

СРЕДСТВА ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ СПУТНИКОВ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

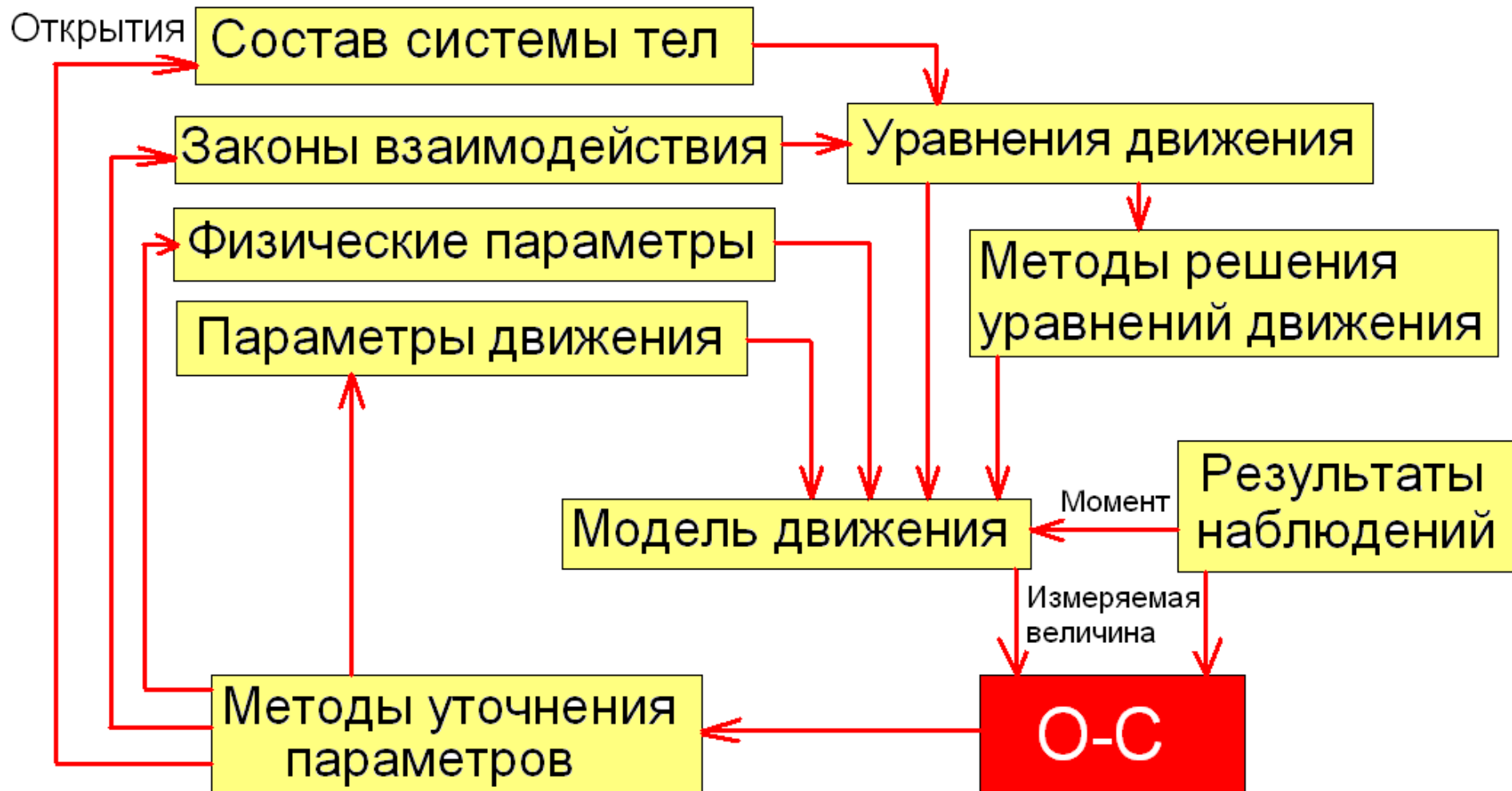
Н.В.Емельянов

*Государственный астрономический
институт имени. П.К. Штернберга*

*Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова*



Процесс изучения динамики небесных тел – это в первую очередь построение **модели движения** на основе наблюдений



Модель движения естественных спутников планет

- Что это такое?

Это - Вычислительные программы, выдающие по запросу любые координаты любого спутника на любой заданный момент времени (эфемериды)

Модель движения естественных спутников планет

- Зачем это нужно?

Нужна:

- проведение космических миссий
- организация новых наблюдений
- гипотезы о происхождении и эволюции
- смежные области (физические параметры)

Главное средство изучения динамики спутников планет – МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ на основе наблюдений



Средство изучения динамики спутников планет – БАЗЫ ДАННЫХ



Средство изучения динамики спутников планет – МЕТОДЫ



БАЗЫ ДАННЫХ

БАЗА ДАННЫХ всех НАБЛЮДЕНИЙ естественных спутников планет (NSDC - NSDB)

IAU INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION

Natural Satellites Data Center

supported by ESPaCE European Satellite Partnership for Computing Ephemerides

Other Data Centers repositories

IAU MPC SAO Minor Planet Center

Centre de Données astronomiques de Strasbourg Asteroids with satellites Wm. Robert

Observations [Ephemerides](#) [Bibliography](#) [Parameters and constants](#) [Internet links](#)

Natural Satellites Data Center. Observations

Fr | Ru | [Presentation](#) | [Nomenclature of satellites](#) | [NSDB home page](#) [MULTI-SAT home](#)

| [Objectsies](#) | | [Data sources](#) |

Published raw data	
Astrometric positions Guide	Phenomena Guide

Единственная в мире,
содержащая
все опубликованные
астрометрические
наблюдения спутников
больших планет

Создана, постоянно
поддерживается и пополняется
силами - ГАИШ МГУ (Россия)
и IMCCE (Франция)
/ *Arlot, Emelyanov (2009)*
A&A. V.503. P.631–638. I

БАЗА ДАННЫХ всех НАБЛЮДЕНИЙ естественных спутников планет (NSDC - NSDB)

IAU INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION

Natural Satellites Data Center

supported by ESPaCE European Satellite Partnership for Computing Ephemerides

Other Data Centers repositories

IAU MPC SAO Minor Planet Center

Centre de Données astronomiques de Strasbourg Asteroids with satellites Wm. Robert

Observations [Ephemerides](#) [Bibliography](#) [Parameters and constants](#) [Internet links](#)

Natural Satellites Data Center. Observations

Fr | Ru | [Presentation](#) | [Nomenclature of satellites](#) | [NSDB home page](#) [MULTI-SAT home](#)

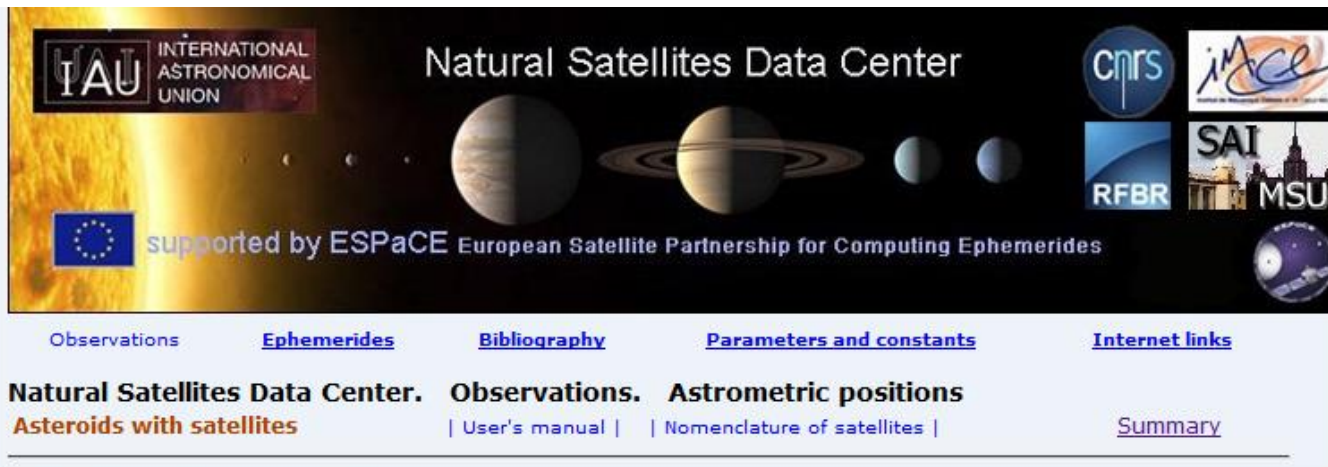
| [Objecties](#) | | [Data sources](#) |

Published raw data	
Astrometric positions Guide	Phenomena Guide

Основной принцип – помещать данные точно в том виде и формате, в котором они были опубликованы.

Никаких стандартных форматов или редукций
Простые текстовые файлы,
легко копируемые со страниц интернета

БАЗА ДАННЫХ всех НАБЛЮДЕНИЙ спутников АСТЕРОИДОВ (ГАИШ МГУ)



ASTROMETRIC OBSERVATIONS of the Satellites of asteroids
Collected by Emelyanov N.V., Vashkovyak S.N., Uralskaya V.S.
Sternberg State Astronomical Institute / Lomonosov Moscow State University
last updated 2 June 2017 [Go to Summary](#) [Go to all binary asteroids](#)

Observ. period	Asteroid	Satellites	Number of posit.	Site of observation	References	Content Data	Ident. of portion
-------------------	----------	------------	------------------------	---------------------	------------	--------------	----------------------

Единственная в мире,
содержащая
все опубликованные
астрометрические
наблюдения спутников
АСТЕРОИДОВ

Создана, постоянно
поддерживается и пополняется
силами ГАИШ МГУ
Емельянов, Вашковьяк, Уральская
(2018) *Астрон. вестник. Том. 52.*
С. 260–266.

Стандартная БАЗА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ естественных спутников планет

Institut de Mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE)



Данные в некотором стандартном формате
(реляционная база данных)

SEARCH

Access to the standard
astrometric data

Основная идея:
Обеспечить выборку
наблюдений
по поисковому запросу (?)

Содержит пока только несколько порций наблюдений
Проблема: как перегнать наблюдения
из исходной базы данных?

Другие базы данных наблюдений естественных спутников планет

MPC – база данных всех наблюдений всех **далеких** спутников планет

Базы данных наблюдений на обсерваториях.

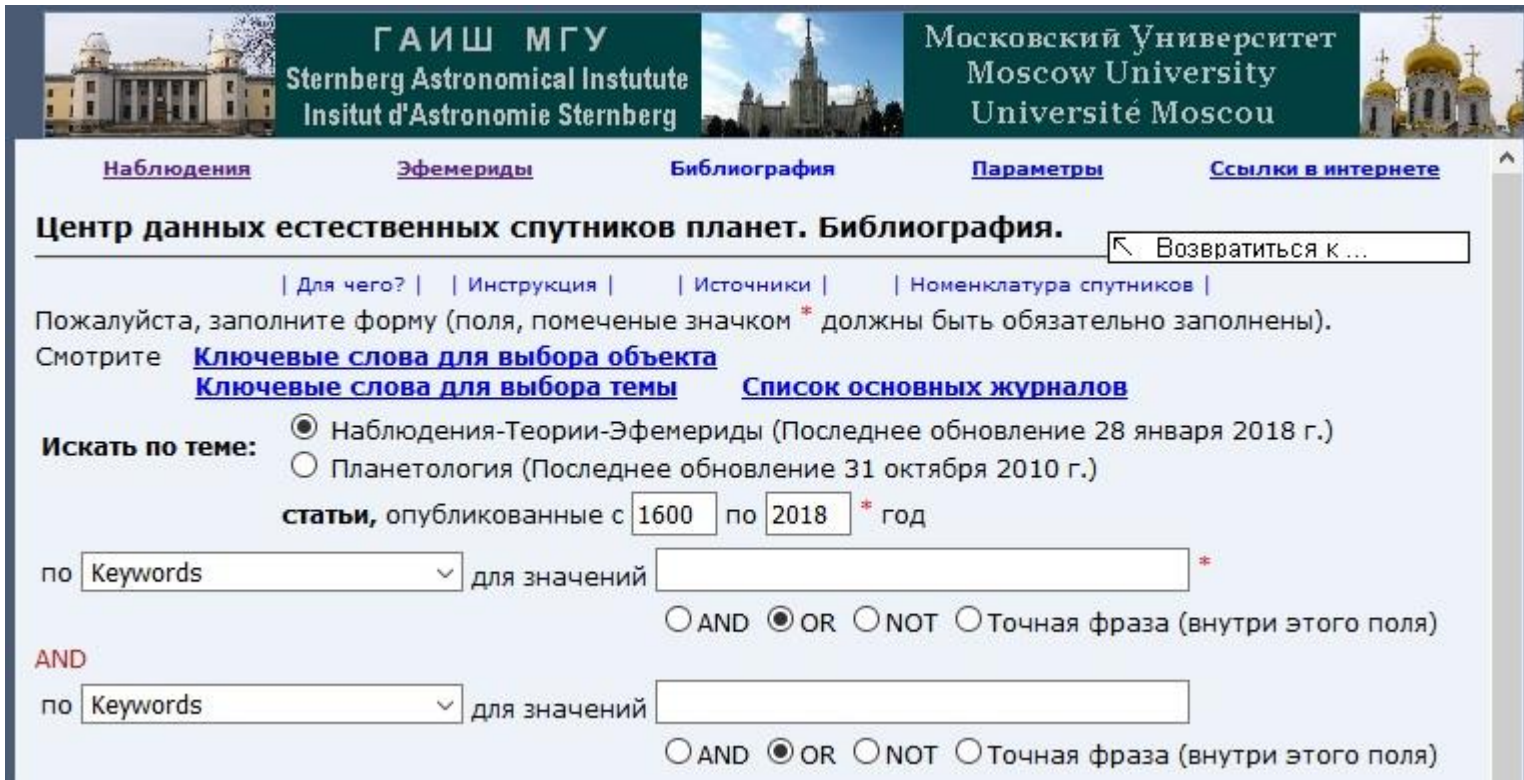
Примеры:

База данных наблюдений Пулковской обсерватории

CCD Astrometric Measurements from
Table Mountain Observatory

Flagstaff Observatory –
сайт недоступен из российского интернета

Библиографическая БАЗА ДАННЫХ естественных спутников планет



The screenshot shows the website of the Sternberg Astronomical Institute (ГИАШ МГУ) and Moscow University. The header includes the institute's name in Russian, English, and French, along with images of the building and a church. The navigation bar has links for Observations, Ephemerides, Bibliography, Parameters, and Internet links. The main section is titled 'Center of data on natural satellites of planets. Bibliography.' and contains a search form. The form includes instructions, a search type selector (Observations-Theories-Ephemerides or Planetology), a date range (1600 to 2018), and two keyword search fields with dropdown menus and radio buttons for logical operators (AND, OR, NOT) and exact phrases.

ГИАШ МГУ
Sternberg Astronomical Institute
Insitut d'Astronomie Sternberg

Московский Университет
Moscow University
Université Moscou

[Наблюдения](#) [Эфемериды](#) [Библиография](#) [Параметры](#) [Ссылки в интернете](#)

Центр данных естественных спутников планет. Библиография.

[| Для чего? |](#) [| Инструкция |](#) [| Источники |](#) [| Номенклатура спутников |](#)

Пожалуйста, заполните форму (поля, помеченные значком * должны быть обязательно заполнены).
Смотрите [Ключевые слова для выбора объекта](#)
[Ключевые слова для выбора темы](#) [Список основных журналов](#)

Искать по теме: ☒ Наблюдения-Теории-Эфемериды (Последнее обновление 28 января 2018 г.)
☐ Планетология (Последнее обновление 31 октября 2010 г.)

статьи, опубликованные с по * год

по для значений *

☐ AND ☒ OR ☐ NOT ☐ Точная фраза (внутри этого поля)

AND

по для значений

☐ AND ☒ OR ☐ NOT ☐ Точная фраза (внутри этого поля)

Единственная
библиографическая
база данных по
естественным
спутникам планет

Поиск

- по типу данных
(наблюдения, параметры,...)
- по объектам
(планета, спутник)

БАЗА ДАННЫХ параметров естественных спутников планет (NSDC, ГАИШ МГУ – IMCSE)



The screenshot displays the website of the Natural Satellite Data Center (NSDC). The header features logos and names for the Sternberg Astronomical Institute (ГАИШ МГУ) and Moscow University (Московский Университет). Navigation links include 'Наблюдения', 'Эфемериды', 'Библиография', 'Параметры', and 'Ссылки в интернете'. The main heading is 'Центр данных естественных спутников планет. Параметры и константы'. Below this, there are links for 'Для чего?', 'Инструкции', 'Источники', and 'Номенклатура'. A search bar with a back arrow and the text 'Возвратиться к ...' is present. The 'Орбитальные данные:' section lists links for the moons of Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, and Pluto. Other links include 'Массы спутников', 'Размеры спутников', 'Фотометрические свойства спутников', 'Параметры вращения спутников', and 'Орбитальные параметры далеких спутников Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна (на английском языке)'. The footer contains 'Copyright' and 'Авторы'.

ГАИШ МГУ
Sternberg Astronomical Institute
Insitut d'Astronomie Sternberg

Московский Университет
Moscow University
Université Moscou

[Наблюдения](#) [Эфемериды](#) [Библиография](#) [Параметры](#) [Ссылки в интернете](#)

Центр данных естественных спутников планет. Параметры и константы

| [Для чего?](#) | [Инструкции](#) | [Источники](#) | [Номенклатура](#) |

Орбитальные данные:

- ▶ [Спутники Марса](#)
- ▶ [Спутники Юпитера](#)
- ▶ [Спутники Сатурна](#)
- ▶ [Спутники Урана](#)
- ▶ [Спутники Нептуна](#)
- ▶ [Спутники Плутона](#)

[Массы спутников](#)
[Размеры спутников](#)
[Фотометрические свойства спутников](#)
[Параметры вращения спутников](#)

[Орбитальные параметры далеких спутников Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна \(на английском языке\)](#)

Copyright Авторы

Не единственная

БАЗА ДАННЫХ параметров естественных спутников планет (NSDC, ГАИШ МГУ – IMCSE)



ГАИШ МГУ
Sternberg Astronomical Institute
Institut d'Astronomie Sternberg

Московский Университет
Moscow University
Université Moscou

[Наблюдения](#) [Эфемериды](#) [Библиография](#) [Параметры](#) [Ссылки в интернете](#)

Центр данных естественных спутников планет. **Параметры и константы**
Массы спутников | Номенклатура |

[Спутники Марса](#)
[Спутники Юпитера](#)
[Спутники Сатурна](#)
[Спутники Урана](#)
[Спутники Нептуна](#)
[Спутники Плутона](#)

Спутники Марса	Gm [км ³ /с ²]	Ссылки	Источники данных
M1 Фобос	0.000722±0.000005	Ivanov N.M. et al, 1990	Данные слежения за КА Phobos-2
	0.0007158±0.0000005	Konopliv et al, 2006	Данные ускорения КА
	0.0007127±0.0000021	Andert et al, 2010	Радиолокация с КА Mars Express
	0.0007092±0.0000004	Jacobson, 2010	Радиолокация с Viking+Phobos 2
	0.0007071±0.0000063	Andert et al., 2013	Сближения КА Mars Express
M2 Деймос	0.000120	Duxbury T.C., Callahan J.D., 1989	Снимки с Viking Orbiter
	0.000098±0.000007	Konopliv et.al, 2006	Данные ускорения КА
	0.000101±0.000003	Jacobson, 2010	Радиолокация с Viking+Phobos 2

Особенности:

1. Несколько версий для каждого параметра
2. Гиперссылки позволяют дойти до текста статьи-источника

БАЗА ДАННЫХ параметров естественных спутников планет (JPL)

NASA Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

+ View the NASA Portal
+ Center for Near-Earth Object Studies

JPL HOME EARTH SOLAR SYSTEM STARS & GALAXIES TECHNOLOGY

Solar System Dynamics

BODIES ORBITS EPHEMERIDES TOOLS PHYSICAL DATA DISCOVERY FAQ SITE MAP

Quick Links

- Astrodynamic Constants
- Radar Astrometry
- Planets
- Planetary Satellites
- Small-Bodies

Physical Data & Dynamical Constants

Selected physical characteristics of planets, planetary satellites, comets and asteroids are available. Links to these data are provided in each body's corresponding section below.

In addition, we provide a table representing [astrodynamic constants](#) (both defining and derived) useful in the field of solar system dynamics. [Radar astrometry](#) for selected solar system bodies is also provided on a separate page.

Planets

Selected [physical parameters](#) for the [planets](#) such as mass, mean radius, density, absolute magnitude, geometric albedo, surface gravity, and escape velocity are available in a [table with references](#).

Planetary Satellites

Selected [physical parameters](#) such as GM, mean radius, mean density, magnitude, and geometric albedo are available for some [planetary satellites](#). These parameters are presented in a [table with](#)

Дано одно значение каждого параметра
(определенного в работах JPL)
Источник указан как библиографическая ссылка.

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ – СЛУЖБА ЭФЕМЕРИД



Способы доступа к эфемеридам

1. Вставка программы и файлов в программу пользователя

Программы, файлы

2. Запрос и получение эфемерид на страницах интернета

Веб-браузер

3. Запрос и получение эфемерид из программы пользователя через интернет

Web-service

SPICE – программы и файлы данных для эфемерид всех тел Солнечной системы и КА (фиксированные модели)



Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

[+ View the NASA Portal](#)



The Navigation and Ancillary Information Facility

[Home](#)
[Announcements](#)
[About SPICE](#)
[About NAIF](#)
[For the Public](#)
[Data](#)
[Toolkit](#)
[Utilities](#)
[WebGeocalc](#)
[Cosmographia](#)
[Documentation](#)
[Tutorials](#)
[Lessons](#)
[Training](#)
[Support](#)
[Bugs](#)
[Useful Links](#)
[Rules](#)
[Giving Credit](#)
[Feedback](#)

The SPICE Toolkit

The current SPICE Toolkit version is **N0066**, released April 10, 2017

The SPICE Toolkit is comprised of several items.

1. A large collection of user-level application program interfaces (APIs) and underlying subroutines and functions, provided as source code with extensive user-focused documentation (code headers).
2. A ready-to-use library made from the APIs, subroutines and functions described in 1.
3. A small set of ready-built utility (application) programs, along with their associated User Guides. These are programs thought to be of use to many SPICE users. (Additional utility programs are available from the [Utilities link](#) on the NAIF website.)
4. A set of technical reference documents—one for each major SPICE functional area.
5. A few additional documents that describe the contents and structure of a Toolkit package, highlight and provide small usage examples of the most popular APIs, and provide a permuted index based on the abstracts for all modules.

The SPICE Toolkit is offered in the languages listed below. For each language it is available for several computing environments (platform/operating system/compiler). The Toolkit version number shown above applies to all of

HORIZONS – сервер эфемерид всех планет и спутников

NASA Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

+ View the NASA Portal
+ Center for Near-Earth Object Studies

JPL HOME EARTH SOLAR SYSTEM STARS & GALAXIES TECHNOLOGY

Solar System Dynamics

BODIES ORBITS EPHEMERIDES TOOLS PHYSICAL DATA DISCOVERY FAQ SITE MAP

HORIZONS Web-Interface

This tool provides a web-based *limited* interface to JPL's HORIZONS system which can be used to generate ephemerides for solar-system bodies. Full access to HORIZONS features is available via the primary telnet interface. HORIZONS system news shows recent changes and improvements. A web-interface tutorial is available to assist new users.

Current Settings

Ephemeris Type [change] : **OBSERVER**
Target Body [change] : **Mars** [499]
Observer Location [change] : **Geocentric** [500]
Time Span [change] : Start=2018-09-25, Stop=2018-10-25, Step=1 d
Table Settings [change] : *defaults*
Display/Output [change] : *default* (formatted HTML)

Generate Ephemeris

Special Options:

**Доступ: небесные координаты - через Веб-браузер
прямоугольные координаты – telnet**

Фиксированные модели движения планет и спутников

MPC - сервер эфемерид

только **далекие** спутники планет



- [Preparing MPCs](#) ([Info](#))

Natural Satellites Ephemeris Service

Ephemerides, orbital elements and residual blocks for the outer irregular satellites of the giant planets are available here.

Доступ: через Веб-браузер

Оригинальные модели движения далеких спутников

14 главных спутников + Феба + Нереида оригинальные модели движения



Institute of Applied Astronomy
Russian Academy of Sciences

RU / EN

Search



About

Departments

Quasar VLBI

Observations

Meetings

Departments

Laboratory of Ephemeris Astronomy

ERA Software System

EPM

Observations

Online Ephemeris Service

References

Online Lunar Laser

Ranging Pointing Service

Lunar Laser Ranging O-C

Calculator

Online Ephemeris Service

Starting date:

☐ JD.ddd
☐ MJD.ddd
☒ YYYY MM DD.ddd
☐ YYYY MM DD HH.hhh
☐ YYYY MM DD HH MM SS.sss
☐ Autodetect

☐ TT ☒ UTC ☐ TDB

Step size (days): Number of steps:

Show

relative to

Observer:

Planetary theory:

Equator and equinox: Coordinates:

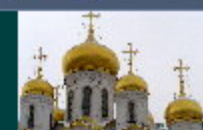
☐ Calculate distance

☒ light-time correction
☐ light deflection and annual aberration

Output:

Day fraction digits
α fraction digits
δ fraction digits

Доступ: через Веб-браузер



Другие источники эфемерид

JPL
HORIZONS

[HORIZONS
Generate
Ephemeris](#)

MPC
NS Eph

[Natural
Satellites
Ephemeris
Service](#)

IAA
Ephem
Service

[Эфемериды
Института
прикладной
астрономии](#)

IMCCE
VO-PDC

[Виртуальная
обсерватория
IMCCE](#)



[Эфемериды
U.S. Naval
Observatory](#)

[Наблюдения](#)

[Эфемериды](#)

[Библиография](#)

[Параметры](#)

[Ссылки в интернете](#)

MULTISAT. Эфемериды планет и естественных спутников.

Fr | En

[MULTI-SAT главная](#)
[NSDB главная](#)

Эфемериды с постоянным шагом по времени

Марс Юпитер₁ Юпитер₀ Сатурн Уран Нептун Плутон
Меркурий Венера Солнце Луна

Эфемериды для таблицы моментов и (O-C) для наблюдений

Марс Юпитер₁ Юпитер₀ Сатурн Уран Нептун Плутон
Меркурий Венера Солнце Луна

Картинка видимой конфигурации системы спутников

Марс Юпитер₁ Юпитер₀ Сатурн Уран Нептун Плутон

Явления спутников планет

- [Поиск взаимных покрытий и затмений спутников и затмений планетой](#)
- **NEW** [Эфемериды взаимных покрытий и затмений Галилеевых спутников Юпитера в 2021 году \(на английском языке\)](#)
- [Эфемериды взаимных покрытий и затмений Галилеевых спутников Юпитера в 2014-2015 годах \(на английском языке\)](#)
- [Эфемериды затмений близких спутников Юпитера Галилеевыми спутниками. в 2014-2015 годах \(на английском языке\)](#)

| [Принципы](#) |

| [Источники данных](#) |

| [Номенклатура спутников](#) |

Авторы

Специальные эфемериды :

- [Поиск моментов максимальной элонгации спутников](#)
- [Эфемериды специальных наблюдений соорбитальных спутников Сатурна в инфракрасном свете \(на английском языке\)](#)

| [Описание](#) |

MULTISAT. Эфемериды планет и естественных спутников.

Средство создано и постоянно развивается с 2008 года в процессе сотрудничества ГАИШ МГУ и IMCCE (Франция)



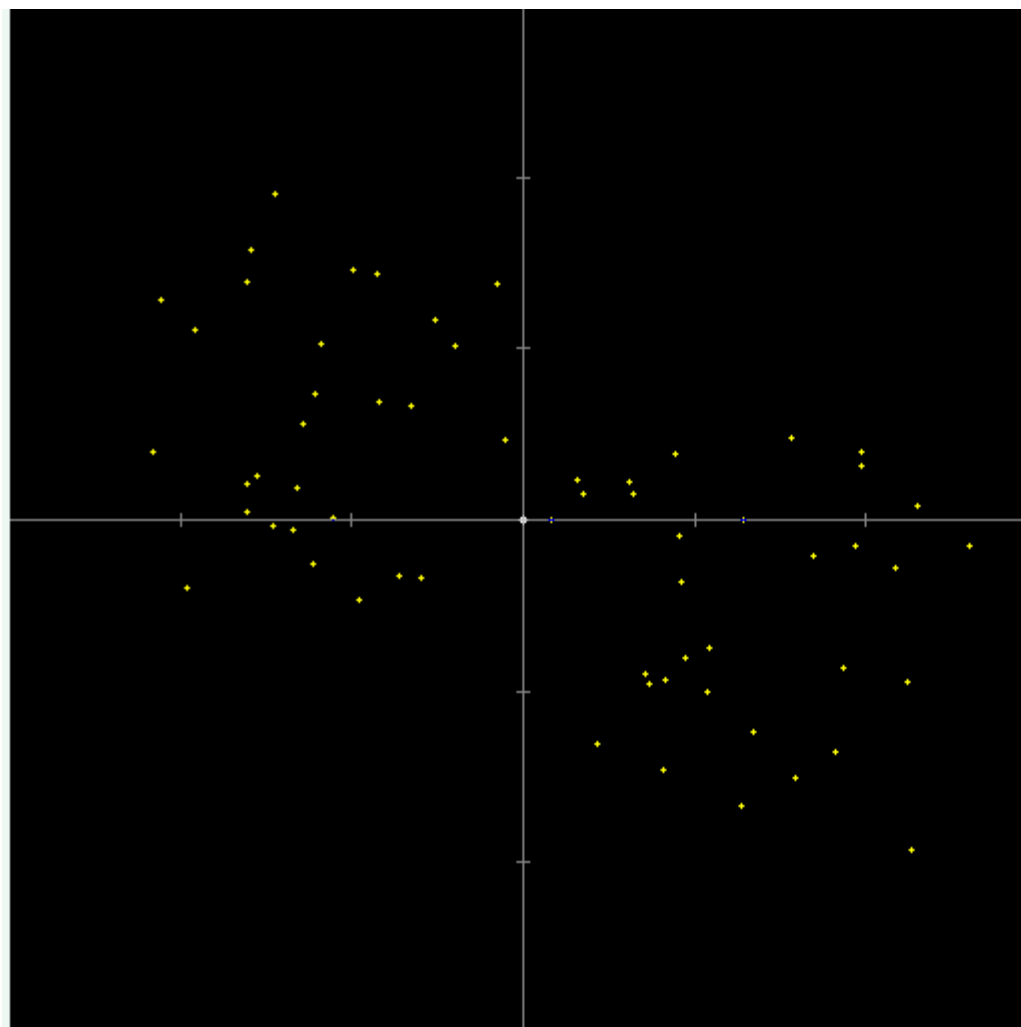
- Все спутники больших планет (179)
- Оригинальные модели движения всех далеких и некоторых главных спутников
- Доступ: Веб-браузер
- Идентичные сайты на Веб-серверах ГАИШ и IMCCE

MULTISAT. Эфемериды планет и спутников

ГАИШ МГУ - IMCSE

**Особенности и преимущества
по сравнению с другими аналогичными средствами**

- **Варианты планетных теорий на выбор
10 вариантов (JPL, IMCSE, ИПА)**
- **Варианты моделей движения спутников на выбор
от 1 до 5 вариантов теорий для разных спутников**
- **Трех-язычный интерфейс
(русский, французский, английский)**
- **Возможность автоматического вычисления О-С
для массива наблюдений пользователя**
- **Специальные эфемериды
взаимных покрытий и затмений спутников**
- **Оценки точности эфемерид для далеких спутников**
- **Возможность графического представления положений
спутников в картинной плоскости**



IMCCE/ГАИШ. Служба эфемерид
естественных спутников планет
MULTI-SAT.

Спутники планеты Jupiter

В центре поля -

Jupiter

Помечен спутник

Jupiter

Эпоха экватора и равноденствия
J2000

Координаты дифференциальные

Обновить картинку

со шкалой

с шагом суток

☐ назад

☒ нет

☐ вперед

Пометить спутник:

Центр поля:

$\alpha = 1^h 35^m 24.472^s$

N

E + W

$\delta = 8^\circ 35' 10.38''$

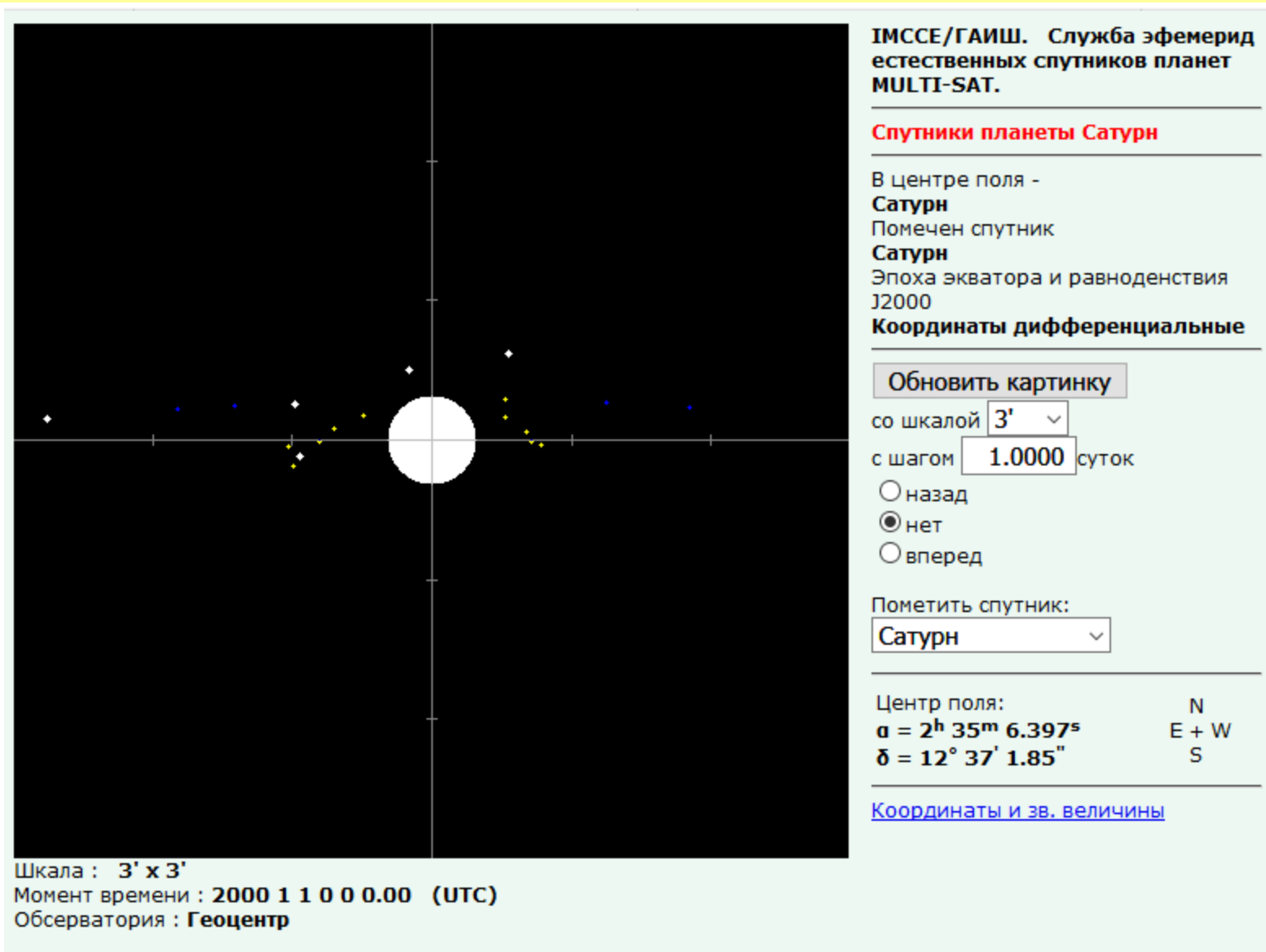
S

[Координаты и зв. величины](#)

Шкала : $6^\circ \times 6^\circ$

Момент времени : 2000 1 1 0 0 0.00 (UTC)

Обсерватория : Геоцентр



Спорные проблемы

Нужно учитывать в эфемеридах спутников планет релятивистское отклонение света возле Солнца?

Нужны ли вообще в сервере эфемерид видимые координаты спутников?

Это учет прецессии, нутации, EOP

Некоторые выводы

Сервер эфемерид спутников планет представляет собой концентрацию всех наших знаний о динамике спутников, включая все накопленные наблюдения.

Наличие нескольких независимых моделей движения спутников на основе наблюдений при их взаимном контроле позволяет всегда иметь наиболее адекватные наблюдениям представления о движении спутников и достоверные эфемериды.

<http://www.sai.msu.ru/neb/nss/>

<http://nsdb.imcce.fr/multisat/>

Конец доклада
Спасибо за внимание

