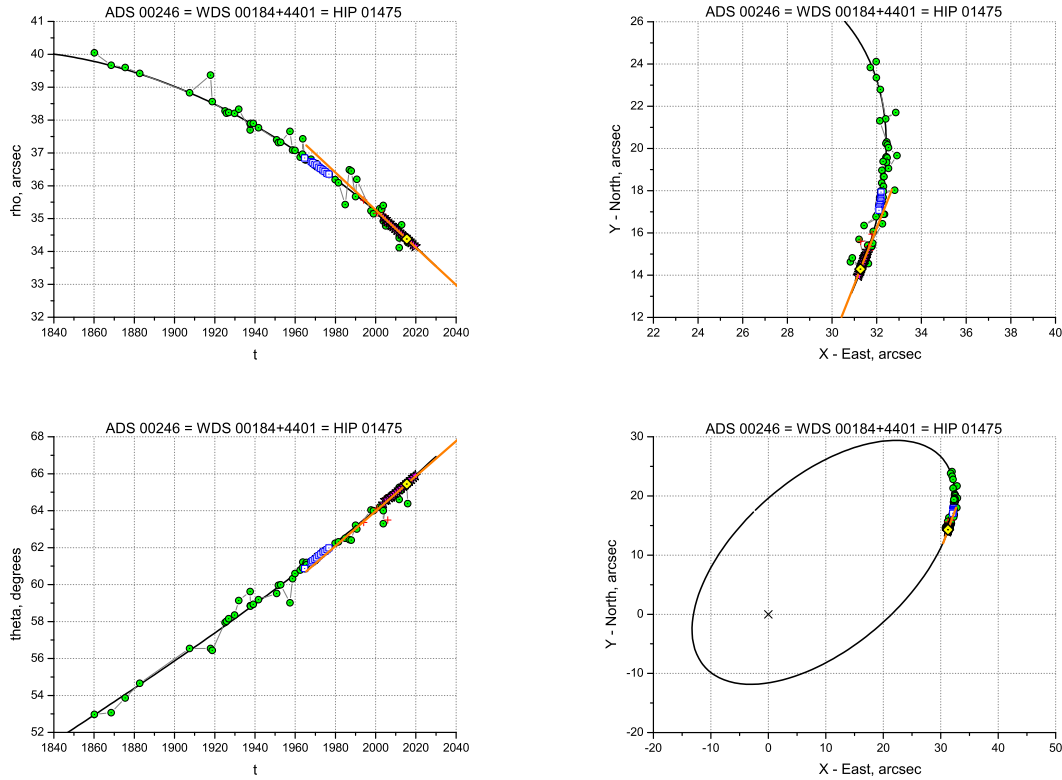


Рис. 4: ADS 00246

#### 4 WDS 00184+4401 = ADS 246 = Hip 1475

Ранее методом ПВД определена орбита (Романенко, Киселев, 2014) с периодом в два раза меньшим, чем у круговой орбиты (Lippincott, 1972). Последняя хуже описывает современные наблюдения, чем эта ПВД-орбита. Нами были использованы лучевые скорости (Marcy, Benitz, 1989). В нашей статье (Романенко, Измайлов, 2021) мы улучшили орбиту 2014 года с использованием параллаксов Gaia DR2, тех же лучевых скоростей и модифицированного алгоритма метода ПВД. Последний состоит в том, что совпадение ПВД-орбит, полученных по трем разным базисам, приводит к получению однозначной орбиты. Соответствующая ей сумма масс компонентов в пределах ошибки совпала с величиной, соответствующей зависимости “масса–светимость”.

В данной работе мы приводим орбиту 2021 года, полученную по объединенному ряду фотографических наблюдений Военно-морской обсерватории США и пулковских ПЗС-наблюдений (базис USNO+CCD) с  $a \sim 100$  а.е. Направление движения по данным Gaia DR2 идет по касательной и не противоречит ни наблюдениям, ни эфемеридам. Лучевая скорость компонента В в данных Gaia DR2 отсутствует. Компонент С — оптический согласно собственным движениям из каталога WDS (Mason et al., 2016) и по работе (Кияева et al., 2008).

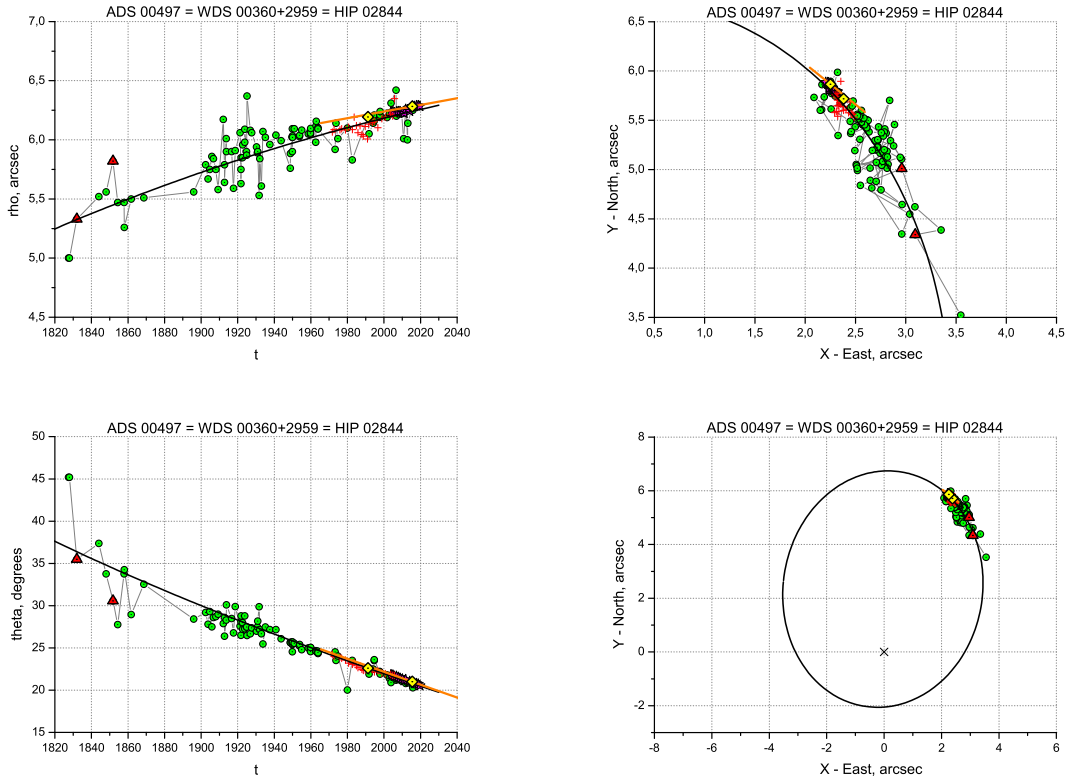


Рис. 5: ADS 00497

## 5 WDS 00360+2959 = ADS 497 = Hip 2844

Компонент А — спектроскопический двойной (Tokovinin, 1999). Ранее с использованием лучевых скоростей из этой статьи по пулковскому ряду фотографических наблюдений методом ПВД была определена орбита пары АВ, выявлен избыток масс  $\sim 1M_{\odot}$  (Киселев et al., 2009а). Компонент С — оптический согласно собственным движениям из каталога WDS (Mason et al., 2016) и работе (Кияева et al., 2008).

Направление движения в паре АВ по данным Gaia DR2 идет по касательной и не противоречит ни наблюдениям, ни эфемеридам. Однако, попытки определения ПВД-орбит по этим данным не приводят к удовлетворительным результатам. Лучевая скорость компонента А в данных Gaia DR2 отсутствует. В настоящей работе мы приводим ПВД-орбиту 2009 года. При парallaxe Gaia DR2 ей соответствует сумма масс компонентов  $3.57M_{\odot}$  (избыток остается).

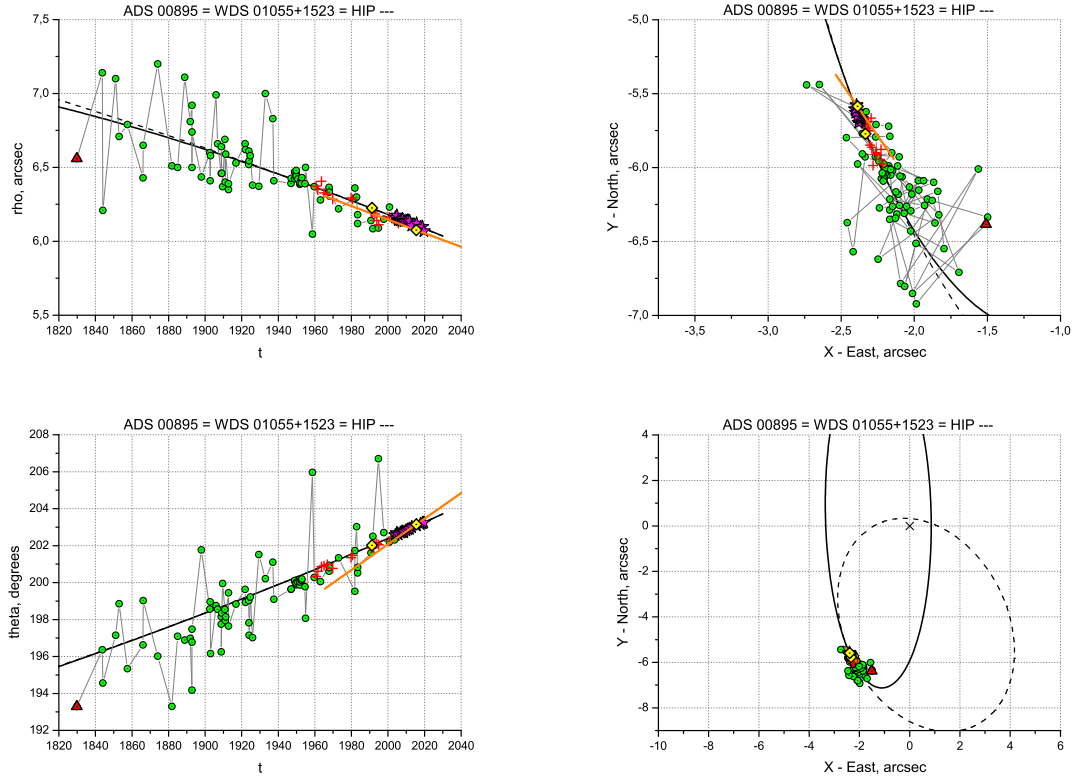


Рис. 6: ADS 00895

## 6 WDS 01055+1523 = ADS 895 = Hip 5110

Эта тесная пара К-карликов наблюдалась в Пулковке с 1960 года и не имела лучевых скоростей. Анализ показал, что направление движения согласно Gaia DR2 находится под углом к наблюдениям. Расчету орбиты мешает невидимый спутник, наличие которого проявляется в больших ошибках определения как параллакса, так и лучевой скорости компонента В.

В данной работе мы приводим первые орбиты пары АВ, полученные нами по ряду пулковских ПЗС-наблюдений 2004–2019 гг. Согласно эффективной температуре и спектральным классам компонентов их сумма масс равна  $1.4M_{\odot}$ . Мы использовали также параллаксы и лучевые скорости компонентов по данным Gaia DR2 (последние - за неимением более надежных). Полученные ПВД-орбиты с периодом 3471 год соответствуют  $\beta = +60^{\circ}$  и  $-60^{\circ}$ , хорошо согласуются с наблюдениями и совпадают между собой на участке (1829–2019 гг.). Наибольший вклад в ошибки орбитальных элементов вносят большие ошибки лучевых скоростей по данным Gaia DR2.

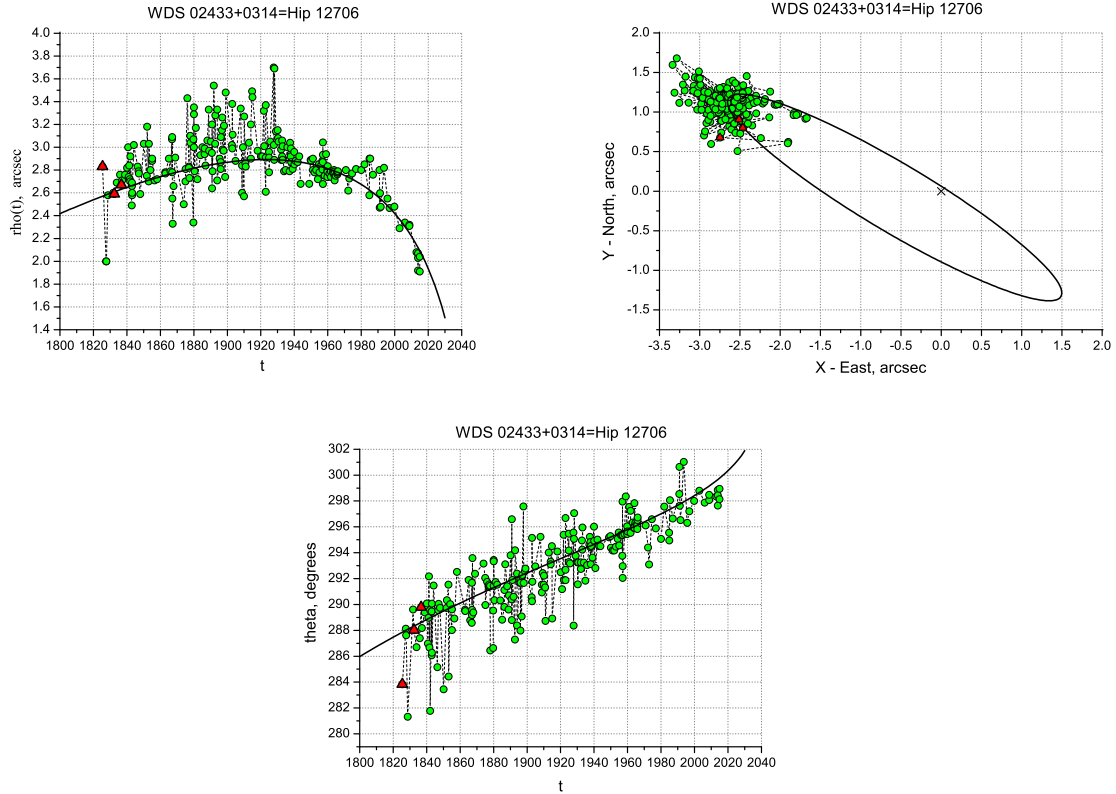


Рис. 7: Hip 12706

## 7 WDS 02433+0314=Hip 12706

Согласно (Kervella et al., 2019) у компонента А может быть маломассивный спутник. В Gaia DR2 наблюдался только этот компонент. Звезда яркая ( $m_G = 3.4^m$ ) с большим собственным движением:  $\mu_x = -151$  мск/год и  $\mu_y = -147$  мск/год. Параллакс Gaia DR2 ( $43.6 \pm 0.8$  мсд) отличается от данных Hipparcos ( $41.0 \pm 0.6$  мсд, van Leeuwen (2007)), и его ошибка больше.

ПВД на момент 1987.0 определялись по разнородным наблюдениям WDS 1959–2014гг. Использован параллакс Hipparcos, масса ( $3.0M_\odot$ ) из работы (Tokovinin, Kiyaeva, 2016), относительная лучевая скорость подбиралась по согласованию со всеми позиционными наблюдениями. ПВД-орбита потребовала коррекции. Орбита, улучшенная по программе ORBITX (Tokovinin, 1992), с параллаксом Hipparcos имеет массу, близкую к ожидаемой ( $2.8M_\odot$ ), с параллаксом Gaia DR2 — меньше ожидаемой ( $2.3M_\odot$ ). Орбита определена впервые.

Эксцентриситет орбиты 0.88, и в настоящий момент наблюдается ускоренное орбитальное движение. Таким образом, в скором будущем возможно дальнейшее уточнение орбиты.



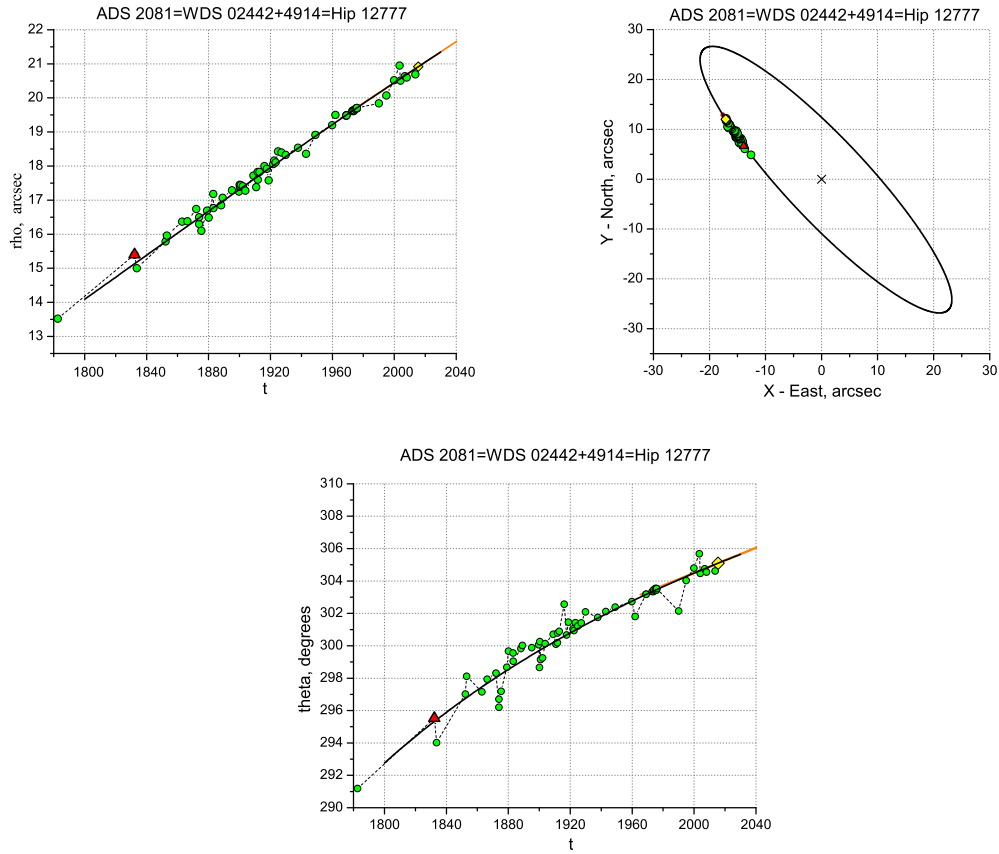
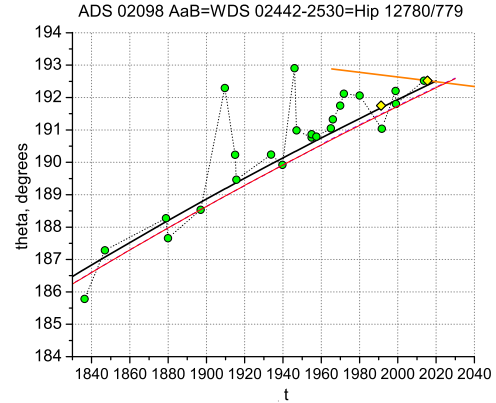
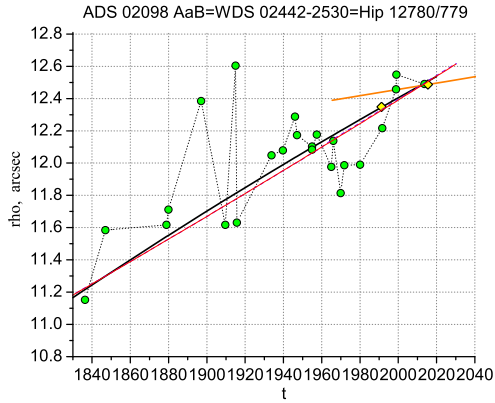


Рис. 8: ADS 02081

## 8 WDS 02442+4914= ADS 2081=Hip 12777

Первая орбита была опубликована в статье (Кияева et al., 2017). Тогда для получения ПВД не было однородного надежного ряда наблюдений. Орбита пересчитана с ПВД и параллаксом Gaia DR2. Найденная масса  $1.8M_{\odot}$  согласуется с принятой ранее  $1.7M_{\odot}$ . В Gaia DR2 есть лучевая скорость только компонента A. Мы использовали  $\Delta Vr = +1.3$  км/с, определенную в работе (Nidever et al., 2002) и подтвержденную в каталоге (Soubiran et al., 2018). Новая орбита, определенная по данным Gaia DR2, лучше проходит через весь ряд наблюдений и позволяет независимо оценить массу системы.



## 9 WDS 02442-2530=ADS 2098=Hip12780/779

Семейство внешних орбит, полученное нами ранее (Кияева et al., 2017), улучшения не требует. Мы использовали параллакс из каталога Hipparcos (van Leeuwen, 2007), а массу системы  $3.2M_{\odot}$  и относительную лучевую скорость  $+0.17 \pm 0.08$  км/с из работы (Tokovinin, 2016), в которой определены орбиты внутренних подсистем. ПВД получены по всему ряду из WDS на эпоху 1930.0. Учтена визуальная орбита внутренней пары Aab с периодом 6.7 года. Спектроскопическая орбита Bаб с периодом 27 дней не учитывалась. Движение Gaia DR2 противоречит ряду по обеим координатам, что объясняется наличием спутников.

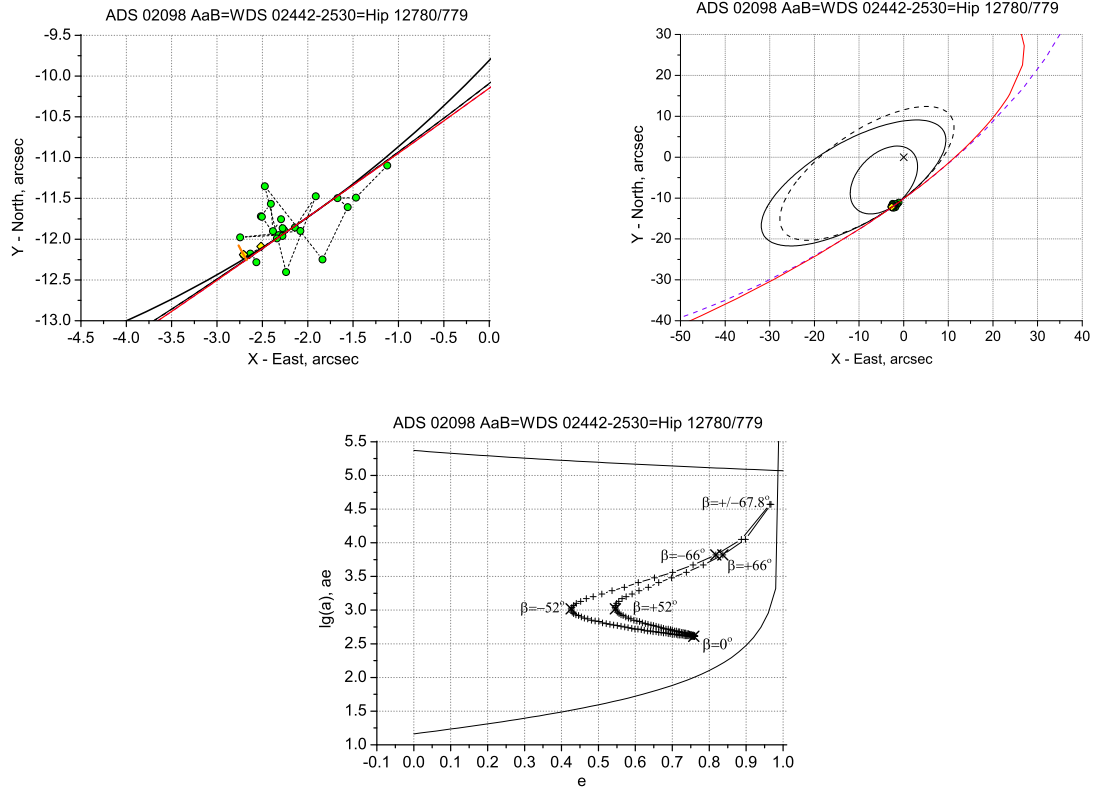


Рис. 9: ADS 02098

Пояснения к графикам см. на предыдущей странице.

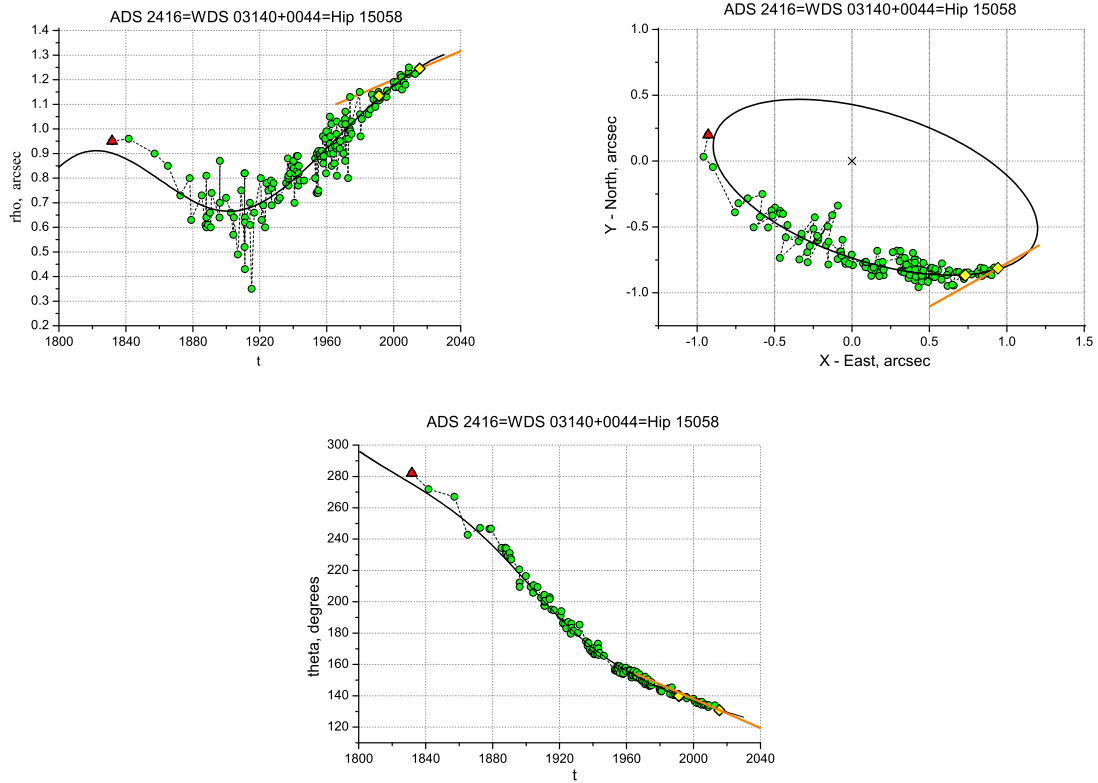


Рис. 10: ADS 02416

## 10 WDS 03140+0044=ADS 2416=Hip 15058

Для определения ПВД на эпоху 2000.5 использовались только современные наблюдения 1989-2012 гг. из WDS, среди которых в основном спекл-интерферометрические наблюдения USNO. Параллакс — из каталога Hipparcos (van Leeuwen, 2007), массы — из работы (Tokovinin, Kiyayeva, 2016), лучевая скорость подбиралась. Наша орбита хорошо согласуется со всеми наблюдениями и, в отличие от опубликованной (Riddle et al., 2015), не противоречит данным о параллаксе и массах звезд, соответствующих спектральному классу F8. Эфемериды орбиты хорошо согласуются с наблюдениями, но движение Gaia DR2 по  $\rho$  противоречит наблюдениям. Возможно, имеется спутник.

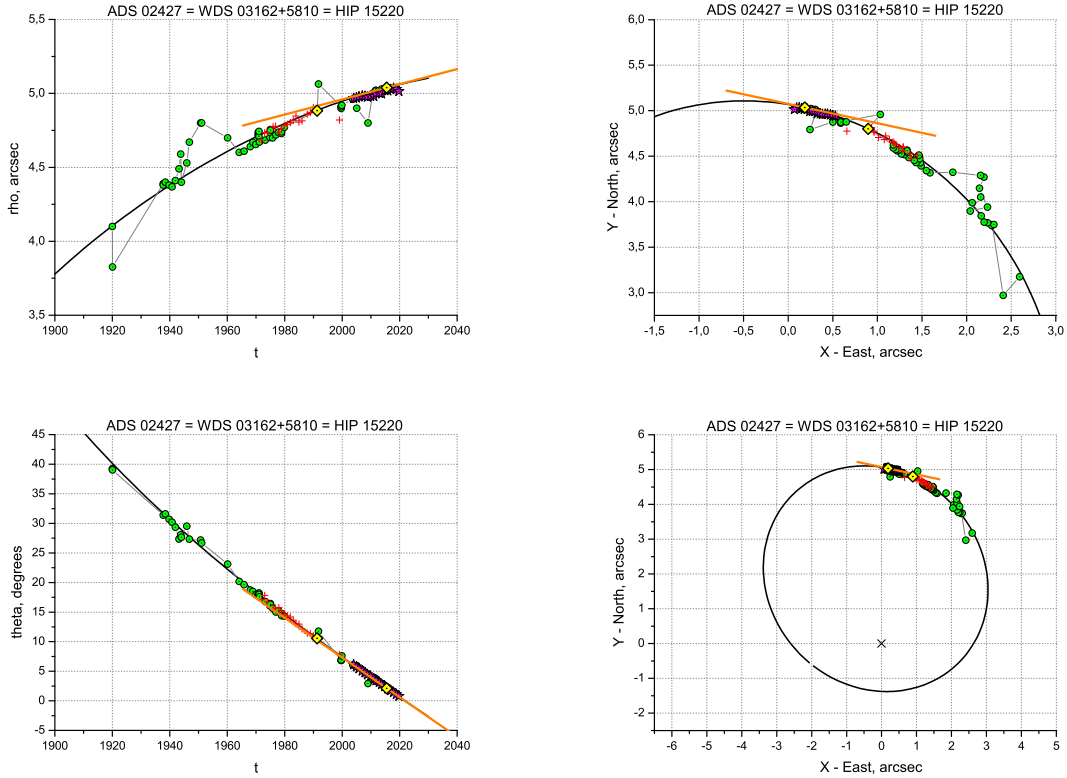


Рис. 11: ADS 02427

## 11 WDS 03162+5810 = ADS 2427 = Hip 15220

Согласно спектральным классам (оба компонента M2V) сумма масс равна  $0.80M_{\odot}$ . Ранее методом ПВД были определены две орбиты (Киселев et al., 2009a) с этой массой и с лучевыми скоростями (Токовинин, 1994). По данным Gaia DR2 ошибка относительной лучевой скорости вдвое больше, чем согласно статьи Токовинина. Поэтому в настоящей работе мы использовали последнюю, а параллакс и ПВД — по данным Gaia DR2. Получили однозначную орбиту с периодом 439 лет, которая хорошо согласуется со всеми наблюдениями. Направление движения по данным Gaia DR2 идет по касательной к наблюдениям и не противоречит им.

Указанная в каталоге WDS орбита (Zirm, 2008) с периодом 780 лет также хорошо согласуется со всеми наблюдениями, но при параллаксе Gaia DR2 соответствует сумме масс  $0.53M_{\odot}$ . Возможно ли это?

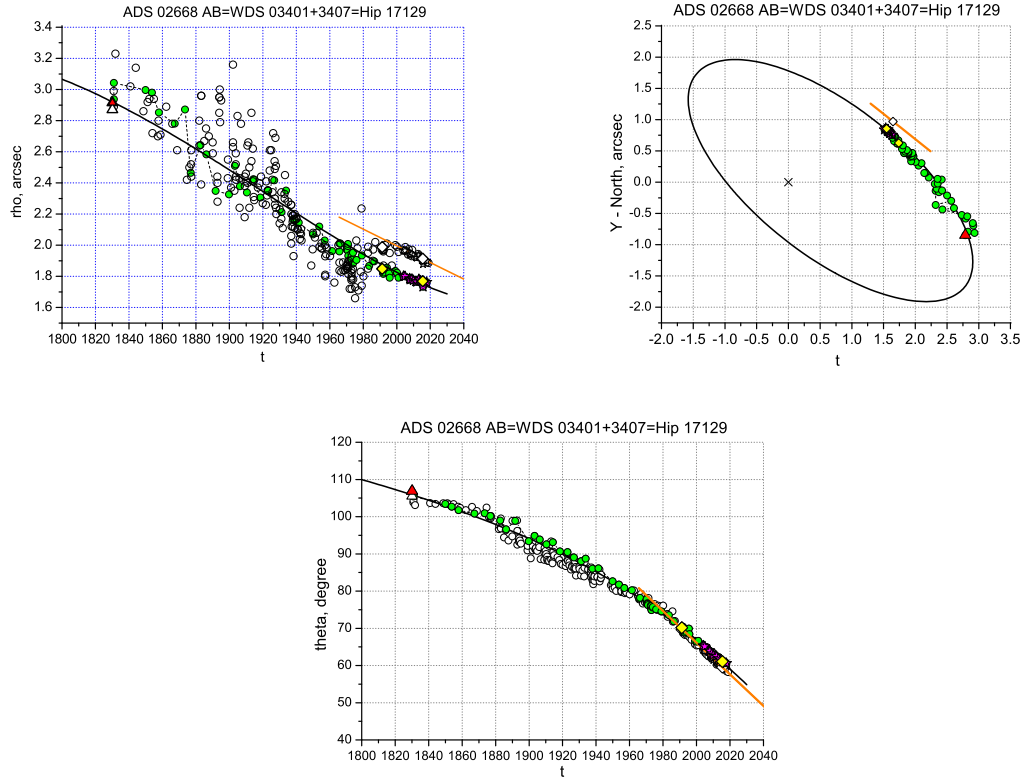


Рис. 12: ADS 02668

## 12 WDS 03401+3407=ADS 2668=Hip 17129

В WDS представлен большой ряд из 214 наблюдений, в основном микрометрических (на графиках — открытые кружки). Этот ряд преобразован — вычислены средние положения в окне 3 года (77 наблюдений, на графиках — зеленые кружки).

Имеется долгопериодический спутник с периодом  $P=106$  лет (Genet et al., 2015), однако движение Gaia DR2 не противоречит наблюдениям в момент 2015.5. В работе (Кияева, Измайлов, 2018) ПВД-орбита вычислялась на основе ПЗС наблюдений на 26"рефракторе после учета влияния спутника. Параллакс взят из каталога Hipparcos ( $21.7 \pm 0.8$  мсд, van Leeuwen (2007)), массы — из работы (Tokovinin, Kiyeva, 2016), лучевая скорость подобрана по согласию с преобразованным рядом наблюдений после учета внутренней орбиты.

В настоящей работе используются те же данные (Кияева, Измайлов, 2018) с заменой параллакса на более точный из каталога Gaia DR2 ( $21.80 \pm 0.08$  мсд).

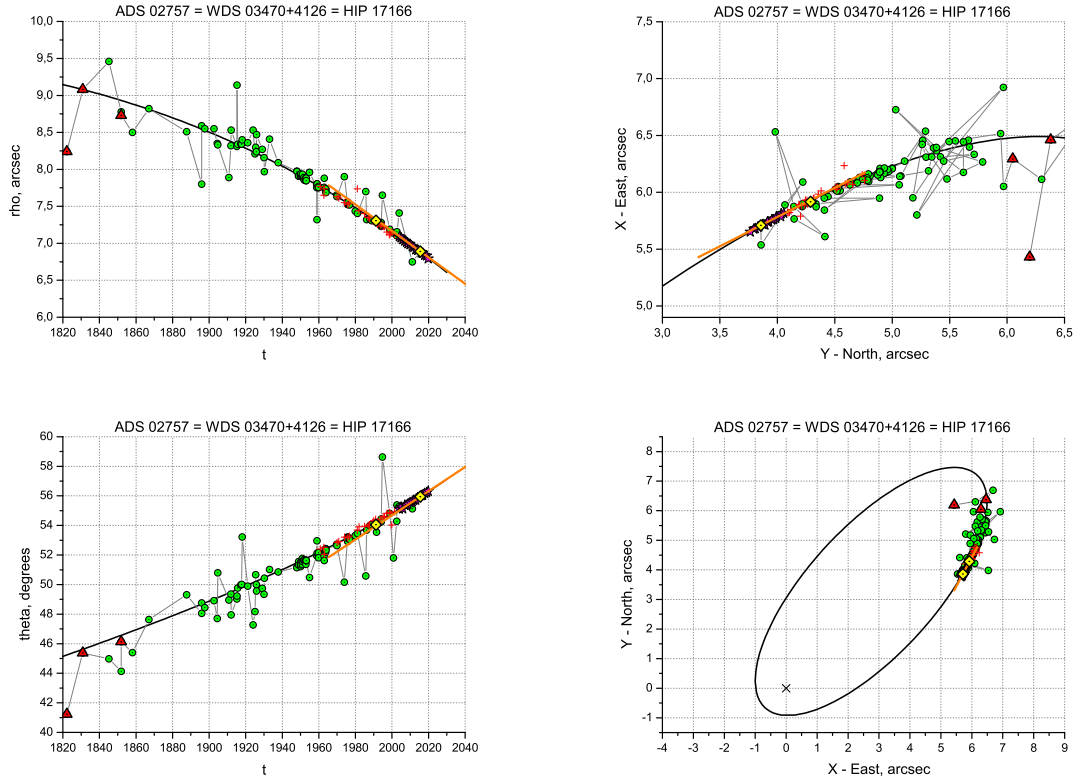


Рис. 13: ADS 02757

### 13 WDS 03470+4126 = ADS 2757 = Hip 17666

Компонент В — известная спектроскопическая двойная звезда (Tokovinin et al., 1994). Ранее с использованием лучевых скоростей из этой статьи методом ПВД определены две орбиты (Киселев et al., 2000). В нашей статье (Романенко, Измайлов, 2021) мы улучшили эти орбиты с использованием параллаксов Gaia DR2, тех же лучевых скоростей и модифицированного алгоритма метода ПВД. Совпадение ПВД-орбит, полученных по трем разным базисам, привело к получению однозначной орбиты и сумме масс компонентов, в пределах ошибки совпадающей с величиной, соответствующей зависимости “масса–светимость”.

В данной работе мы приводим орбиту из статьи 2021 года, полученную по ряду пулковских ПЗС-наблюдений (базис CCD). Направление движения по данным Gaia DR2 идет по касательной и не противоречит ни наблюдениям, ни эфемеридам. Лучевая скорость компонента В в данных Gaia DR2 имеет ошибку 1.91 км/с и не применима. Компонент С — оптический согласно собственным движениям из каталога WDS (Mason et al., 2016) и работе (Кияева et al., 2008).

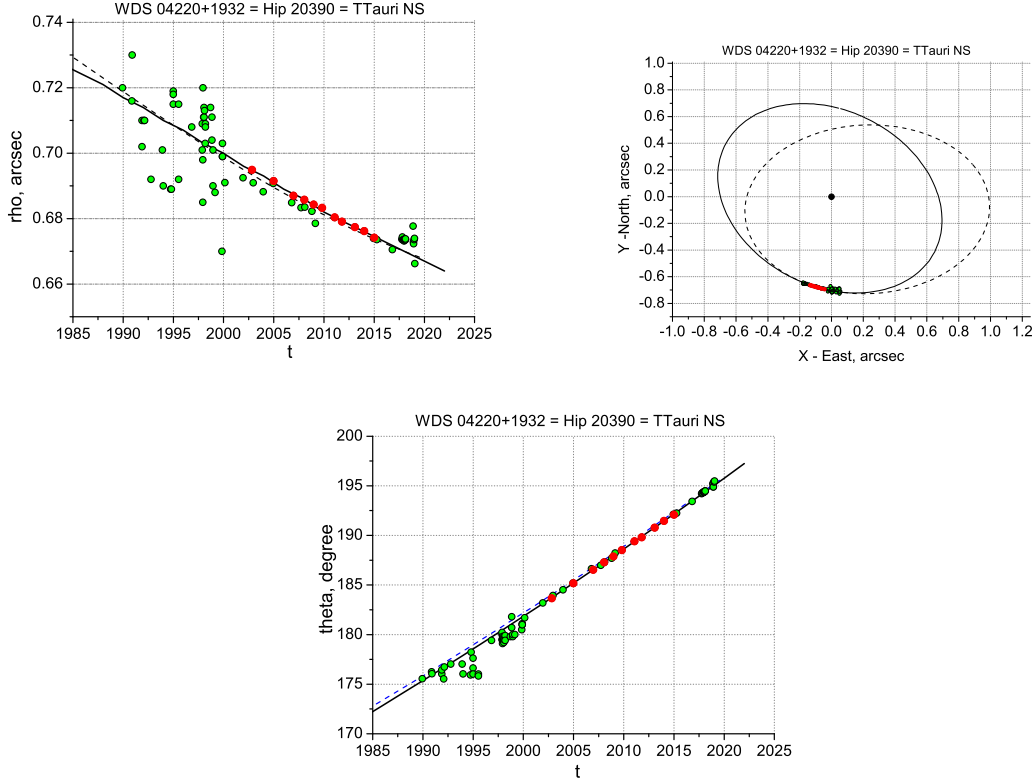


Рис. 14: T Tauri NS

## 14 WDS 04220+1932=Hip20390 (T Tauri NS)

Для внутренней пары SaSb по наблюдениям на телескопе Keck I получена надежная орбита (Schaefer et al., 2020). С парallaxом Gaia DR2 ( $6.929 \pm 0.058$  мсд) ей соответствует масса  $M_{(Sa+Sb)} = 2.48M_{\odot}$ .

ПВД-орбиты внешней пары NS, соответствующие  $\beta = \pm 32^{\circ}$ , получены нами в настоящей работе на основе однородных наблюдений на телескопе Keck I за 2002–2014гг. и одного наблюдения VLT (2014.9), укладываемого в этот ряд ( $T_0 = 2009.0$ , на графиках — красные кружки). Они были опубликованы в работах (Schaefer et al., 2014; Köhler et al., 2016) и исправлены нами за орбитальное движение внутренней пары SaSb. Использован парallax Gaia DR2, лучевая скорость подбиралась.

Так как наблюдения всех трех компонентов выполнены на одном и том же телескопе, есть возможность независимо астрометрически оценить массы звезд. Согласно нашей оценке массы компонентов зависят от суммы масс компонентов внутренней пары (Киуаева, Zhuchkov, 2017) и принимают следующие значения:  $M_N = 1.1 * M_{(Sa+Sb)} = 2.7 \pm 0.4 M_{\odot}$ ,  $M_{Sa} = 0.84 * M_{(Sa+Sb)} = 2.08 \pm 0.05 M_{\odot}$ ,  $M_{Sb} = 0.16 * M_{(Sa+Sb)} = 0.40 \pm 0.05 M_{\odot}$ , тогда  $M_{(S+N)} = 5.2M_{\odot}$ .

Одна из двух ПВД-орбит имеет очень малый эксцентриситет ( $e = 0.05 \pm 0.10$ ). С парallaxом Gaia DR2 мы получили соответствующее круговой орбите значение  $M_{(S+N)} = 4.8M_{\odot}$ . Согласие двух независимых оценок для значений суммы масс компонентов, позволяет принять  $M_{(S+N)} = 5.0M_{\odot}$ . Соответствующая орбита представлена в данной работе.



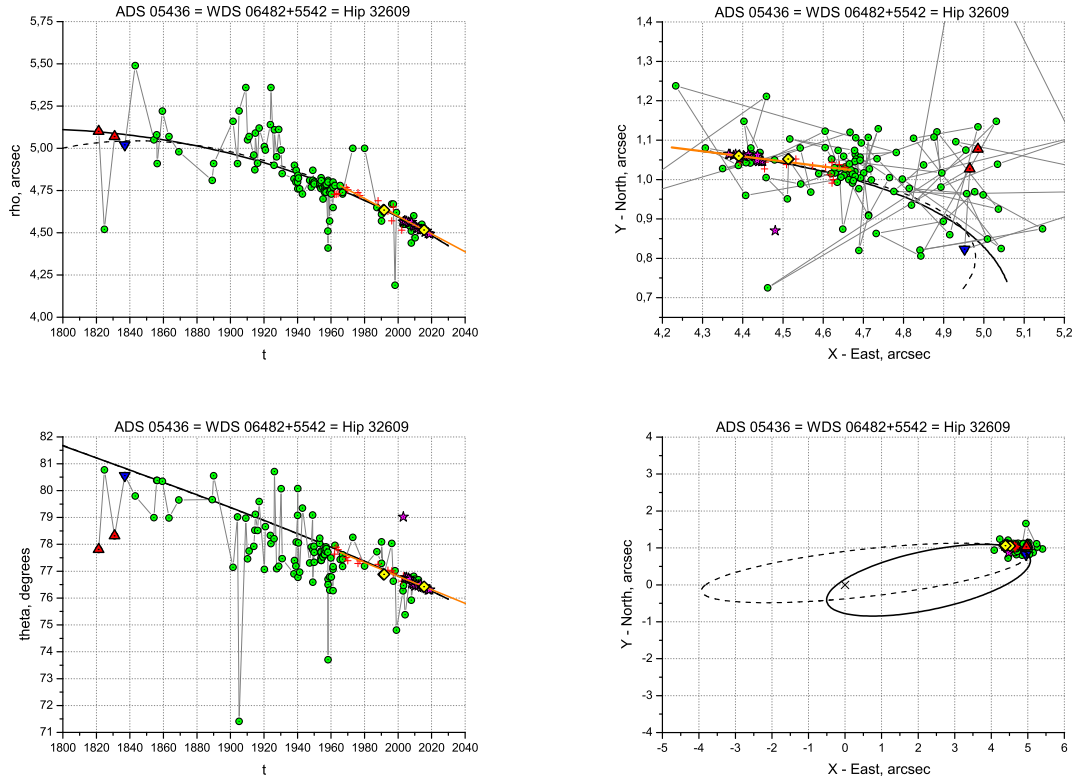


Рис. 15: ADS 05436

## 15 WDS 06482+5542 = ADS 5436 = Hip 32609

Следует отметить путаницу в обозначении компонентов этой пары, так как яркости практически одинаковы и достигают  $6.3^m$ . Из статьи (Tokovinin, 1999) известно, что компонент В является спектрально-двойным ( $P = 4.25856d$ ). Причем, это обозначение компонента соответствует каталогу ADS (Aitken, Doolittle, 1932). В каталоге WDS версии 2016г. (Mason et al., 2016) есть примечание об этой двойственности, но сами компоненты переобозначены. Мы придерживаемся системы обозначений WDS.

В каталоге Gaia DR2 лучевая скорость именно компонента А имеет ошибку 3.48 км/с. Значит, полученная Gaia лучевая скорость — мгновенная, использовать ее нельзя. Мы воспользовались данными из статьи Токовинина и алгоритмом, описанным в нашей работе (Романенко, Измайлов, 2021). Совпадение ПВД-орбит, полученных по трем разным базисам, привело к получению двух несимметричных решений. Они соответствуют  $\beta = +38^\circ$  и  $-45^\circ$  и ожидаемой сумме масс компонентов (с учетом спектрального спутника), совпадают между собой на всем участке, покрытом наблюдениями (1830-2019 гг.).

Здесь мы приводим орбиты, полученные в этом году по базису пулковского ПЗС-ряда. Направление движения по данным Gaia DR2 хорошо согласуется с наблюдениями. Наблюдения В.Я.Струве отклоняются от полосы наблюдений на  $3^\circ$  по  $\theta$ . В предыдущей статье (Киселев et al., 2009a) дано семейство ПВД-орбит с использованием этих же лучевых скоростей (Tokovinin, Smekhov, 2002; Tokovinin, 1999).

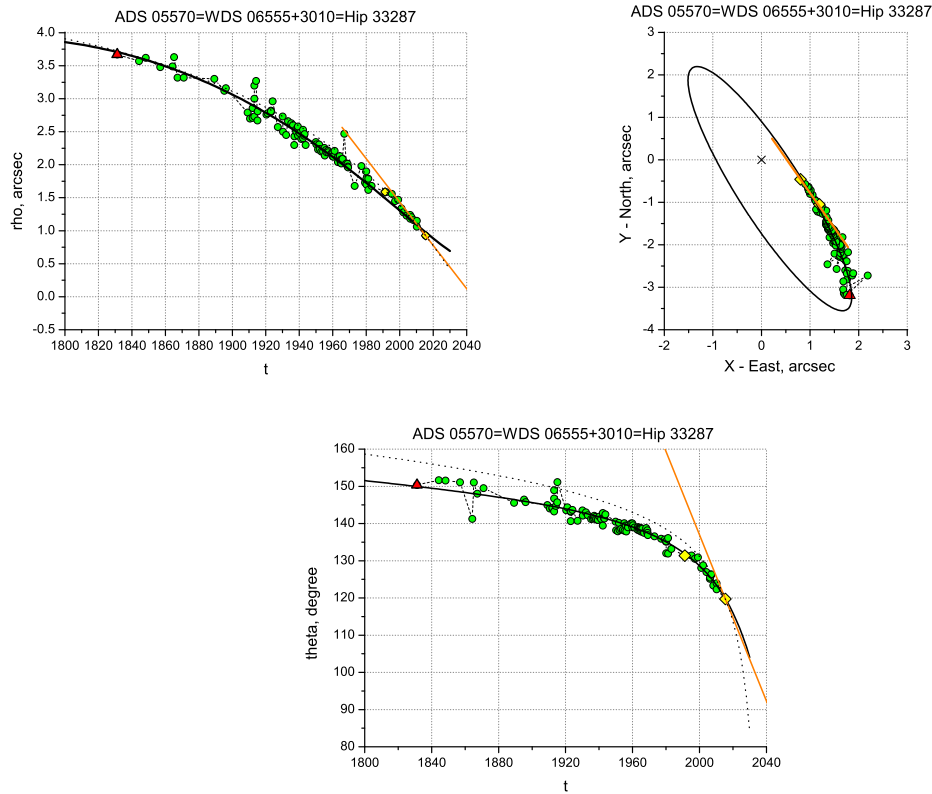


Рис. 16: ADS 05570

## 16 WDS 06555+3010=ADS 5570=Hip 33287

ПВД были получены по разнородным наблюдениям 1937–2010гг из WDS на момент 1974.0 (Кияева et al., 2017). Использовались фотографические наблюдения на длиннофокусных телескопах, ПЗС и спекл-интерферометрические наблюдения. Параллакс взят из каталога Hipparcos ( $26.0 \pm 2$  мсд, van Leeuwen (2007)), масса ( $1.8 M_{\odot}$ ) — из работы (Tokovinin, Kiyeva, 2016), лучевая скорость подбиралась. Ориентация ( $\Omega$  и  $\omega$ ) полученной орбиты уточнялась по ORBITX (Tokovinin, 1992), масса и остальные элементы орбиты при этом не изменились.

Движение согласно Gaia DR2 незначительно расходится с наблюдениями, но попытка получить орбиту на основе ПВД и параллакса Gaia DR2 неудачна — сильное расхождение по позиционному углу. На графике эта орбита обозначена пунктиром. Лучевой скорости обоих компонентов в Gaia DR2 нет.

Уточнение представленной здесь орбиты, опубликованной в (Кияева et al., 2017), в настоящее время преждевременно. С параллаксом из Gaia DR2 ( $23.8 \pm 0.4$  мсд) сумма масс компонентов существенно больше ожидаемой ( $2.3 M_{\odot}$ ). Подозреваем присутствие спутника.

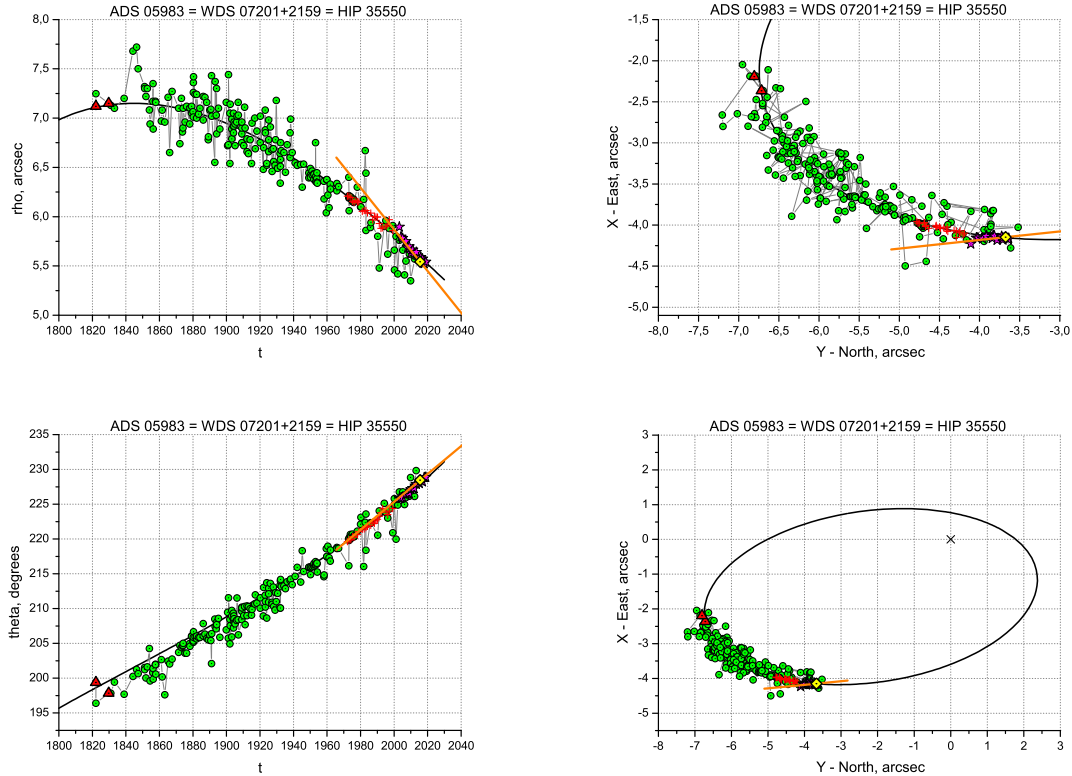


Рис. 17: ADS 05983

## 17 WDS 07201+2159 = ADS 5983 = Hip 35550 (delta Gem)

У этой яркой звезды ( $3.55^m$ ) был заподозрен массивный спутник  $6 - 10M_{\odot}$  (Zeldovich, Guseynov, 1966; Trimble, Thorne, 1969). Наши фотографические наблюдения не показали отклонений в расстояниях между видимыми компонентами, соответствующих влиянию массивного спутника. Однако был выявлен период  $5.6 - 6.1$  года с амплитудой  $0.020 \pm 0.006''$ , который можно объяснить присутствием темного спутника с нижним пределом массы  $0.2M_{\odot}$  (Шахт, 2000). Определены орбиты фотоцентра и внешней визуальной пары АВ (Shakht et al., 2007). Последняя (период 622 года) получена с параллаксом  $0.061''$  (Wooley et al., 1970) и суммой масс компонентов  $2.5M_{\odot}$ .

По данным Gaia DR2 параллакс компонента А имеет большую ошибку и отличается от параллакса для В. Поэтому здесь мы даем эту орбиту со средневзвешенным параллаксом ( $0.0540''$ ). Тогда  $\Sigma M = 3.6M_{\odot}$ . Эта сумма соответствует спектральным классам компонентов (F2IV и K3V) и учитывает как наличие спектрального спутника, обнаруженного по лучевым скоростям (Abt, 1965) ( $\Sigma M = (1.59 + 1.09) + 0.74 = 3.4M_{\odot}$ , см. MSC, Tokovinin (2018)), так и вышеупомянутый спутник (Шахт, 2000). Эта орбита хорошо согласуется со всеми наблюдениями. Направление движения по данным Gaia DR2 идет под небольшим углом по  $\rho$ . Лучевые скорости в данных Gaia DR2 отсутствуют, в работе (Shakht et al., 2007) и здесь использованы данные *Каталога лучевых скоростей звезд* (Wilson, 1953).

Орбита (Норманн, 1960) с периодом 1200 лет соответствует сумме масс компонентов  $1.5M_{\odot}$ , что не согласуется с их спектральными классами.

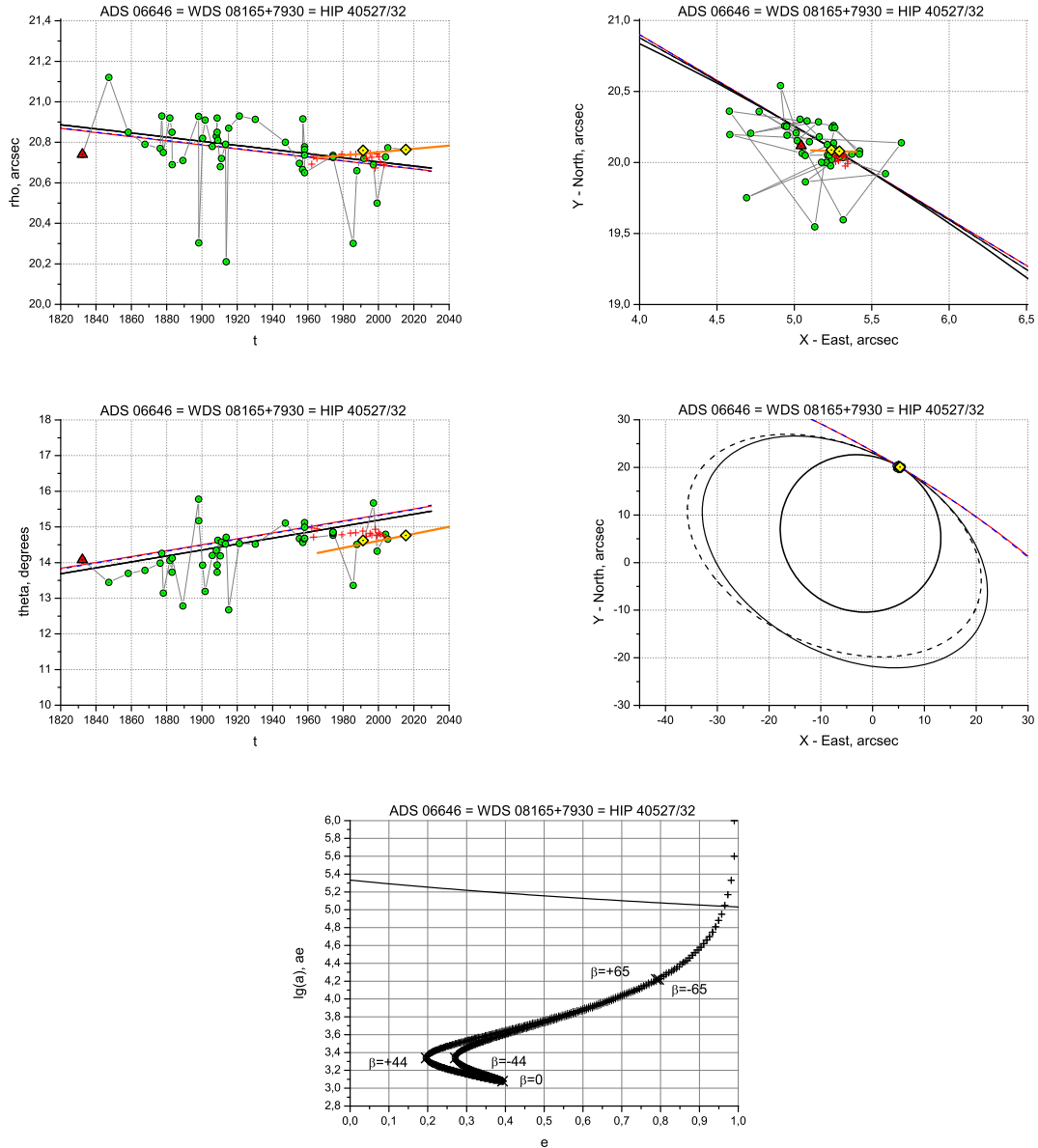


Рис. 18: ADS 06646

## 18 WDS 08165+7930 = ADS 6646 = Hip 40527/32

В этой системе компонент C — оптический по исследованию (Grosheva, 1997), а компонент A — спектрально-двойной (Tokovinin, 1997). С использованием лучевых скоростей Токовинина для АВ получено семейство ПВД-орбит (Киселев et al., 2009a). Здесь мы даем семейство ПВД-орбит с теми же данными, кроме параллакса Gaia DR2 и суммы масс компонентов согласно новой версии MSC (Tokovinin, 2018). Получен минимальный период  $P_{min} \sim 25500$  лет.

Эфемериды всех орбит семейства практически совпадают между собой на всем участке, покрытом наблюдениями (1832-2015 гг.). Направление движения по данным Gaia DR2 плохо согласуется с наблюдениями, что является отражением наличия спутника в этой тройной системе.

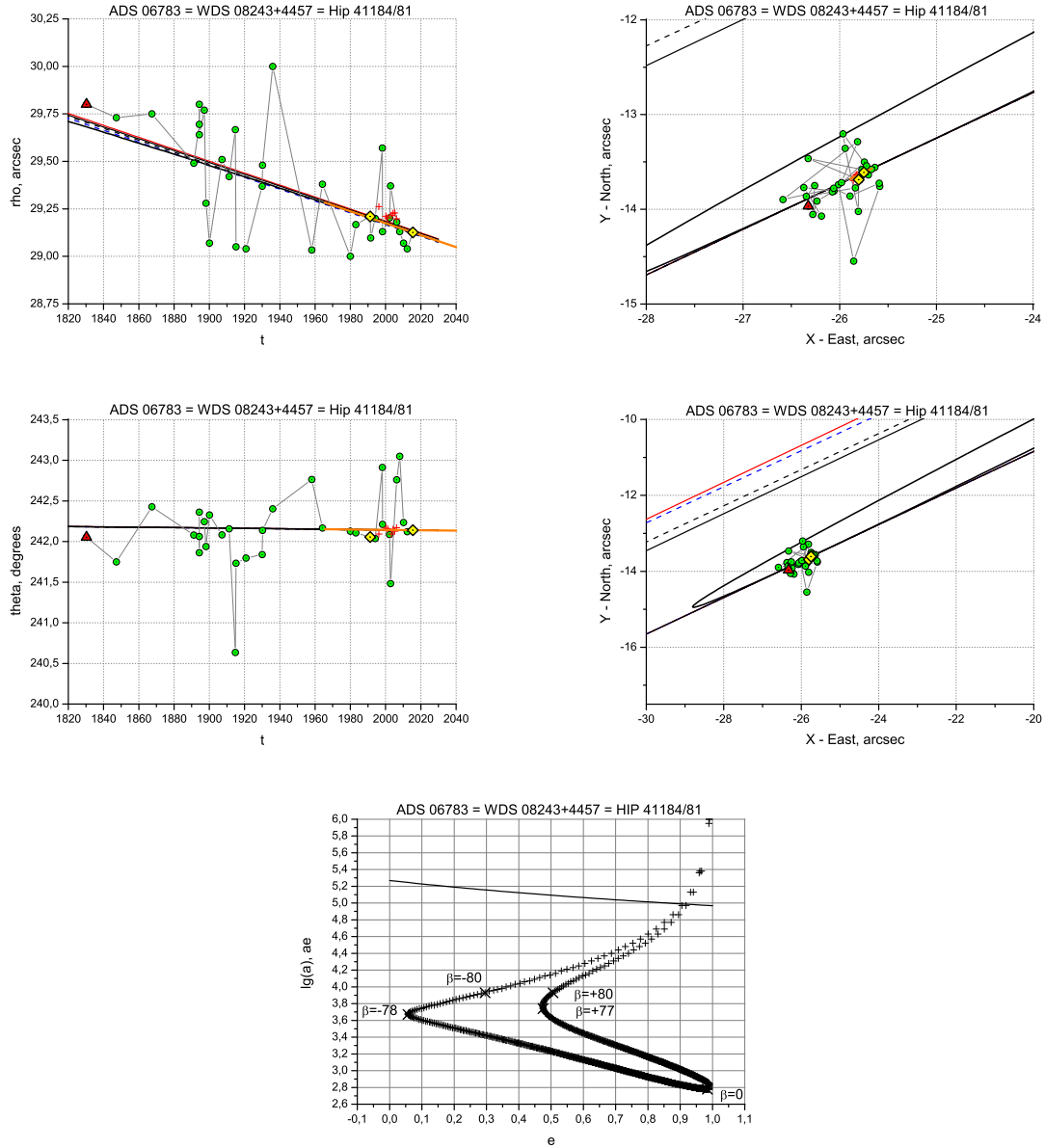


Рис. 19: ADS 06783

## 19 WDS 08243+4457 = ADS 6783 = Hip 41184/81

Ранее получено семейство ПВД-орбит (Киселев et al., 2009a) с использованием лучевых скоростей (Tokovinin, Smekhov, 2002). В этой работе мы взяли данные только по Gaia DR2 (положения, собственные движения, параллаксы, эффективные температуры и лучевые скорости компонентов) и определили новое семейство ПВД-орбит. Они хорошо согласуются с наблюдениями и совпадают на участке (1830-2015 гг.). Минимальный период  $P_{min} \sim 11000$  лет, наклонение всех орбит семейства  $i \sim 90^\circ$ .

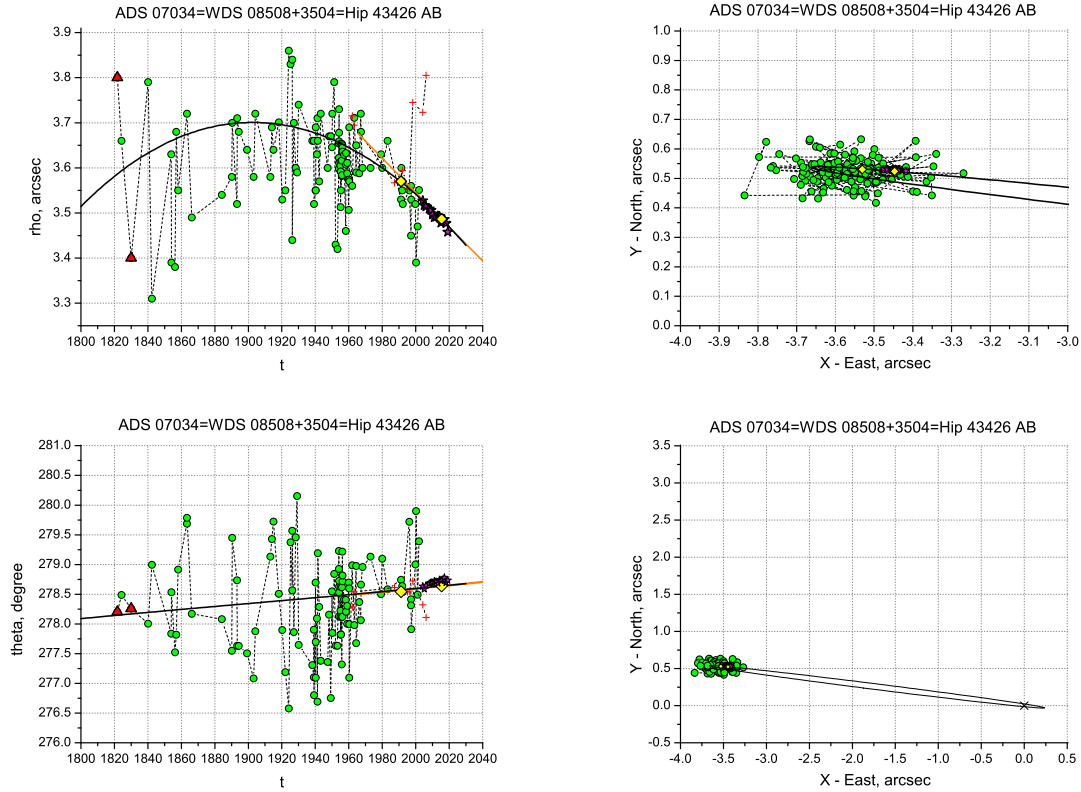
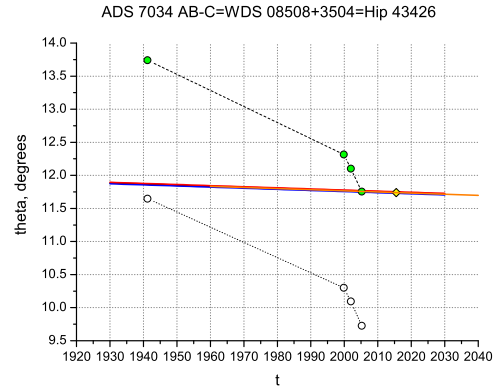
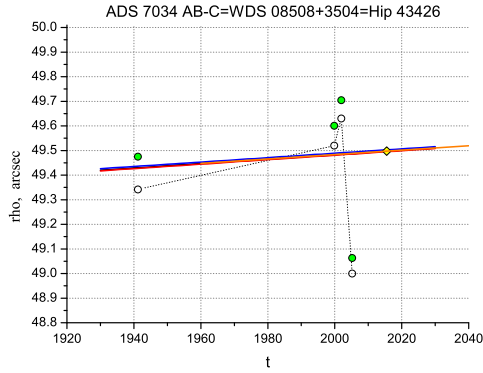


Рис. 20: ADS 07034 AB

## 20 WDS 08508+3504=ADS 7034 AB=Hip 43426

Однозначная орбита внутренней пары AB и семейство орбит внешней пары AB-C получены по данным Gaia DR2, включая параллакс и лучевые скорости всех трех компонентов (Кияева, Романенко, 2020). Массы компонентов оценивались по эффективной температуре.

Для уточнения орбиты внутренней пары использовались сглаженные наблюдения всего ряда. Для этого вычислялись ПВД, полученные по наблюдениям из WDS на интервале 40 лет, а также по однородным рядам пулковских наблюдений на моменты 1990.0 (фото) и 2006 (ПЗС).



## 21 WDS 08508+3504=ADS 7034 AB-C=Hip 43426

Семейство орбит (Кияева, Романенко, 2020) внешней пары ADS 7034 AB-C также получено по данным Gaia DR2. В каталоге WDS всего 5 ненадежных наблюдений удаленного компонента C, поэтому их нельзя использовать для уточнения внешней орбиты AB-C. На графиках наблюдения пары AC без учета внутренней подсистемы обозначены открытыми кружками, после учета орбиты внутренней подсистемы AB — зелеными.

В семейство орбит внешней пары включены решения, расходящиеся с Gaia DR2 не более, чем на 10 мсд. Графики см. также на следующей странице.

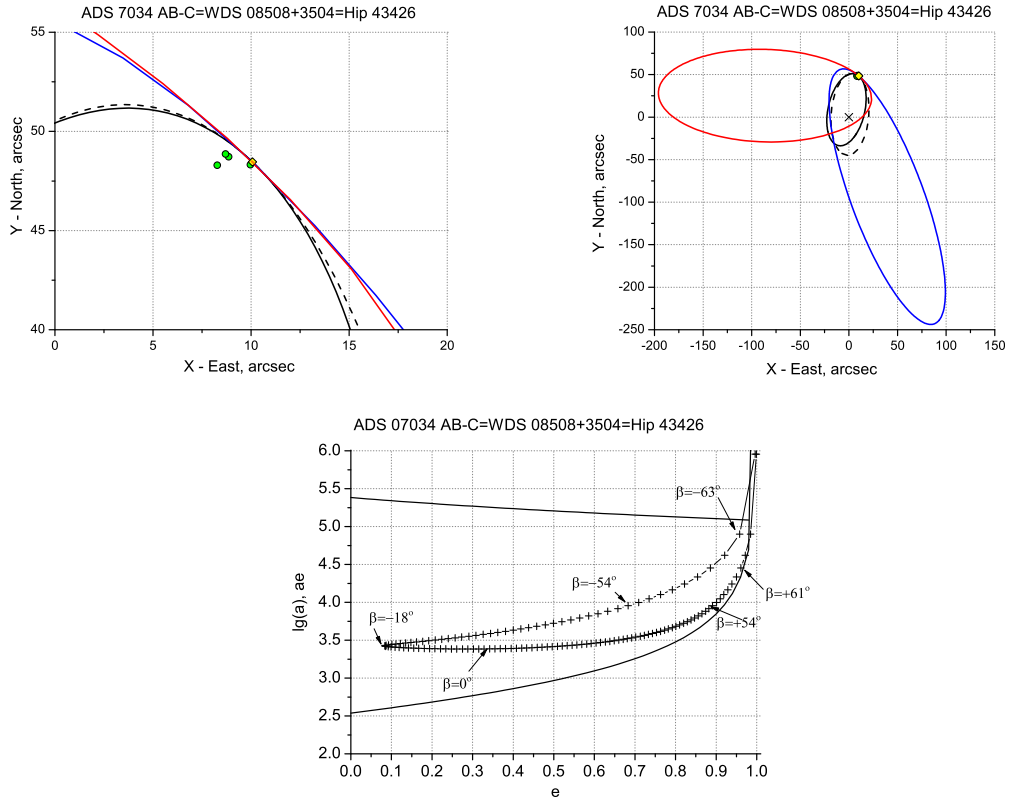


Рис. 21: ADS 07034 AB-C

Пояснения к графикам см. на предыдущей странице.



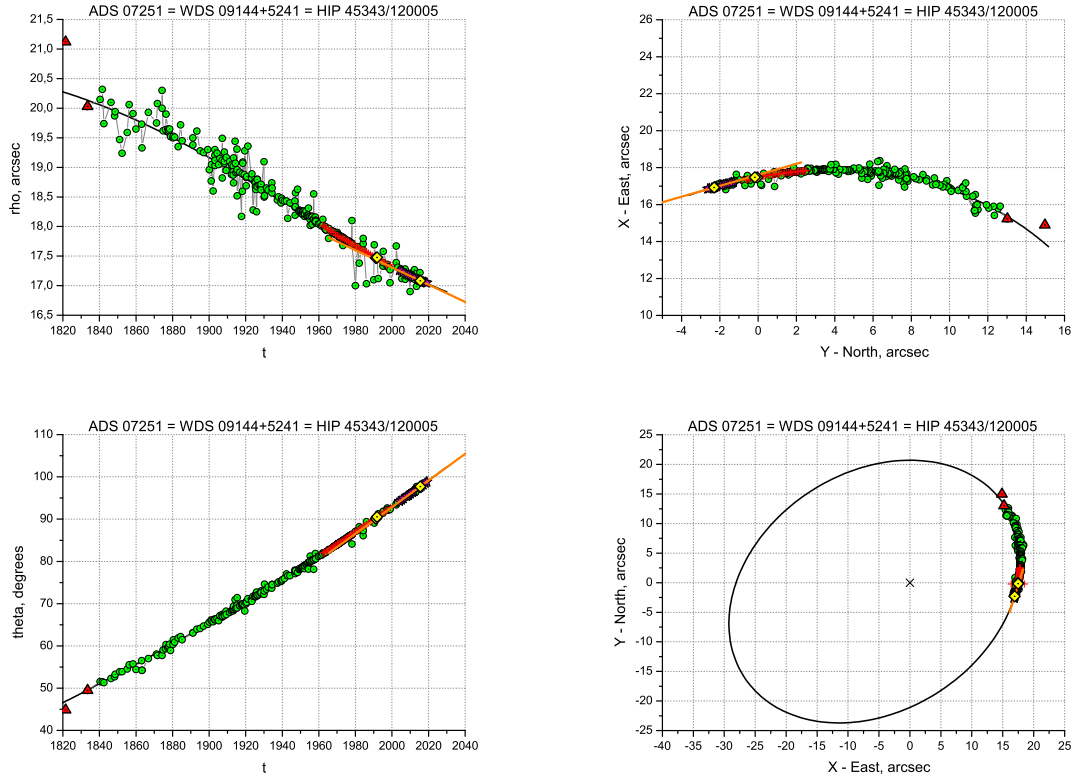


Рис. 22: ADS 07251

## 22 WDS 09144+5241 = ADS 7251 = Hip 45343/120005

Ранее методом ПВД были определены элементы орбиты и произведена оценка масс компонентов (Shakht et al., 2010). В настоящей работе дана орбита (Shakht et al., 2020) этой звезды, вычисленная по объединенному ряду пулковских фотографических и ПЗС-наблюдений с учетом суммы масс компонентов  $1.10M_{\odot}$  согласно (Shakht et al., 2010), данных о параллаксе (Gaia Collaboration et al., 2018) и лучевой скорости из статьи (Nidever et al., 2002).

Направление движения по данным Gaia DR2 идет по касательной и не противоречит ни наблюдениям, ни эфемеридам. Орбита (Chang, 1972) с периодом 975 лет не согласуется с современными наблюдениями.

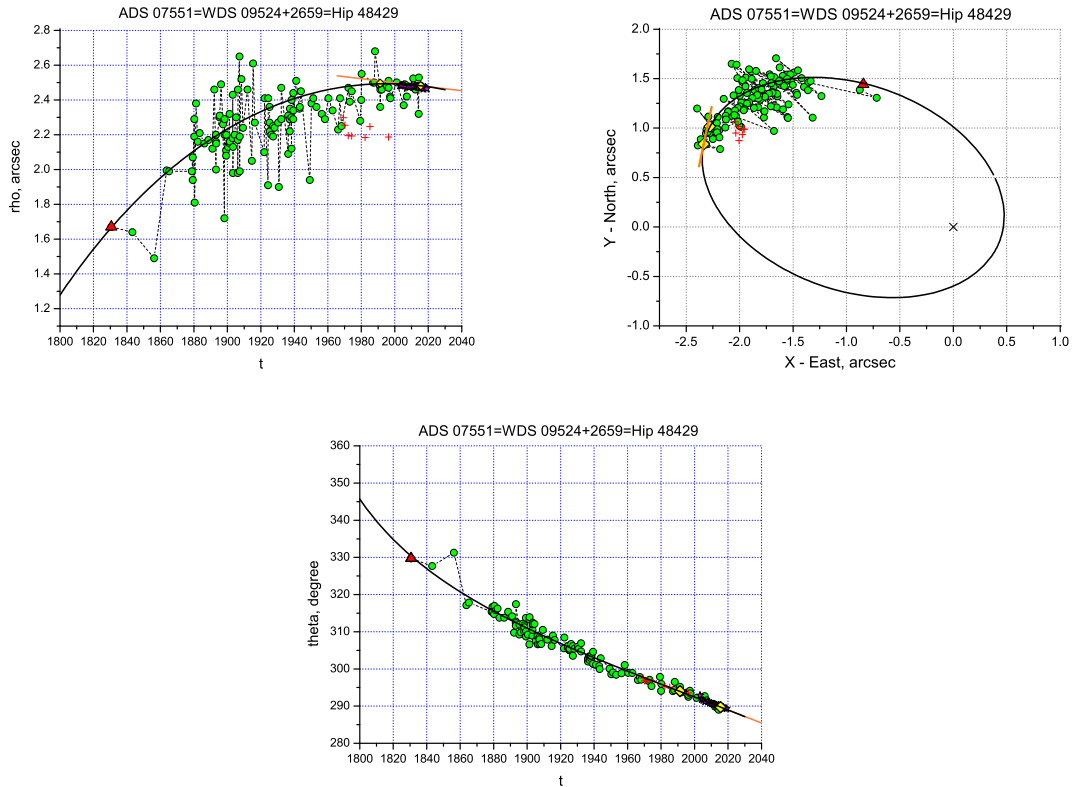


Рис. 23: ADS 07551

## 23 WDS 09524+2659=ADS 7551=Hip 48429

Предыдущая орбита этой звезды (Кияева et al., 2017) была получена согласно ПВД на средний момент 1939 год, но она не удовлетворяла короткому ряду наблюдений ПЗС и полученной специально для вычисления ПВД-орбиты лучевой скорости, поэтому было сделано предположение о невидимом спутнике.

Наблюдения Gaia DR2 хорошо согласуются с нашими ПЗС наблюдениями, но более точные. Получена новая орбита по данным Gaia DR2, включая параллакс и лучевые скорости. Принята ожидаемая масса  $1.8M_{\odot}$  из статьи (Tokovinin, Kiyeva, 2016). Орбита хорошо удовлетворяет всем наблюдениям. В настоящее время у нас нет оснований подозревать дополнительный спутник.

Пара тесная ( $\rho = 2.4''$ ), и этим объясняется систематическое отклонение фотографических наблюдений на 26-дюймовом рефракторе от общего ряда.

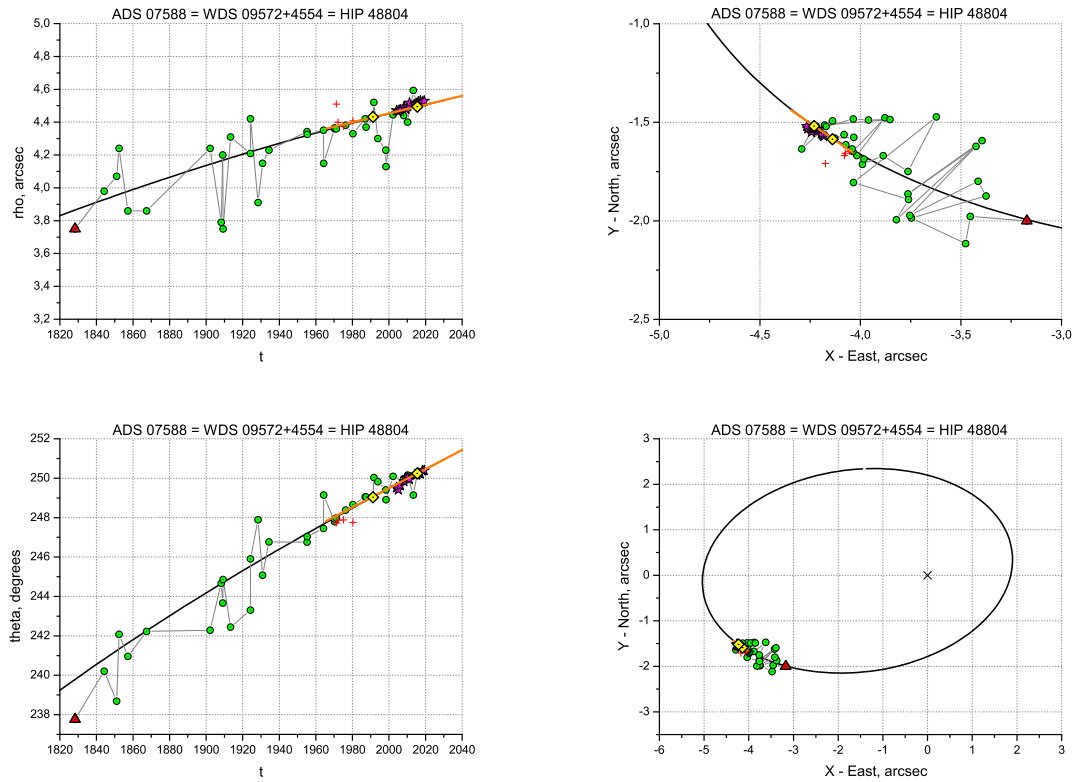


Рис. 24: ADS 07588

## 24 WDS 09572+4554 = ADS 7588 = Hip 48804

Направление движения по данным Gaia DR2 не противоречит наблюдениям. В настоящей работе мы приводим первую орбиту этой пары, полученную нами в статье (Кияева, Романенко, 2020) только по данным (Gaia Collaboration et al., 2018) (положения, собственные движения, параллаксы, эффективная температура и лучевые скорости компонентов), которая хорошо согласуется с наблюдениями на всем участке (1828-2019 гг.).

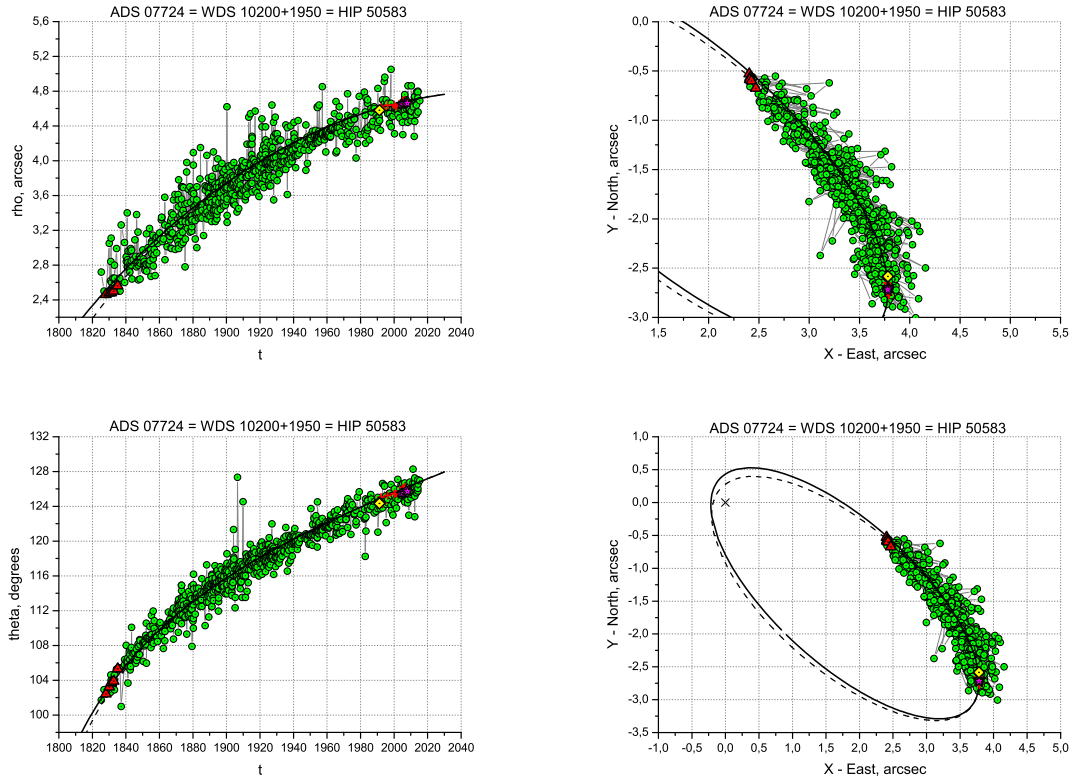


Рис. 25: ADS 07724

## 25 WDS 10200+1950 = ADS 7724 = Hip 50583 (gamma Leo)

В нашей статье (Романенко, Киселев, 2014) методом ПВД получено два варианта орбиты ( $\beta = +38^\circ$  и  $\beta = -38^\circ$ ) с периодом 553 года, соответствующие сумме масс компонентов  $5.5M_\odot$  согласно соотношению “масса–светимость”. Использованы лучевые скорости из статьи (Tokovinin, Smekhov, 2002) и параллакс Гиппаркос (van Leeuwen, 2007). Орбита (Mason et al., 2006) с похожим периодом (510 лет) соответствует массе  $16.66M_\odot$ , но никаких данных в пользу превышения массы от нормальной мы не нашли.

В каталоге Gaia DR2 данные об этой звезде отсутствуют, так как компоненты слишком яркие (2-ой и 3-ей зв. вел.), а пара слишком тесная ( $\rho \sim 5''$ ). Поэтому в настоящей работе мы приводим обе орбиты 2014 года, эфемериды которых совпадают на всем наблюдаемом участке и хорошо согласуются со всеми наблюдениями, включая 26 более поздних за 2010–2015 гг. и наши ПЗС.

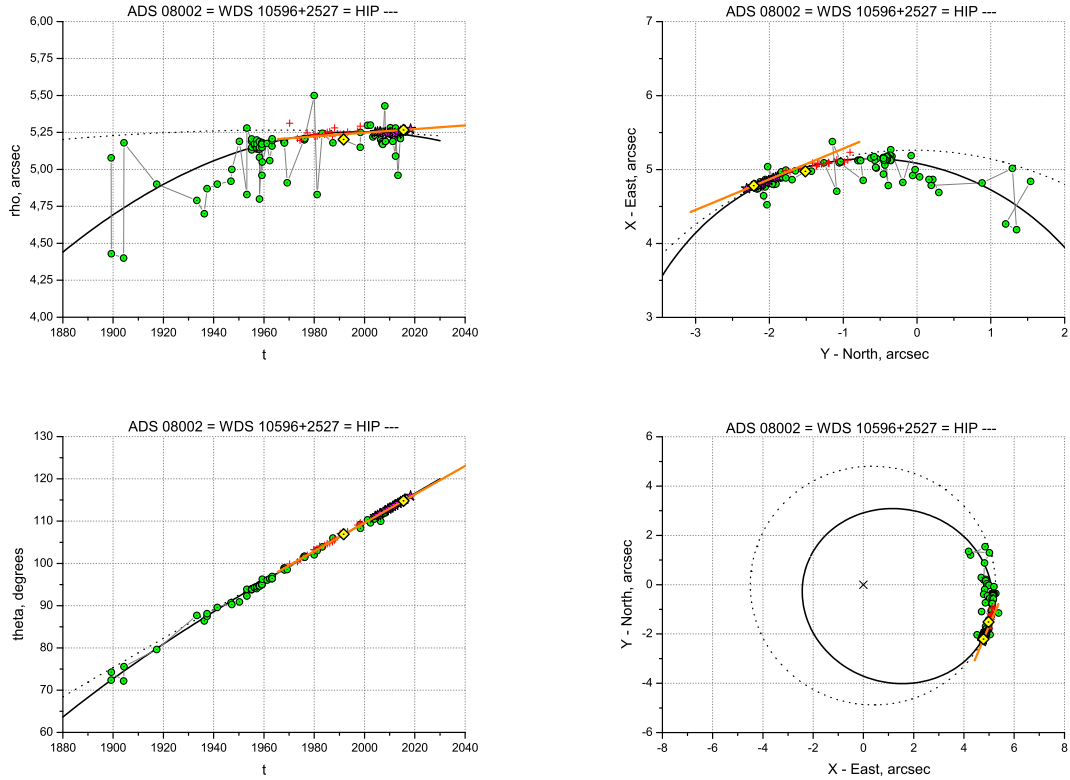


Рис. 26: ADS 08002

## 26 WDS 10596+2527 = ADS 8002

По наблюдениям на нашем телескопе был получен тригонометрический параллакс и методом ПВД были вычислены две орбиты (Киселев et al., 2000) с использованием лучевых скоростей из работы (Токовинин, 1994). В данных (Gaia Collaboration et al., 2018) лучевая скорость для компонента В отсутствует.

Здесь мы приводим новый результат (Романенко, 2018) — однозначную орбиту, полученную по базису объединенного ряда пулковских фотографических и ПЗС-наблюдений. Используются те же лучевые скорости из работы Токовинина и параллакс Gaia DR2. Определена минимально-возможная сумма масс компонентов, равная  $2.07M_{\odot}$ , превышающая номинальную ( $1.4M_{\odot}$ ). Эфемериды ПВД-орбиты, соответствующая последней (на графике — пунктир), не согласуется с наблюдениями. Направление движения по данным Gaia DR2 идет по касательной и не противоречит ни наблюдениям, ни эфемеридам, соответствующим  $2.07M_{\odot}$ .

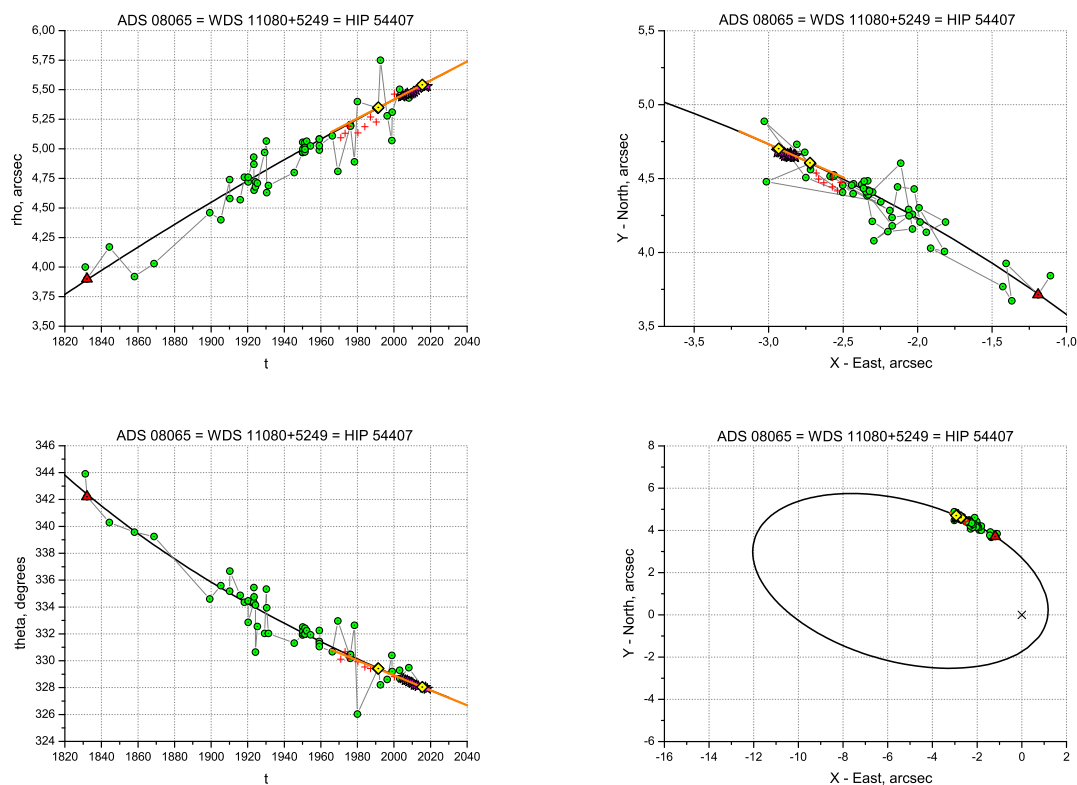


Рис. 27: ADS 08065

## 27 WDS 11080+5249 = ADS 8065 = Hip 54407

Ранее получены лучевые скорости компонентов и две ПВД-орбиты (Киселев et al., 2012) с параллаксом Гиппаркос (van Leeuwen, 2007) и суммой масс компонентов  $2.0M_{\odot}$  согласно соотношению “масса–светимость”. В настоящей работе мы приводим однозначную орбиту этой пары, полученную нами в этом году только по данным (Gaia Collaboration et al., 2018) (положения, собственные движения, параллаксы, эффективные температуры и лучевые скорости компонентов). Орбита хорошо согласуется с наблюдениями на всем участке (1831–2018 гг.).

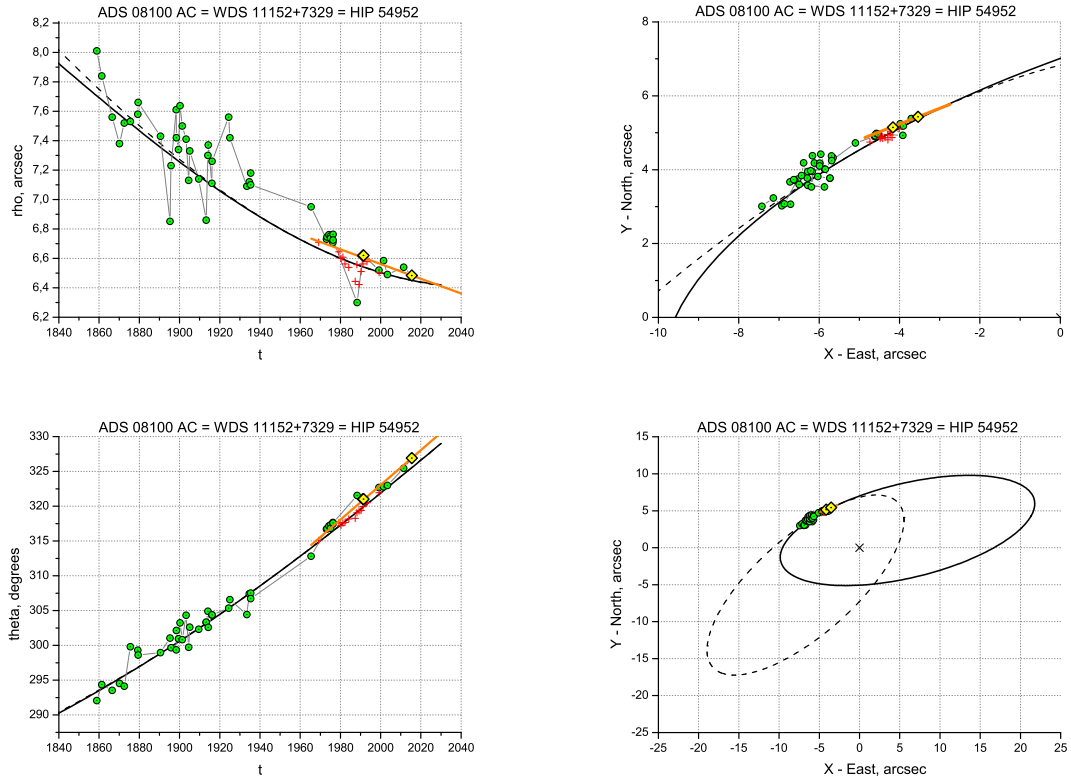


Рис. 28: ADS 08100 AC

## 28 WDS 11152+7329 = ADS 8100 AC = Hip 54952/76

Компонент В — оптический по лучевым скоростям (Токовинин, 1994) и по собственным движениям WDS (Mason et al., 2016). Методом ПВД получены две представленные здесь орбиты пары AC (Грошева (2006), период 3800 лет) с параллаксом Гиппаркос (ESA SP-1200, 1997) и суммой масс компонентов  $1.0M_{\odot}$ .

Направление движения по данным Gaia DR2 идет по касательной и не противоречит ни наблюдениям, ни эфемеридам. Но есть систематическая разность с пулковскими фотографическими наблюдениями, в которых обнаружены возмущения с периодом 14 лет (Грошева, 2006). Лучевые скорости в данных Gaia DR2 отсутствуют, в работе 2006 года использована подобранная величина.

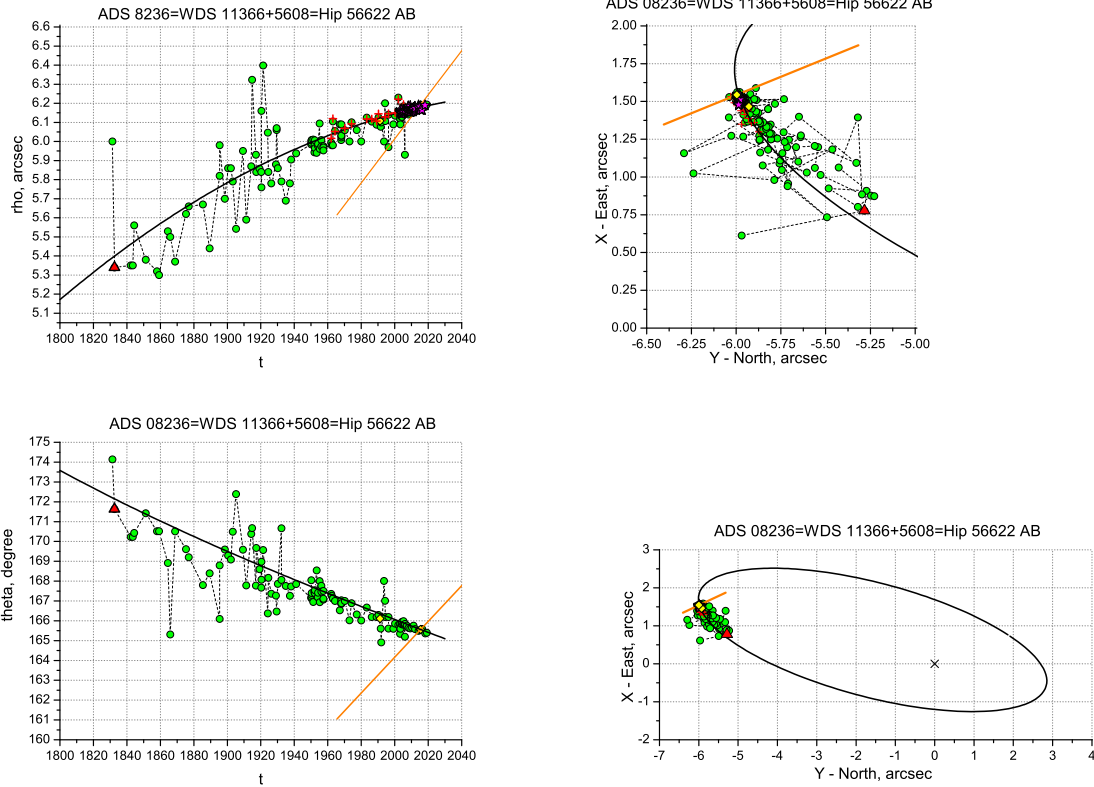


Рис. 29: ADS 08236

## 29 WDS 11366+5608=ADS 8236 A-Bb=Hip 56622

Имеется спутник компонента В с периодом 4.6 лет (Tokovinin, 1999), который является причиной расхождения в движении Gaia DR2 на момент 2015.5. Используя элементы спектроскопической орбиты (P,T и e), по невязкам пулковских ПЗС-наблюдений 2003–2018 гг. доопределена орбита фотоцентра. После ее учета ПВД-орбита получена на основе ПЗС-наблюдений (Киева, Измайлов, 2018). Использованы лучевые скорости из статьи (Tokovinin, 1999), параллакс из каталога Hipparcos (van Leeuwen, 2007) и массы компонентов из MSC (Tokovinin, 2018).



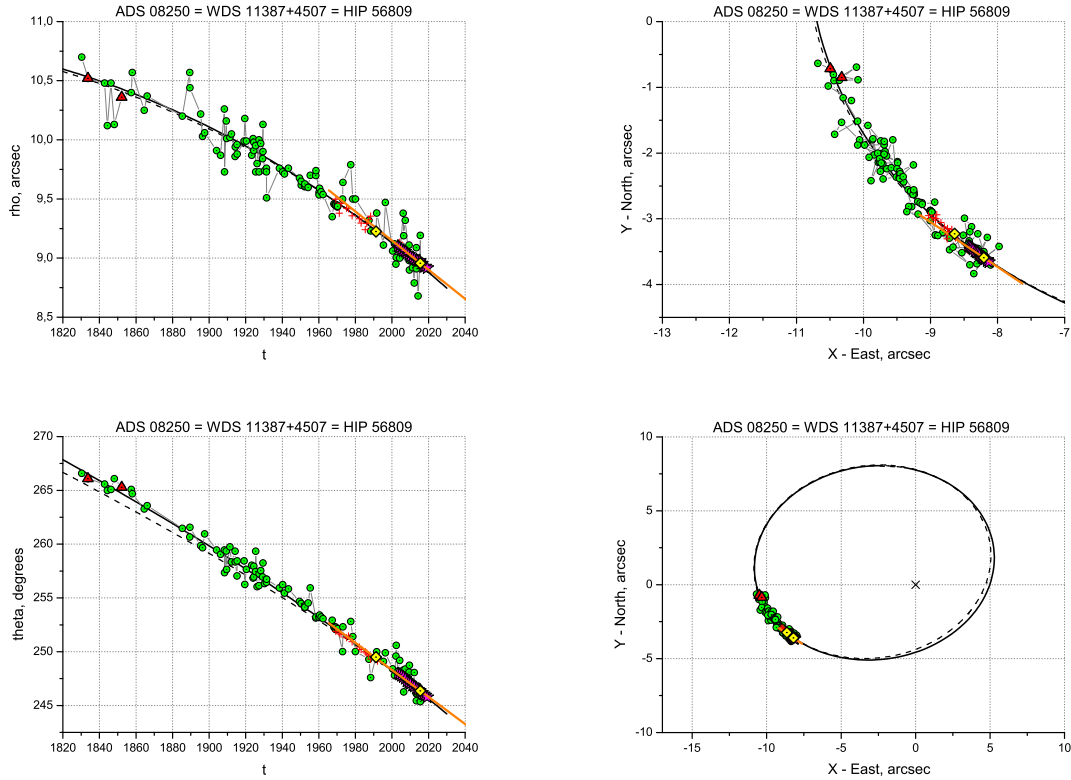


Рис. 30: ADS 08250

### 30 WDS 11387+4507 = ADS 8250 = Hip 56809

Компонент В — известная спектроскопическая двойная (Duquennoy, Mayor, 1991). Ранее определены две орбиты методом ПВД (Киселев et al., 2009b). Лучевая скорость для компонента В в данных Gaia DR2 имеет ошибку более 3 км/с и не применима.

В настоящей работе мы приводим результат (Романенко, 2018), полученный по базису объединенного ряда пулковских фотографических и ПЗС-наблюдений. Использованы те же лучевые скорости 1991 г. и только параллакс Gaia DR2. Определена сумма масс компонентов, равная  $2.5M_{\odot}$ , превышающая ожидаемую по спектральным классам с учетом массы спектрального спутника ( $2.2M_{\odot}$ ).

Направление движения по данным Gaia DR2 идет по касательной и не противоречит ни наблюдениям, ни эфемеридам. ПВД-орбита, полученная нами по базису Gaia DR2 и тем же лучевым скоростям (Duquennoy, Mayor, 1991), практически совпадает с представленной выше. Орбита по Gaia DR2 соответствует сумме масс  $2.3M_{\odot}$ , но хуже согласуется с наблюдениями по позиционному углу (на графике — пунктир). Орбита Hale (1994) хорошо описывает наблюденную дугу и соответствует сумме масс  $3.3M_{\odot}$  (избыток).

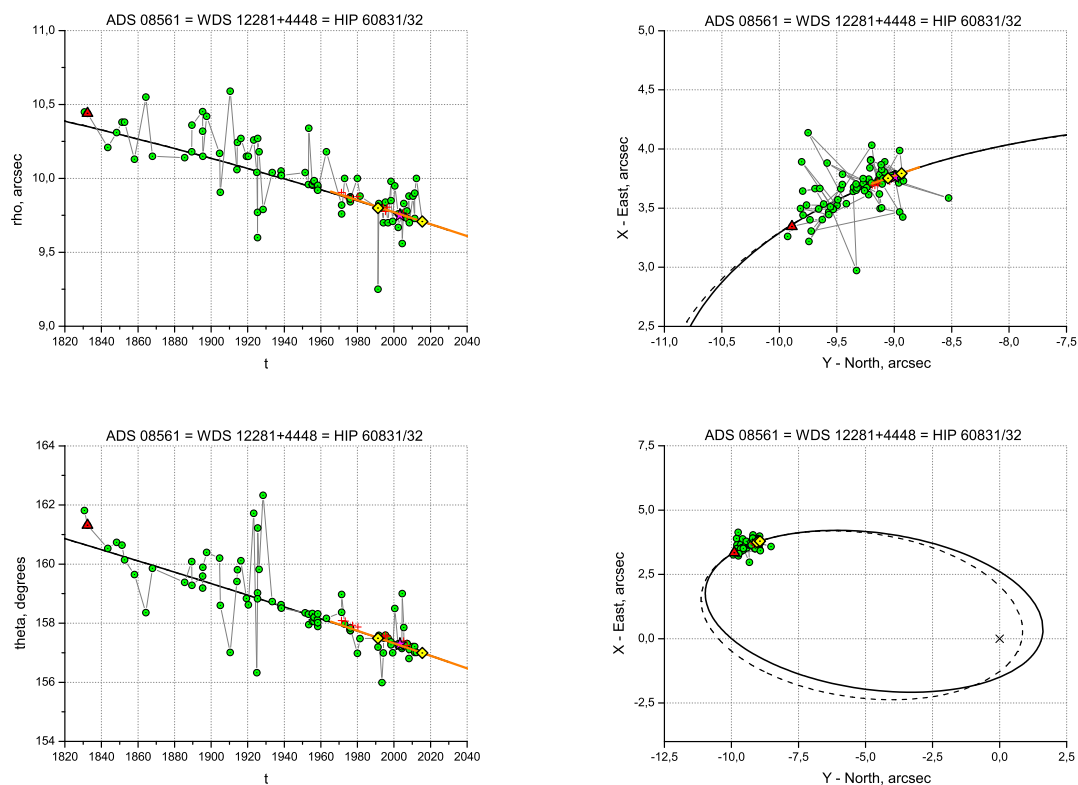


Рис. 31: ADS 08561

### 31 WDS 12281+4448 = ADS 8561 = Hip 60831/32

Направление движения по данным Gaia DR2 не противоречит наблюдениям этой звезды. В настоящей работе мы приводим две первых орбиты этой пары, полученные нами в статье (Кияева, Романенко, 2020) только по данным Gaia DR2 (положения, собственные движения, параллаксы, эффективная температура и лучевые скорости компонентов). Обе эфемериды совпадают на всем участке (1830–2015 гг.) и хорошо согласуются с наблюдениями.

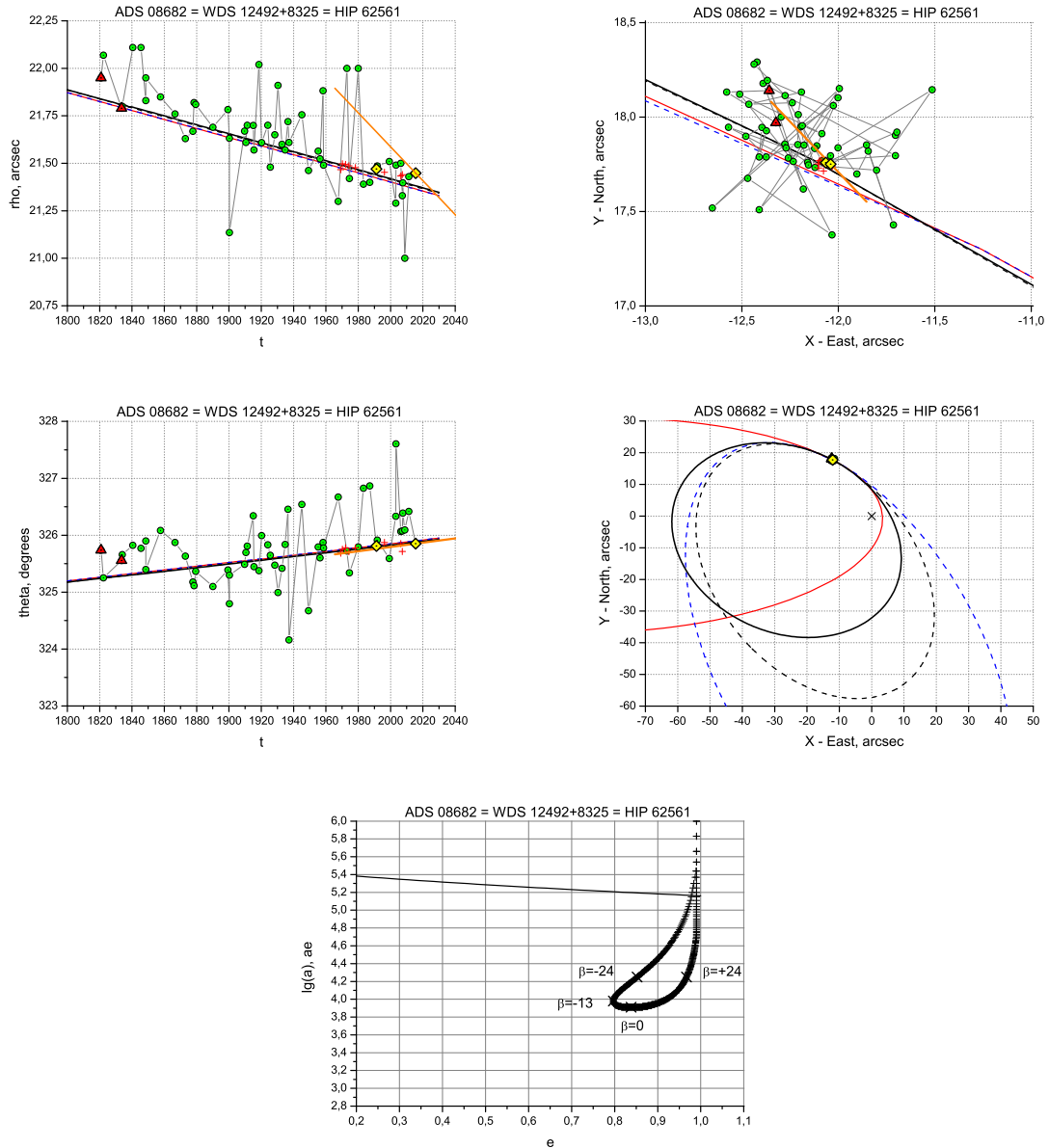


Рис. 32: ADS 08682

### 32 WDS 12492+8325 = ADS 8682 = Hip 62561

В работе (Грошева, 2006) методом ПВД определено семейство орбит. Здесь мы даем семейство ПВД-орбит с использованием параллакса Gaia DR2, тех же параметров видимого движения и лучевых скоростей из статьи (Грошева, 2006) и суммы масс компонентов согласно новой версии каталога MSC (Tokovinin, 2018). Минимальный период  $P_{min} \sim 250000$  лет. Эфемериды всех орбит семейства практически совпадают между собой на всем участке, покрытом наблюдениями (1820–2015 гг.).

Направление движения по данным Gaia DR2 плохо согласуется с наблюдениями по  $\rho$ , что является отражением наличия спутника в этой системе (известно, что компонент В является спектрально-двойной звездой с периодом  $\sim 3.28$  дня, Plaskett (1926)).

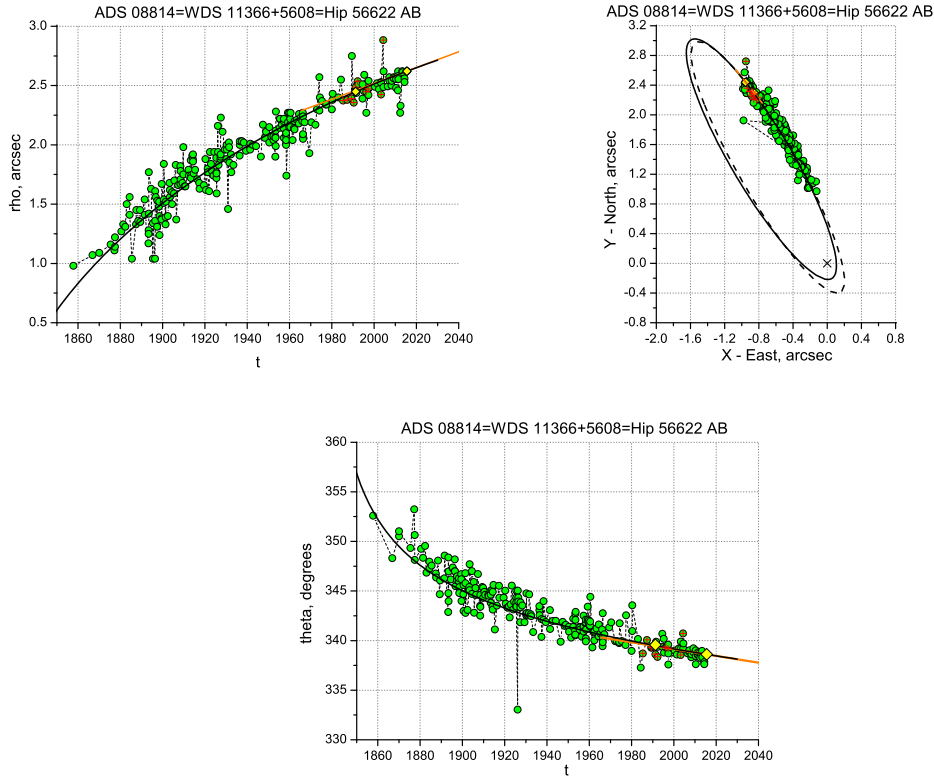


Рис. 33: ADS 08814

### 33 WDS 13120+3205=ADS 8814=Hip 64405

Первая орбита (Киселев et al., 2012) была получена с ПВД на эпоху 1925.0 и была улучшена по программе ORBITX (Tokovinin, 1992). Ее эфемерида относительного движения на эпоху 2015.5 несколько отличается от движения Gaia DR2. Лучевые скорости были опубликованы в той же работе 2012 г. на среднюю эпоху 2006.0. Согласно этим наблюдениям рассматривался вопрос о возможном спутнике у компонента A.

В Gaia DR2 лучевые скорости отсутствуют. Наших ПЗС-наблюдений нет. В настоящей работе получены два решения ( $\beta = \pm 7^\circ$ ) на основе ПВД и параллакса Gaia DR2, использована масса согласно (Girardi et al., 2000) и лучевая скорость из работы (Киселев et al., 2012). Новые орбиты уверенно согласуются со всеми наблюдениями. В настоящее время у нас нет оснований подозревать дополнительный спутник, который может повлиять на результат.

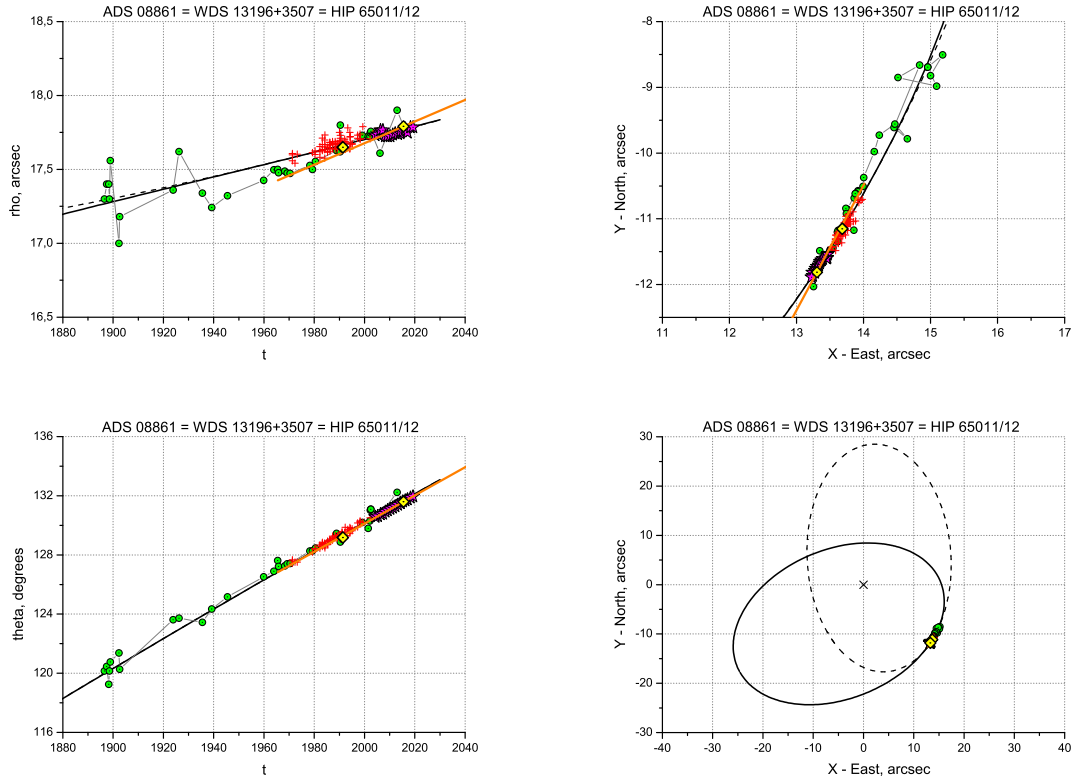


Рис. 34: ADS 08861

### 34 WDS 13196+3507 = ADS 8861 = Hip 65011

Яркий компонент А — известная спектрально-двойная звезда (Токвинин, 1997). Ввиду недостаточной яркости компонента В, относительную лучевую скорость определить не удалось. В 2000 г. значение  $\Delta V_r$  было подобрано таким образом, чтобы полученная ПВД-орбита проходила через самые далекие наблюдения начала XX-го века. Получено два варианта орбиты (Киселев et al., 2000) при сумме масс компонентов  $2.0M_{\odot}$ , что на  $0.7M_{\odot}$  превышает оценку Токвинина в каталоге MSC. Использован параллакс Гиппаркос (ESA SP-1200, 1997). Обе эфемериды практически совпадают между собой на всем участке, покрытом наблюдениями (1896-2019 гг.) и соответствует им.

Направление движения по данным Gaia DR2 идет под небольшим углом к наблюдениям по  $\rho$ , что является отражением наличия спутника в этой системе. Необходимо продолжение плотного ряда ПЗС-наблюдений, так как возможно наличие возмущений. Лучевые скорости в данных Gaia DR2 отсутствуют.

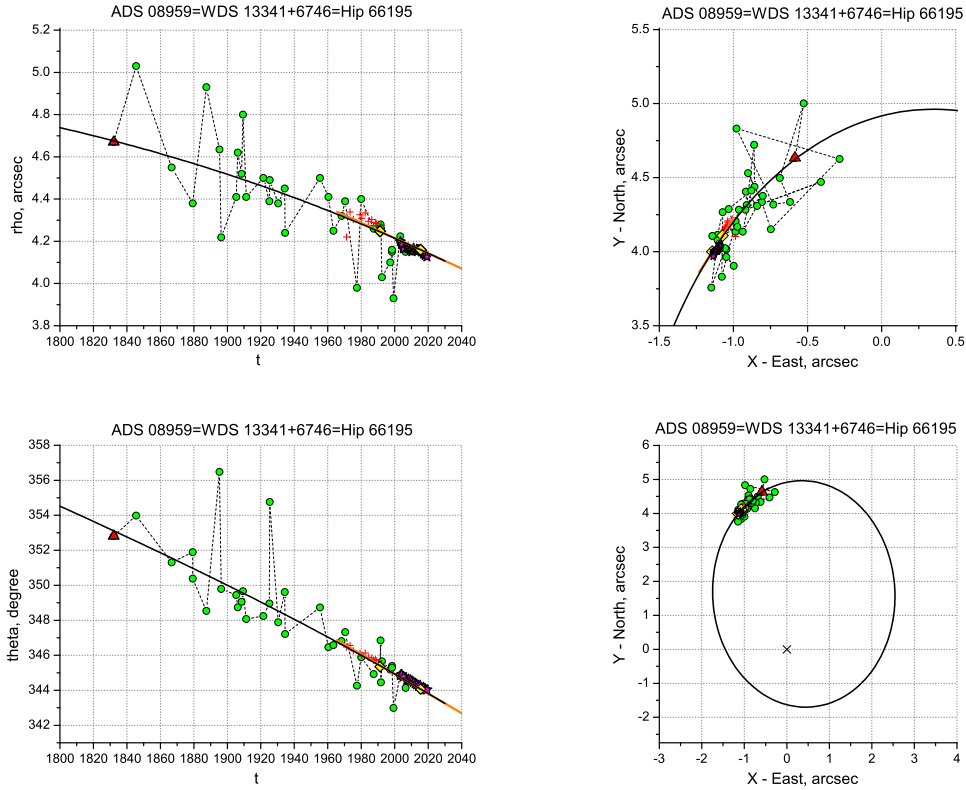


Рис. 35: ADS 08959

### 35 WDS 13341+6746=ADS 8959=Hip 66195

Ранее нами определены две орбиты (Кияева et al., 2017) на основе ПВД, которые были получены на момент 2000.0 по объединенному ряду фотографических и ПЗС-наблюдений. Мы использовали параллакс из каталога Hipparcos ( $14.4 \pm 1.1$  мсд, van Leeuwen (2007)).

Параллакс Gaia DR2 ( $13.27 \pm 0.04$  мсд) гораздо точнее. Кроме того, в Gaia DR2 есть лучевые скорости обеих звезд. В данную работу мы включаем новый результат, опирающийся на данные Gaia DR2 на момент 2015.5. Орбита получается однозначно и хорошо согласуется со всем рядом наблюдений. Кроме того, по согласию с наблюдениями уверенно определяется масса системы, которая не противоречит астрофизическим данным ( $2.5 \pm 0.1 M_{\odot}$ ).

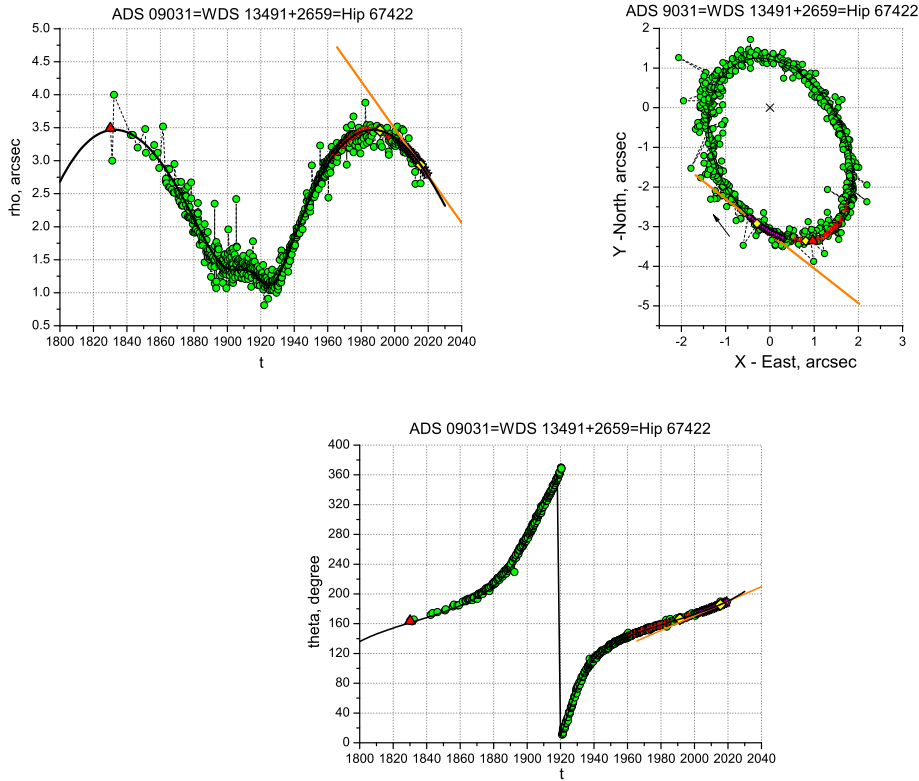


Рис. 36: ADS 09031

### 36 WDS 13491+2659=ADS 9031=Hip 67422

Орбитальный период данной звезды примерно 155 лет, в настоящее время наблюдения охватывают полный оборот. Ее орбита определялась неоднократно (см., например, Strand (1955), Измайлов (2019)).

В данную работу вошла орбита, полученная на основе положений, собственных движений и параллакса из каталога Gaia DR2. Лучевые скорости компонентов в каталоге Gaia DR2 отсутствуют. Относительная лучевая скорость и сумма масс подобраны по согласию со всеми наблюдениями. Замечательно то, что орбита, вычисленная по данным на один момент времени, идеально согласуется с наблюдениями, охватывающими весь орбитальный период.

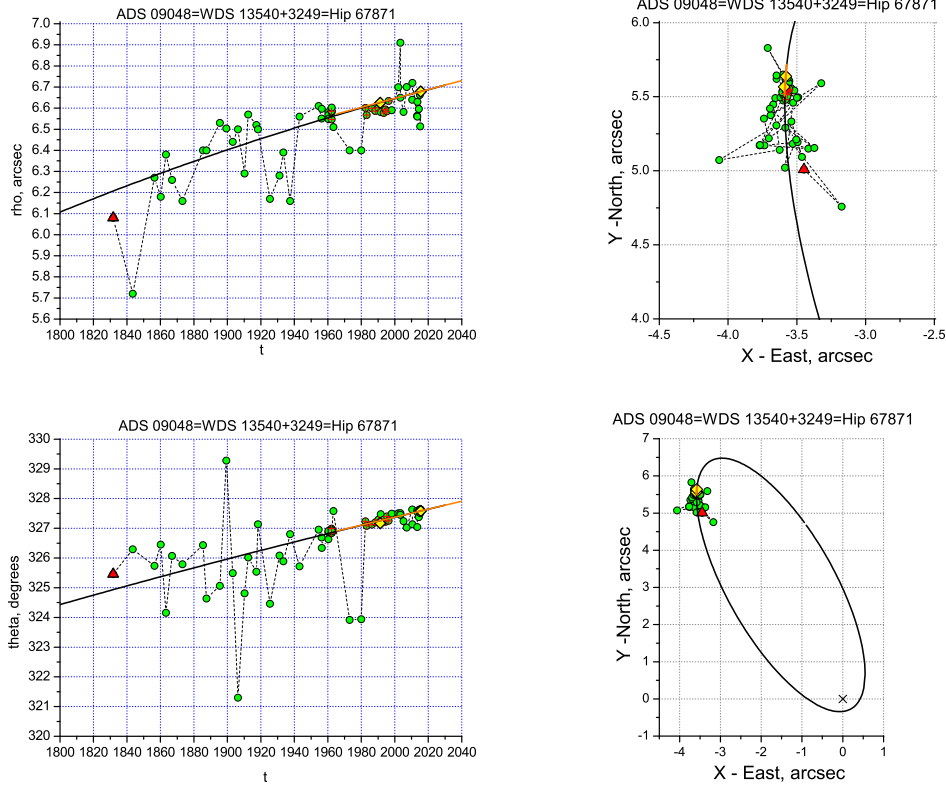


Рис. 37: ADS 09048

### 37 WDS 13540+3249=ADS 9048=Hip 67871

Обнаружена систематическая разность между Gaia DR2 и пулковскими фотографическими наблюдениями:  $\Delta\rho = +0.028''$ . Наши ПЗС-наблюдений нет. Представленная орбита получена на основе данных Gaia DR2. Для выбора правильного решения используются наблюдения до 1960 г., наблюдение Hipparcos и вычисленные ПВД по однородному ряду фотографических наблюдений на эпоху 1990.0 после учета поправки.

Формально лучшее решение соответствует суммарной массе  $3.1 M_{\odot}$ , но преимущество незначительное, поэтому мы приводим решение с ожидаемой массой  $2.25 M_{\odot}$ . Направление движения согласно Gaia DR2 не противоречит наблюдениям. Подробности — в работе (Кияева, Романенко, 2020).



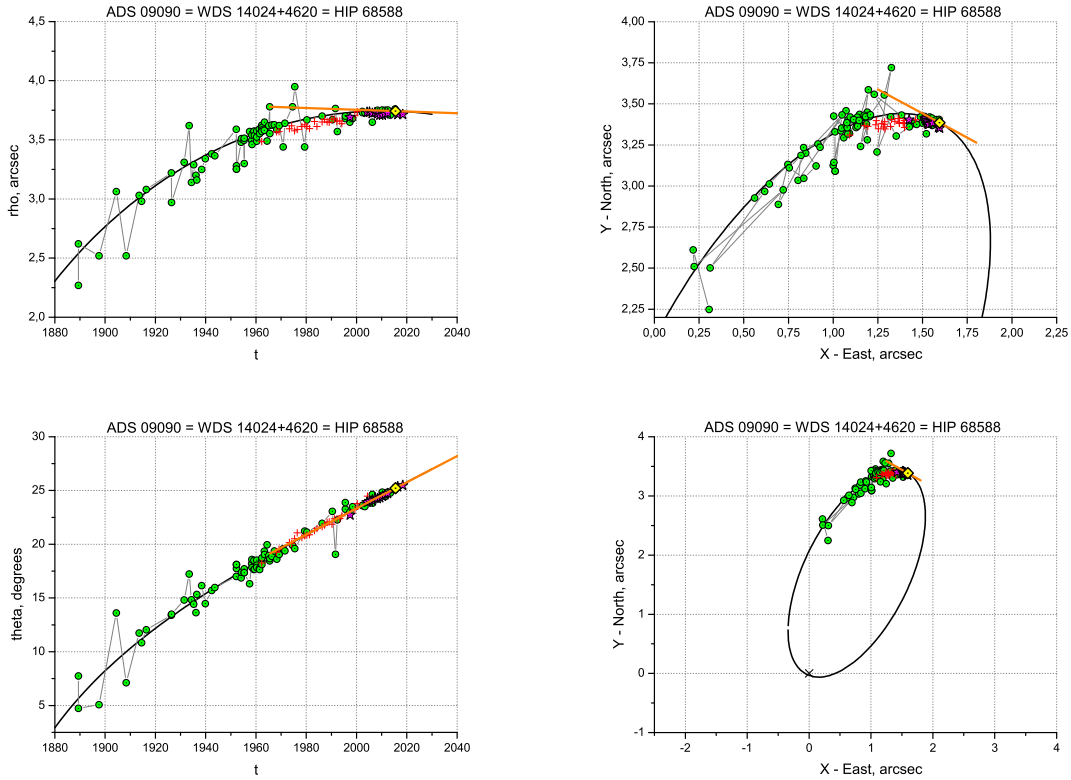


Рис. 38: ADS 09090

### 38 WDS 14024+4620 = ADS 9090 = Hip 68588

Это слабая, тесная пара с разделением  $\sim 3.5''$  на пределе возможности фотографических наблюдений. Ранее были получены две ПВД-орбиты с большим эксцентриситетом  $\approx 0.98$  (Киселев et al., 2000). Были использованы тригонометрический параллакс из каталога (van Altena et al., 1991) и лучевые скорости Токовина (частное сообщение). Направление движения по данным Gaia DR2 идет по касательной и не противоречит наблюдениям, но отсутствует лучевая скорость компонента В.

В настоящей работе мы приводим однозначную орбиту этой пары, полученную нами в этом году по данным Gaia DR2 (положения, собственные движения, параллаксы и эффективная температура) с относительной лучевой скоростью из статьи (Tokovinin, Smekhov, 2002), исправленной за орбитальное движение. Определены период 342 года и сумма масс компонентов  $1.2M_{\odot}$ .

Орбита (Seymour et al., 2002) с периодом 455 лет соответствует сумме масс компонентов  $0.11M_{\odot}$ , что не согласуется с зависимостью “масса–светимость”.

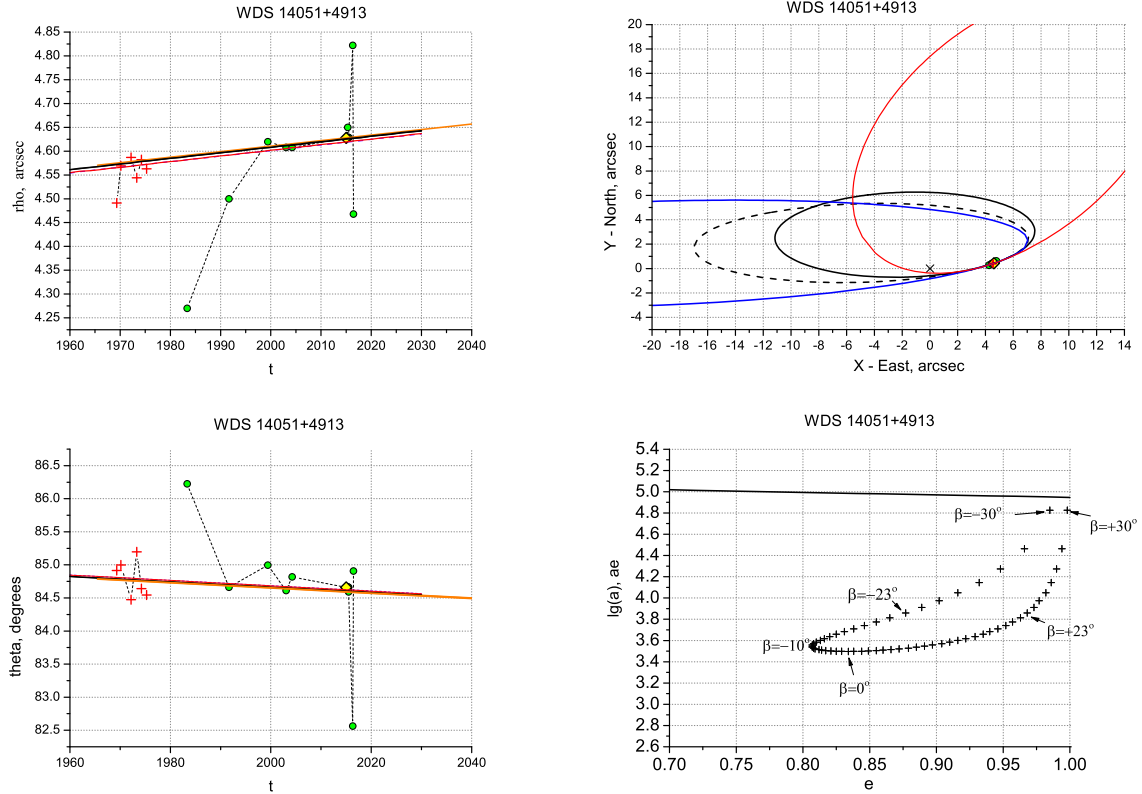


Рис. 39: WDS 14131+4913

### 39 WDS 14051+4913

Это самая далекая звезда из всех исследованных нами в данной работе. Эту пару очень мало наблюдали, но она интересна тем, что ее относительное движение, полученное по Gaia DR2, хорошо согласуется с фотографическими наблюдениями на пулковском 26-дюймовом рефракторе.

По данным Gaia DR2 (ПВД, параллакс, относительная лучевая скорость) получено семейство орбит. Массы компонентов оценивались по эффективной температуре. Все орбиты семейства имеют эксцентриситет больше 0.8. Подробности — в работе (Кияева, Романенко, 2020).

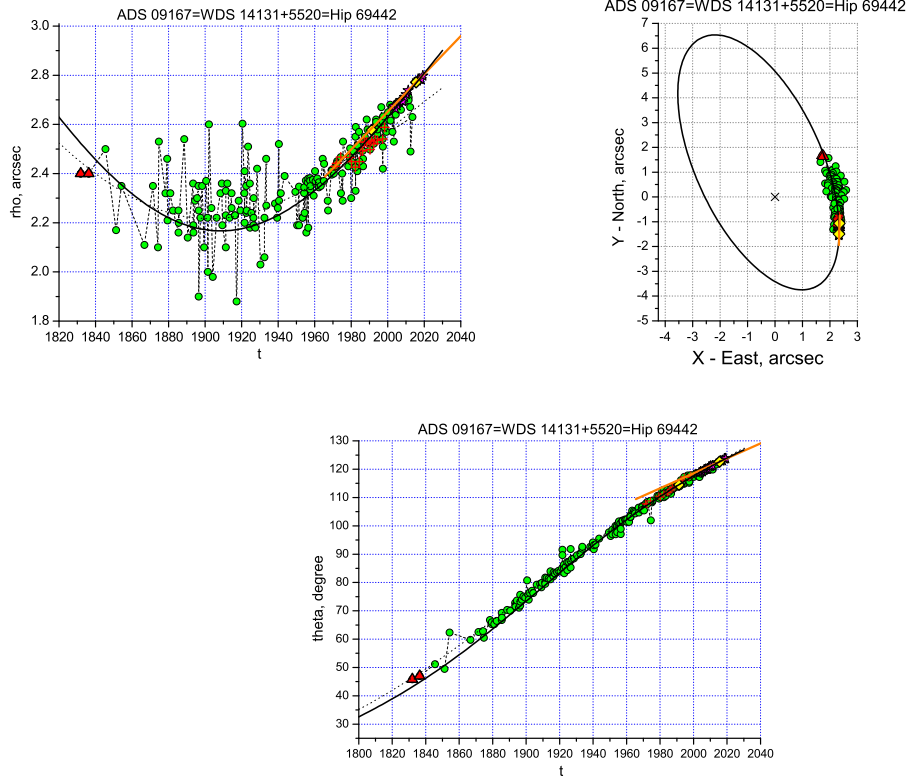


Рис. 40: ADS 09167

## 40 WDS 14131+5520=ADS 9167=Hip 69442

На основе фотографических и спектроскопических наблюдений в работе (Кияева et al., 1998) было исследовано движение в тройной системе, получены внутренняя и внешняя орбиты. Внутренняя спектроскопическая орбита спутника у компонента А с периодом 2.87 года определена по наблюдениям лучевой скорости. Внешняя орбита была получена с ПВД на эпоху 1984.0 и требует уточнения, так как существенно расходится с последними наблюдениями по  $\rho$  (на графике она обозначена пунктиром). Несмотря на то, что у компонента А есть спутник, который не проявлялся в фотографических, но проявляется в ПЗС-наблюдениях, его влияние на интервале 16 лет несущественно.

Была сделана попытка определить по невязкам астрометрическую орбиту, но она не согласуется с более точной спектроскопической (разная долгота периастра от узла). Поэтому определена ПВД-орбита внешней пары на основе ПЗС-наблюдений без учета спутника. Использованы параллакс Gaia DR2, а масса и лучевая скорость согласно (Кияева et al., 1998). Эфемерида относительной лучевой скорости новой орбиты на момент 1984.0 в пределах ошибки соответствует наблюдаемой.

## Список литературы

- Abt Helmut A.* The Frequency of Binaries among Normal A-Type Stars. // ApJS. VI 1965. 11. 429.
- Aitken R.G., Doolittle Eric.* New General Catalogue of Double Stars within  $120^{\circ}$  of the North Pole. 1932. Washington D.C. 0.
- Chang K.* Parallax, proper motion, and orbital motion of the visual binary SIGMA 1321. // AJ. XI 1972. 77. 759–761.
- Duquennoy A., Mayor M.* Multiplicity among Solar Type Stars in the Solar Neighbourhood - Part Two - Distribution of the Orbital Elements in an Unbiased Sample // A&A. VIII 1991. 248. 485.
- ESA SP-1200 .* The Hipparcos and Tycho Catalogues. 1997.
- Gaia Collaboration , Brown A. G. A., Vallenari A., Prusti T., et al .* Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties // A&A. VIII 2018. 616. A1.
- Genet Russell M., Zirm Henry, Rica Francisco, Richards Joseph, Rowe David, Gray Daniel.* Two New Triple Star Systems with Detectable Inner Orbital Motions and Speckle Interferometry of 40 Other Double Stars // Journal of Double Star Observations. IX 2015. 11, 1S. 200–213.
- Girardi L., Bressan A., Bertelli G., Chiosi C.* Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to  $7 M_{sun}$ , and from  $Z=0.0004$  to 0.03 // A&AS. II 2000. 141. 371–383.
- Grosheva E. A.* Physical and Optical Visual Double Stars of North-Polar Area as Obtained by Photographic Observations at Pulkovo // Visual Double Stars : Formation, Dynamics and Evolutionary Tracks. 223. I 1997. 85. (Astrophysics and Space Science Library).
- Hale A.* Orbital CoPlanetary in Solar-Type Binary Systems: Implications for Planetary System Formation and Detection // AJ. I 1994. 107. 306.
- Hopmann J.* Die Genauigkeit dynamischer Parallaxen. // Mitteilungen der Universitaets-Sternwarte Wien. I 1960. 10. 155–209.
- Izmailov I. S., Roshchina E. A.* Astrometric observations of visual binaries using 26-inch refractor during 2007-2014 at Pulkovo // Astrophysical Bulletin. IV 2016. 71, 2. 225–231.
- Izmailov I.S., Khovricheva M.L., Khovrichev M.Yu., Kiyaeva O.V., Khrutskaya E.V., Romanenko L.G., Grosheva E.A., Maslennikov K.L., Kalinichenko O.A.* Astrometric CCD observations of visual double stars at the Pulkovo Observatory // Astronomy Letters. V 2010. 36. 349–354.
- Izmailov I.S., Roshchina E.A., Kiselev A.A., Kiseleva T.P., Kalinichenko O.A., Bykov O.P., Kiyaeva O.V., Romanenko L.G., Shakht N.A., Maslennikov K.L., Vasil'eva T.A.* Photographic observations of visual double stars at Pulkovo: Digitization, measurement, and calibration // Astronomy Letters. I 2016. 42. 41–54.

- Izmailov Igor, Rublevsky Aleksey, Apetyan Arina.* Astrometric observations of visual binaries using 26-inch refractor at Pulkovo Observatory during 2014-2019 // *Astronomische Nachrichten*. X 2020. 341, 8. 762–769.
- Kervella Pierre, Arenou Frédéric, Mignard François, Thévenin Frédéric.* Stellar and substellar companions of nearby stars from Gaia DR2. Binarity from proper motion anomaly // *A&A*. III 2019. 623. A72.
- Kiselev A.A., Kiyeva O.V., Izmailov I.S., Romanenko L.G., Kalinichenko O.A., Vasil'kova O.O., Vasil'eva T.A., Shakht N.A., Gorshanov D.L., Roschina E.A.* Pulkovo catalog of relative positions and motions of visual double and multiple stars from photographic observations with the 26-inch refractor in 1960-2007 // *Astronomy Reports*. II 2014. 58. 78–97.
- Kiyeva Olga V., Zhuchkov Roman Ya.* Dynamical investigations of the multiple stars // *Open Astronomy*. XI 2017. 26, 1. 64–71.
- Köhler R., Kasper M., Herbst T. M., Ratzka T., Bertrang G. H. M.* Orbits in the T Tauri triple system observed with SPHERE // *A&A*. III 2016. 587. A35.
- Lippincott S. L.* Parallax and orbital motion of the two nearby long period visual binaries Groombridge 34 and ADS 9090 // *AJ*. III 1972. 77. 165–168.
- Marcy Geoffrey W., Benitz Karsten J.* A Search for Substellar Companions to Low-Mass Stars // *ApJ*. IX 1989. 344. 441.
- Mason B.D., Wycoff G.L., Hartkopf W.I., Douglass G.G., Worley C.E.* The Washington Visual Double Star Catalog. III 2016. Washington: US Naval Observatory, VizieR Online Data Catalog.
- Mason Brian D., Hartkopf William I., Wycoff Gary L., Holdenried Ellis R.* Speckle Interferometry at the US Naval Observatory. XII. // *AJ*. XI 2006. 132, 5. 2219–2230.
- Neves V., Bonfils X., Santos N. C., Delfosse X., Forveille T., Allard F., Udry S.* Metallicity of M dwarfs. III. Planet-metallicity and planet-stellar mass correlations of the HARPS GTO M dwarf sample // *A&A*. III 2013. 551. A36.
- Nidever David L., Marcy Geoffrey W., Butler R. Paul, Fischer Debra A., Vogt Steven S.* Radial Velocities for 889 Late-Type Stars // *ApJS*. VIII 2002. 141, 2. 503–522.
- Plaskett J. S.* Three spectroscopic binary orbits // *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria*. I 1926. 3. 247–264.
- Riddle Reed L., Tokovinin Andrei, Mason Brian D., Hartkopf William I., Roberts Jr. Lewis C., Baranec Christoph, Law Nicholas M., Bui Khanh, Burse Mahesh P., Das H. K., Dekany Richard G., Kulkarni Shrinivas, Punnadi Sujit, Ramaprakash A. N., Tendulkar Shriharsh P.* A Survey of the High Order Multiplicity of Nearby Solar-type Binary Stars with Robo-AO // *ApJ*. I 2015. 799, 1. 4.
- Schaefer G. H., Beck Tracy L., Prato L., Simon M.* Orbital Motion, Variability, and Masses in the T Tauri Triple System // *AJ*. VII 2020. 160, 1. 35.

- Schaefer G. H., Prato L., Simon M., Patience J.* Orbital Motion in Pre-main Sequence Binaries // AJ. VI 2014. 147, 6. 157.
- Seymour Diana M., Mason Brian D., Hartkopf William I., Wycoff Gary L.* Binary Star Orbits. II. Preliminary First Orbits for 117 Systems // AJ. II 2002. 123, 2. 1023–1038.
- Shakht N. A., Gorshanov D. L., Grosheva E. A., Kiselev A. A., Polyakov E. V.* Orbit determination and estimate of the component masses // Astrophysics. IV 2010. 53, 2. 227–236.
- Shakht N. A., Gorshanov D. L., Izmailov I. S., Romanenko L. G.* Study of the Binary Star ADS 7251 by Observations on the 65-cm Refractor at Pulkovo from 1962-2018 // Astrophysics. XI 2020. 63, 4. 511–522.
- Shakht N. A., Grosheva E. A., Gorshanov D. L.* Determination of the orbits and the estimation of the masses of ADS 7251 and ADS 5983 (Delta Gem) // Binary Stars as Critical Tools & Tests in Contemporary Astrophysics. 240. VIII 2007. 119.
- Soubiran C., Jasniewicz G., Chemin L., et al .* Gaia Data Release 2. The catalogue of radial velocity standard stars // A&A. VIII 2018. 616. A7.
- Strand K. A.* The orbital motion of Sigma 1785 // AJ. III 1955. 60. 42.
- Tokovinin A.* Speckle Spectroscopic Studies of Late-Type Stars // IAU Colloq. 135: Complementary Approaches to Double and Multiple Star Research. 32. I 1992. 573. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series).
- Tokovinin A., Kiyaveva O.* Eccentricity distribution of wide binaries // MNRAS. II 2016. 456, 2. 2070–2079.
- Tokovinin A. A.* Orbits of new spectroscopic components in 7 multiple systems // A&AS. I 1997. 121. 71–76.
- Tokovinin A. A.* New spectroscopic components in 8 multiple systems // A&AS. IV 1999. 136. 373–378.
- Tokovinin A. A., Duquennoy A., Halbwachs J. L., Mayor M.* Duplicity in the solar neighbourhood. VII. Spectroscopic orbits of three K-dwarf stars // A&A. II 1994. 282. 831–834.
- Tokovinin A. A., Smekhov M. G.* Statistics of spectroscopic sub-systems in visual multiple stars // A&A. I 2002. 382. 118–123.
- Tokovinin Andrei.* Orbits of Subsystems in Four Hierarchical Multiple Stars // AJ. VII 2016. 152, 1. 10.
- Tokovinin Andrei.* The Updated Multiple Star Catalog // ApJS. III 2018. 235, 1. 6.
- Trimble Virginia L., Thorne Kip S.* Spectroscopic Binaries and Collapsed Stars // ApJ. VI 1969. 156. 1013.
- Wilson Ralph Elmer.* General catalogue of stellar radial velocities. I 1953. Carnegie Institute Washington D.C. Publication. 0.

- Wooley R., Epps E. A., Penston M. J., Poczock S. B. Catalogue of stars within 25 parsec of the Sun // Royal Obs. Annal. 1970. 5.
- Zeldovich Ya. B., Guseynov O. H. Collapsed Stars in Binaries // ApJ. V 1966. 144. 840.
- Zirm H. New orbits for WDS 03162+5810, WDS 04242+1445, WDS 04302-1747, WDS 05153+4710, WDS 07336+1550, WDS 09013+1516, WDS 10120-0612, WDS 11395-6524, WDS 12572+0818, WDS 13081+2657, WDS 15197-2416, WDS 16044-1122, WDS 16059+1041, WDS 17539-3445 // IAU Commission on Double Stars. X 2008. 166. 1–1.
- van Altena W.F., Lee J.T.-L., Hoffleit E.D. The General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes: a Preliminary Version. 1991. Yale Univ. Obs., New Haven. 0.
- van Leeuwen F. Validation of the new Hipparcos reduction // A&A. XI 2007. 474, 2. 653–664.
- Грошева Е.А. Визуально-двойные звезды околополярной области по наблюдениям на 26-дюймовом рефракторе в Пулковке - канд.дисс. 2006. С.-Пб: Главн. астрон. обсерв. РАН. 116 стр.
- Измайлов И. С. ОРБИТЫ 451 ШИРОКОЙ ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЫ // Письма в астрон. журн. 2019. 45. 35–44.
- Киселев А. А., Кияева О. В., Романенко Л. Г., Горыня Н. А. ОРБИТЫ ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД ADS 8814 И ADS 8065, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО КОРОТКОЙ ДУГЕ // Астрон.журн. 2012. 89. 581–592.
- Киселев А. А., Романенко Л. Г., Калиниченко О. А. ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 12 ШИРОКИХ ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД // Астрон.журн. 2009а. 86. 148–157.
- Киселев А.А., Романенко Л.Г., Измайлов И.С., Грошева Е.А. Новые орбиты 9 визуально-двойных звезд, выведенные методом параметров видимого движения. // Известия ГАО в Пулковке. 2000. 214. 239–254.
- Киселев А.А., Романенко Л.Г., Шахт Н.А., Кияева О.В., Грошева Е.А., Измайлов И.С. Динамическое исследование широких пар двойных звезд в окрестностях Солнца // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулковке. Труды всероссийской астрометрической конференции «ПУЛКОВО – 2009». 2009б. 219. 135–478.
- Кияева О. В., Киселев А. А., Измайлов И. С. ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКИХ ПАР ЗВЕЗД ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА WDS // Письма в Астрон.журн. 2008. 34. 446–454.
- Кияева О. В., Токовинин А. А., Калиниченко О. А. Тройная система ADS 9167 // Письма в Астрон.журн. 1998. 24. 868–873.
- Кияева О.В., Жучков Р.Я., Измайлов И.С. Исследование относительного движения в системе иерархической тройной звезды ADS 48 на основе наблюдений Gaia DR2 и 26-дюймового рефрактора Пулковской обсерватории // Астрофиз. Бюллетень. V 2020. 75. 478–491.

- Кляева О.В., Измайлов И.С.* Астрометрическое исследование двух кратных звезд: ADS 2668 и ADS 8236 // Письма в Астрон. журн. 2018. 44. 857–867.
- Кляева О.В., Киселев А.А., Поляков Е.В., Рафальский В.Б.* Астрометрическое исследование тройной системы ADS 48 // Астрон. журн. 2001. 27. 456–463.
- Кляева О.В., Романенко Л.Г.* Первые орбиты шести широких двойных звезд в окрестности Солнца на основе наблюдений Gaia DR2 // Письма в Астрон. журн. 2020. 46. 590–606.
- Кляева О.В., Романенко Л.Г., Жучков Р.Я.* Новые орбиты широких визуально-двойных звезд // Письма в Астрономический журнал. 2017. 43. 354–369.
- Романенко Л.Г.* Улучшение орбит 5 широких визуально-двойных звезд пулковской программы исследований. // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. Труды всероссийской астрометрической конференции «ПУЛКОВО – 2018». 2018. 225. 241–246.
- Романенко Л.Г., Измайлов И.С.* Улучшение орбит четырех визуально-двойных звезд с использованием данных Gaia DR2 и наблюдений 26-дюймового рефрактора Пулковской обсерватории // Астрон. журн. X 2021. 98. 239–254.
- Романенко Л.Г., Киселев А.А.* Орбиты четырех визуально-двойных звезд, полученные по короткой дуге. // Астрон.журн. 2014. 91. 47–56.
- Токовинин А. А.* Лучевые скорости широких визуально-двойных звезд // Астрон.журн. 1994. 71. 293–296.
- Шахт Н. А.* Исследование звезды Дельта Близнецов по наблюдениям в Пулкове // Изв. ГАО РАН в Пулкове. 2000. 214. 77–90.