

**УЛУЧШЕНИЕ ОРБИТ  
ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД  
ПУЛКОВСКОЙ ПРОГРАММЫ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ GAIA.**

Л.Г.Романенко

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория  
Российской академии наук

# Актуальность пополнения банка орбит широких пар звезд.

В настоящее время хорошо изучены тесные звездные системы с коротким периодом обращения, в то время как широкие двойные - ценный объект для исследования не только для получения звездных масс, но и для понимания эволюции звездной материи и галактической динамики.

Кроме того, получение (уточнение) орбит визуально-двойных звезд в окрестности Солнца способствует изучению этих звезд как родительских для обнаружения возможных экзопланет.

- Традиционно изучают орбитальное движение в двойных звездах **для определения их масс** и динамических параллаксов. Но это действительно только для тех звезд, у которых наблюдения покрывают большую часть орбиты.
- Для широких пар с периодами в сотни и тысячи лет мы имеем только **короткую дугу** от всей орбиты.
- Таким образом, мы получаем **обратную задачу**: зная спектральные классы компонент и оценивая их массы согласно среднестатистической зависимости «масса-светимость», мы пытаемся объяснить наблюдаемую дугу частью кеплеровой орбиты и вычислить ее элементы.
- В некоторых случаях выявляется **избыток масс**, который можно объяснить следующими причинами:
  1. неправильно заданным параллаксом,
  2. наличием темного спутника,
  3. отклонением от среднестатистической зависимости,
  4. пара – оптическая.

# Этапы подготовки «Пулковского каталога орбит широких пар»

- **I этап.** Проведено **сравнение орбит**, полученных группой А.А.Киселева за последние 40 лет для 53 звезд, **с новыми данными** Вашингтонского каталога двойных звезд (WDS) и ПЗС-наблюдениями на 26" рефракторе в Пулково. Сравнение показало **высокое качество пулковских ПЗС-рядов**. Сделан вывод, что для 11 звезд из 53 орбиты требуется улучшить (причины: отклонение от новых наблюдений – в 7 случаях, в остальных - появление новых дополнительных данных).
- **II этап.** **Улучшение орбит и расширение списка исследуемых звезд до 66.** Орбиты для 5 звезд улучшены О.В.Кияевой, ею получены ПВД-орбиты звезд по опубликованным наблюдениям. В данной работе представлены результаты **улучшения орбит** таких звезд, как ADS 2427, 8002, 8250, 10329 и 14878.
- **III этап.** Определена **ориентация орбит**, полученных для всех 66 звезд, в галактической системе координат, ее **статистика** представлена в докладе О.В.Кияевой с соавторами.

# Табл.1. Характеристика Пулковских рядов 5 исследуемых визуально-двойных звезд.

N	ADS/WDS	$m_v$	$\rho''$	Series	$T_1$	$T_2$	n	$\Delta\theta^\circ$	$\sigma_1\rho''$	$\sigma_1T''$
1	2427	10.30	4.8	WDS	1914	2011	79	39.		
	03162+5810	11.38		PUL	1971	1999	100	7.	.0597	.0399
				<b>CCD</b>	<b>2004</b>	<b>2013</b>	<b>53</b>	<b>3.</b>	<b>.0172</b>	<b>.0055</b>
2	8002	8.57	5.2	WDS	1899	2011	99	39.		
	10592+2527	9.22		PUL	1970	1998	61	9.	.0349	.0695
				<b>CCD</b>	<b>2004</b>	<b>2013</b>	<b>45</b>	<b>3.</b>	<b>.0097</b>	<b>.0052</b>
3	8250	6.53	9.2	WDS	1783	2013	123	26.		
	11387+4507	8.23		PUL	1969	2004	50	4.	.0397	.0254
				<b>CCD</b>	<b>2003</b>	<b>2014</b>	<b>70</b>	<b>2.</b>	<b>.0080</b>	<b>.0087</b>
4	10329	8.76	12.0	WDS	1830	2006	54	11.		
	17033+5935	10.34		PUL	1970	1999	22	2.	.0593	.1044
				<b>CCD</b>	<b>2005</b>	<b>2013</b>	<b>29</b>	<b>1.</b>	<b>.0121</b>	<b>.0055</b>
5	14878	7.71	6.3	WDS	1828	2013	99	1.		
	21200+5259	7.87		PUL	1960	2005	29	1.	.0432	.0264
				CCD	-	-	-	-	-	-

# Табл.2 Общие данные о 5 исследуемых визуально-двойных звездах. Данные GAIA-2018.

ADS/ WDS		Sp	$m_v$	$\rho''$	$\pi_G$ mas	$\sigma_{\pi_G}$	$\mu_x$ G mas	$\mu_y$ G mas	VrG km/s	$\sigma_{VrG}$	Vr km/s	$\sigma_{Vr}$
2427	A	M2V	10.30		73.76	.04	444.4	-324.5	21.00	0.39	+21.24	.33
03162+5810	B	M2V	11.38	4.8	73.74	.04	415.1	-318.3	20.62	<b>0.62</b>	+21.60	.36
8002	A	K4V	8.57		46.91	.04	-176.8	-50.9	-3.04	0.17	-2.96	.26
10596+2527	B	K5V	9.22	5.2	46.91	.05	-188.6	-79.5	-	-	-3.34	.24
8250	A	G0V	6.53		42.79	.04	-595.9	+15.1	-17.01	0.13	-17.28	.24
11387+4507	B	K2V+	8.23	9.2	43.61	.10	-576.7	+ 2.0	-16.97	<b>3.31</b>	(-18.93)	.24
10329	A	K5V	8.76		40.04	.02	-355.4	239.8	-71.77	0.20	-72.03	.17
17033+5935	B	M0V	10.34	12.0	40.06	.02	-364.3	249.9	-70.95	0.18	-71.08	.26
14878	A	G5V	7.71		12.10	.04	+9.6	60.4	30.33	0.23	+31.03	.14
21200+5259	B	G5V	7.87	6.3	12.12	.04	+6.5	56.9	29.28	0.20	+29.01	.13

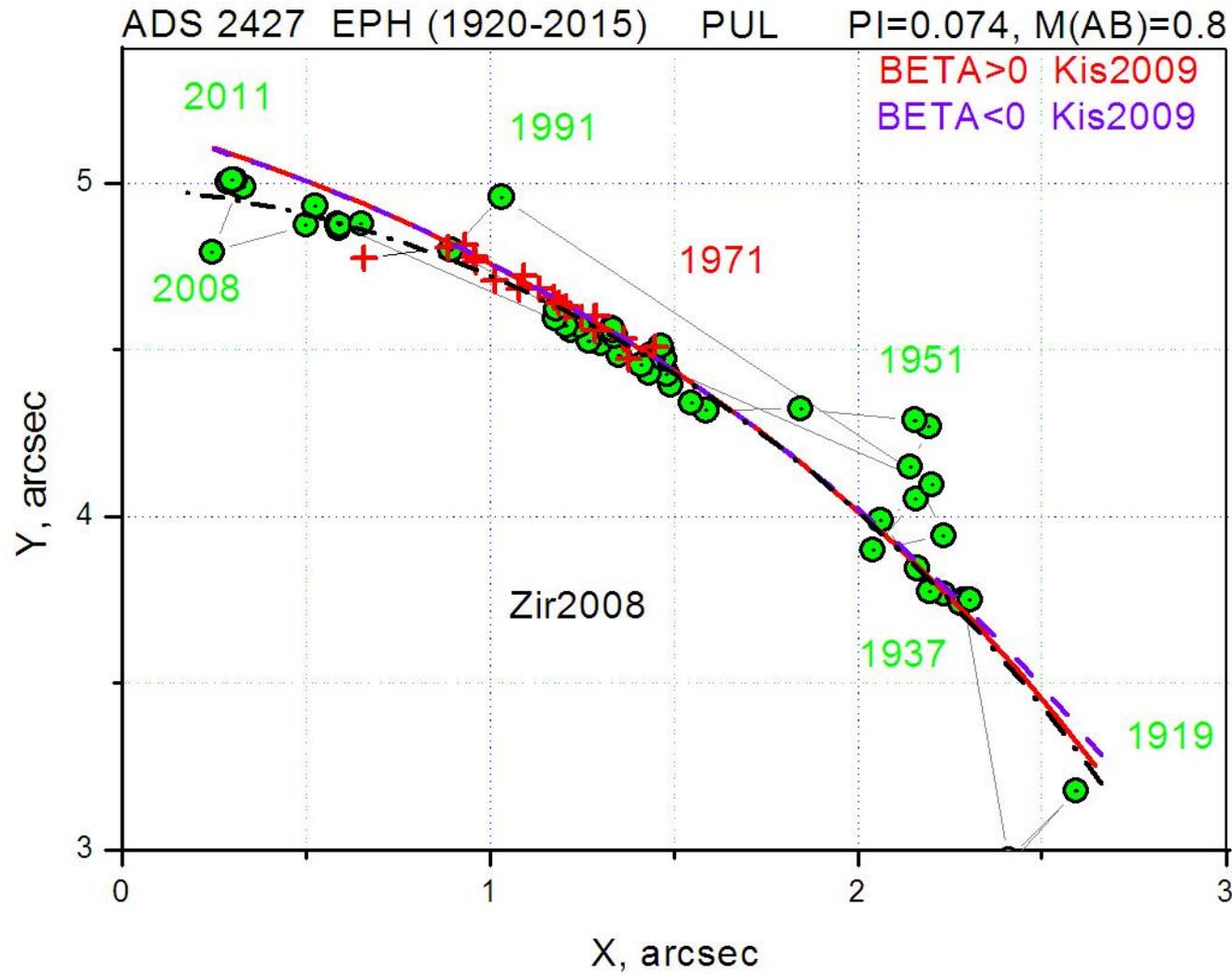
# Табл.3 Параметры видимого движения 5 исследуемых визуально-двойных звезд.

ADS/ WDS	T <sub>0</sub> , год/ Δθ°	ρ''	θ°	μ, mas	ψ°	ρ <sub>c</sub> ''	πG, mas	MS	ΔVr, km/s	Basis
2427	2002.52	4.959	6.621	30.1	285.3	2.90	73.8	0.80	+0.30	HCCD
03162+5810	<b>7.8</b>	± .003	.016	0.3	1.1	.64	0.0		.39	
2427	2015.50	5.039	1.995	29.9	281.9	(3.36)	73.8	0.80	+0.00	G18T
03162+5810	-	± .003	.000	0.2	0.2		0.0		.39	
8002	2004.00	5.252	111.026	31.5	202.3	3.25	46.9	1.40	-0.38	PCCD
10596+2527	<b>14.2</b>	± .002	.037	0.4	0.5	.11	0.0		.35	
8250	1985.70	9.296	250.073	23.2	130.7	6.90	42.8	2.15	-1.65	PCCD
11387+4507	<b>5.4</b>	± .003	.026	0.2	0.4	1.50	0.0		.34	
10329	2002.34	12.163	43.769	13.7	317.0	(4.08)	40.0	1.20	+0.95	HCCD
17033+5935	<b>1.4</b>	± .003	.010	0.2	1.7		0.0		.31	
14878	1917.20	6.340	114.918	5.4	107.6	----	12.1	1.80	-2.02	WPUL
21200+5259	<b>1.1</b>	± .025	.136	0.4	2.3		0.0		.19	

**Табл.4. Элементы ПВД-орбит 5 исследуемых  
визуально-двойных звезд.**

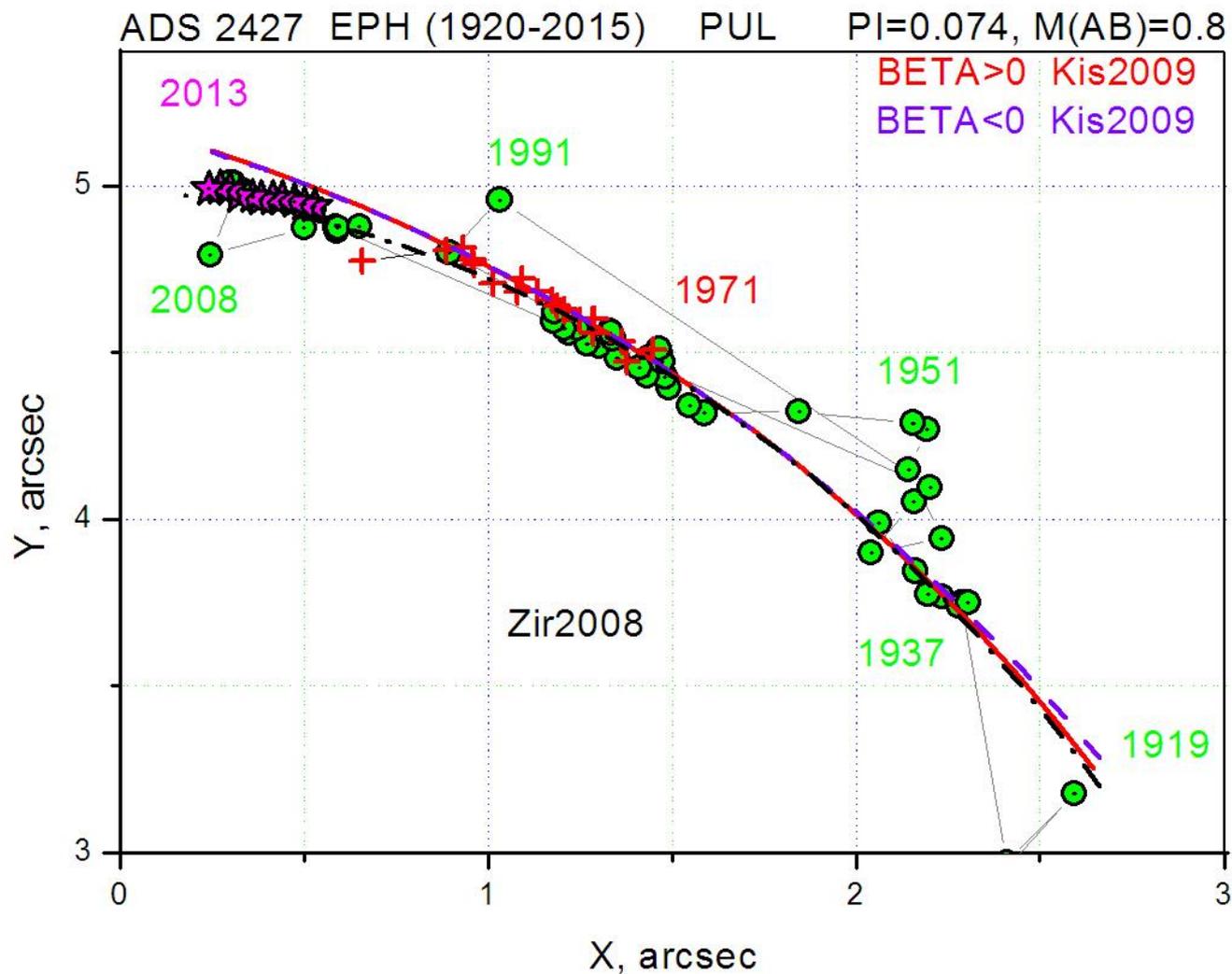
ADS/WDS	$\beta^\circ$	a, AE	P, лет	e	$\omega^\circ$	$i^\circ$	$\Omega^\circ$	$T_{\text{п}}, \text{лет}$	$b_Q \circ$	MS	Basis
2427	+32	50.1	396.	.60	278.	148.	98.	1828.	-28.	0.80	HCCD
03162+5810		$\pm 4.7$	56.	.03	11.	7.	18.	26.	8.		
2427	+35	53.6	438.	.58	284.	144.	102.	1819.	-33.	0.80	G18T
03162+5810		$\pm 5.1$	62.	.04	8.	6.	16.	34.	8.		
8002	0	81.5	512.	.37	358.	7.	291.	2253.	-61.	2.07	PCCD
10596+2527		$\pm 1.4$	13.	.02	9.	6.	9.	7.	4.		
8250	0	199.9	1787.	.42	305.	144.	70.	2375.	+72.	2.50	PCCD
11387+4507		$\pm 21.4$	291.	.04	15.	6.	1.	13.	5.		
10329	0	196.1	1971.	.55	182.	150.	44.	1197.	+16.	2.70	HCCD
17033+5935		$\pm 9.9$	128.	.08	2.	8.	2.	62.	6.		
14878	0	942.3	15461.	.78	67.	98.	295.	1121.	+20.	3.50	WPUL
21200+5259		$\pm 322.$	8260.	.06	11.	3.	1.	46.	0.		

# ADS 2427. Сравнение орбит с наблюдениями



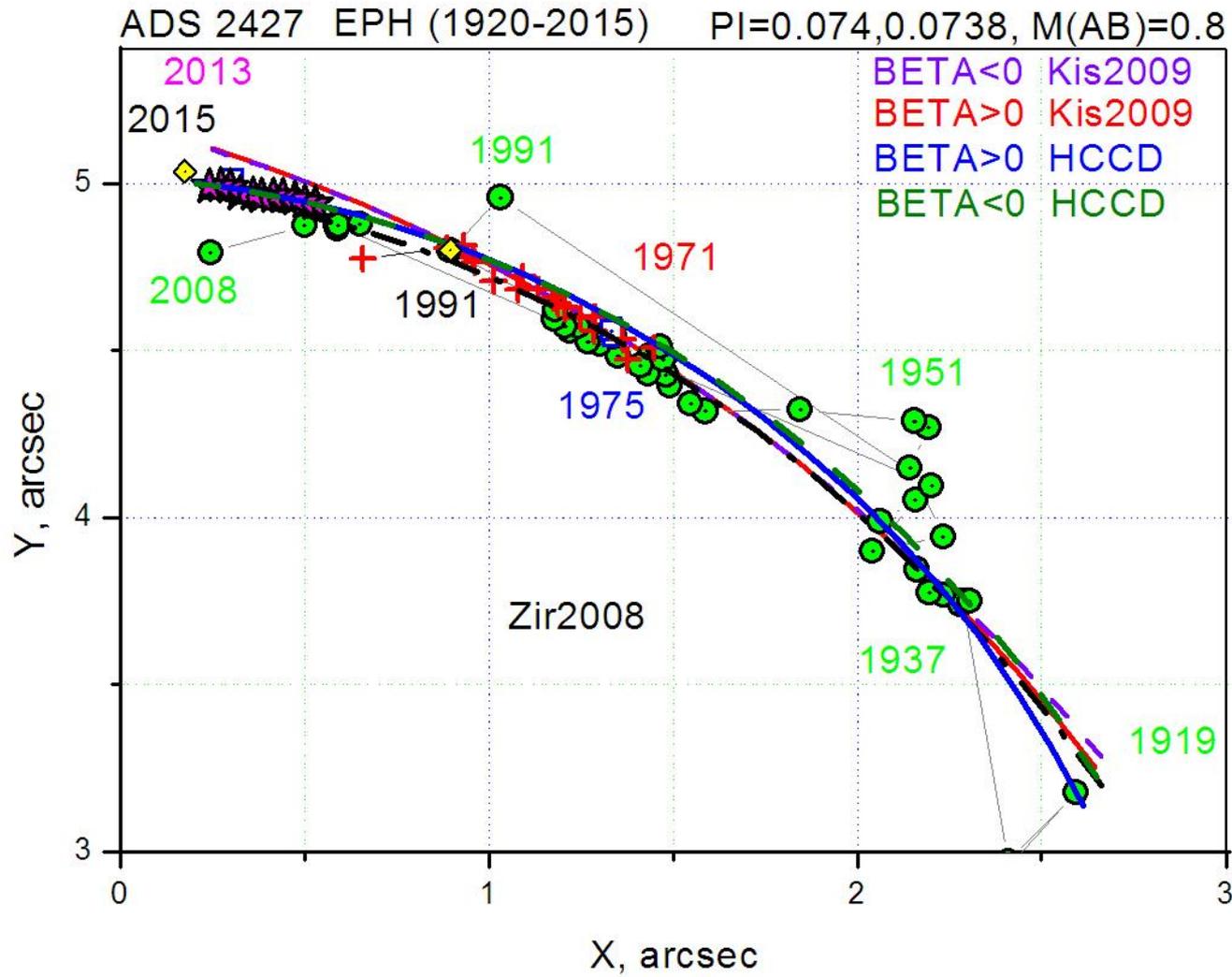
А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS 2427. Пулковские ПЗС-наблюдения.



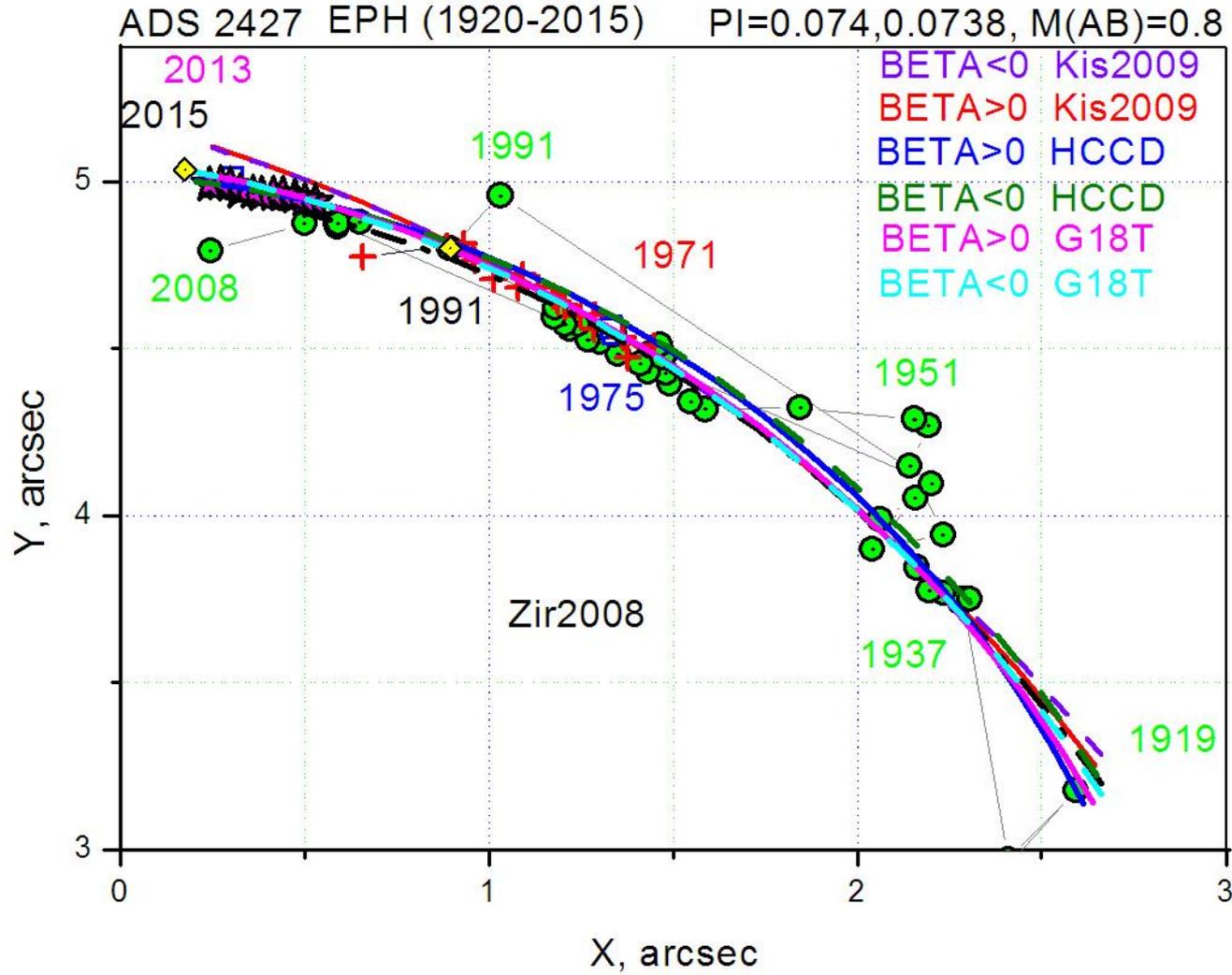
А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS 2427. Новая ПВД-орбита (базис HCCD).



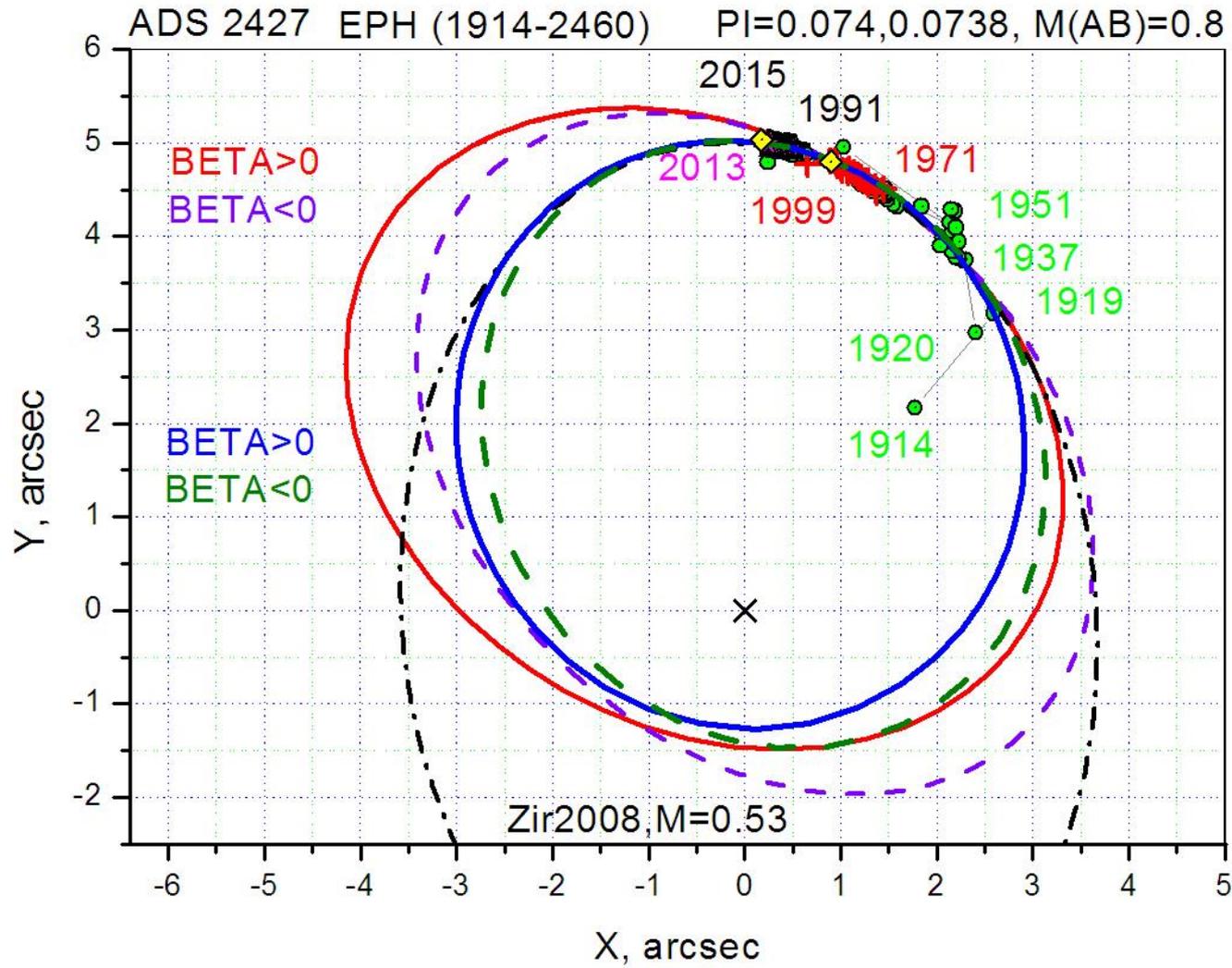
А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS 2427. Новая ПВД-орбита (базис G18T).



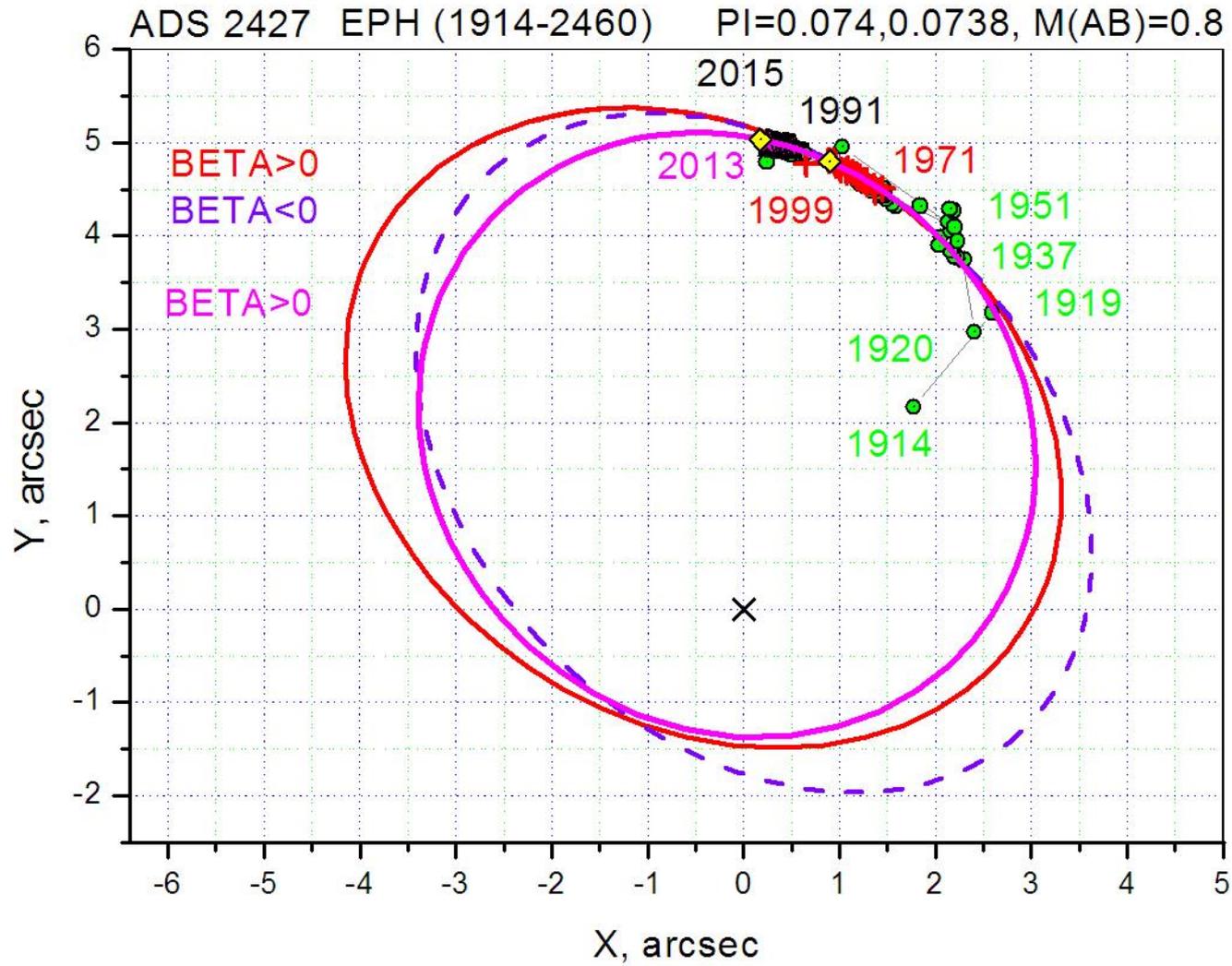
А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS 2427. Новая ПВД-орбита (базис HCCD).



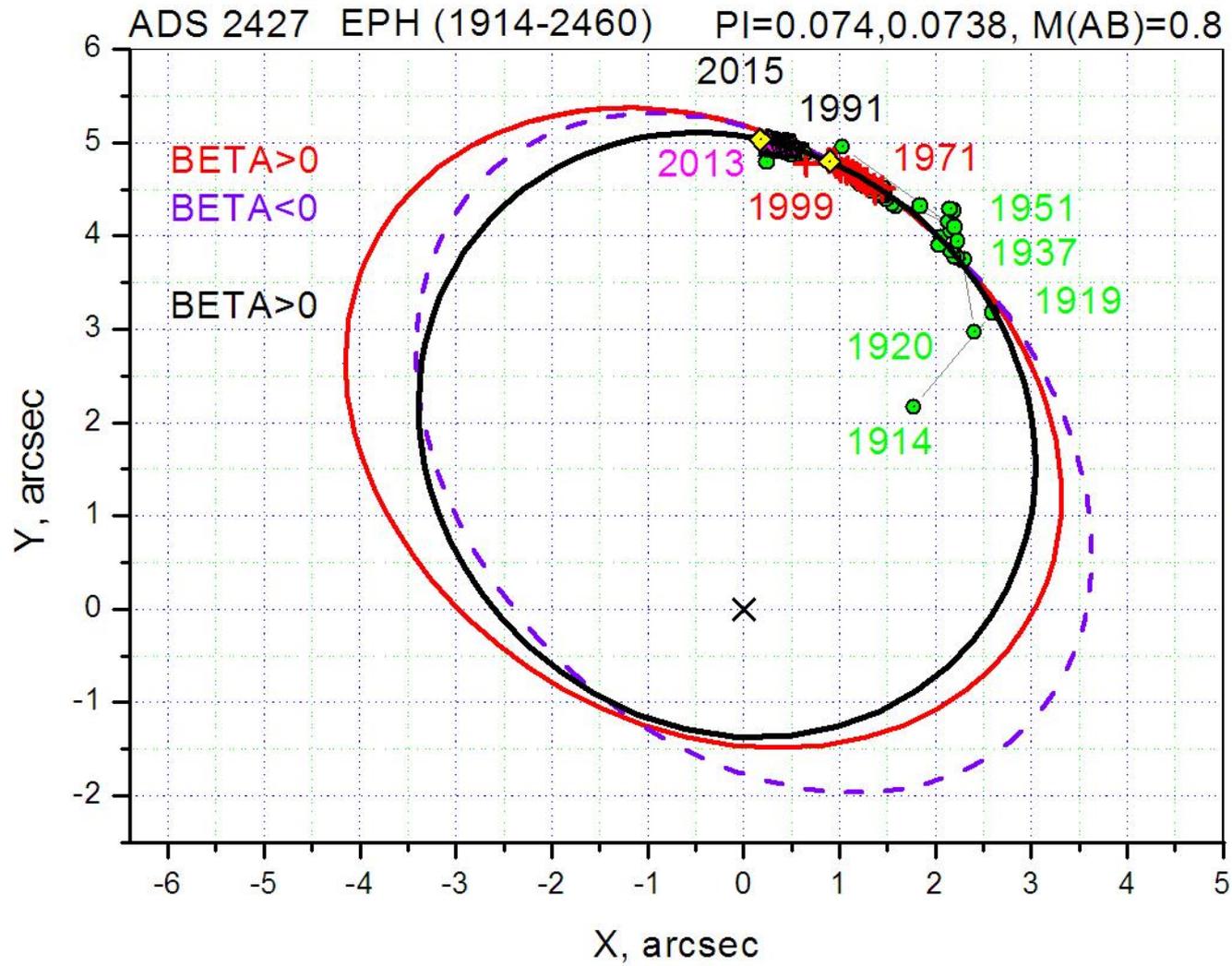
А.А.Киселев и др., *Астрон. журн.*, **86**, 148-157 (2009).

# ADS 2427. Окончательная ПВД-орбита.



А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS 2427. Окончательная ПВД-орбита.

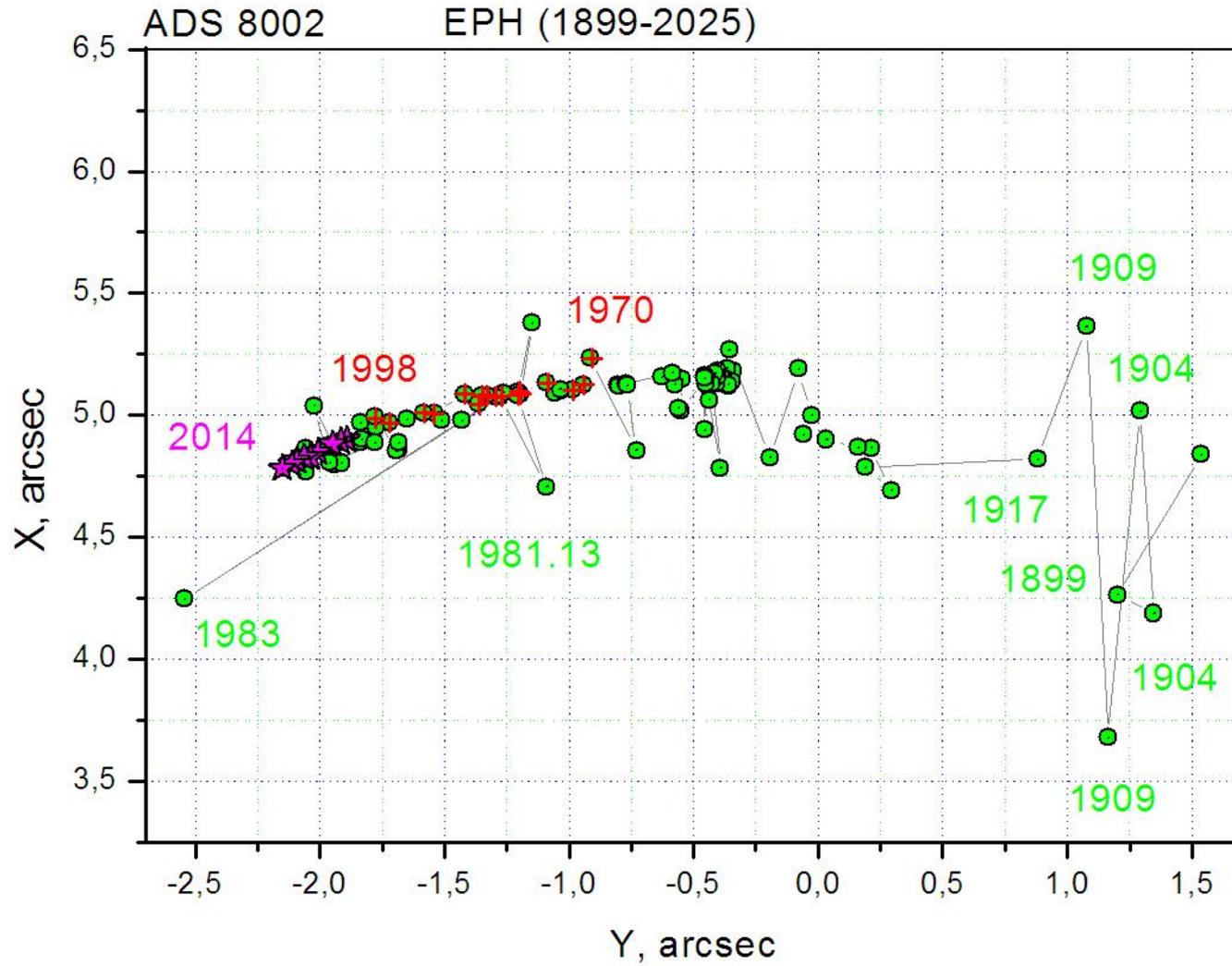


А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

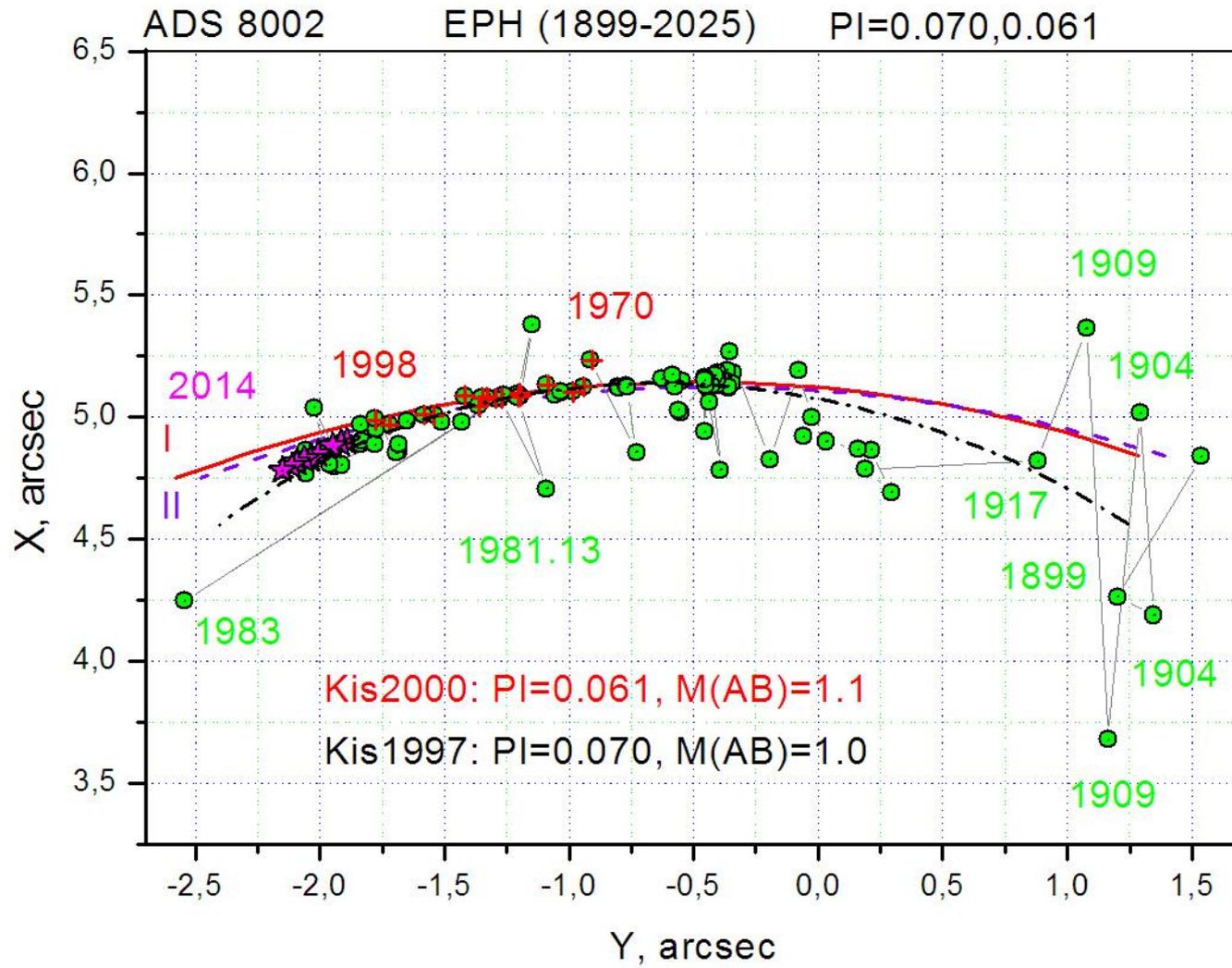
## Табл.5.1. Сравнение орбит ADS 2427.

ADS	$\beta$	a, АЕ	P, лет	e	$\omega$	i	$\Omega$	$T_{II}$	$b_Q$	MS	Ref/Bas
2427		68.7	780.	.02	219.	135.	175.	2120.	-25.	<b>0.53</b>	Zir2008
2427	+44.	61.5	540.	.57	292.	136.	107.	1793.	-42.	0.80	Kis2009
2427	-44.	61.5	540.	.49	115.	133.	308.	1745.	+47.	0.80	Kis2009
2427	+32.	50.1	396.	.60	278.	148.	98.	1828.	-28.	0.80	HCCD
		$\pm 4.7$	56.	.03	11.	7.	18.	26.	8.		
<b>2427</b>	<b>+35.</b>	<b>53.6</b>	<b>438.</b>	<b>.58</b>	<b>284.</b>	<b>144.</b>	<b>102.</b>	<b>1819.</b>	<b>-33.</b>	<b>0.80</b>	<b>G18T</b>
		<b><math>\pm 5.1</math></b>	<b>62.</b>	<b>.04</b>	<b>8.</b>	<b>6.</b>	<b>16.</b>	<b>34.</b>	<b>8.</b>		

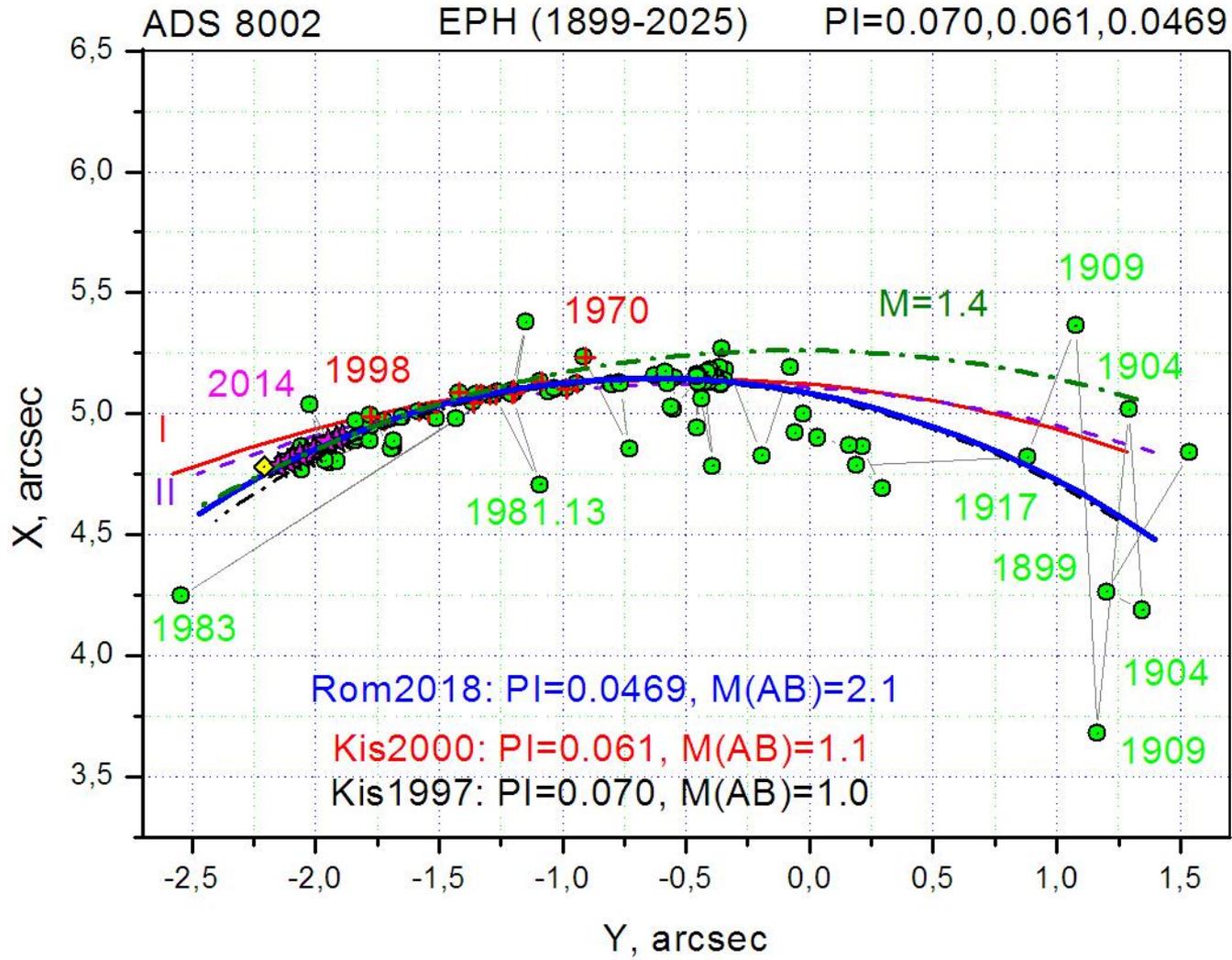
# ADS 8002. Наблюдения согласно WDS и пулковские.



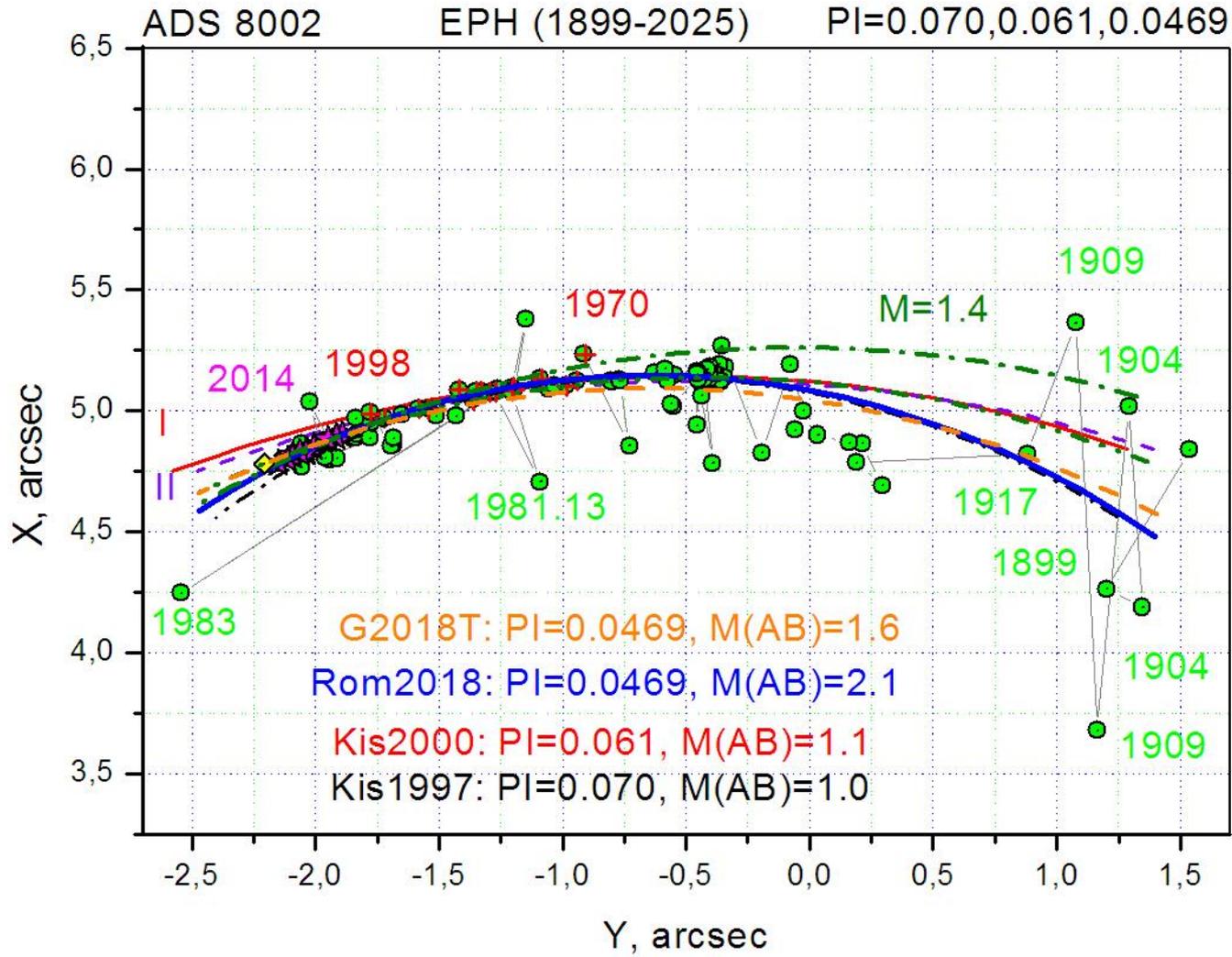
# ADS 8002. Сравнение ПВД-орбит с наблюдениями.



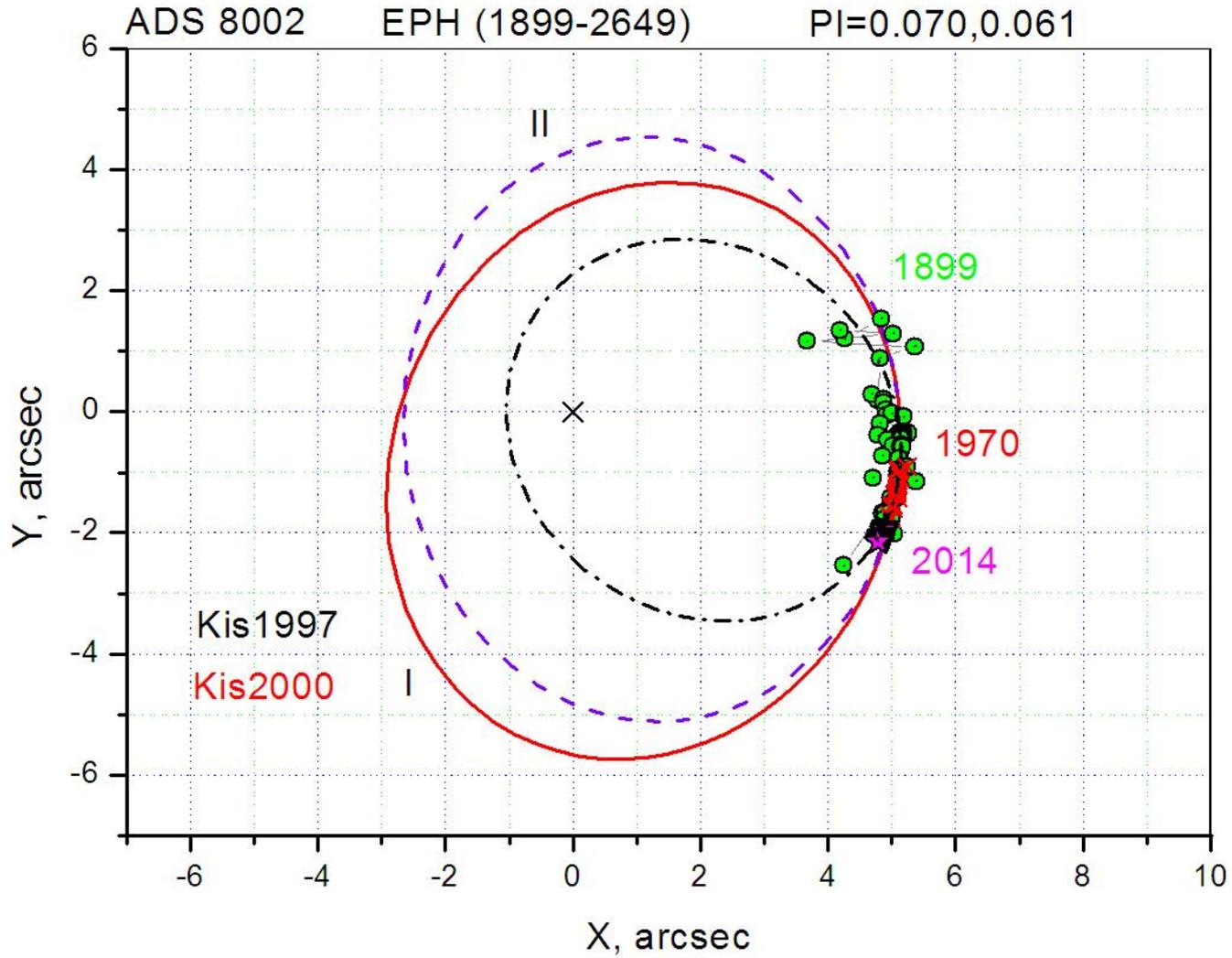
# ADS 8002. Новая ПВД-орбита (базис PCSD).



# ADS 8002. Новая ПВД-орбита (базис G18T).

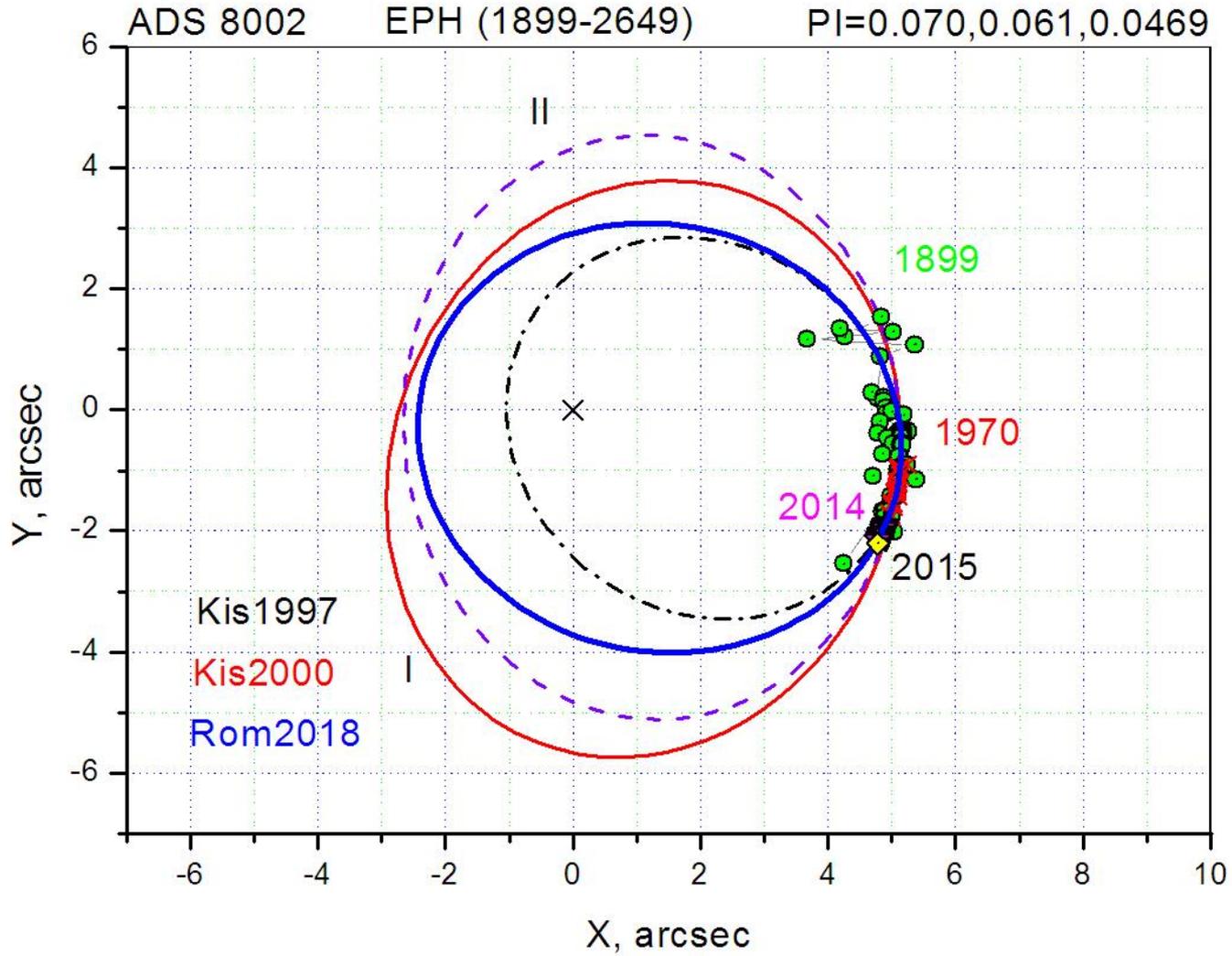


# ADS 8002. Сравнение ПВД-орбит с наблюдениями.



А.А.Киселев и др., Известия ГАО №214, 239-254 (2000)

# ADS 8002. Новая ПВД-орбита (базис PCSD).

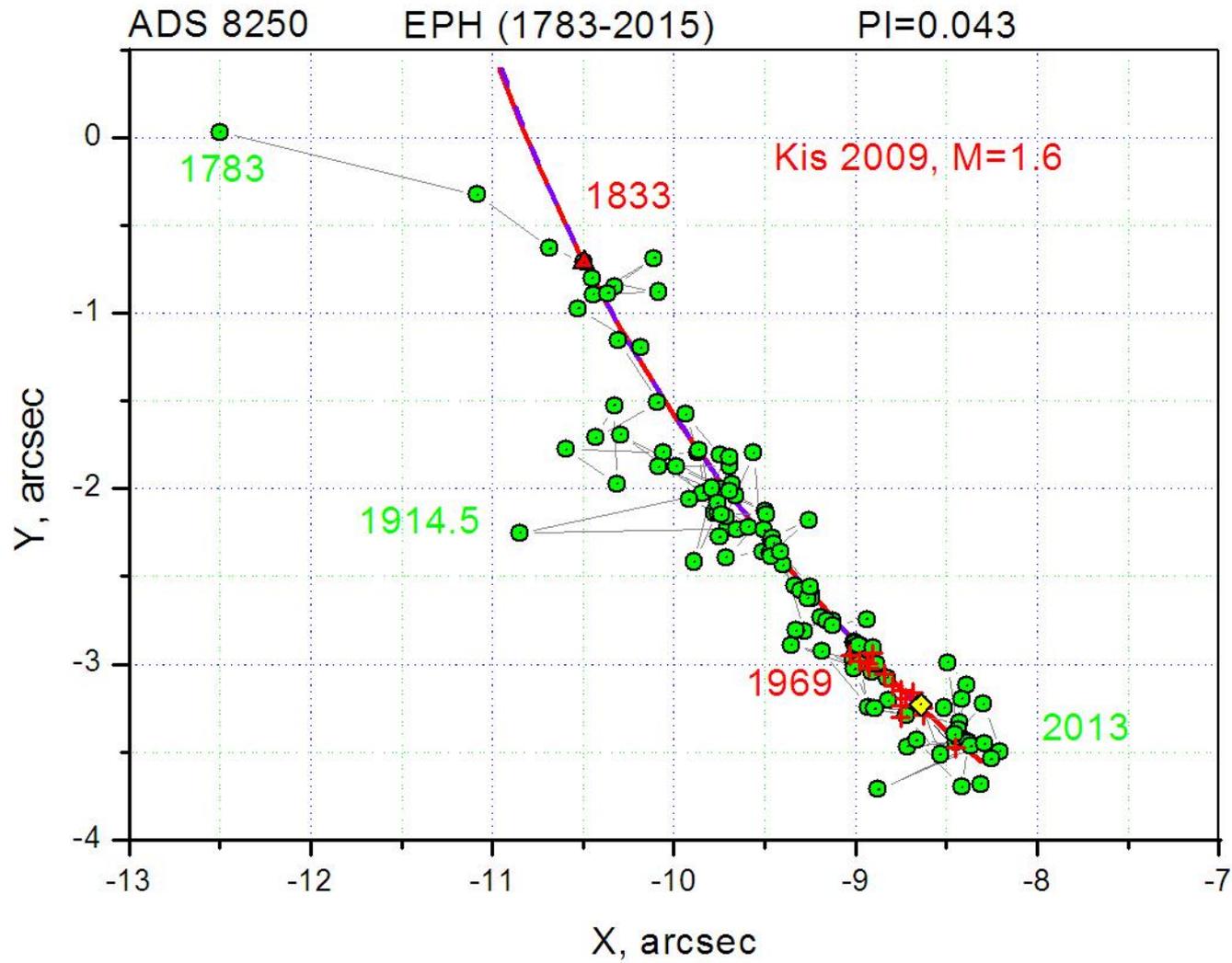


А.А.Киселев и др., Известия ГАО №214, 239-254 (2000)

## Табл.5.2. Сравнение орбит ADS 8002.

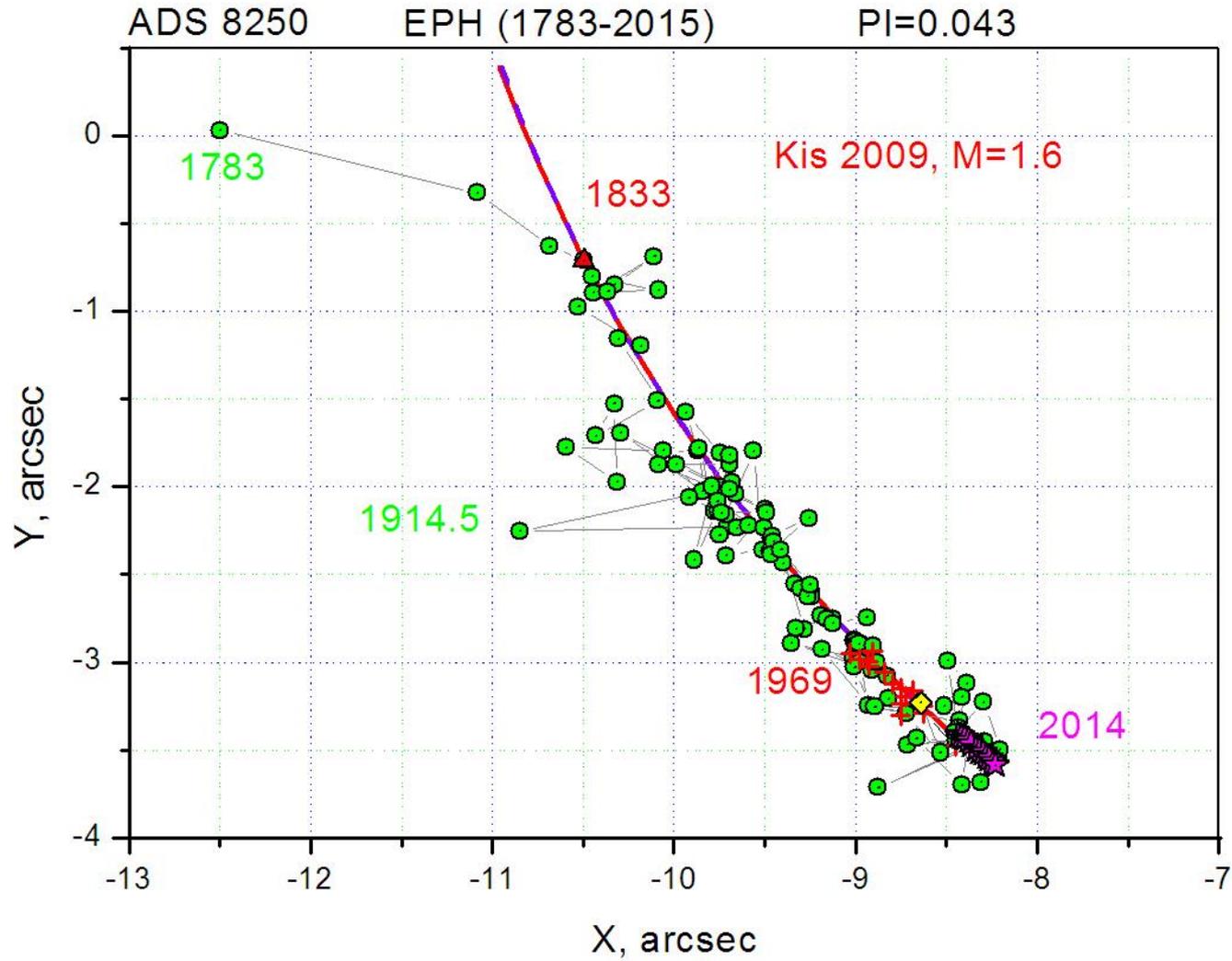
ADS	$\beta$	a, АЕ	P, лет	e	$\omega$	i	$\Omega$	$T_{II, \text{лет}}$ T	$b_Q$	MS	Ref/Bas
8002	+41.	59.8	397.	.64	283.	42.	351.	1767.	-23.	1.40	Kis1997
8002	+39.	83.4	726.	.32	281.	40.	359.	1619.	-25.	1.10	Kis2000
8002	-39.	84.3	738.	.36	106.	39.	201.	1697.	-69.	1.10	Kis2000
8002	0.0	81.5	512.	.37	358.	7.	291.	2253.	-61.	2.07	PCCD
		$\pm 1.4$	13.	.02	9.	6.	9.	7.	4.		

# ADS 8250. Сравнение ПВД-орбит с наблюдениями.



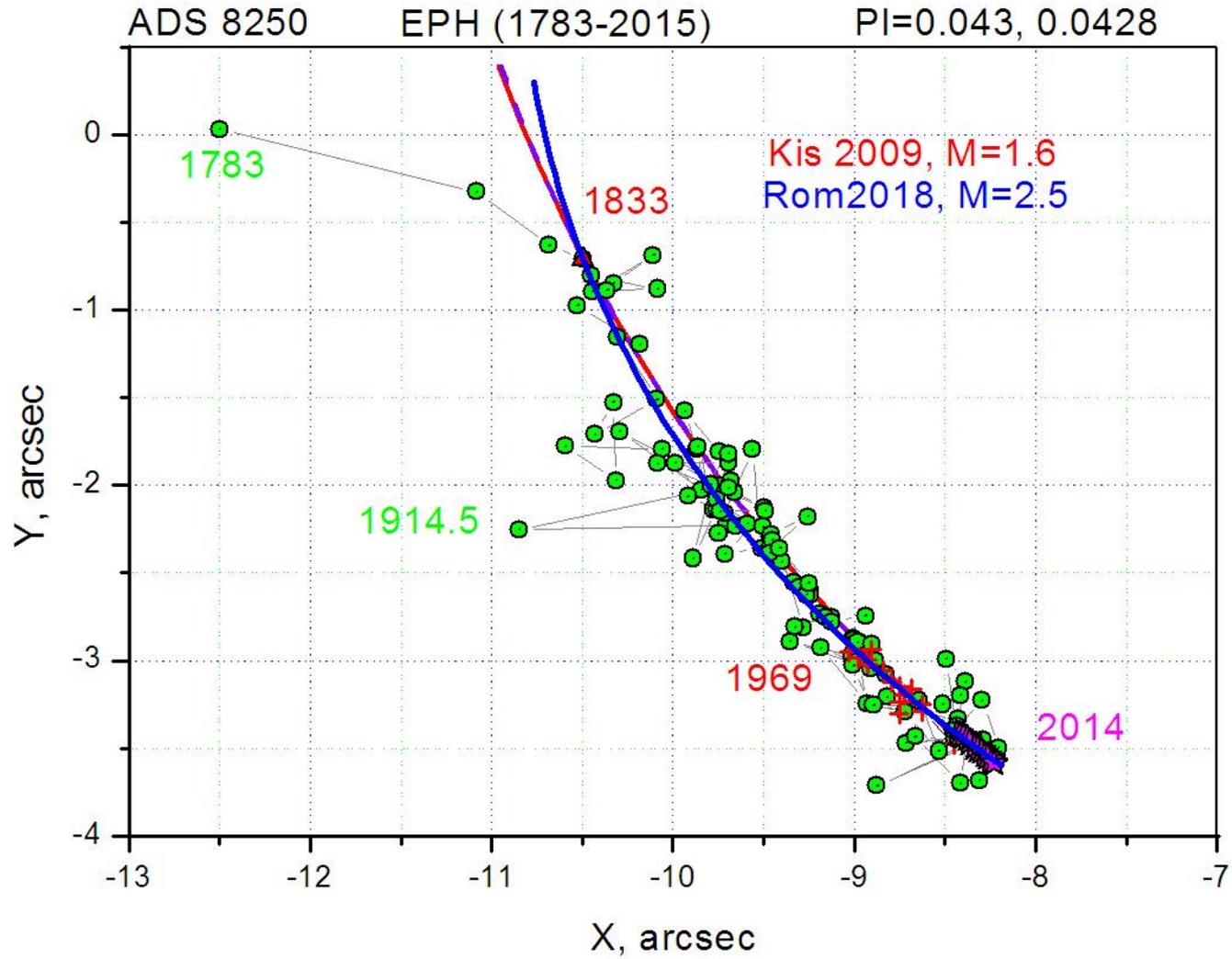
А.А.Киселев и др., Известия ГАО №219, 135-140 (2009)

# ADS 8250. Сравнение орбиты с ПЗС-наблюдениями.



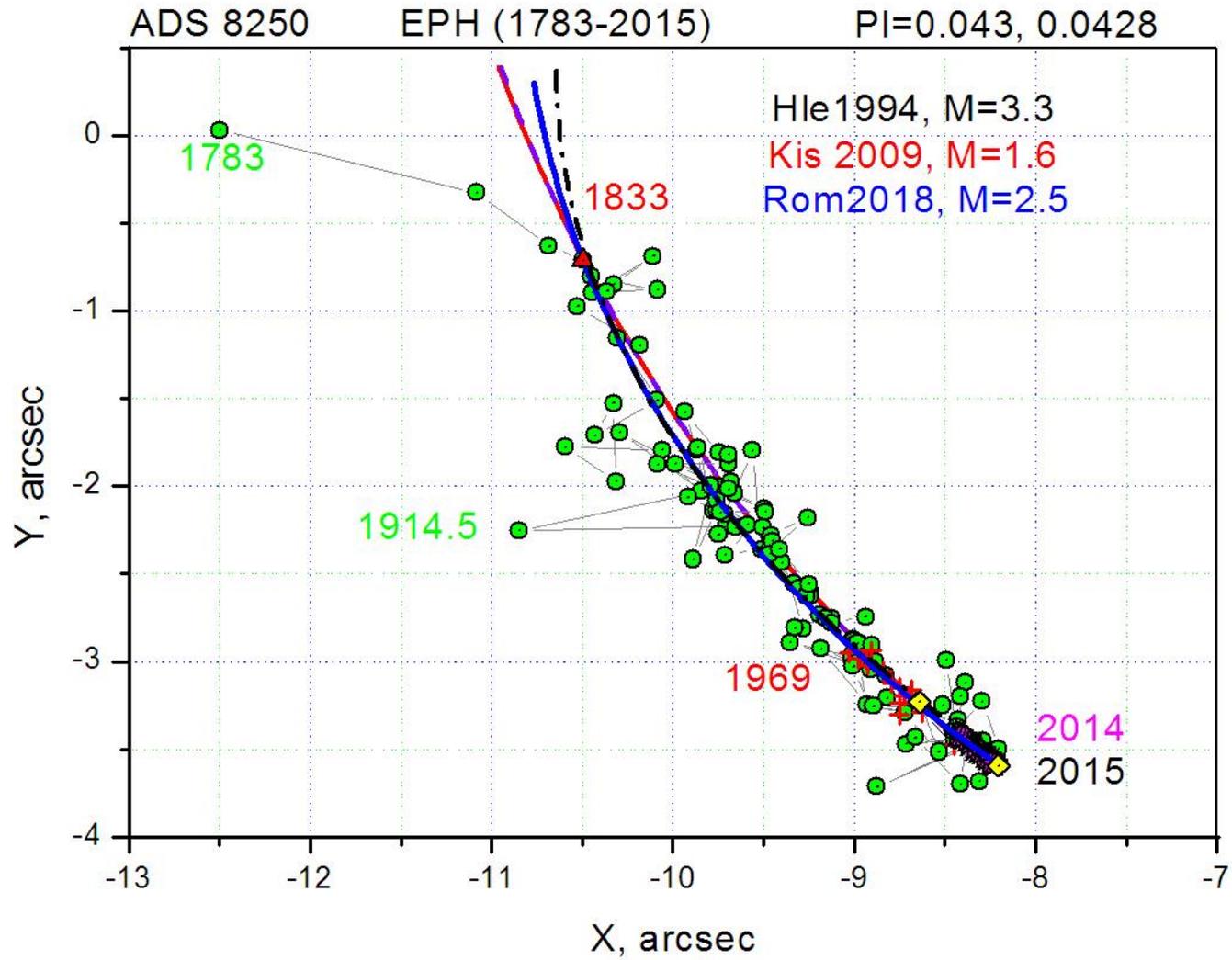
А.А.Киселев и др., Известия ГАО №219, 135-140 (2009)

# ADS 8250. Новая ПВД-орбита (базис PCSD).



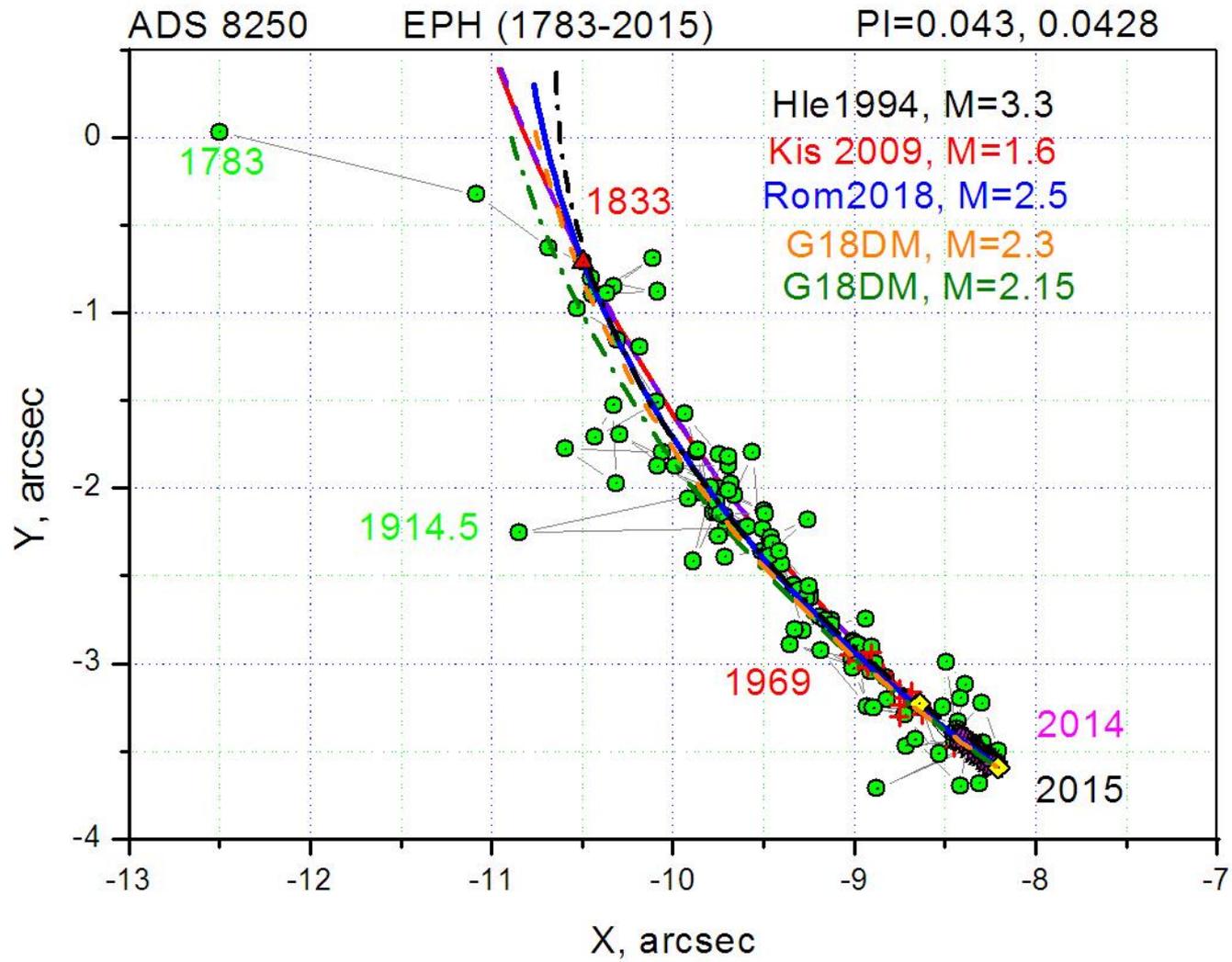
А.А.Киселев и др., Известия ГАО №219, 135-140 (2009)

# ADS 8250. Сравнение орбиты Хейла с наблюдениями

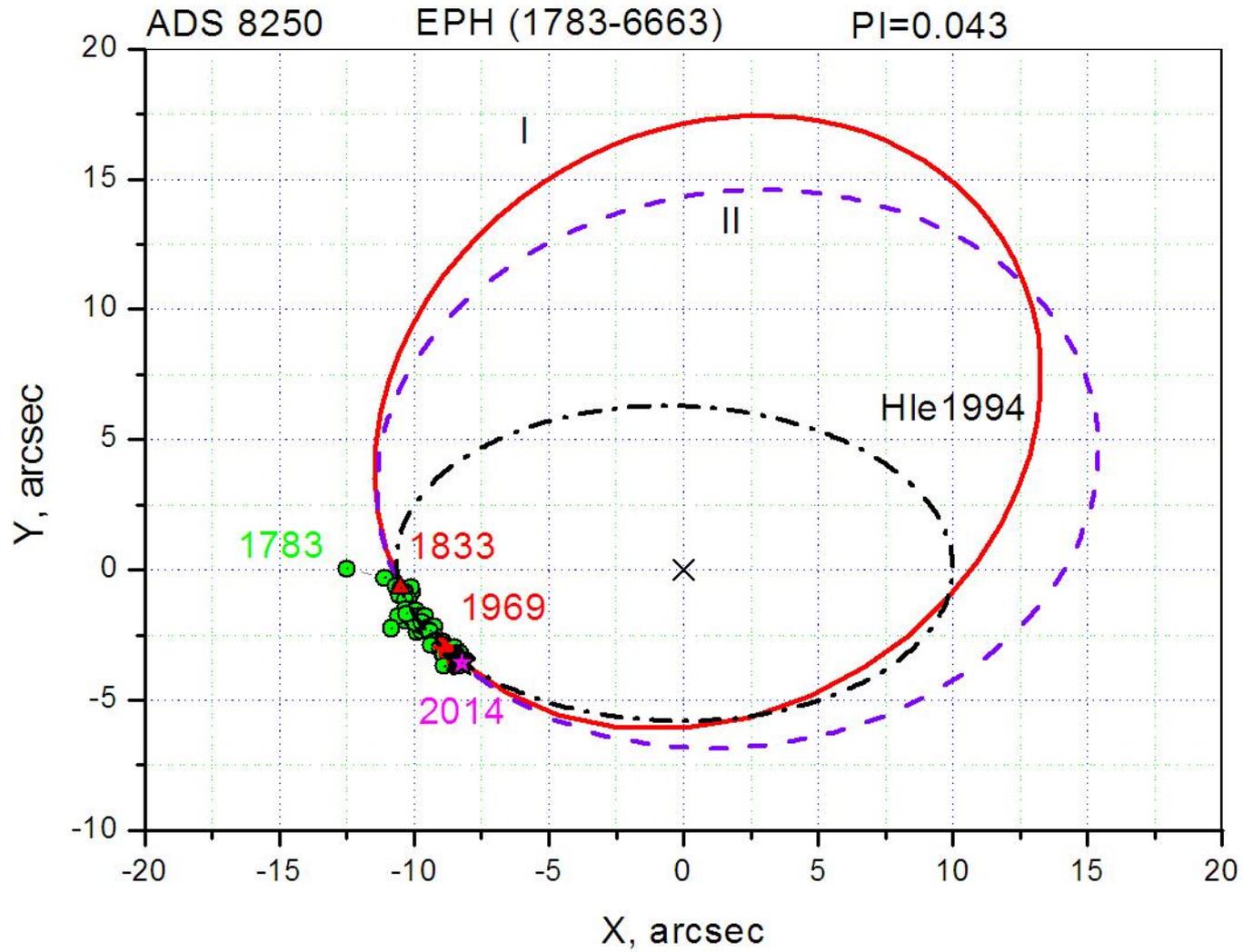


А.А.Киселев и др., Известия ГАО №219, 135-140 (2009)

# ADS 8250. Новая ПВД-орбита (базис G18DM).

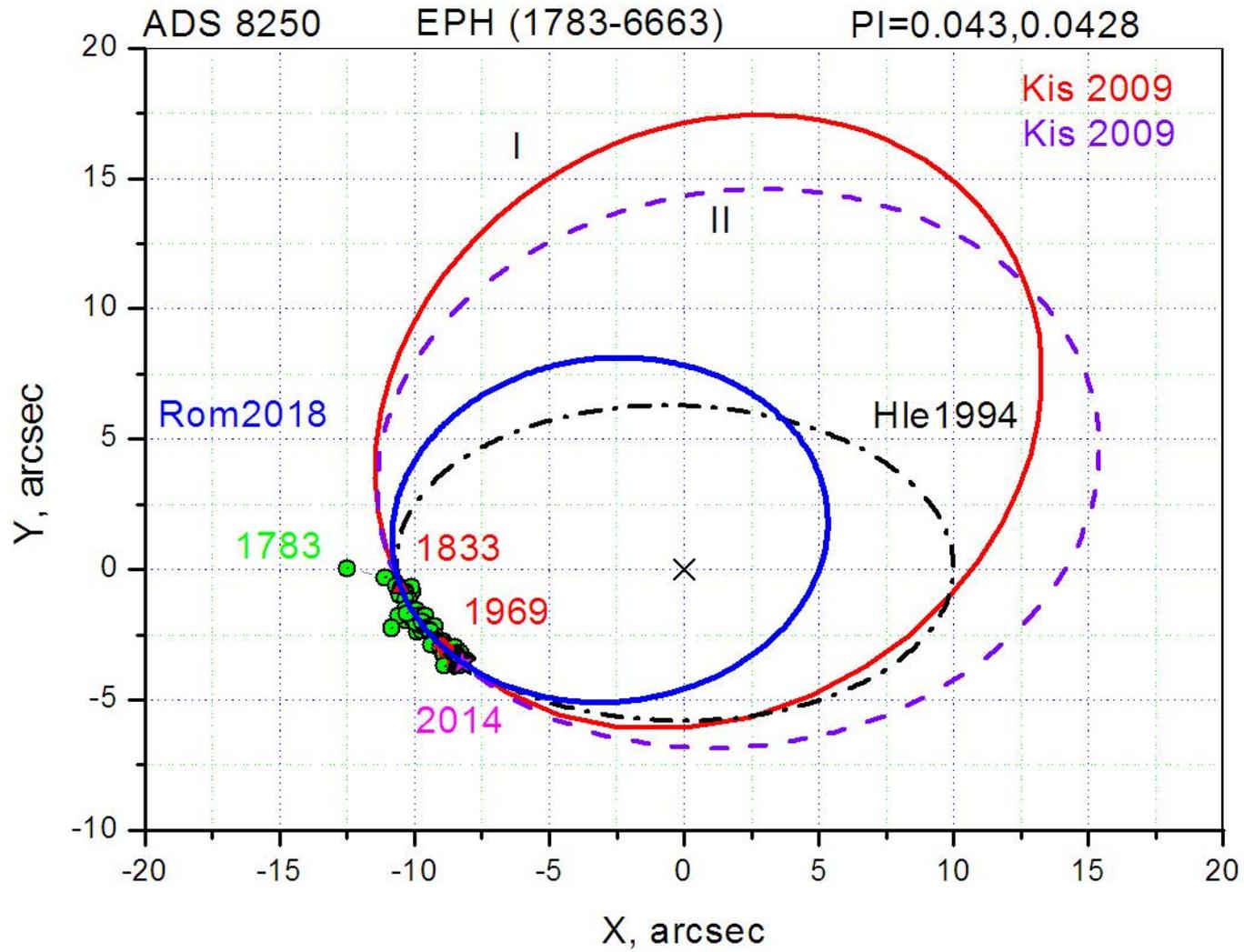


# ADS 8250. Сравнение ПВД-орбит с наблюдениями.



А.А.Киселев и др., Известия ГАО №219, 135-140 (2009)

# ADS 8250. Новая ПВД-орбита (базис PCSD).

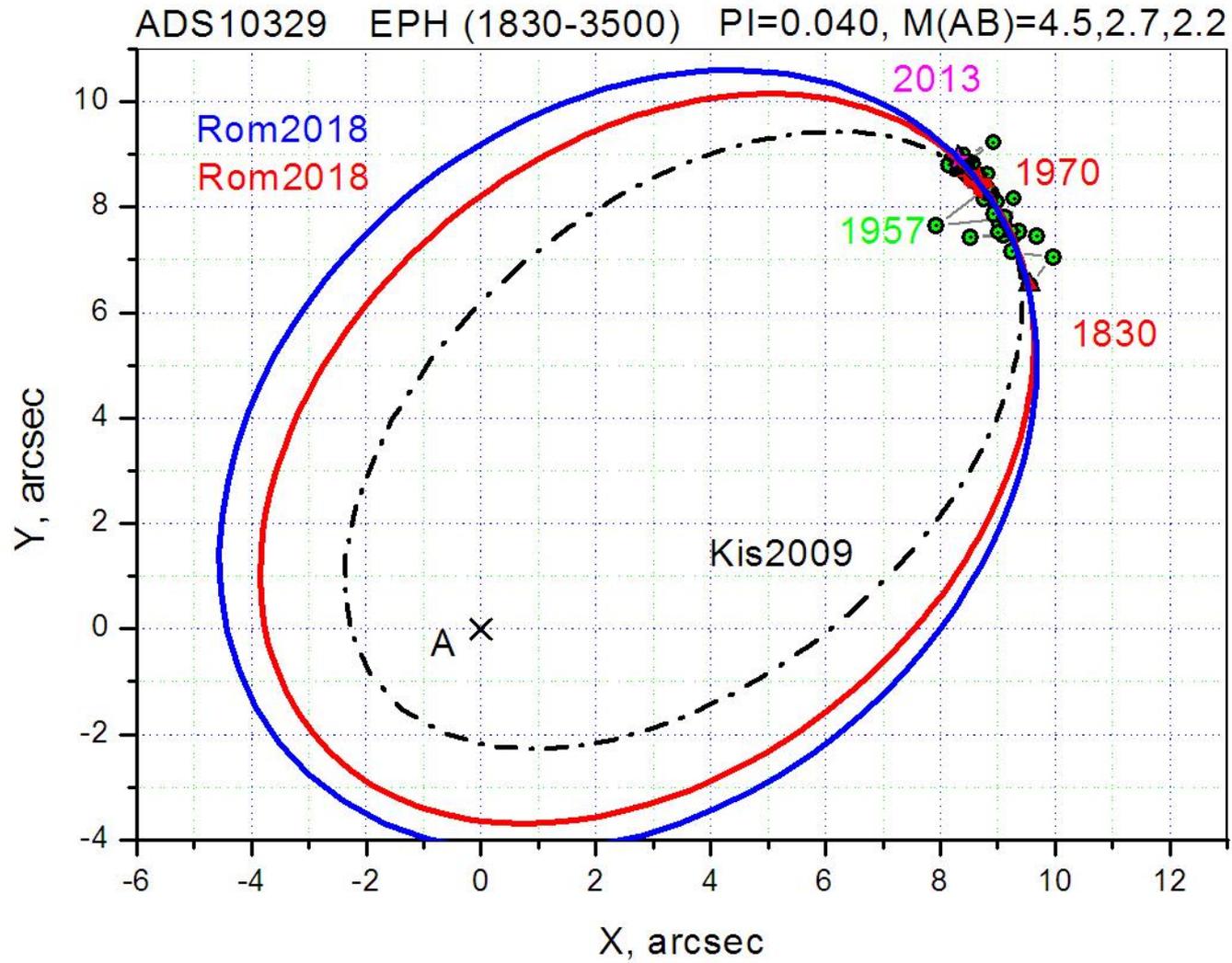


А.А.Киселев и др., Известия ГАО №219, 135-140 (2009)

## Табл.5.3. Сравнение орбит ADS 8250.

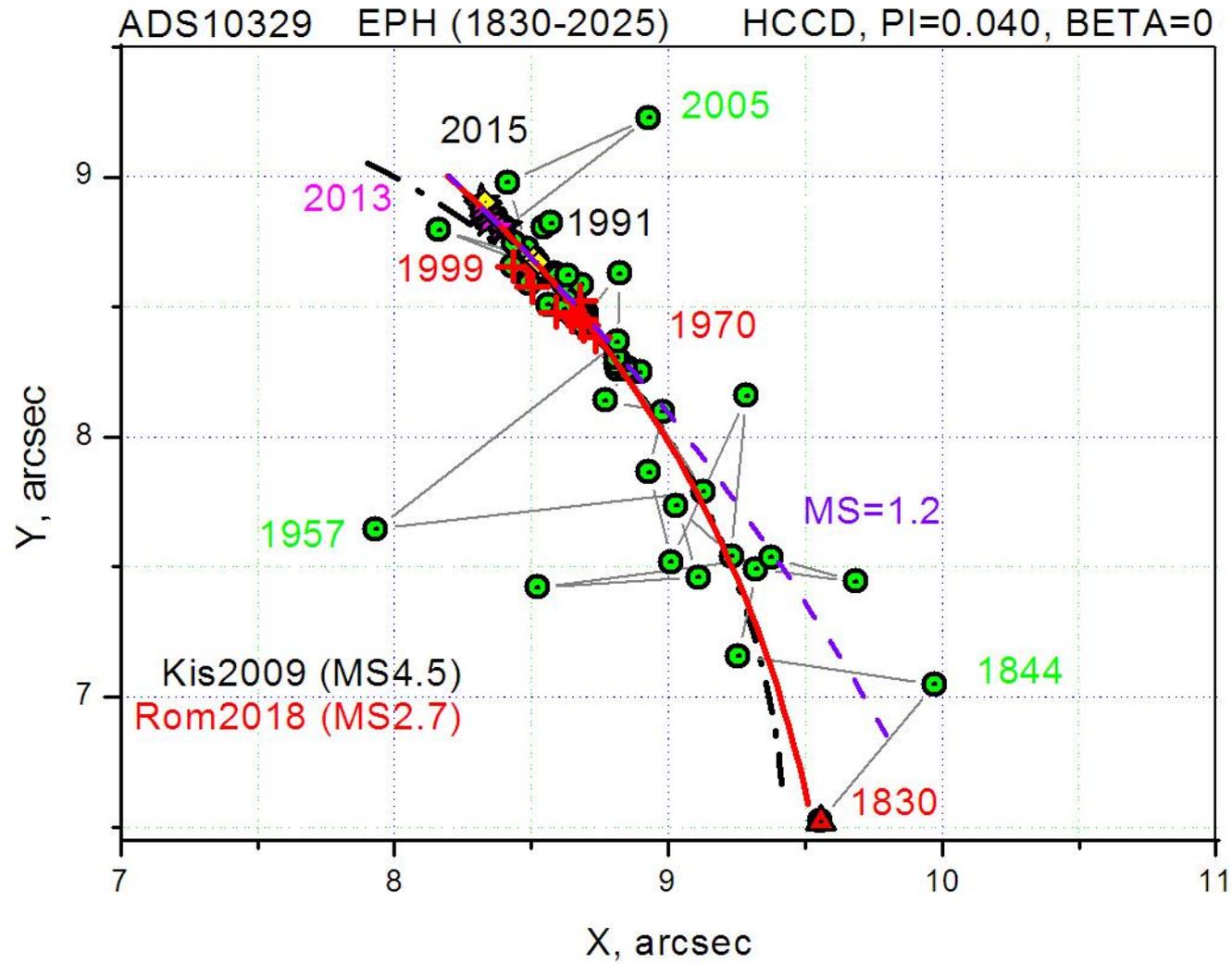
ADS	$\beta$	a, АЕ	P, лет	e	$\omega$	i	$\Omega$	$T_{II}$ ,лет	$b_Q$	MS	Ref/Bas
8250	+7.	333.6	4818.	.38	67.	139.	268.	2247.	+31.	1.60	Kis2009b
8250	-7.	333.6	4818.	.48	67.	143.	251.	2310.	+31.	1.60	Kis2009b
8250	0.	199.9	1787.	.42	305.	144.	70.	2375.	+72.	2.50	PCCD
		$\pm 21.4$	291.	.04	15.	6.	1.	13.	5.		
8250		241.4	2050.	.05	130.	126.	271.	2500.	+19.	3.34	Hale1994

# ADS 10329. Сравнение ПВД-орбит с наблюдениями.



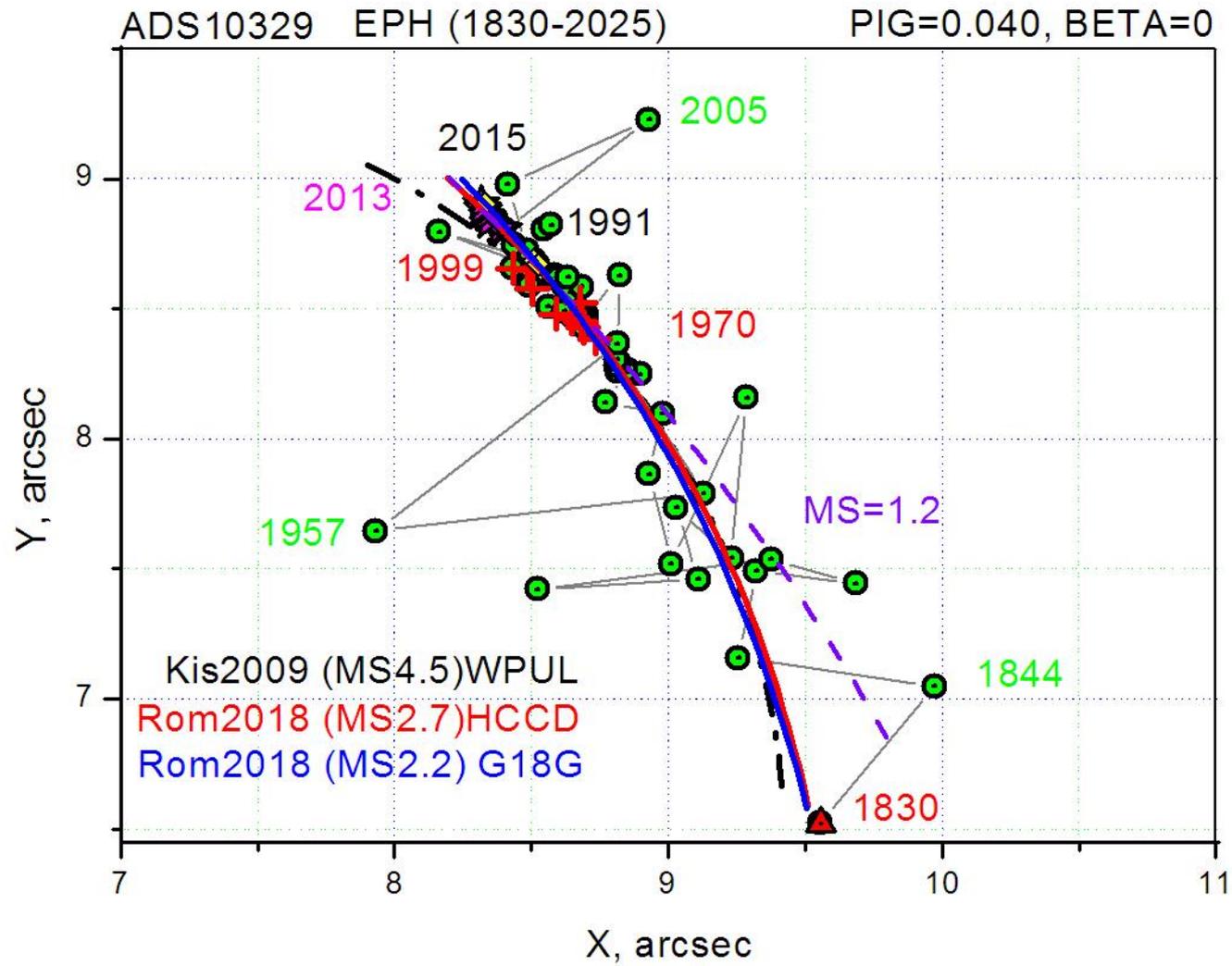
А.А.Киселев и др., *Астрон. журн.*, **86**, 148-157 (2009).

# ADS 10329. Сравнение ПВД-орбит с наблюдениями.



А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS 10329. Сравнение ПВД-орбит с наблюдениями.

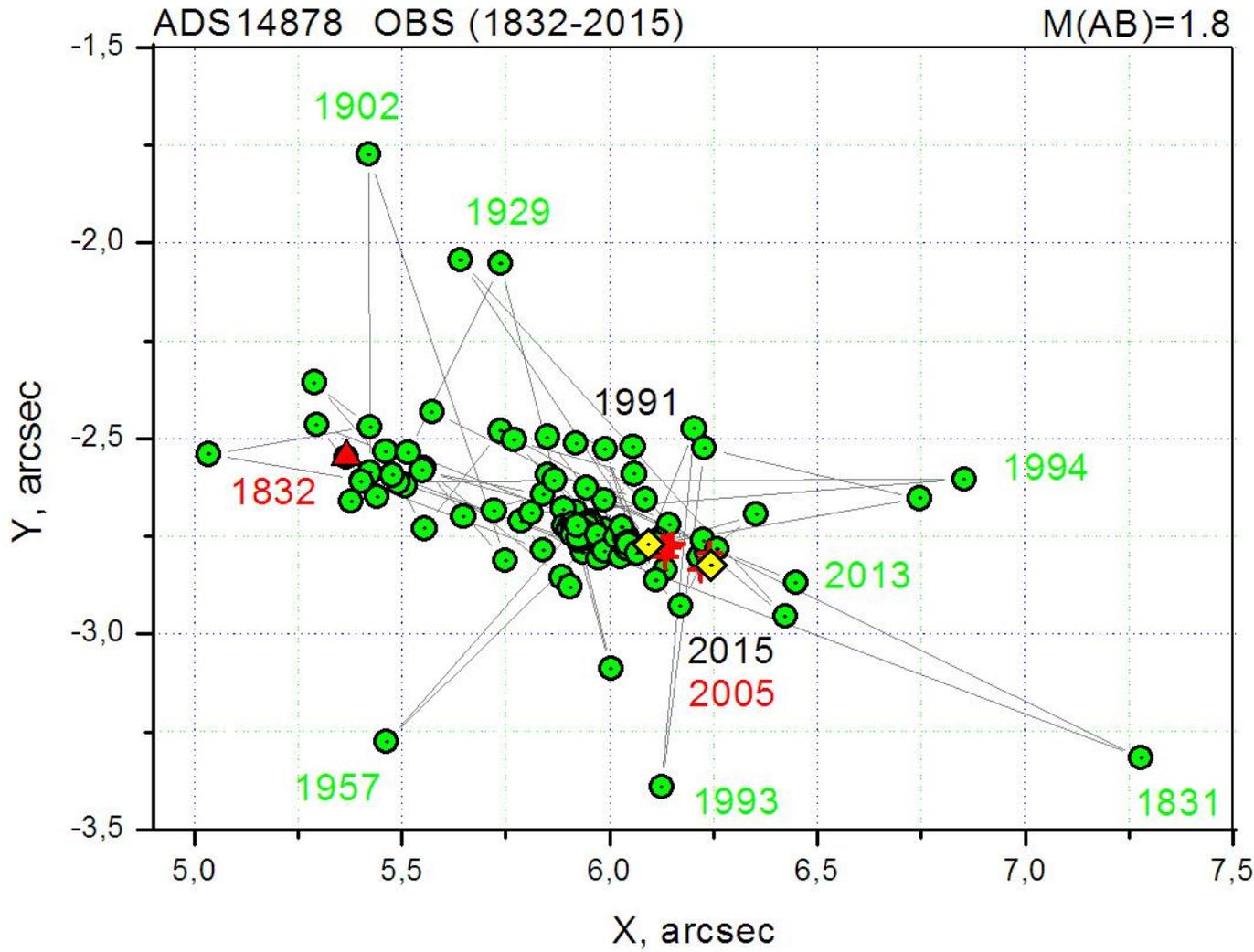


А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

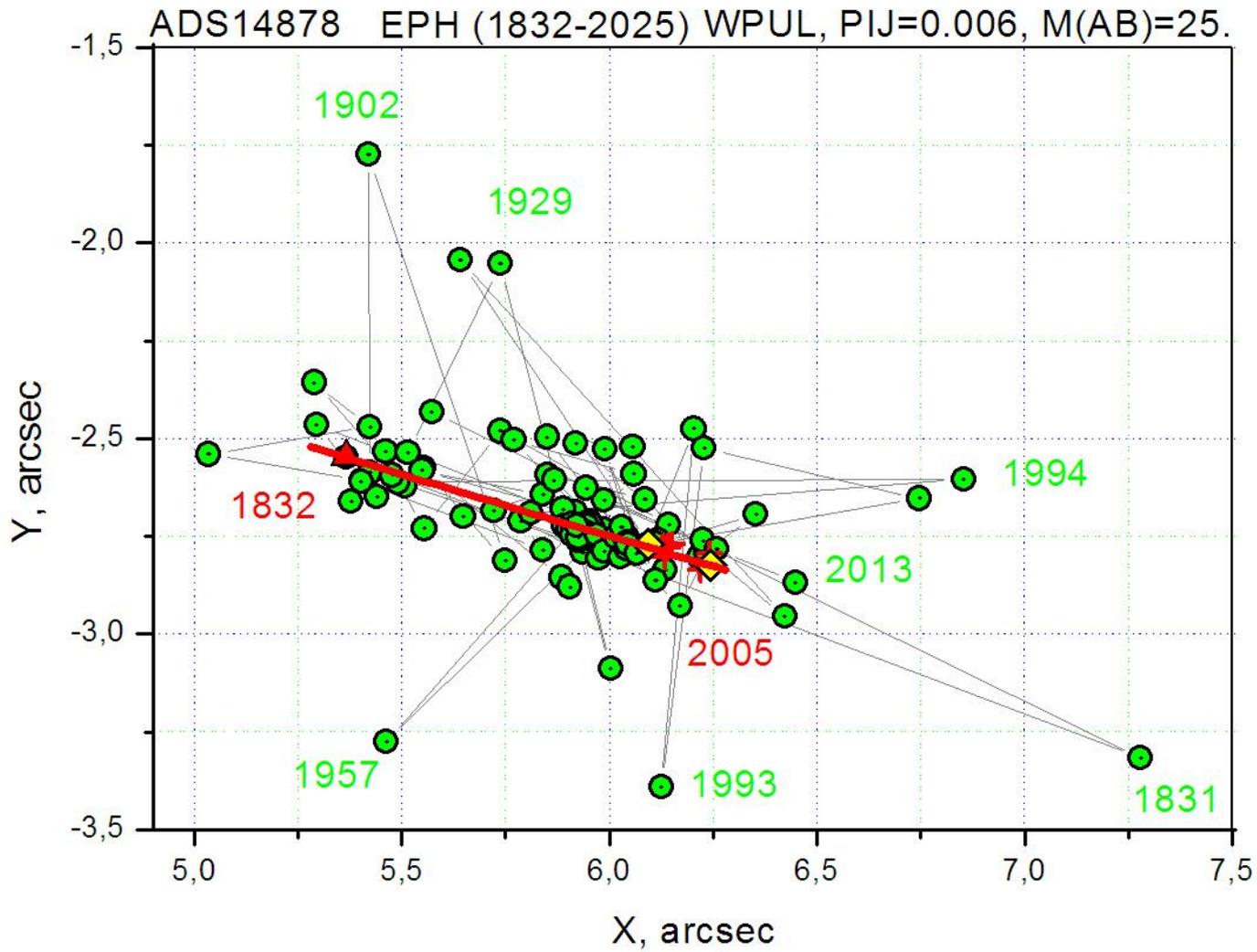
## Табл.5.4. Сравнение орбит ADS 10329.

ADS	$\beta$	a, AE	P, лет	e	$\omega$	i	$\Omega$	$T_{\text{П,ле}}$ T	$b_Q$	MS	Ref/Bas
10329	0.	178.0	1120.	.71	185.	151.	50.	1416.	+19	4.50	Kis2009
		$\pm 6.6$	60.	.05	21.	8.	18.	3.			
10329	0.	196.1	1971.	.55	182.	150.	44.	1197.	+16.	2.70	HCCD
		$\pm 9.9$	128.	.08	2.	8.	2.	62.	6.		

# ADS14878. Наблюдения согласно WDS и пулковские.

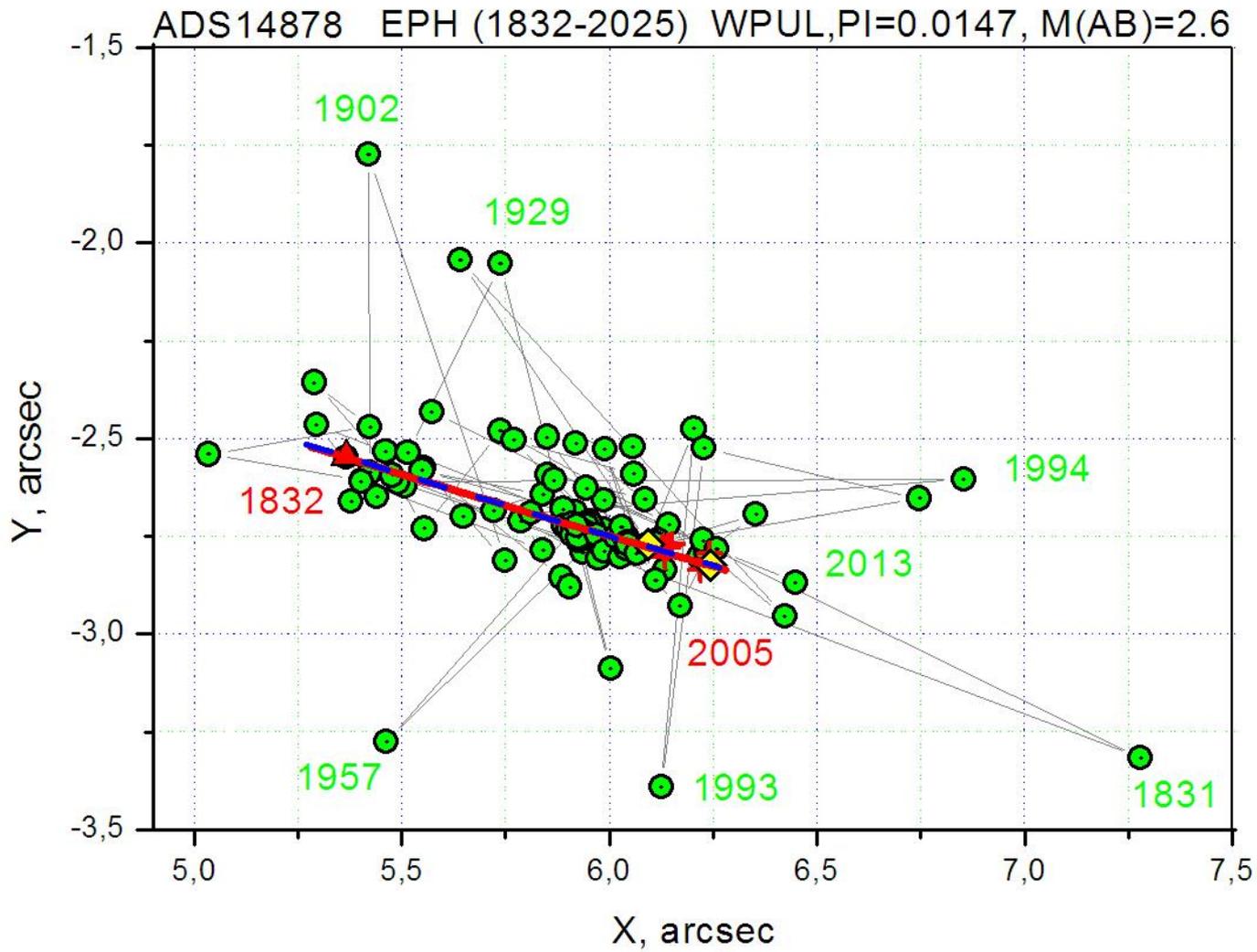


# ADS14878. Выявление избытка масс.



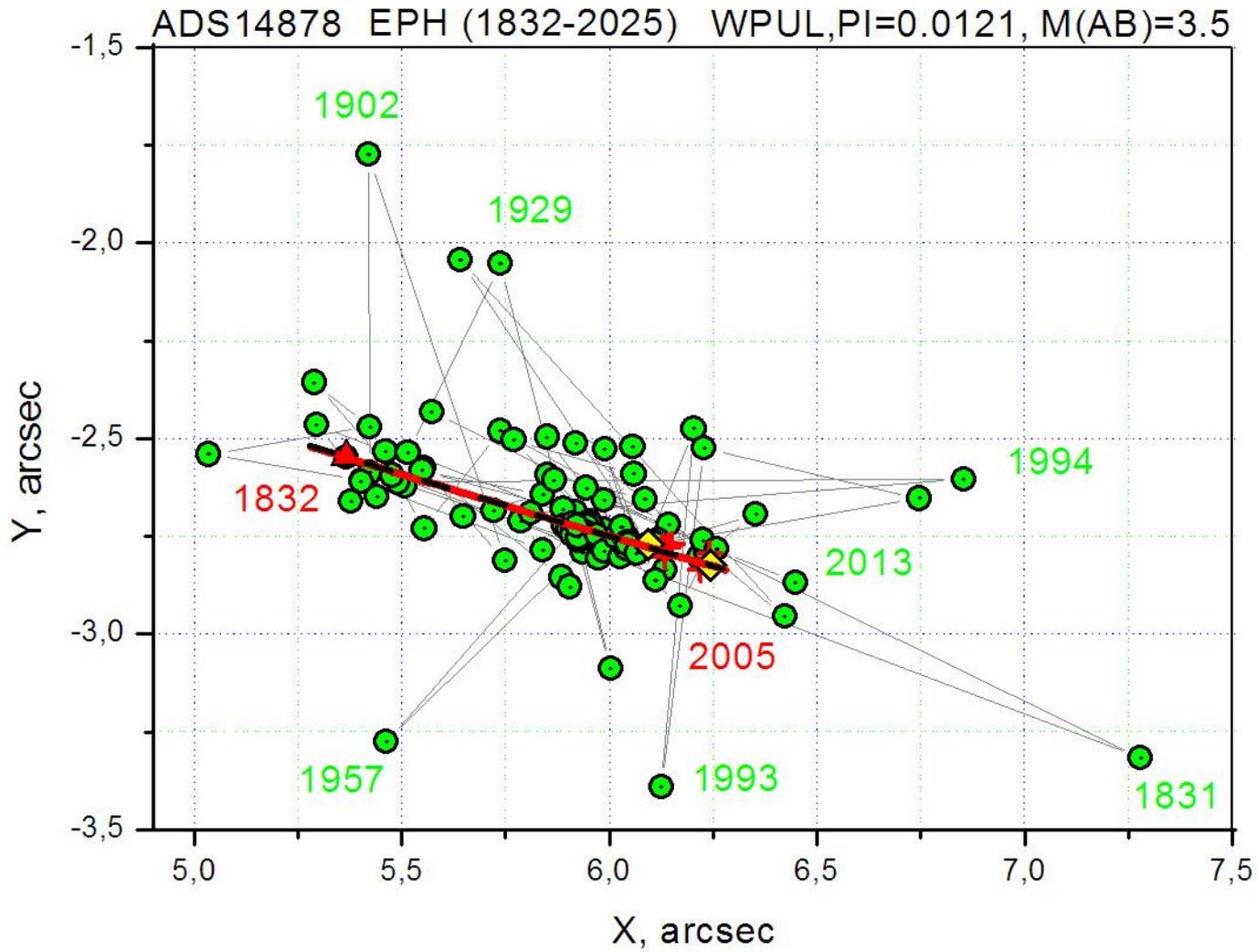
А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS14878. Выявление избытка масс.



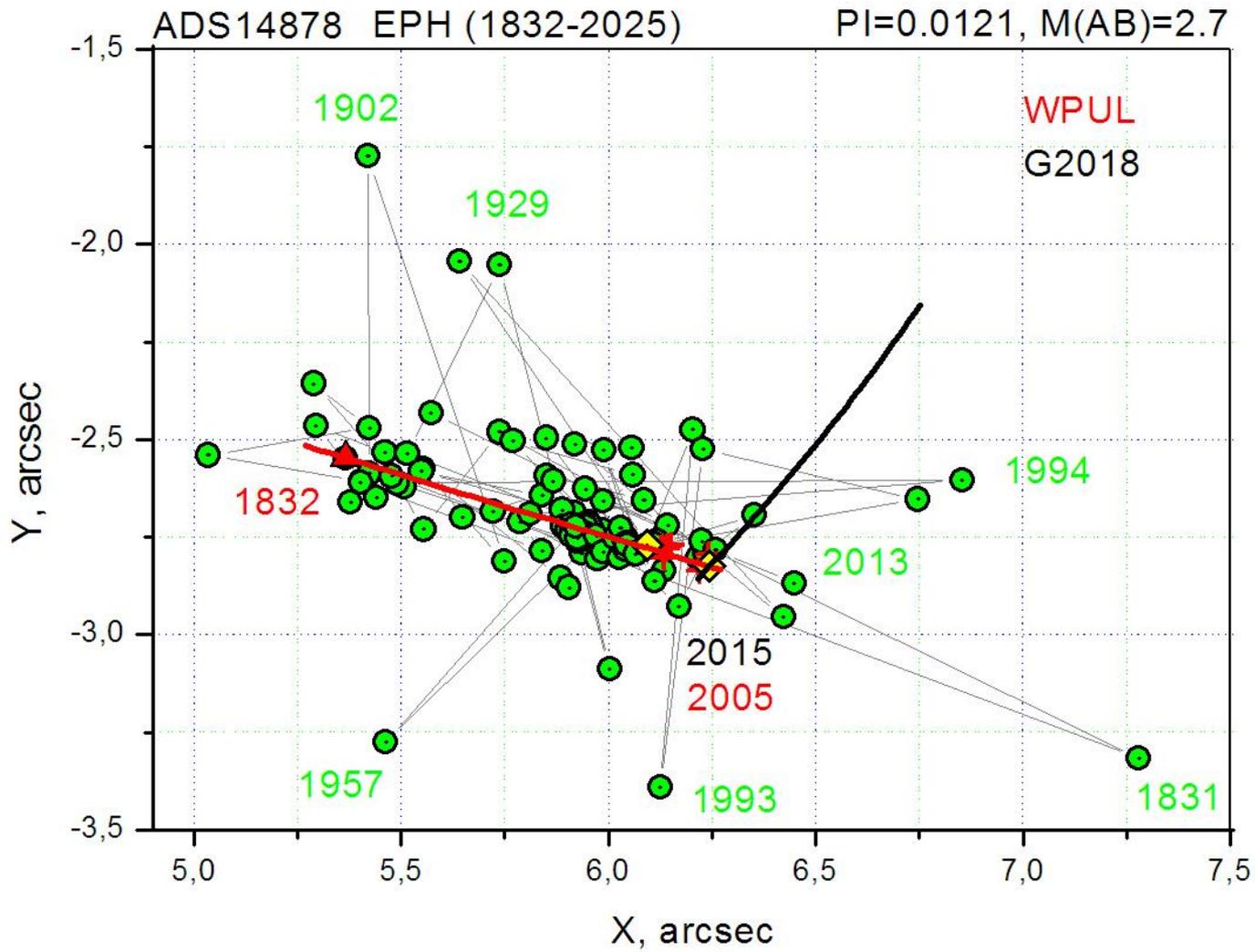
А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS14878. Выявление избытка масс.



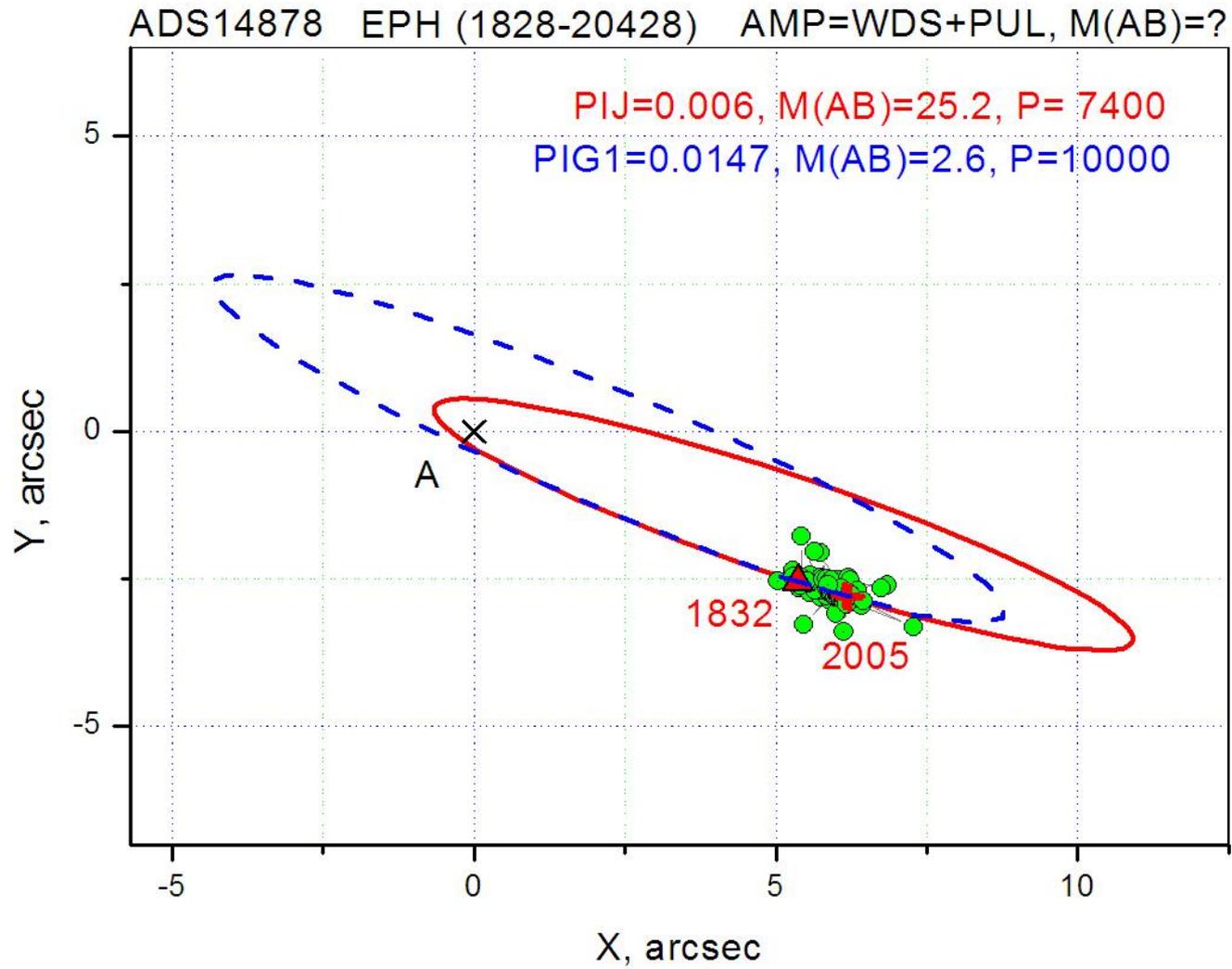
А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS14878. Эфемериды орбиты по данным Gaia.



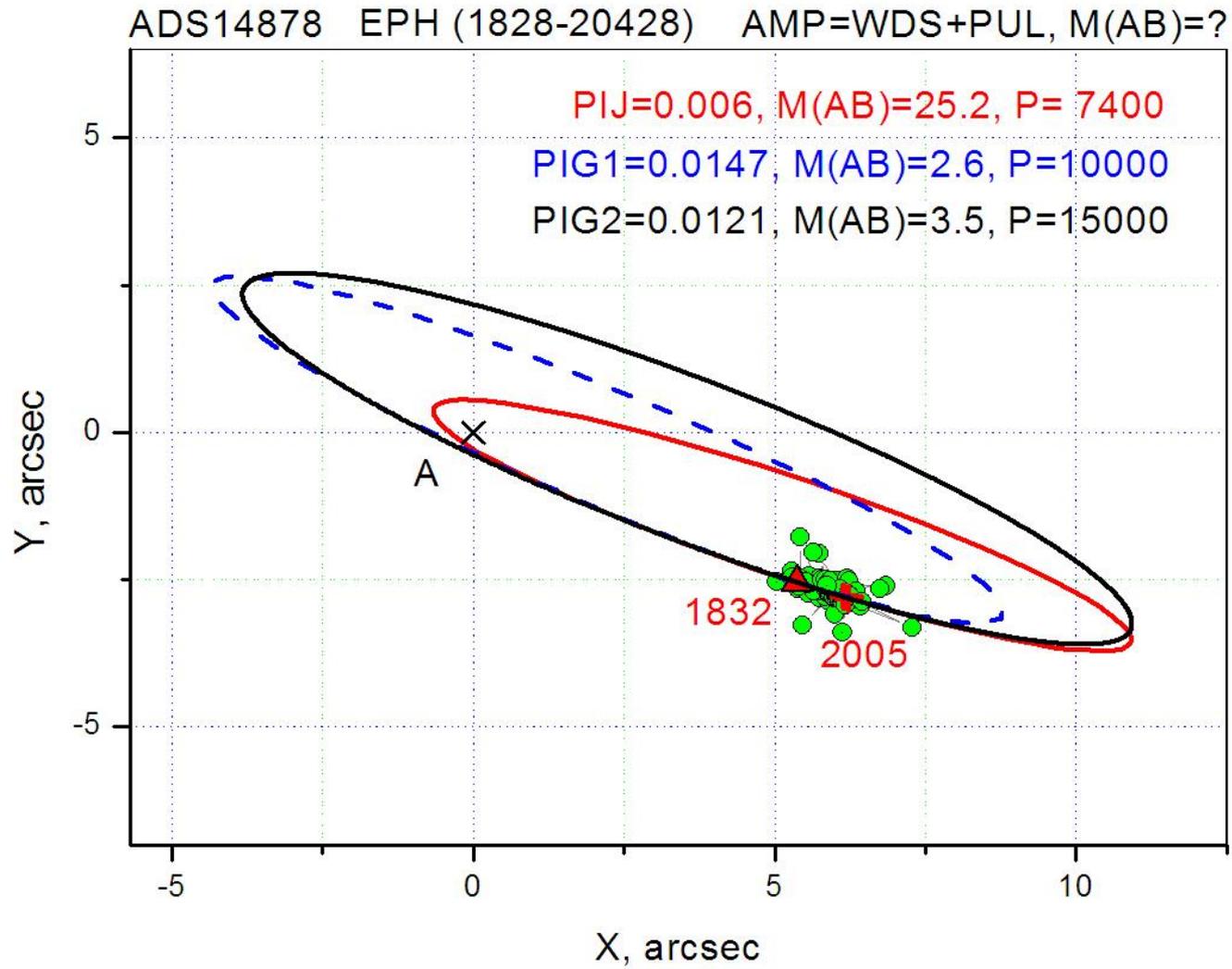
А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS14878. Выявление избытка масс.



А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

# ADS14878. Выявление избытка масс.



А.А.Киселев и др., Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).

## Табл.5.5. Сравнение орбит ADS 14878.

ADS	$\beta$	a, АЕ	P, лет	e	$\omega$	i	$\Omega$	$T_{II, \text{лет}}$ T	$b_Q$	MS	Ref/Bas
14878	+38.	2042.	18376.	.54	60.	96.	290.	550.	+24.	25.	Kis2009
	0.	1116.	7427.	.90	28.	105.	295.	1189.	+20.	25.	Kis2009
	-38.	2042.	18376.	.97	158	111.	97.	1035.	-34.	25.	Kis2009
14878	+38.	4122.	141442.	.84	125	94.	292.	1600.	+23.	3.50	WPUL
	0.0	942.	15461.	.78	67.	98.	295.	1121.	+20.	3.50	WPUL
	-38.	4122.	141442.	.99	61.	122.	325.	-2172.	-7.	3.50	WPUL

## Заключение.

- В докладе представлены результаты **улучшения орбит 5** исследуемых звезд Пулковской программы. А именно: ADS 2427, 8002, 8250, 10329 и 14878. Получено, что в 4 случаях имеем **избыток массы**.
- В задаче определения орбит широких звездных пар **наземные наблюдения** не теряют актуальности.
- Необходимо продолжать плотные однородные **ПЗС-ряды** на 26-дюймовом рефракторе в Пулково.
- Появление результатов **миссии GAIA** может стимулировать определение **новых орбит**, но к этим данным следует относиться **с осторожностью**.

# Результаты фотографических и ПЗС-наблюдений на 26" рефракторе в Пулково.

- 1) А.А. Киселев, О.А. Калиниченко, Г.А. Плюгин, Н.А. Шахт, О.В. Кияева и др. «Каталог относительных положений 200 визуально-двойных звезд по наблюдениям в Пулкове на 26" рефракторе в 1960-1986гг.» (Ленинград: Наука, 1988).
- 2) А.А.Киселев, О.В.Кияева,И.С.Измайлов,Л.Г.Романенко, О.А. Калиниченко,О.О.Василькова,Т.А.Васильева, Н.А.Шахт, Е.А. Рощина, Д.Л.Горшанов – Астрон.журн. **91**,130-149 (2014).
- 3) И.С. Измайлов, Е.А. Рощина, А.А. Киселев,Т.П. Киселева, О.А. Калиниченко, О.П. Быков, О.В. Кияева, Л.Г. Романенко, Н.А. Шахт, К.Л. Масленников, Т.А. Васильева – Письма в Астрон. журнал **42**, 46–59 (2016).
- 4) И.С. Измайлов, М.Л. Ховричева, М.Ю.Ховричев, О.В.Кияева, Е.В.Хруцкая, Л.Г.Романенко, Е.А.Грошева, К.Л.Масленников, О.А.Калиниченко – Письма в Астрон.журн.**36**, 365-371 (2010)
- 5) I.S.Izmailov, E.A.Roshchina - Astrophys.Bull. **71**, 225-231(2016)

## Некоторые публикации с результатами определения лучевых скоростей компонент ВДЗ Пулковской программы.

- 1) А.А. Токовинин, Астрон. журн. **71**, 293-296 (1994).
- 2) A.Duquennoy, M.Mayor, Astron.Astrophys. **248**,485-524(1991).
- 3) A.A.Tokovinin,M.G.Smekhov,Astron.Aphys.**382**,118-123(2002).

## Некоторые публикации с результатами определения орбит звезд Пулковской программы.

- 1) H.Zirm, Inf. Circ. **166**, 1 (2008).
- 2) A.Hale, AJ **107**, 306-332 (1994).

# Некоторые публикации с результатами определения ПВД-орбит звезд Пулковской программы.

- 1) A.A.Kisselev, O.V.Kiyaeva, L.G.Romanenko "Visual Double stars: Formations, Dynamics and Evolutionary Tracks", IAU Workshop, Santiago de Compostela, 377-382 (1997).
- 2) А.А.Киселев, Л.Г.Романенко, И.С.Измайлов, Е.А.Грошева, Известия ГАО №**214**, 239-254 (2000).
- 3) А.А.Киселев, Л.Г.Романенко, О.А.Калиниченко, Астрон. журн., **86**, 148-157 (2009).
- 4) А.А.Киселев, Л.Г.Романенко, Н.А.Шахт, О.В.Кияева, Е.А. Грошева, И.С.Измайлов, Изв. ГАО №**219**, 135-140 (2009).



Спасибо за внимание



Группа А.А.Киселева  
(ГАО РАН),  
будущие соавторы  
«Пулковского каталога орбит  
широких пар».



# History of our visual double stars observations with 26-inch refractor ( $D = 65\text{cm}$ , $F = 10413\text{ mm}$ , $M = 19.81\text{ ''/mm}$ )



- 1945-1954 – Pulkovo observatory was restored after destructions in the Second World War .
- 1956 – 26-inch Zeiss refractor was placed at Pulkovo observatory
- 1958 – 2007 – photographic observations of wide visual double stars, initiators – A.N.Deutch, then A.A.Kiselev.
- 2003 – till today – CCD observations (FLIPROLINE, 3056x3056pxs,  $M=0.2\text{ ''/pxs}$ ).



**Thanks to automation this old telescope can work as a modern one.**