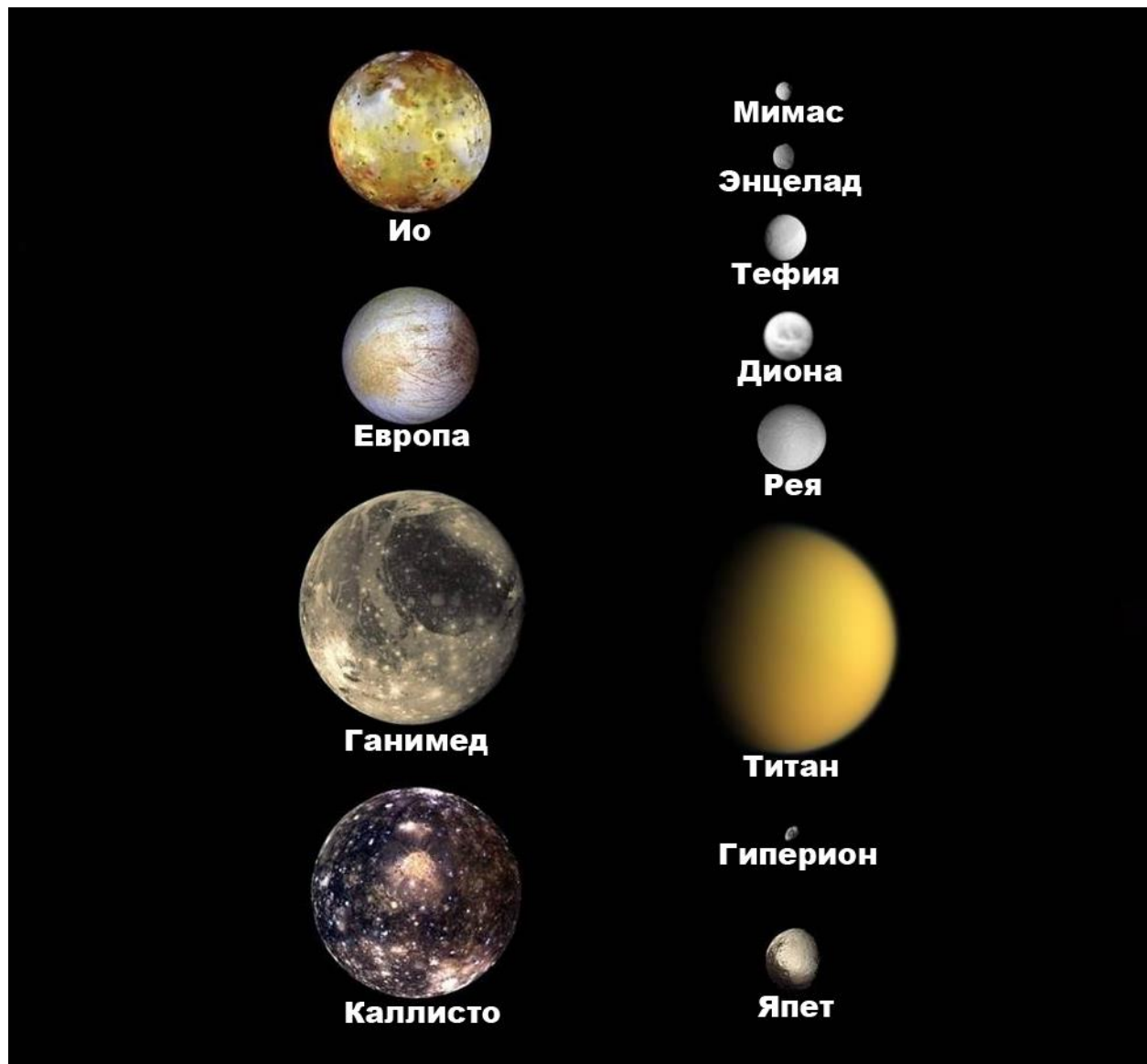
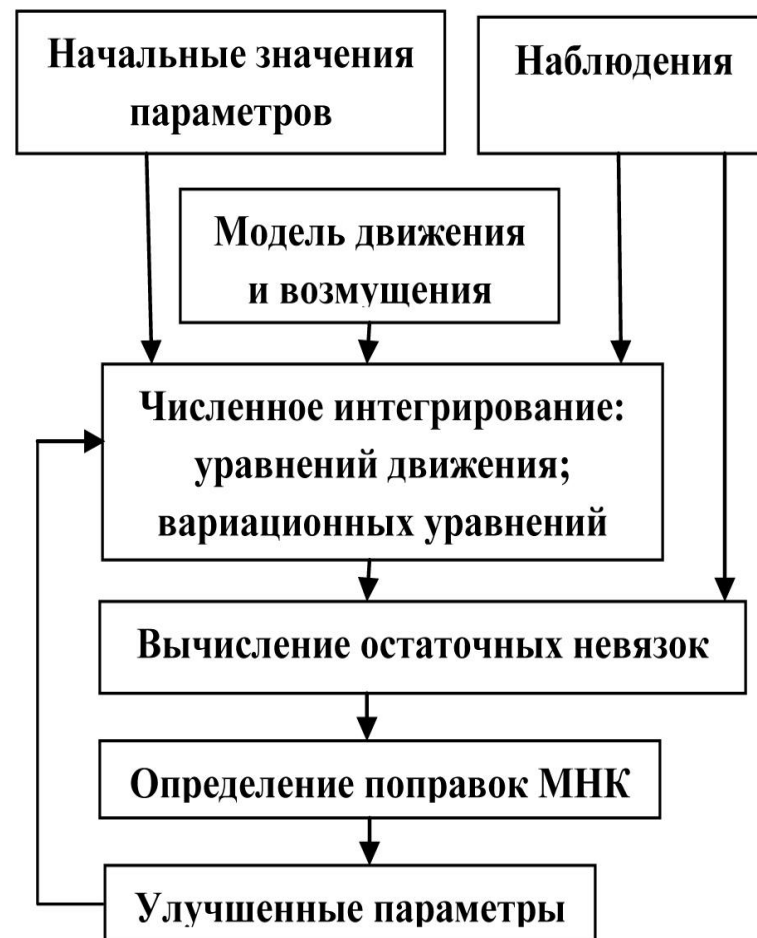


ЧИСЛЕННЫЕ ЭФЕМЕРИДЫ ГАЛИЛЕЕВЫХ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА И КЛАССИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ САТУРНА

Г.А. Космодамианский
ИПА РАН



Численное интегрирование проводится методом Эверхарта 19-го порядка. В результате получаются файлы с разложением координат и скоростей в ряды по полиномам Чебышева. Значения параметров улучшаются методом наименьших квадратов, затем полученные поправки добавляются к начальным значениям и процесс повторяется до тех пор, пока разница между двумя последовательными приближениями не становится пренебрежимо мала.



- Сжатие центральной планеты (J_2, J_4 , для системы Юпитера J_2, J_4, J_6)
- Взаимные возмущения спутников
- Возмущения от Солнца и больших планет
- Планетная эфемерида EPM2015
- Гравитационные параметры ($Gm, J_2, J_4, \dots$) взяты с <http://ssd.jpl.nasa.gov>
- Координаты северного полюса центральной планеты взяты из Report of the IAU Working Group 2009

Абсолютные наблюдения

	Годы	N	Ио		Европа		Ганимед		Каллисто	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
USNO	1998-2015	2666	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.11	0.11
USNO	1967-1998	3782	0.12	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	-	-
GAO	2009-2017	1220	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.10	0.08	0.07
GAO	1974-1994	613	0.31	0.25	0.29	0.27	0.23	0.28	0.22	0.27
Николаев	1962-1998	1311	0.18	0.18	0.17	0.15	0.17	0.15	0.14	0.14
La Palma	1992-1997	658	-	-	-	-	0.19	0.20	0.19	0.19

Дифференциальные наблюдения

	Годы	N	Ио		Европа		Ганимед		Каллисто	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
Спутник относительно планеты										
GAO	1976-2005	711	0.15	0.16	0.14	0.19	0.15	0.20	0.16	0.25
GAO	1984-1986	185	0.13	0.21	0.10	0.20	0.11	0.32	0.15	0.47
Itajuba	1995	364	0.09	0.03	0.17	0.05	0.13	0.05	0.09	0.07
HST	1994	47	0.07	0.07	0.04	0.08	0.08	0.07	0.03	0.02
Спутник относительно другого спутника										
GAO	1986-2005	256	0.04	0.07	0.08	0.11	0.08	0.11	0.10	0.14
GAO	1974-2004	444	0.16	0.15	0.17	0.15	0.17	0.17	0.19	0.18
GAO	2013-2015	148	0.14	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.12
Yunnan	2002-2010	526	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	-	-

Архив Arlot

	Годы	N	Ио		Европа		Ганимед		Каллисто	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
Bordeaux	1967-1974	362	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.41	0.32	0.41
Bucarest	1934	187	0.24	0.28	0.24	0.32	0.24	0.26	0.31	0.34
CGH	1924	214	0.09	0.13	0.11	0.15	0.08	0.13	0.12	0.17
Greenwich	1918-1919	221	0.08	0.17	0.09	0.24	0.07	0.28	0.10	0.22
Helsingfors	1891-1897	507	0.20	0.15	0.17	0.13	0.19	0.17	0.15	0.14
La Silla	1978	126	0.23	0.24	0.19	0.19	0.24	0.24	0.22	0.21
McCormick	1977-1978	466	0.22	0.10	0.17	0.14	0.18	0.09	0.21	0.11
Paris	1936	59	0.32	0.33	0.24	0.39	0.22	0.33	0.28	0.52
Pulkovo	1895-1910	814	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.17	0.17	0.19
Rio de J-ro	1977	31	0.47	0.40	0.38	0.33	0.32	0.53	0.21	0.41
Uccle	1977-1978	94	0.34	0.42	0.35	0.39	0.33	0.29	0.28	0.34
Yerkes	1961-1963	77	0.32	0.39	0.28	0.29	0.48	0.39	0.33	0.42
Zo-se	1917-1918	31	0.26	0.32	0.32	0.29	0.08	0.10	0.09	0.30

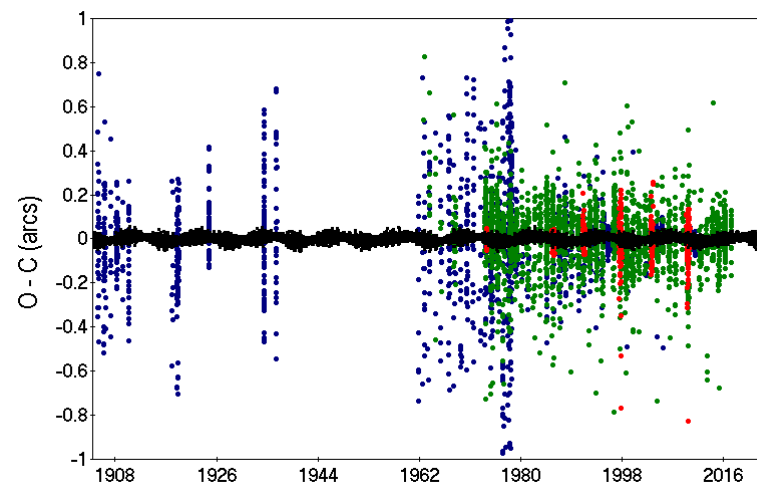
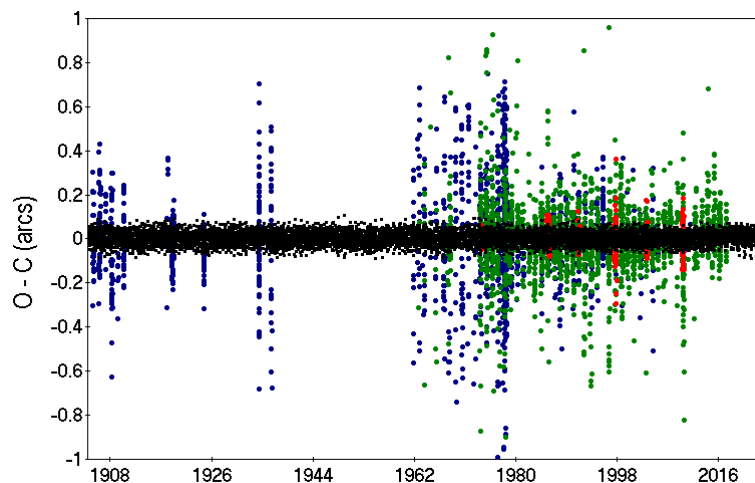
Наблюдения взаимных явлений в системе спутников

	Годы	N	Ио		Европа		Ганимед		Каллисто	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
Затмения	1973-2009	897	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06
Покрытия	1973-2009	687	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.06	0.08

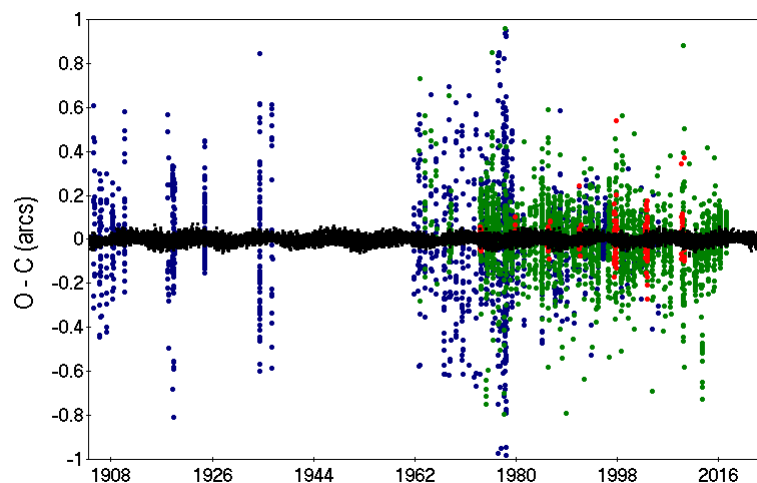
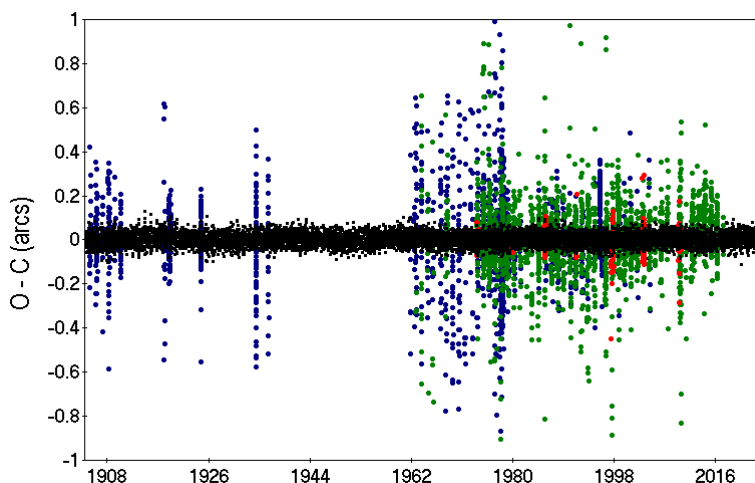
$\Delta \alpha \cos \delta$

$\Delta \delta$

Ио



Европа



● - Абсолютные

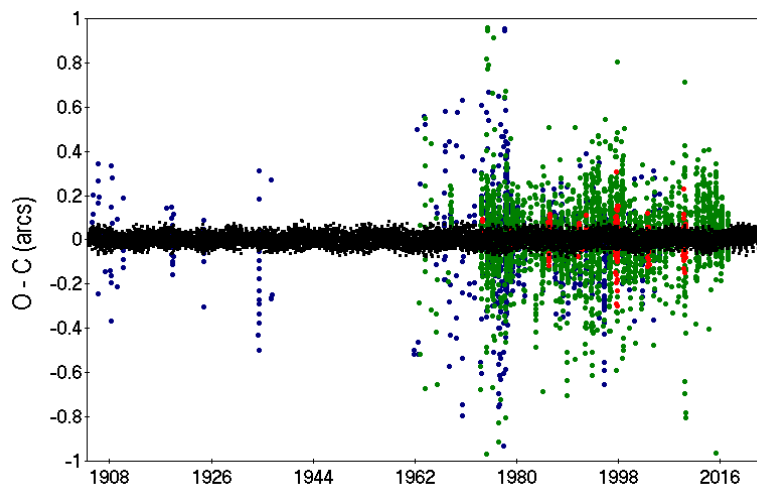
● - Относительные

● - Взаимные явления

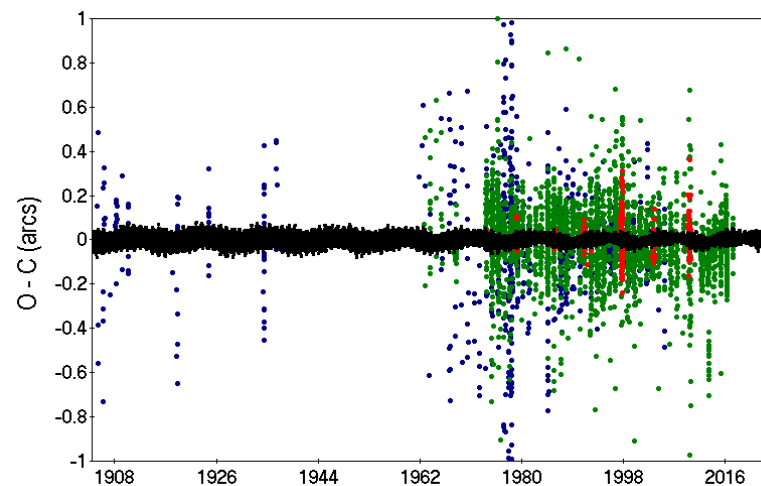
● - сравнение с эфемеридой Lainey

Ганимед

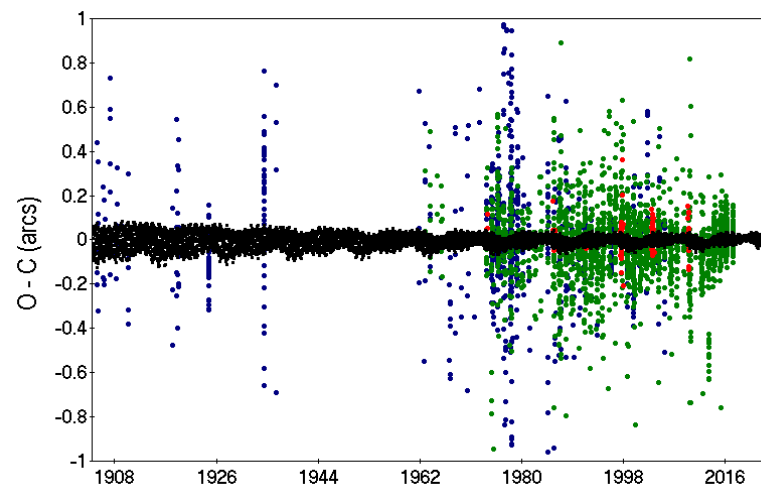
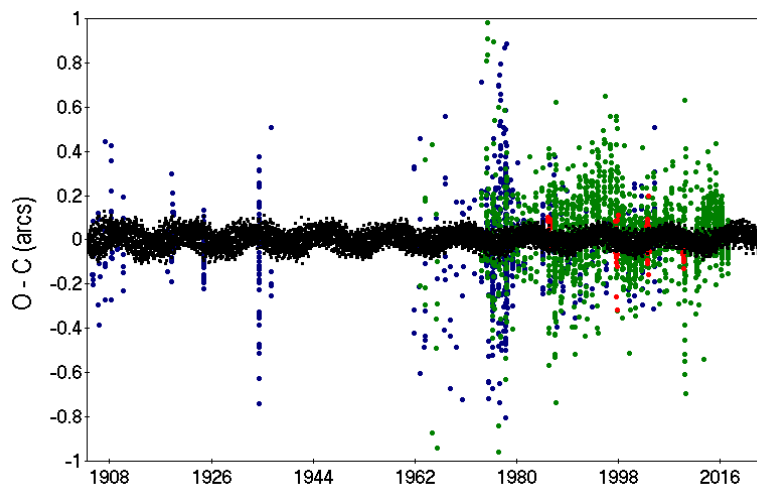
$\Delta \alpha \cos \delta$



$\Delta \delta$



Каллисто



- - Абсолютные
 - - Взаимные явления
- - Относительные
 - - сравнение с эфемеридой Lainey

Абсолютные наблюдения

	Годы	N	Мимас		Энцелад		Тефия		Диона	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
USNO	1998-2015	3668	-	-	-	-	0.21	0.17	0.12	0.16
USNO	1974-1998	3872	0.35	0.35	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09
La Palma	1992-1997	730	-	-	-	-	-	-	-	-
Bordeaux	1966-1993	736	-	-	-	-	0.88	0.55	0.70	0.55
Bordeaux	1981-2007	770	-	-	-	-	0.89	0.56	0.62	0.39
GAO	1973-1984	2300	0.60	0.76	0.37	0.31	0.26	0.27	0.23	0.25
GAO	2004-2014	825	0.09	0.20	0.18	0.09	0.13	0.09	0.11	0.11
T. Mount.	1971-2003	376	0.24	0.17	0.47	0.17	0.17	0.16	0.10	0.07
Киев	1961-1984	993	0.44	0.33	0.47	0.32	0.44	0.24	0.36	0.28
Николаев	1973-1997	632	-	-	-	-	0.29	0.20	0.24	0.20

			Рея		Титан		Гиперион		Япет	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
USNO			0.09	0.10	0.11	0.12	0.17	0.20	0.10	0.11
USNO			0.10	0.09	0.09	0.09	0.12	0.12	0.10	0.08
La Palma			-	-	0.19	0.19	0.41	0.32	0.19	0.16
Bordeaux			0.77	0.51	0.43	0.43	0.76	0.50	0.54	0.43
Bordeaux			0.48	0.21	0.18	0.22	0.11	0.15	0.16	0.13
GAO			0.21	0.20	0.22	0.22	0.23	0.18	0.20	0.19
GAO			0.09	0.08	0.09	0.10	0.17	0.29	0.12	0.09
T. Mount.			0.06	0.08	0.07	0.08	0.09	0.05	0.05	0.05
Киев			0.34	0.22	0.26	0.23	0.39	0.25	0.38	0.34
Николаев			0.19	0.13	0.14	0.14	-	-	0.18	0.19

Дифференциальные наблюдения. Спутник – планета

	Годы	N	Мимас		Энцелад		Тефия		Диона	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
ST90	1874-1895	1844	-	-	0.42	0.15	0.89	0.40	0.41	0.12
GAO	1908-1922	493	-	-	0.32	0.35	0.36	0.34	0.24	0.25
GAO	1994-1996	165	0.22	0.15	0.19	0.42	0.14	0.43	0.13	0.50
GAO	1976-1982	740	0.68	0.45	0.19	0.28	0.14	0.26	0.10	0.25
Yunnan	2002-2006	2154	0.10	0.10	0.12	0.05	0.13	0.05	0.10	0.05
Tokyo	1970-1972	581	-	-	0.30	0.32	0.21	0.23	0.17	0.17

			Рея		Титан		Гиперион		Япет	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
ST90			0.47	0.20	0.44	0.19	0.73	0.19	0.70	0.20
GAO			0.27	0.28	0.26	0.27	0.27	0.32	0.27	0.32
GAO			0.10	0.50	0.12	0.49	-	-	0.12	0.56
GAO			0.10	0.25	0.09	0.26	-	-	0.14	0.35
Yunnan			0.12	0.05	0.10	0.06	-	-	-	-
Tokyo			0.18	0.11	0.18	0.15	0.40	0.33	0.26	0.25

Дифференциальные наблюдения. Спутник – спутник

	Годы	N	Мимас		Энцелад		Тефия		Диона	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
ST90	1884-1947	8345	-	-	0.35	0.20	0.40	0.19	0.21	0.15
ГАО	1995-2007	2136	0.19	0.13	0.13	0.12	0.12	0.13	0.11	0.13
ГАО	2005-2009	1188	0.08	0.23	0.08	0.14	0.09	0.11	0.08	0.09
ГАО	2010-2014	433	-	-	0.13	0.11	0.09	0.08	0.09	0.12
Bucharest	1995	2536	-	-	0.22	0.24	0.26	0.23	0.25	0.26
Бюракан	1990	53	-	-	0.48	0.26	0.73	0.37	0.70	0.29
Itajuba	1982-1999	8875	0.11	0.11	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07
Yunnan	1996-2000	913	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04

			Рея		Титан		Гиперион		Япет	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
ST90			0.21	0.14	0.30	0.19	0.34	0.18	0.38	0.20
ГАО			0.10	0.12	0.12	0.14	0.18	0.17	0.14	0.17
ГАО			0.08	0.09	0.08	0.11	0.10	0.11	0.08	0.10
ГАО			0.08	0.09	0.08	0.12	0.10	0.27	0.07	0.10
Bucharest			0.21	0.19	-	-	0.17	0.24	0.23	0.14
Бюракан			0.74	0.35	-	-	-	-	0.60	0.39
Itajuba			0.22	0.18	0.08	0.07	0.15	0.13	-	-
Yunnan			0.05	0.04	-	-	0.06	0.06	0.04	0.04

Наблюдения взаимных явлений в системе спутников

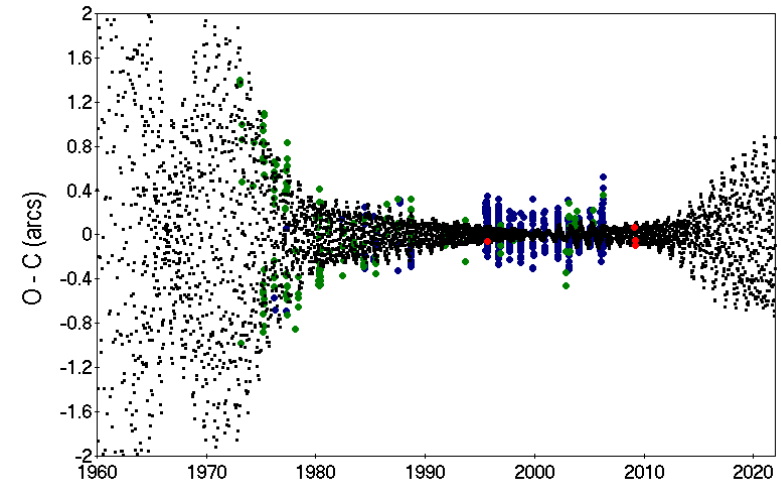
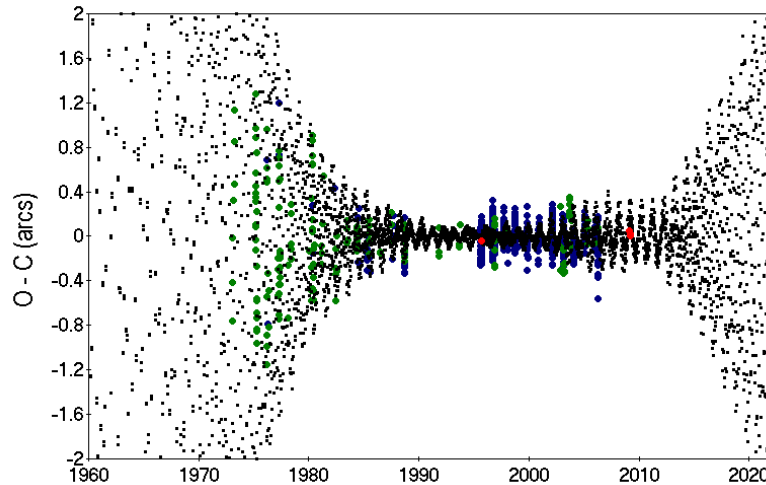
	Годы	N	Мимас		Энцелад		Тефия		Диона	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
Затмения	1980-2010	57	0.01	0.08	0.05	0.03	0.05	0.07	0.04	0.03
Покрытия	1980-2010	38	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.02	0.04	0.04

			Рея		Титан		Гиперион		Япет	
			$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\alpha\cos\delta$	$\Delta\delta$
Затмения			0.04	0.04	0.02	0.06	-	-	-	-
Покрытия			0.05	0.06	-	-	-	-	-	-

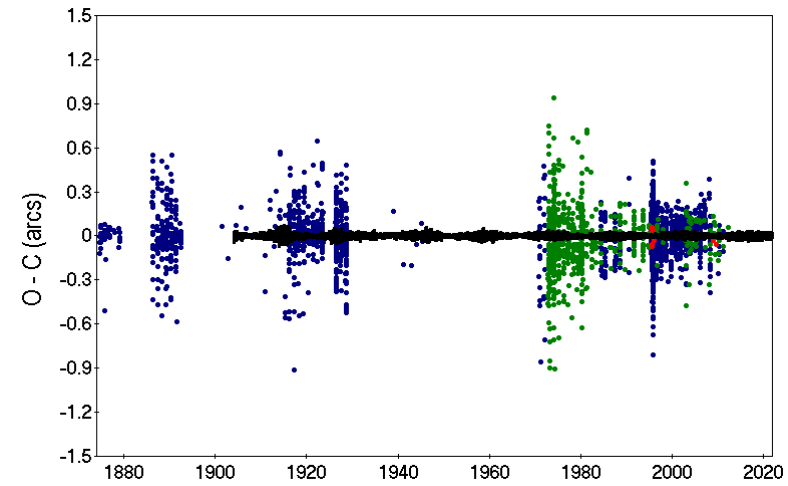
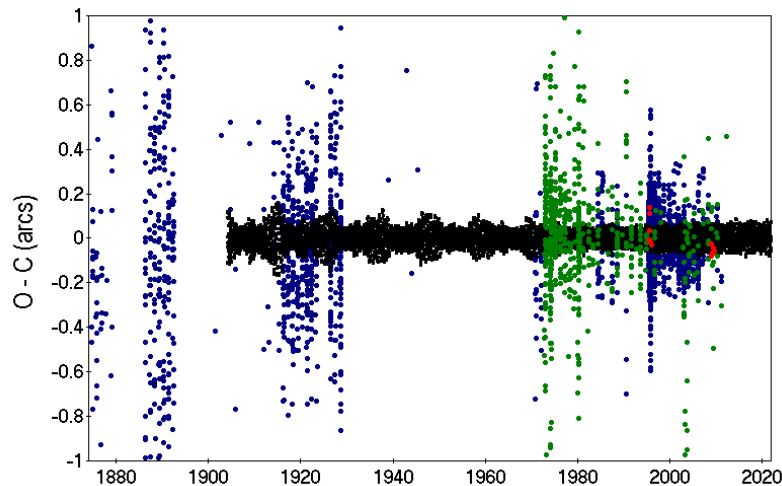
$\Delta \alpha \cos \delta$

$\Delta \delta$

Мимас



Энцелад

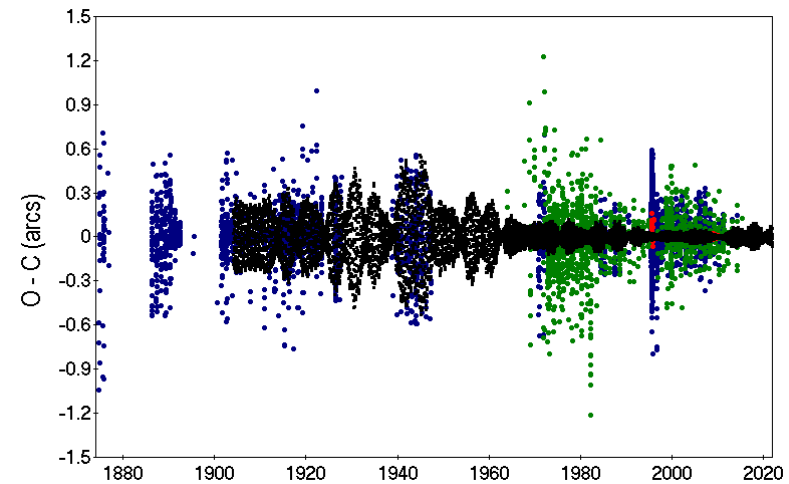
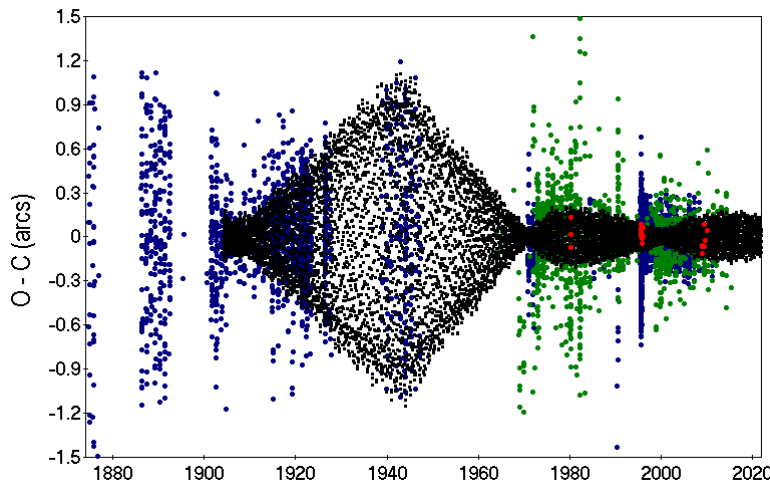


- - Абсолютные
- - Относительные
- - Взаимные явления
- - сравнение с эфемеридой Lainey

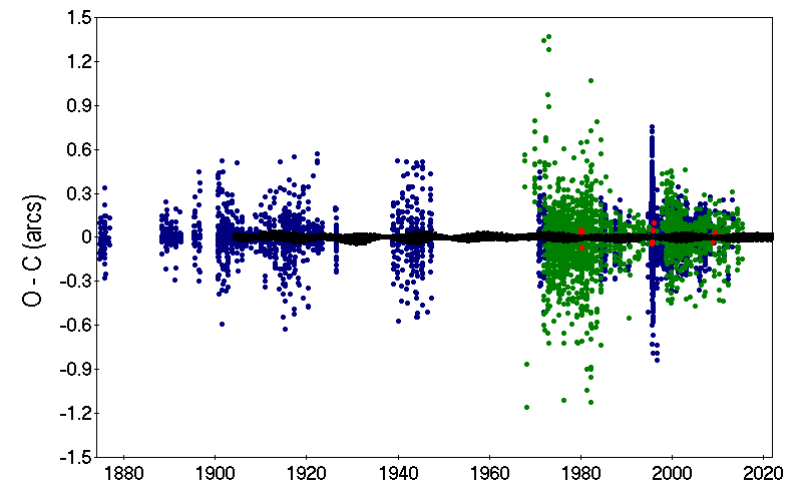
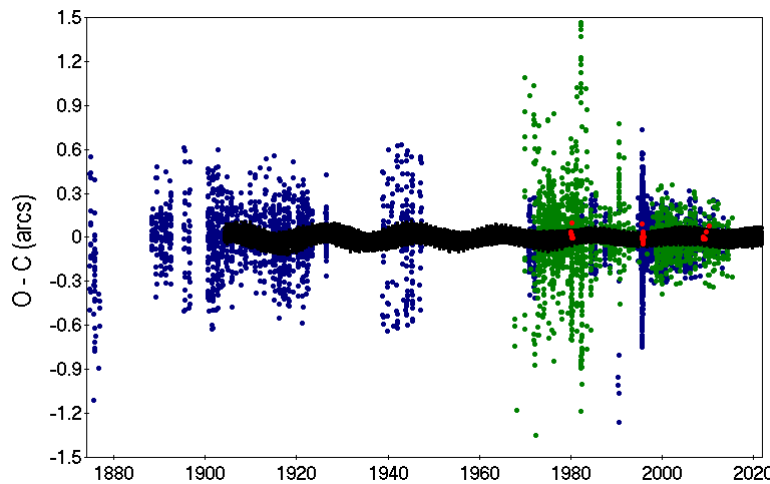
$\Delta \alpha \cos \delta$

$\Delta \delta$

Тефия



Диона

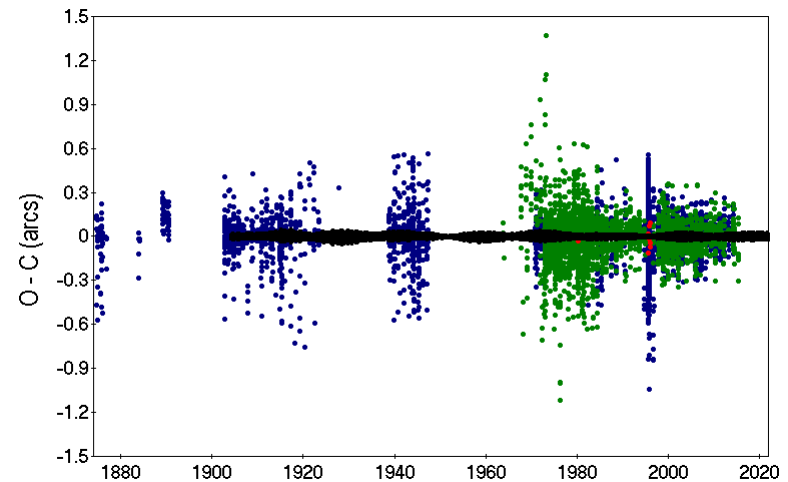
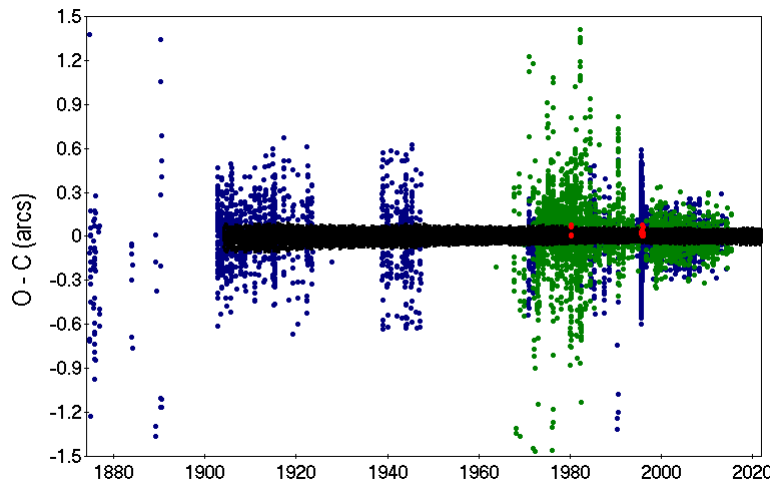


- - Абсолютные
- - Относительные
- - Взаимные явления
- - сравнение с эфемеридой Lainey

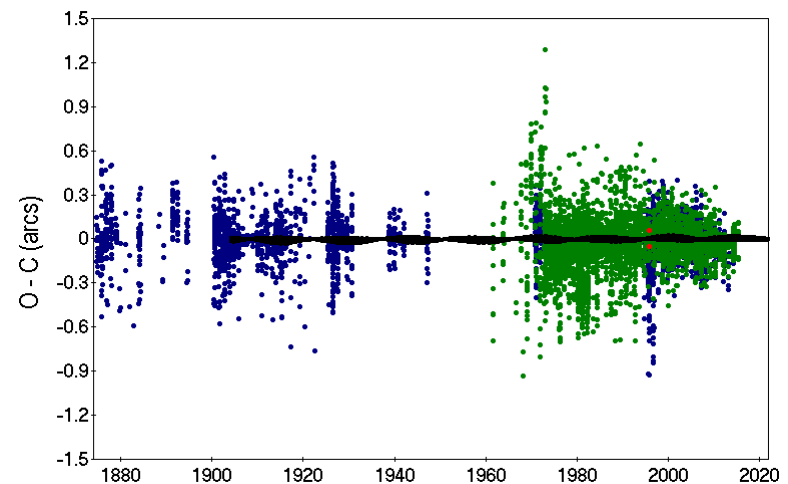
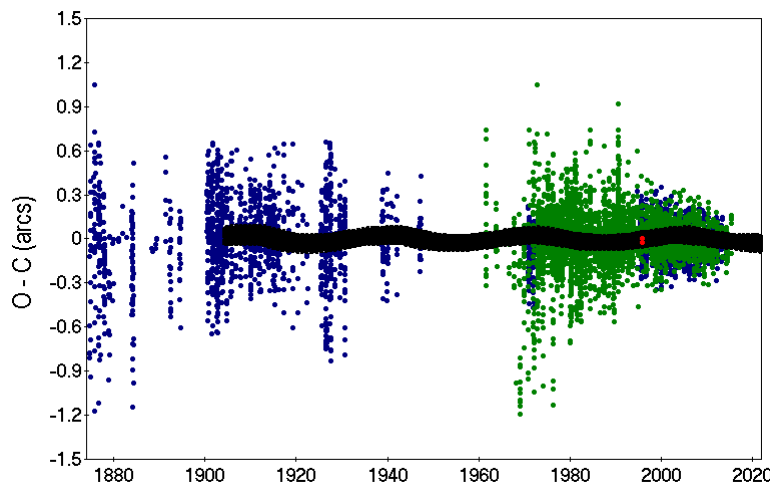
Рея

$\Delta \alpha \cos \delta$

$\Delta \delta$



Титан

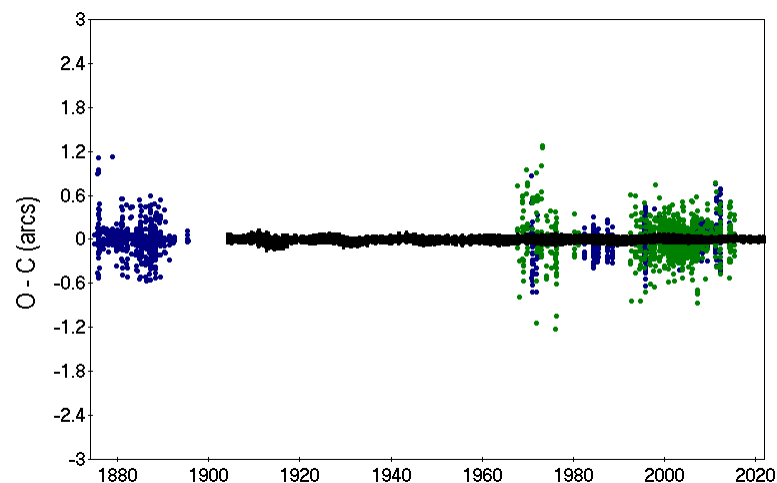
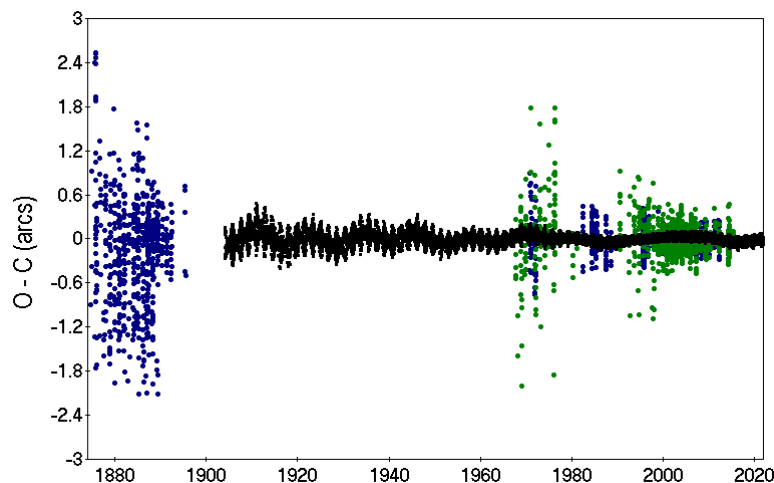


- - Абсолютные
- - Относительные
- - Взаимные явления
- - сравнение с эфемеридой Lainey

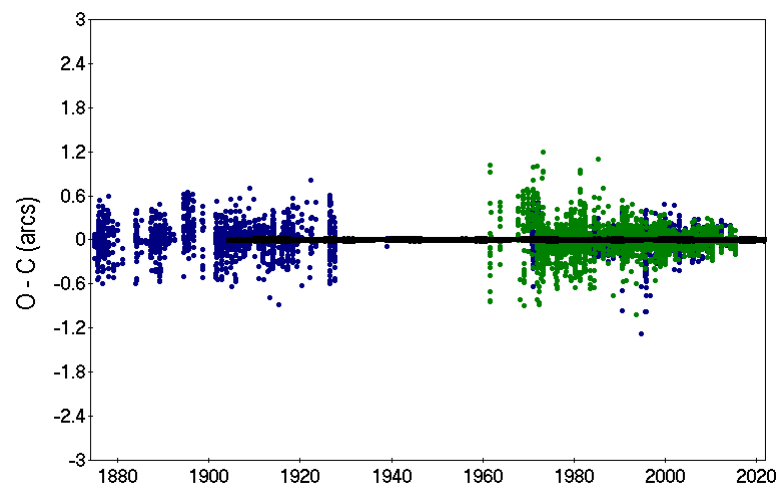
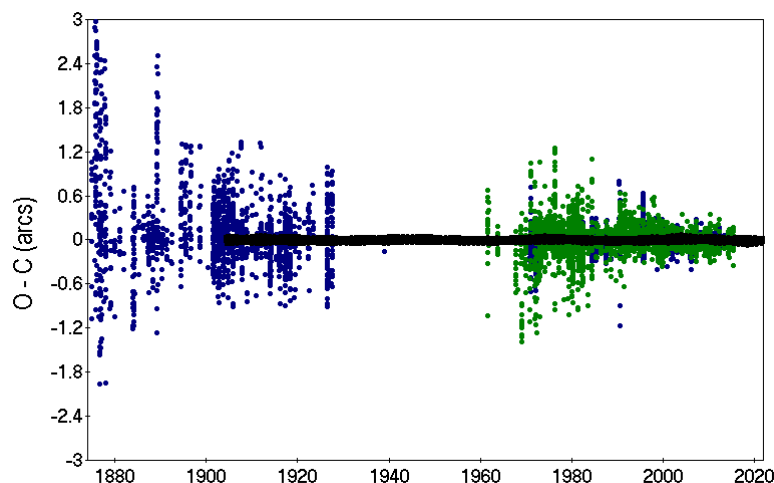
$\Delta \alpha \cos \delta$

$\Delta \delta$

Гиперион



Япет



● - Абсолютные

● - Относительные

● - Взаимные явления

● - сравнение с эфемеридой Lainey

- Построены численные эфемериды главных спутников Юпитера на период 1891 – 2025 гг. на основе 17704 наблюдений и классических спутников Сатурна на период 1874 – 2025 гг. на основе 45453 наблюдений.
- Проведено сравнение результатов с наблюдениями и численными эфемеридами Lainey. Сравнение показало, что в целом результаты согласуются. Большие отклонения для некоторых спутников, связаны с недостатком точных наблюдений, в силу природных особенностей их строения и движения.
- Построенные теории будут использованы для уточнения эфемерид их центральных планет, а также для вычисления наблюдательных эфемерид спутников, которые доступны на сайте ИПА РАН <http://www.ipa.nw.ru/PAGE/rusipa.htm>
- Для дальнейшего улучшения эфемерид спутников Сатурна планируется привлечение обширного набора наблюдений из каталога COSS08, а также наблюдений КА для обеих систем

Спасибо за внимание!