

ПЗС-НАБЛЮДЕНИЯ СПУТНИКОВ БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ В ПУЛКОВО

Е.А. Рощина, И.С. Измайлов, Т.П. Киселева

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

*Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.*

Цель наблюдений тел Солнечной системы

- Создание и уточнение теорий движения
- Установление связи между звездной системой координат и динамической
- Обеспечение эфемеридами космических миссий

Планируются:

Сатурн - **Titan Saturn System Mission** (TSSM), NASA & ESA, запуск ~ 2020 г.,

Юпитер - **Jupiter Icy Moon Explorer** (JUICE), ESA & ROSCOSMOS, запуск ~ 2020 г.)

Уран - **Uranus orbiter and probe**, NASA в рамках Planetary Science Decadal Survey 2013—2022, запуск ~2020—2023 гг.

26-дюймовый рефрактор



26-дюймовый рефрактор Цейсса

$D=65$ мм

$F=10413$ мм

$M=19.80''/\text{мм}$

С 1995 г. – относительные расстояния
между спутниками

ПЗС-камера **ST6**, FOV **3'x2'**

372 x 242 px, 1px = 23 x 27 мкм
(0.46"x 0.53")

С 2007г. – экваториальные координаты
спутников, относительные расстояния и
координаты планеты

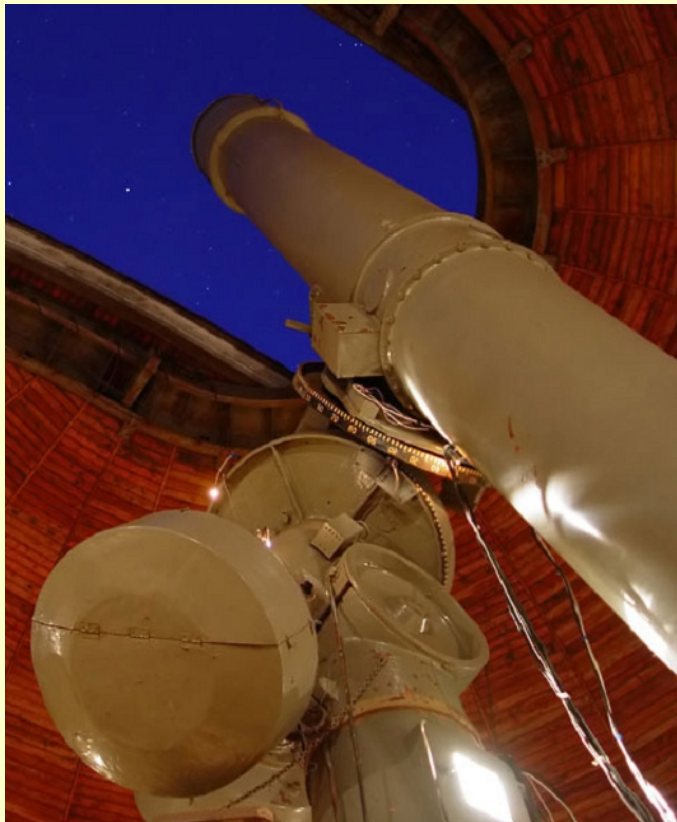
ПЗС-камера **FLI ProLine 09000**, FOV **12'x12'**

размер 3056 x 3056 px, 1px=12x12 мкм
(0.24")

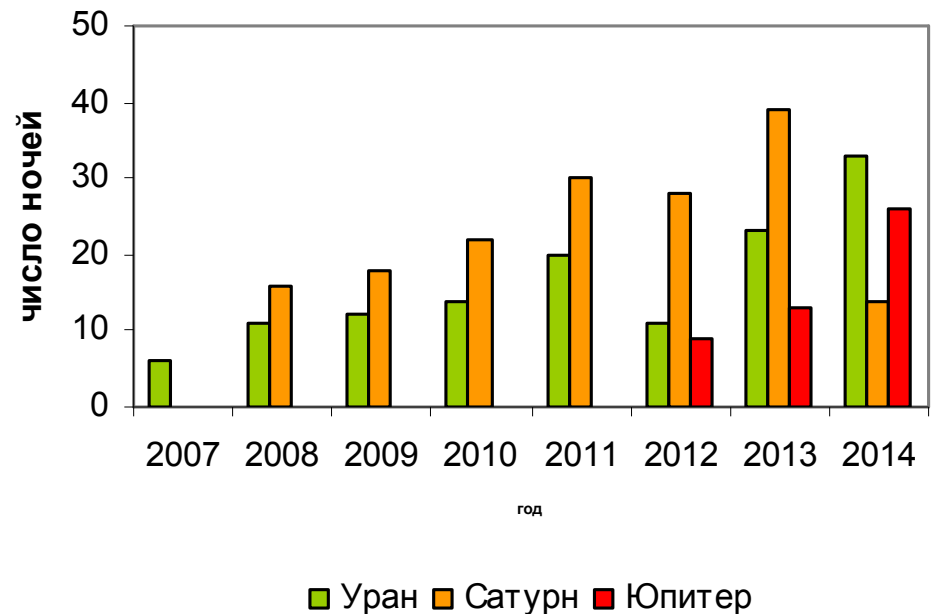
26-дюймовый рефрактор: автоматизация

Телескоп полностью автоматизирован

Наблюдательных ночей - **140-150 в год.**



Число ночей наблюдений планет-гигантов
на 26" рефракторе
с камерой FLI Proline



Контроль облачности

Система мониторинга погоды

установлена в 2010 г., <http://izmccd.puldb.ru/skypic.php>

В зависимости от погоды

- автоматический запуск наблюдений
- прекращение наблюдений
- открытие и закрытие створ



Кадр с погодной камеры с бликом Иридиума

Главные спутники Сатурна и Урана

Спутники Сатурна

Энцелад S2

11^m.3

Тефия S3

10^m.2

Диона S4

10^m.4

Рея S5

9^m.6

Титан S6

8^m.4

Гиперион S7

14^m.4

Япет S8

11^m.0

Спутники Урана

Ариэль U1

14^m.4

Умбриэль U2

15^m.3

Титания U3

14^m.

Оберон U4

14^m.4

Методика наблюдений

спутники Сатурна –

экспозиции 1.5 с

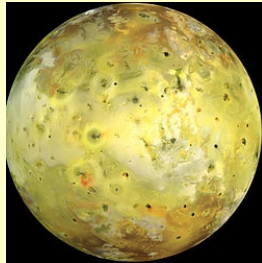
250 кадров в одной серии

спутники Урана - экспозиции 10 с
40 кадров в одной серии

*Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.*

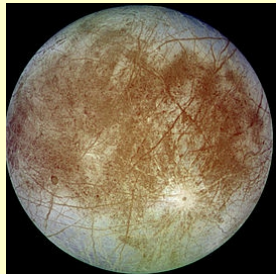
Галилеевы спутники Юпитера

Ио J1



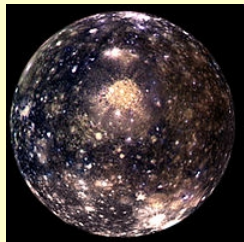
5^m

Европа J2



5.3^m

Ганимед J3

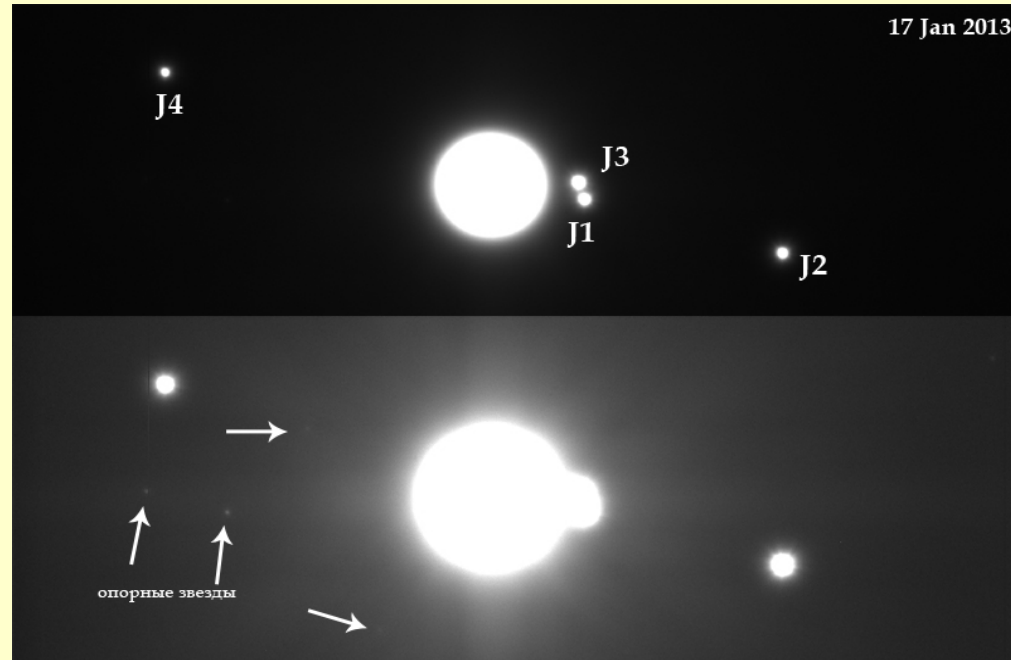


5.6^m

Каллисто J4



4.6^m



Фрагмент ПЗС-кадра с изображениями Юпитера, галилеевых спутников и опорных звезд при разных уровнях яркости.

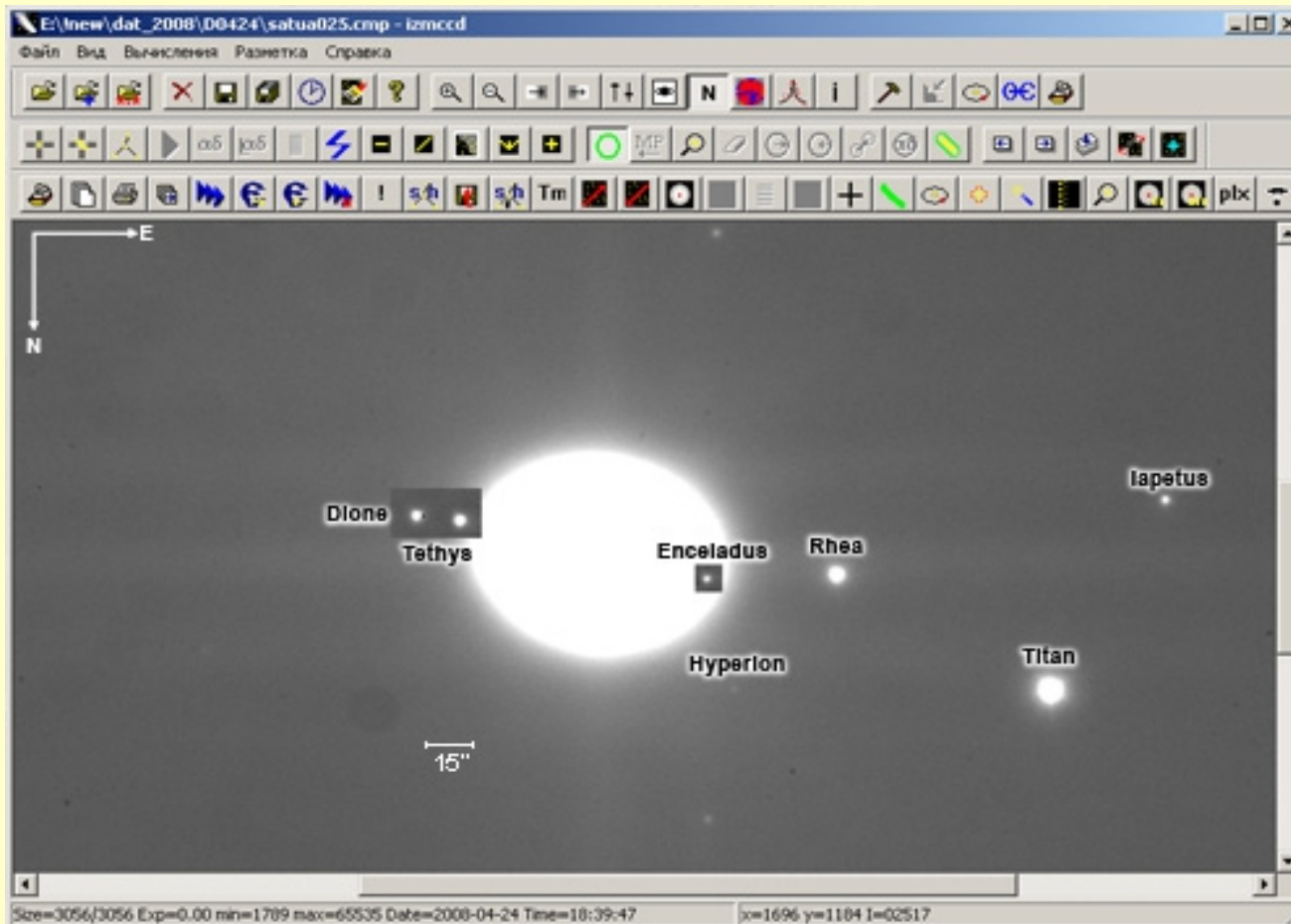
Методика наблюдений
экспозиции 0.4 секунды
100 кадров в одной серии

Фотографии сделаны аппаратом «Галилео», 1999 г.

Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.

Обработка ПЗС-кадров

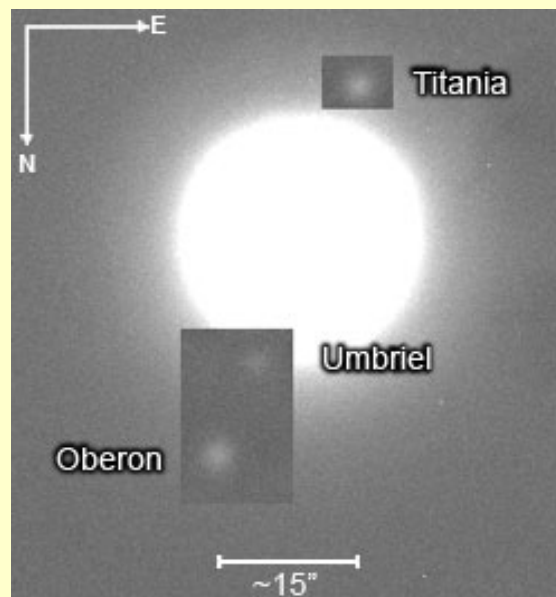
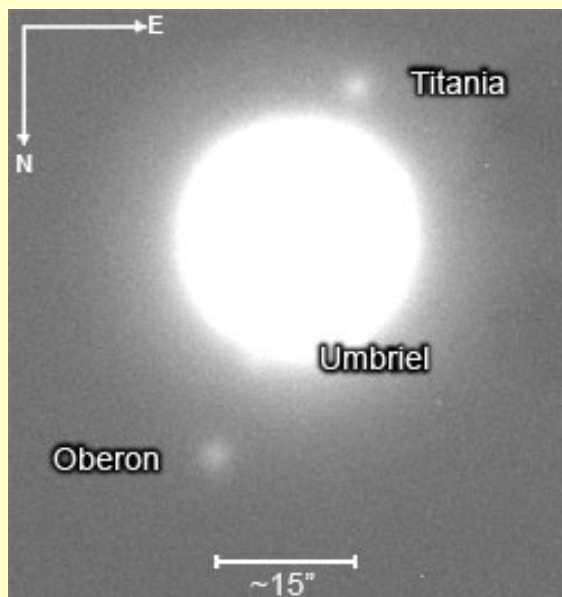
Измерения ПЗС-изображений выполняются при помощи программного пакета IZMCCD, (Измайлов И.С., 2005).



*Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.*

Обработка ПЗС-кадров

Учет ореола от яркой планеты в IZMCCD.
Ореол аппроксимируется квадратичным многочленом
(Измайлов И.С. и др., 1998).



Обработка ПЗС-кадров

Центры изображений спутников и опорных звезд определяются при помощи профиля, задаваемого функцией Лоренца (Franz O. G., 1973).

$$I(x, y) = \frac{C}{(1 + Ar)^a} + D$$

$$r^2 = (x_j - x_0)^2 + (1 + B)(y_j - y_0)^2 + E(x_j - x_0)(y_j - y_0)$$

где $I(x, y)$ - отсчет яркости на элементе с координатами x, y ;
 x_0, y_0 - координаты центра изображения;
 a, A, B, C, D, E - параметры модели.

Астрометрическая редукция

- метод Тернера
- опорные каталоги UCAC2, UCAC4
- Предельная звездная величина звезд фона - 19^m .
- Число опорных звезд : 5 - 20
- Фильтрация невязок: $0''.238$ (1рх)
- Среднеквадратические ошибки: $0''.066$ и $0''.055$ по X и Y
- Учет линейного эффекта дифференциальной рефракции

Оценка внутренней точности

Объект	$(O-C)_\alpha \cdot \cos \delta$ ε_α	$(O-C)_\delta$ ε_δ	σ_α	σ_δ
Энцелад (S2)	-0.003 0.028	0.013 0.038	0.055	0.081
Тефия (S3)	-0.007 0.020	0.011 0.026	0.043	0.057
Диона (S4)	-0.006 0.020	0.022 0.024	0.043	0.056
Рея (S5)	-0.007 0.018	0.024 0.022	0.039	0.047
Титан (S6)	-0.010 0.025	-0.036 0.023	0.053	0.049
Гиперион (S7)	-0.057 0.027	-0.112 0.038	0.056	0.073
Япет (S8)	0.071 0.020	-0.007 0.022	0.040	0.045

Эфемериды спутников обеспечиваются Веб-сервером
Natural Satellites Ephemeride Server MULTI-SAT
(Emel'yanov N. V., Arlot J.-E, 2008)

*Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.*

Оценка внутренней точности

Объект	$(O-C)_\alpha \cdot \cos \delta$ ε_α	$(O-C)_\delta$ ε_δ	σ_α	σ_δ
Ариэль (U1)	-0.228 0.022	0.107 0.052	0.049	0.117
Умбриэль (U2)	-0.181 0.026	-0.266 0.035	0.050	0.064
Титания(U3)	-0.133 0.011	-0.120 0.019	0.024	0.043
Оберон (U4)	-0.202 0.010	-0.073 0.012	0.023	0.027

Эфемериды спутников обеспечиваются Веб-сервером
Natural Satellites Ephemeride Server MULTI-SAT
(Emel'yanov N. V., Arlot J.-E, 2008)

*Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.*

Оценка внутренней точности

Сравнение положений спутников Урана с теорией GUST86, Laskar J. et al (1987) и оценка точности

Объект	$(O-C)_\alpha \cdot \cos \delta$	$(O-C)_\delta$	σ_α	σ_δ
	ε_α	ε_δ		
Ио (J1)	0.006 0.016	-0.045 0.015	0.035	0.034
Европа (J2)	0.055 0.018	-0.026 0.017	0.040	0.038
Ганимед (J3)	0.032 0.018	-0.045 0.018	0.041	0.040
Каллисто (J4)	0.016 0.021	-0.049 0.023	0.046	0.051

Эфемериды спутников обеспечиваются Веб-сервером
Natural Satellites Ephemeride Server MULTI-SAT
(Emel'yanov N. V., Arlot J.-E, 2008)

*Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.*

Взаимные явления в системах спутников

- Сатурна (PHESAT-95, PHESAT -97)
- Юпитера (PHEMU -03),
- Урана, Сатурна и Юпитера в 2008-2010гг. (PHEMU-09),
- Юпитера в 2014-2015 г.

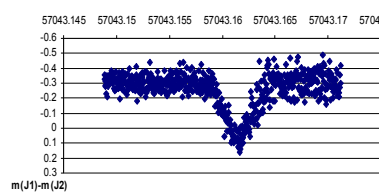


2009 г. Высота Юпитера всего 14° .

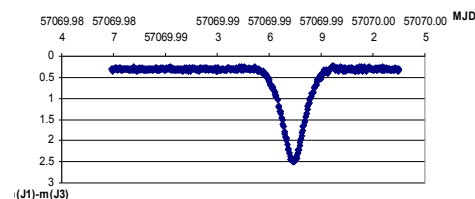
Во время кампании PHEMU-09
было получено всего 6 наблюдений
взаимных явлений.

**В 2014-2015 гг. – 29 наблюдений,
26 кривых блеска**

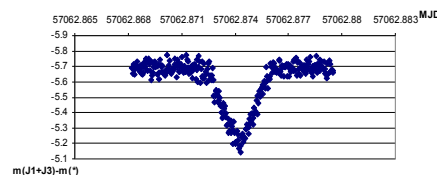
$\sigma_m = 0.02^m - 0.19^m$, в среднем – 0.06^m



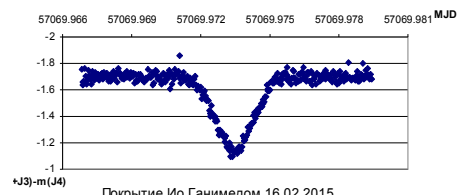
Затмение Ио Европой 21.01.2015



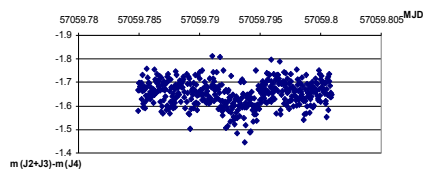
Затмение Ио Ганимедом 16.02.2015



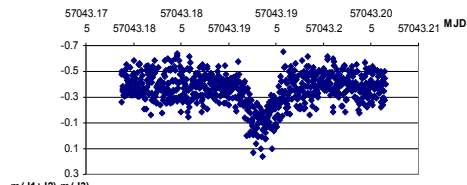
Покрытие Ио Ганимедом 9.02.2015



Покрытие Ио Ганимедом 16.02.2015



Покрытие Ганимеда Европой 6.02.2015



Покрытие Ио Европой 21.01.2015

Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.

Результаты. База данных

Топоцентрические экваториальные координаты спутников
в системе J2000.0

Взаимные расстояния между спутниками ($\Delta\alpha \cdot \cos \delta$, $\Delta\delta$)

Экваториальные координаты планет,
по координатам спутников и теоретическим
расстояниям «планета-спутник»

размещаются в

Пулковской базе данных наблюдений тел солнечной системы
<http://www.puldb.ru/db/>

На данный момент в базе данных:

1995-2007 гг., ST-6, спутники Юпитера – 32, Сатурна – 349
2007-2014 гг., FLI Proline, спутники Юпитера – 165, Сатурна –
1968, Урана - 285

Результаты. База данных

Pulkovo Database of Observations of Planets and Their Satellites

Select object, time interval and type of observations

- ☐ **Mercury**
- ☐ **Venus**
- ☐ **Mars**
- ☐ M1 Phobos
- ☐ M2 Deimos
- ☐ **Jupiter**
- ☐ J1 Io
- ☐ J2 Europa
- ☐ J3 Ganymedes
- ☐ J4 Callisto

- ☐ **Saturn**
- ☐ S1 Mimas
- ☐ S2 Enceladus
- ☐ S3 Tethys
- ☐ S4 Dione
- ☐ S5 Rhea
- ☐ S6 Titan
- ☐ S7 Hyperion
- ☐ S8 Iapetus

- ☐ **Uranus**
- ☐ U1 Ariel
- ☐ U2 Umbriel
- ☐ U3 Titania
- ☐ U4 Oberon
- ☐ **Neptune**
- ☐ N1 Triton
- ☐ **Pluto**

First year (optional)

Last year (optional)

- ☒ equatorial coordinates
- ☐ satellite relative to planet
- ☐ satellite relative to another satellite

Send request

Reset form

[Info](#)

[Select database](#)

[Main Page](#)

<http://www.puldb.ru/db/sdb.php>

Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.

Результаты. База данных

[Info](#) [New query](#) [Select database](#) [Main page](#)

Object: Saturn

Number of observations found on your query: 80

JD	Year	Month	Day	R.A. h m s	Dec d m s	(O-C) R.A. arcsec	(O-C) Dec arcsec	Epoch	Cat
2442434.40052	1975	1	21.900516	6 59 51.603	22 21 58.50	-0.028	0.240	1950.0	AGK3
2442434.40658	1975	1	21.906576	6 59 51.494	22 21 58.60	0.125	0.120	1950.0	AGK3
2442434.41639	1975	1	21.916387	6 59 51.290	22 21 58.98	-0.014	0.150	1950.0	AGK3
2442450.34701	1975	2	6.847011	6 55 6.414	22 30 31.00	0.277	0.110	1950.0	AGK3
2442450.35502	1975	2	6.855022	6 55 6.297	22 30 31.25	0.388	0.130	1950.0	AGK3
2442450.36338	1975	2	6.863376	6 55 6.164	22 30 31.63	0.346	0.280	1950.0	AGK3
2442457.36931	1975	2	13.869308	6 53 26.168	22 33 35.84	-0.208	-0.100	1950.0	AGK3
2442457.37397	1975	2	13.873968	6 53 26.088	22 33 35.93	-0.485	-0.120	1950.0	AGK3
2442457.38490	1975	2	13.884902	6 53 25.964	22 33 36.31	-0.235	-0.010	1950.0	AGK3
2442460.37207	1975	2	16.872069	6 52 49.170	22 34 46.89	-0.180	0.300	1950.0	AGK3

<http://www.puldb.ru/db/sdb.php>

Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.

База данных: обновление интерфейса

ЛАЗА ГАО РАН

Login or name or email, please: , password:

Главная Базы данных Утилиты и расчетные методы Help Прочее Карта сайта

Положения Орбиты

Object
not selected

Filter, conditions
equatorial coordinates
telescopes P26
sensors ccd,st6,fl

Output form
Default column set
Web-page with spreadsheet table
Show on web-page

Positions filter

OK Reset Cancel

Тип положений

☒ экваториальные координаты RA, Dec
☐ относительные положения Δ RA, Δ Dec

Дата: [год [месяц [день]]]

от - - до - - включительно

Инструмент

☐ **любой, все телескопы**
☒ P26 26-inch refractor 084 Pulkovo
☐ EA Expeditional Astrograph
☐ ZDA Zeiss Double Astrograph
☐ AKD Short-focus Double Astrograph
☐ LPT Lunar-Planet telescope 129
☐ AZT-16 ATZ-16 Chile 805 Cerro El Roble Astronomical Station

☐ PNA Normal astrograph 084 Pulkovo
☐ Z160 160-mm Zeiss telescope
☐ FAS FAS-3A
☐ BSch Schmidt telescope 069 Baldone
☐ Z400 400-mm Zeiss telescope
☐ AZT-11 1250-mm LOMO reflector
☐ BTA-6 Large Altazimuth Telescope 115 Special Astrophysical Observatory

Сенсор

☐ **любой, все виды**
☐ photo Обычный астронегатив, фотохимия
☒ ccd ПЗС или КМОП цифровая камера
☐ mdd Астронегатив, оцифрованный на установке MDD
☐ dmn photo digitized by DAMIAN
☒ st6 ST6 CCD camera
☒ flr FLI ProLine CCD camera

Эпоха

☒ **любая** ☐ 1950 ☐ 2000 ☐ 0

Центровка

☒ **любая** ☐ 084, Pulkovo ☐ 500, geocentric

Публикация

все публикации

OK Reset Cancel

Бета-версия доступна по временному адресу <http://puldb.oscar.spb.ru/>

Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.

База данных: вывод результатов

Method	Shown columns
Format	Presets
☒ Web-page with spreadsheet table	☐ use default set
☐ Plain text with aligned columns	Observation moment
☐ Semicolon separated text	☒ year Grigorian year
	☐ yearf Grigorian year w/fraction
Destination	☒ month Grigorian month
☒ Show on web-page	☐ day Grigorian day
☒ Download as a file	☒ dayf Grigorian day w/fraction
☒ Save as a block in personal area	☐ date Grigorian year-month-day
☐ Send by email	☐ datef Grigorian year-month-day w/fraction
	☐ jday Julian day w/fraction
OK Reset Cancel	System
	☒ ptype Position type: (a)bsolute or (r)elative
	☒ epoch Epoch
	☒ centric Observatory code, 500 for geocentric
	RA
	☒ ra_deg Right ascension, degrees w/fraction
	☒ ra_hms Right ascension, group hours minutes seconds w/fraction
	☐ ra_h Right ascension, hours
	☐ ra_m Right ascension, minutes
	☐ ra_s Right ascension, seconds w/fraction
	RA evaluation
	☒ ra_oc (O-C) right ascension, arc seconds w/fraction
	☒ ra_sigma Error on single RA
	☒ ra_eps Error on average RA
	DE
	☒ de_deg Declination, degrees w/fraction
	☒ de_dms Declination, group sign degrees minutes seconds w/fraction
	☐ de_sign Declination, sign
	☐ de_d Declination, degrees
	☐ de_m Declination, arc minutes
	☐ de_s Declination, arc seconds w/fraction
	DE evaluation
	☒ de_oc (O-C) Declination, arc seconds w/fraction

Бета-версия доступна по временному адресу <http://puldb.oscar.spb.ru/>

Всероссийская астрометрическая конференция
«Пулково-2015», 21-25 сентября 2015 г.

Наблюдения спутников планет
поддержаны грантами РФФИ **12-02-00675а** и **15-02-03025а**

Спасибо за внимание!