

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Государственный астрономический институт
имени П.К.Штернберга

Динамика естественных спутников планет и астероидов на основе наблюдений

Емельянов Н.В.

Отдел небесной механики

Динамика естественных спутников планет и астероидов
на основе наблюдений

- Цели деятельности
- Мотивация занятий этим делом
- Что это за объекты такие
- Методы достижения целей
- Наблюдения – источник знаний
- Основные результаты
- Предметы других докладов:
 - Загадки динамики спутников
 - Нерешенные проблемы
 - Новые методы и подходы
 - Достижения отдела небесной механики
в этой области

Емельянов Н.В.

Цели (зачем это нужно)

Динамика естественных спутников на основе наблюдений

- Обеспечить планирование и проведение космических миссий к другим планетам
 - * добыча полезных веществ
 - * расширение среды обитания человека

(Все для блага человека!)
- Получить максимум информации о строении и эволюции Солнечной системы

(Знать среду, где мы живем)
- Определить или уточнить физические параметры планет и спутников

(знания для смежных наук)

Динамика естественных спутников планет на основе наблюдений

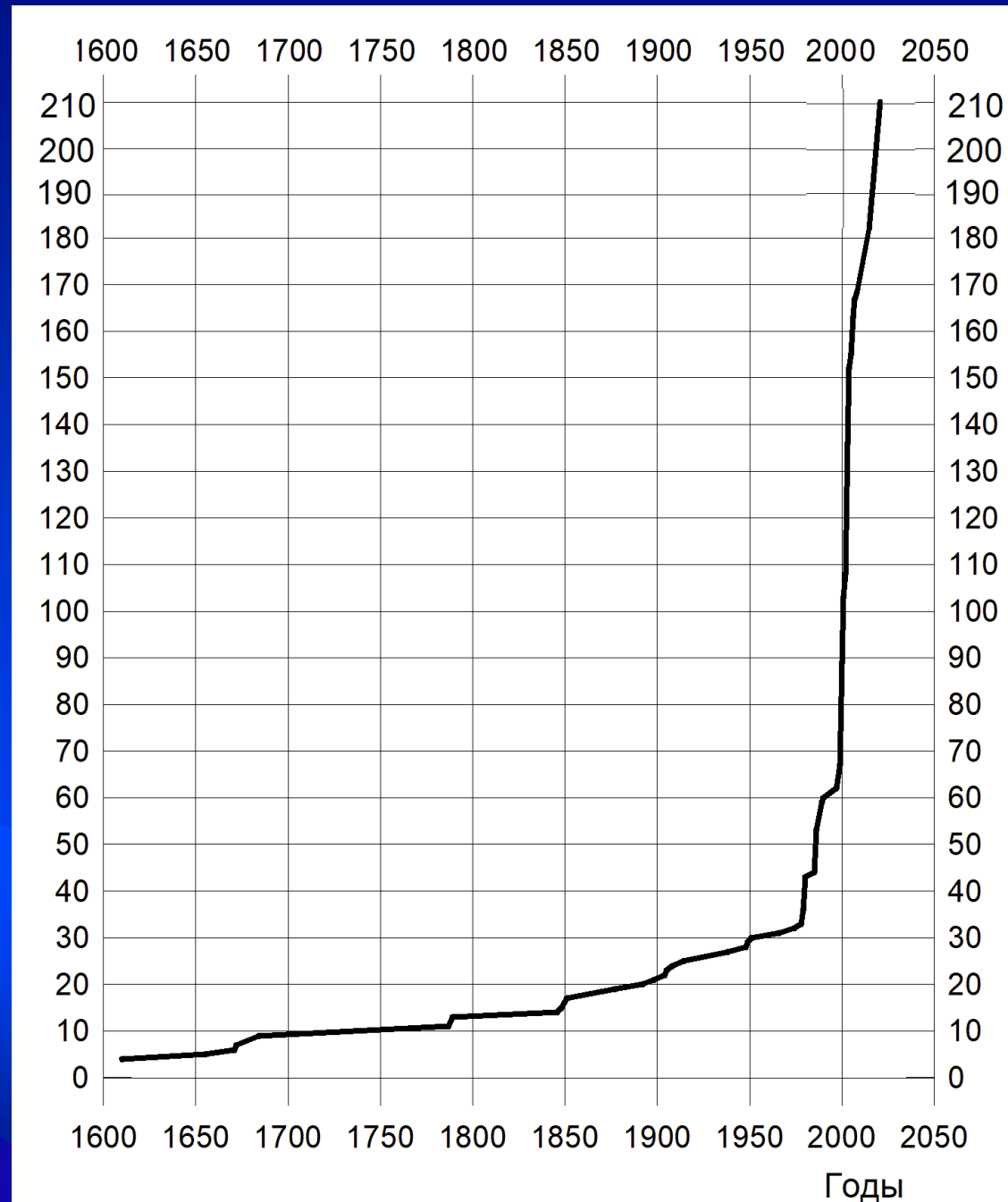
- Удовлетворять любопытство
(это же все так интересно!)
- Опубликовать побольше статей в
высокорейтинговых журналах
(чтобы не было проблем при
переизбрании в должности)
- Сделать открытие или выдвинуть гипотезу
(прославиться)

Естественные спутники больших планет

Сколько
спутников вокруг
больших планет?

Вокруг Марса - 2
Вокруг Юпитера - 79
Вокруг Сатурна - 82
Вокруг Урана - 27
Вокруг Нептуна - 14
Вокруг Плутона - 5
Всего - 209

Число известных спутников по годам



Естественные спутники больших планет

Радиусы орбит (средние расстояния)

Самая маленькая орбита

у Фобоса 9380 км
(спутник Марса)

Самая большая орбита
у спутника Нептуна

Несо 48 млн км

Размеры небесных тел

Ганимед

Спутник Юпитера



5260 км

Луна



3480 км

Плутон

Карликовая
планета



2400 км

Самый маленький спутник Анфа
(спутник Сатурна)

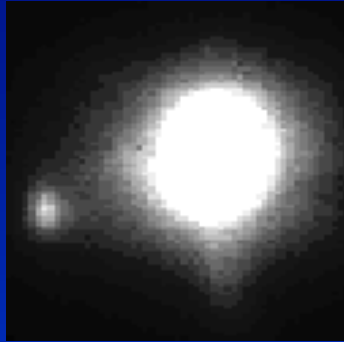
Диаметр 2 км

Есть и меньшие спутники,
но пока не открыты

Естественные спутники астероидов

| | |
|--|---------------|
| Самых астероидов, комет и карликовых планет известно | более 900 000 |
| Спутников астероидов (про большинство спутников известно только то, что он есть) | 425 |
| Спутников астероидов с известными орбитами | 66 |
| Звездная величина астероида со спутником, минимальная (самый яркий) | 11 |
| Контраст (разность зв. вел. спутника и зв вел. астероида), в большинстве случаев | 2-5 |
| Отношение массы спутника к массе астероида, макс | 1 |
| Видимое разделение спутник – астероид | < 1 сек дуги |

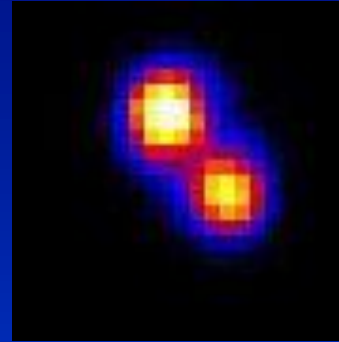
Изображения некоторых двойных астероидов



(22) Kalliope



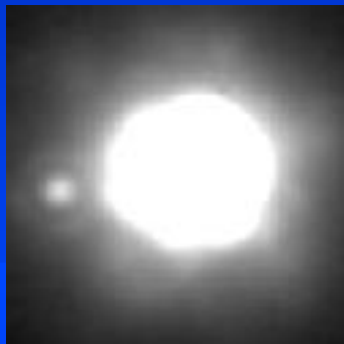
(87) Sylvia



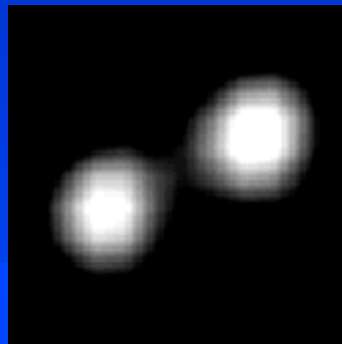
(617) Patrocle



(243) Ida



(762) Pulcova



(90) Antiope



(107) Camilla



(45) Eugenia

Естественные спутники планет и астероидов

Главные особенности

Они к нам значительно ближе,

чем звезды и экзопланеты

- Их можно наблюдать (астрометрия)
с высокой точностью
- К ним можно летать (уже летали: Вояджер,
«Новые горизонты». и др.)
- Это наиболее удобные объекты для посадки
- Они несут информацию об образовании
и эволюции Солнечной системы
- Наиболее сложные теории в небесной механике –
это теории для спутников планет и астероидов

Естественные спутники больших планет

Самые большие **малые** параметры
в Солнечной системе

(важно для теорий в небесной механике)

Отношение радиуса спутника
к радиусу планеты, Плутон-Харон

$$1 / 2 = 0.5$$

Отношение массы спутника
к массе планеты, Плутон-Харон

$$1 / 8 = 0.12$$

Эксцентриситет орбиты
спутника Нептуна Нереиды

$$0.75$$

Отношение радиуса планеты
к радиусу орбиты спутника, Марс-Фобос

$$0.36$$

ДИНАМИКА

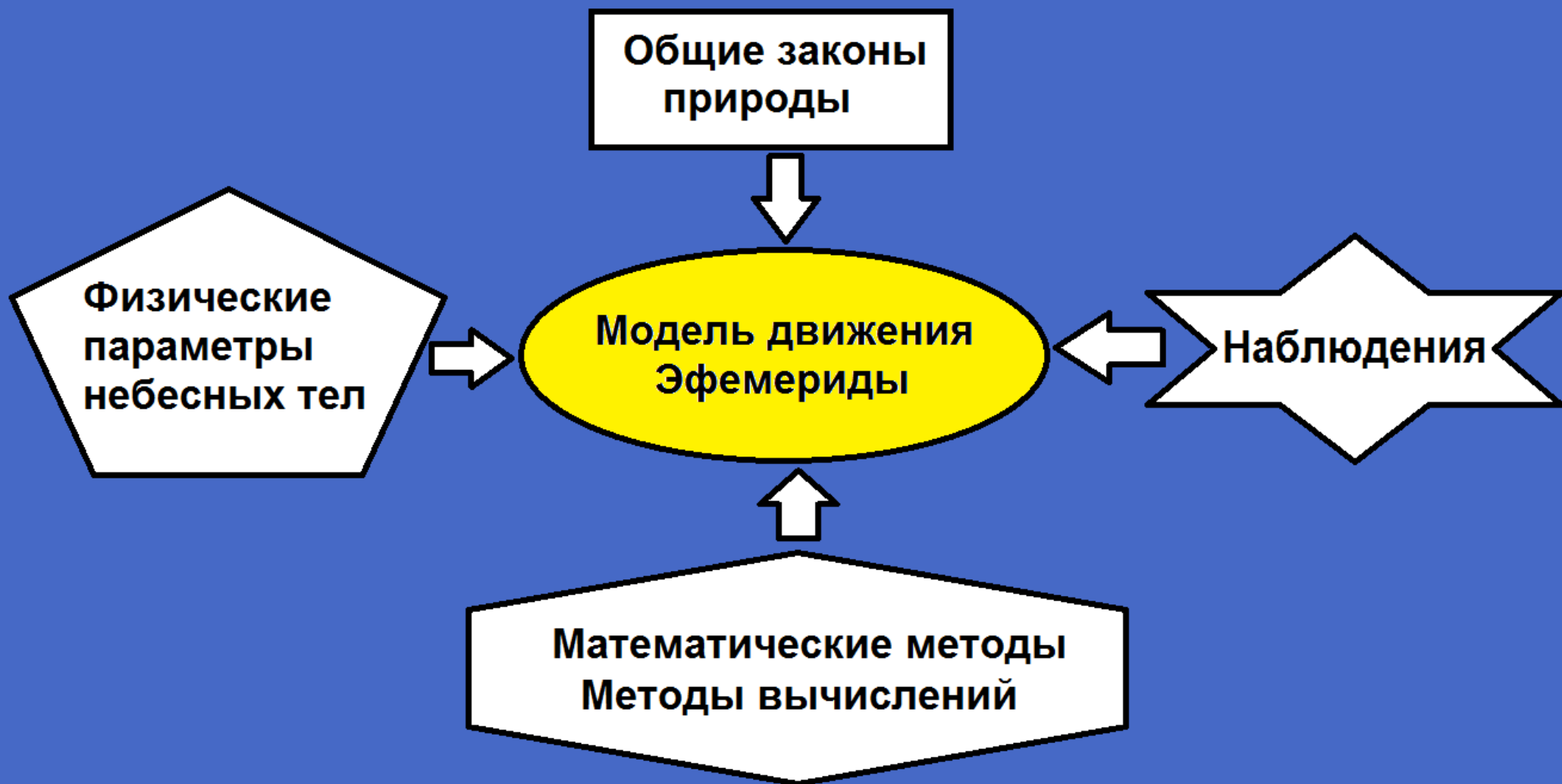
естественных спутников планет и астероидов

Методы изучения и практического использования

-- ПУТЬ, как делать --

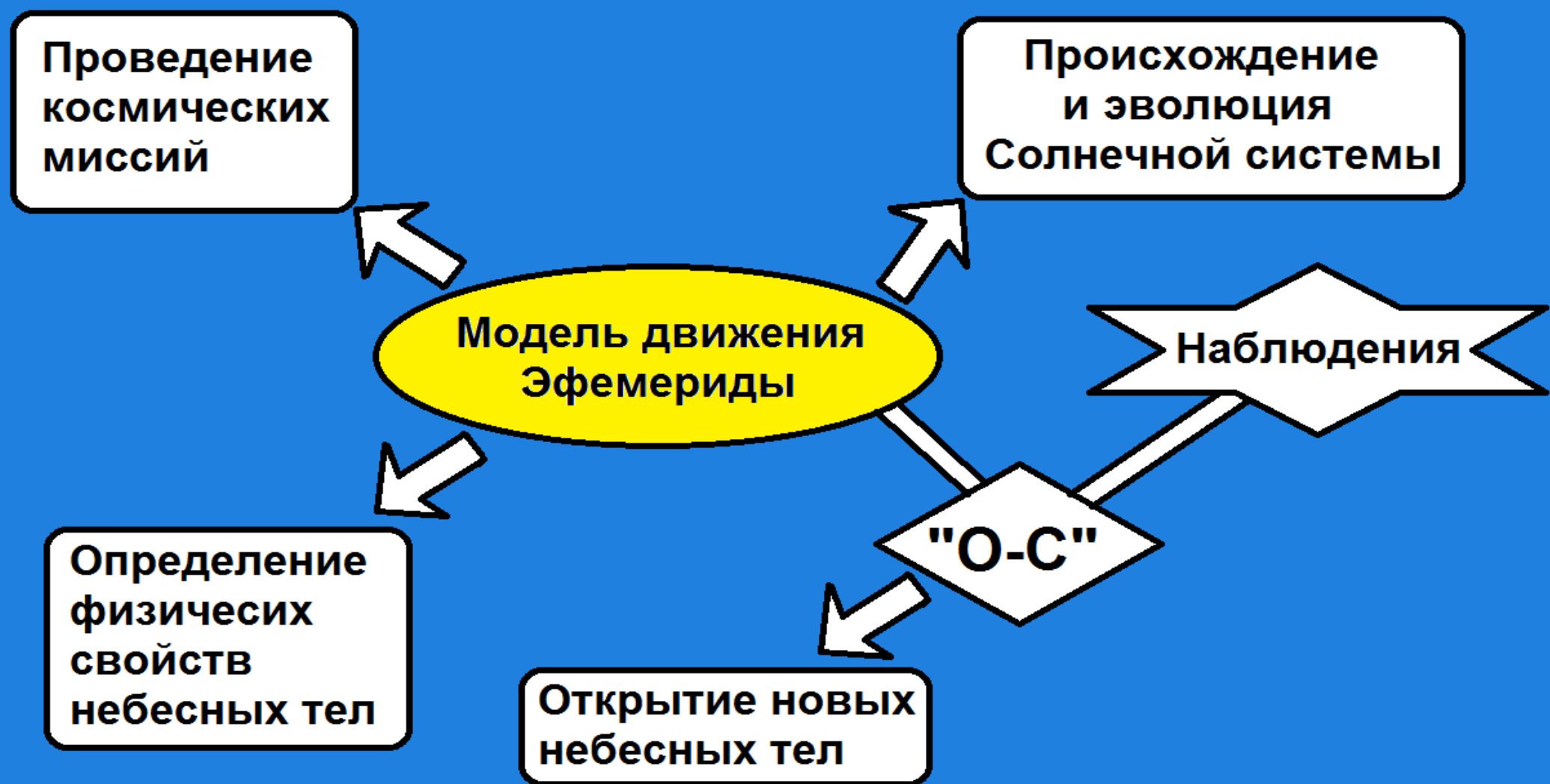
- 1. Построение модели движения
- 2. Максимальное приближение модели к результатам наблюдений
- 3. Изучение динамики на модели
- 4. Использование модели для разных целей (навигация в Солнечной системе)

Общий подход — создание модели движения и эфемерид естественных спутников планет



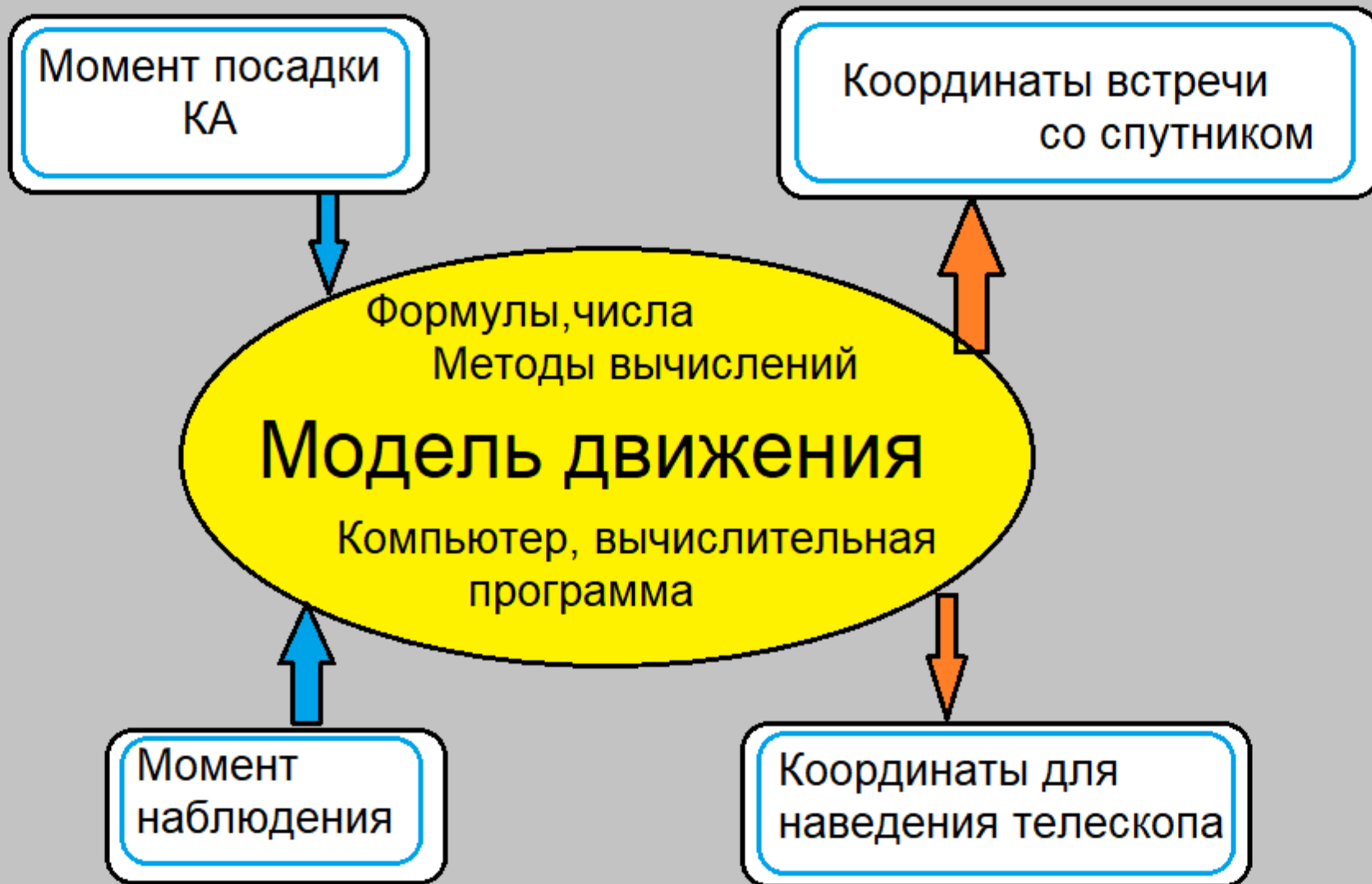
Эфемериды являются **конечным результатом** так как содержат в себе **все знания** о динамике спутников планет, включая все имеющиеся результаты наблюдений.

Общий подход — создание модели движения и эфемерид естественных спутников планет



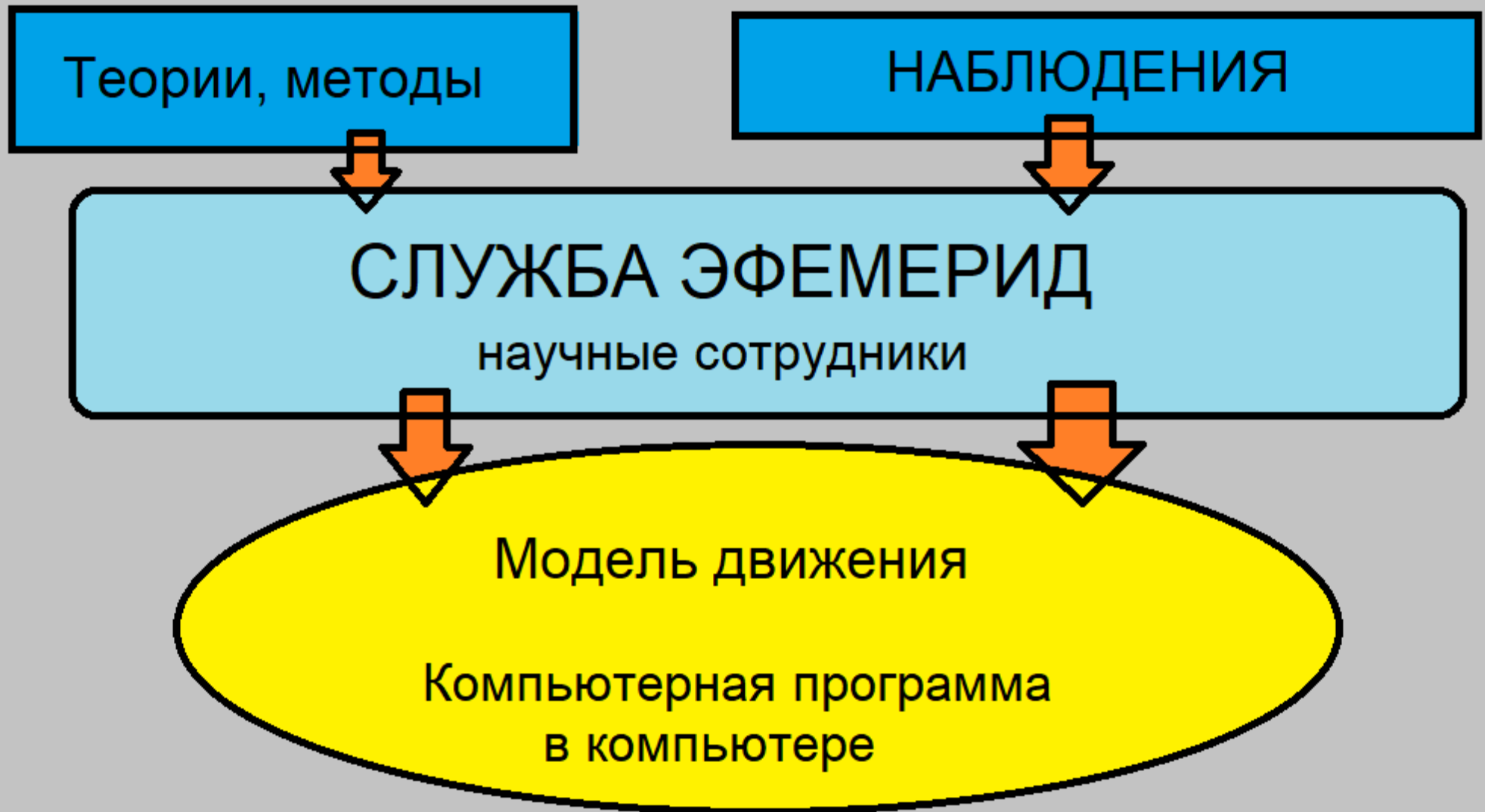
Эфемериды являются **средством исследований** так как содержат в себе **все знания** о динамике спутников планет

Общий подход — создание модели движения и эфемерид естественных спутников планет



Эфемериды являются **средством исследований** так как содержат в себе **все знания** о динамике спутников планет

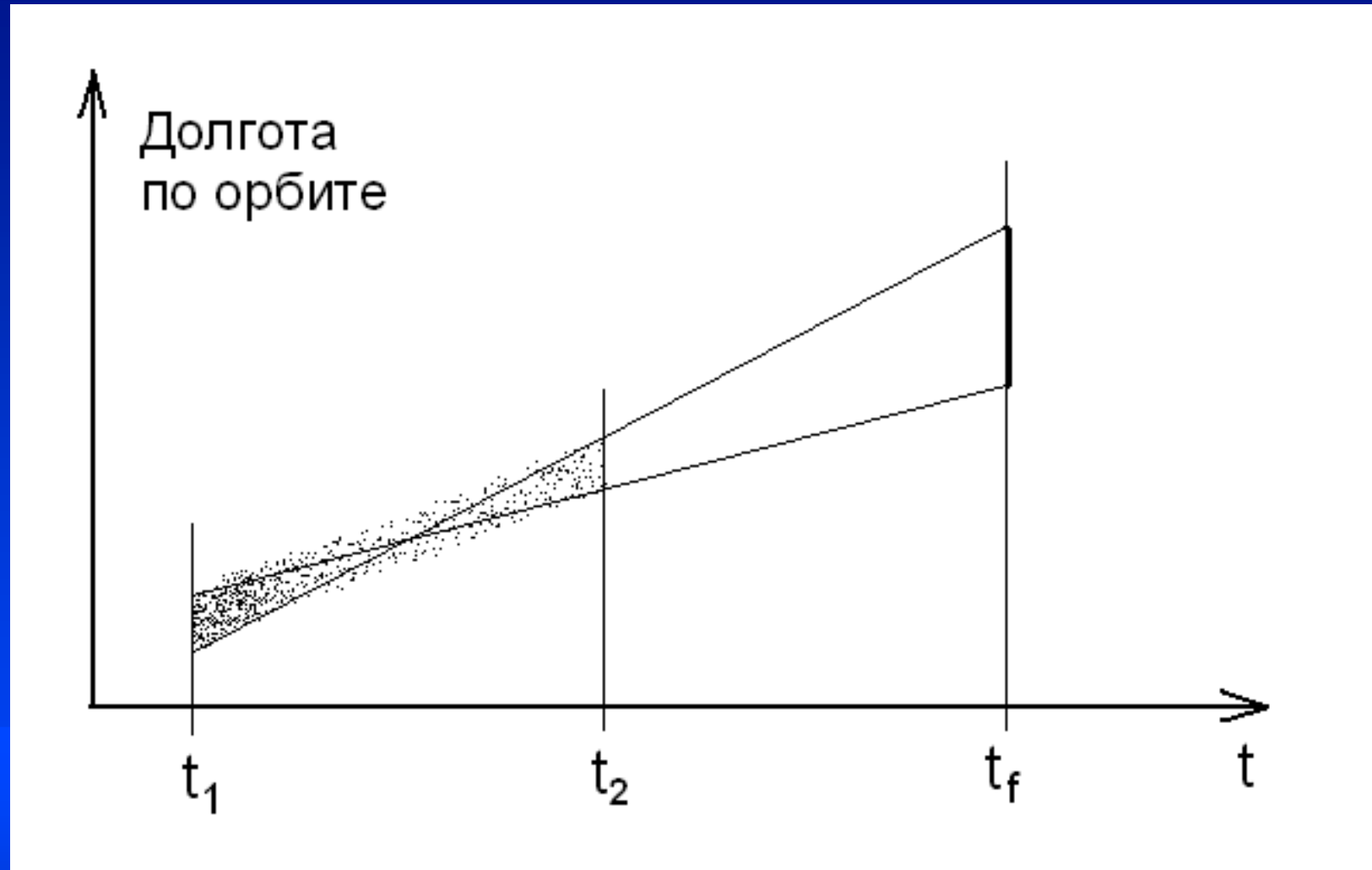
Создание модели движения и эфемерид естественных спутников планет и астероидов



Где их взять? Где они лежат? (Выясним позже)

Особенности задач динамики Солнечной системы

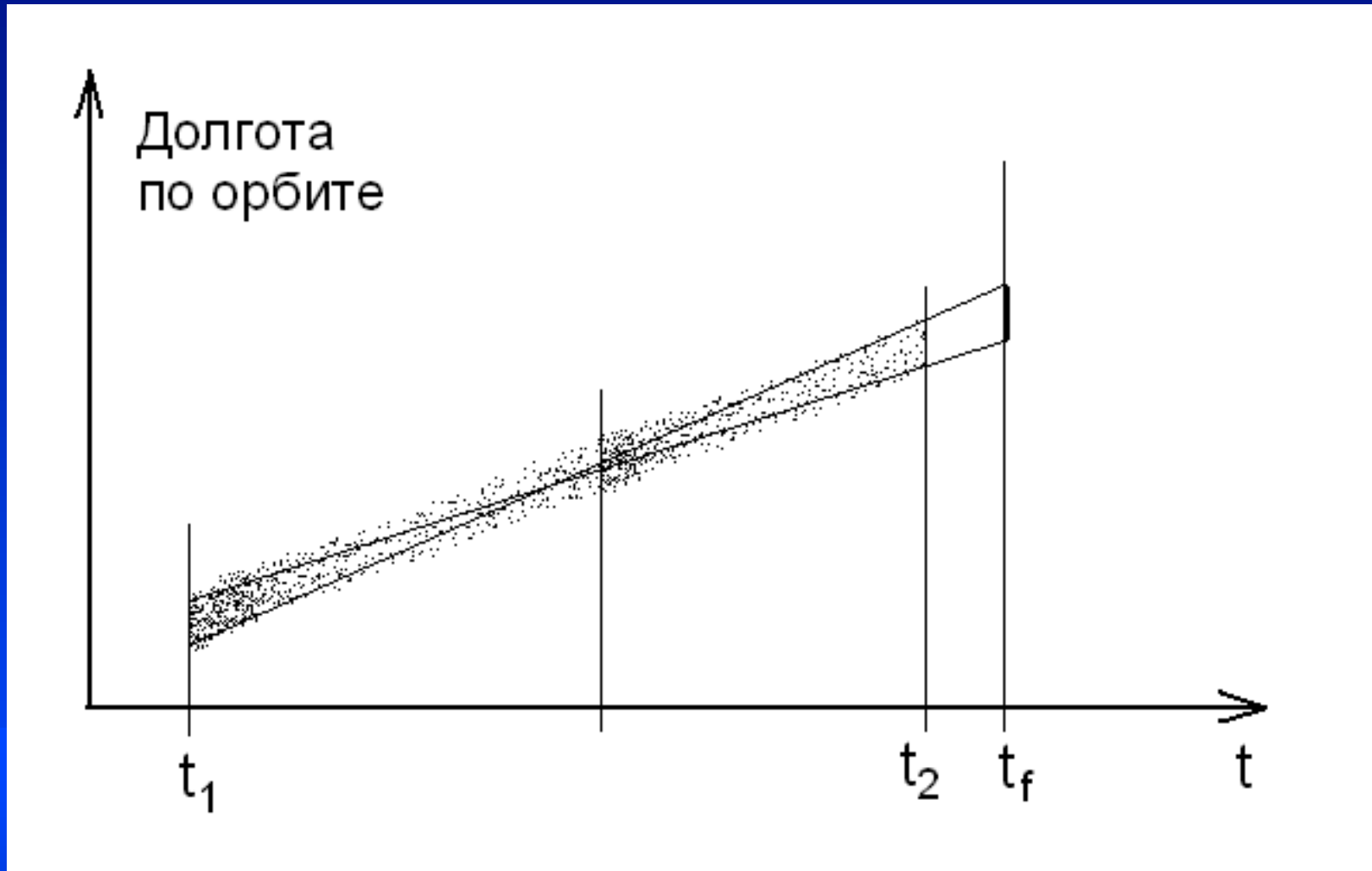
Связь интервала наблюдений и ошибки эфемериды



$$\sigma_{\lambda(t_f)} = \sigma_{\lambda} (t_f - t_2) = \frac{\sigma_{\lambda}}{t_2 - t_1} (t_f - t_2).$$

Особенности задач динамики Солнечной системы

Связь интервала наблюдений и ошибки эфемериды



$$\sigma_{\lambda(t_f)} = \sigma_{\dot{\lambda}} (t_f - t_2) = \frac{\sigma_{\lambda}}{t_2 - t_1} (t_f - t_2).$$

Наблюдения для эфемерид

Выводы:

- Продолжение наблюдений даже с прежней точностью оказывается полезным !!!
- Более точные наблюдения с космических аппаратов на коротких интервалах времени часто дают меньший вклад в точность эфемерид, чем наземные наблюдения !
- При появлении любых новых наблюдений параметры орбит и эфемериды должны быть перевычислены.
- Необходимо улучшать точность наземных наблюдений, искать новые способы наблюдений.
- Следует искать спутники планет на старых фотопластинках (в «стеклянных» библиотеках)

Емельянов Н.В.
Основные результаты
(2005-2011)

Новые знания динамики
спутников планет

Были определены параметры орбит и новые эфемериды всех 109 далеких спутников планет на основе всех имеющихся наблюдений

Emelyanov N.V. (2005)
Ephemerides of the outer Jovian satellites
Astronomy and Astrophysics. V. 435, p. 1173-1179.

Емельянов Н.В., Кантер А.А. (2005)
Орбиты новых внешних спутников планет на основе наблюдений.
Астрономический вестник. Т. 39. N. 2. P. 128-140.

Emelyanov N. V. (2007)
Updated ephemeris of Phoebe, ninth satellite of Saturn.
Astronomy and Astrophysics. V. 473. P. 343-346.

Emelyanov N. V., Arlot J.-E. (2011)
The orbit of Nereid based on observations.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. V. 417. P. 458-463.

Емельянов Н.В.
Основные результаты
(2005-2015)

Новые знания динамики
спутников планет

Были определены параметры орбит и новые

Это было только начало

Службу эфемерид нужно сопровождать

Появляются новые наблюдения
Нужна база данных наблюдений

Службу эфемерид нужно постоянно
обновлять

The orbit of Nereid based on observations.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. V. 417. P. 458-463.

Емельянов Н.В.
Основные результаты
(2008-2021)

Новые знания динамики
спутников планет

Мы это и делаем. Создали базы данных **всех** наблюдений. Создали серверы эфемерид. Поддерживаем и обновляем.

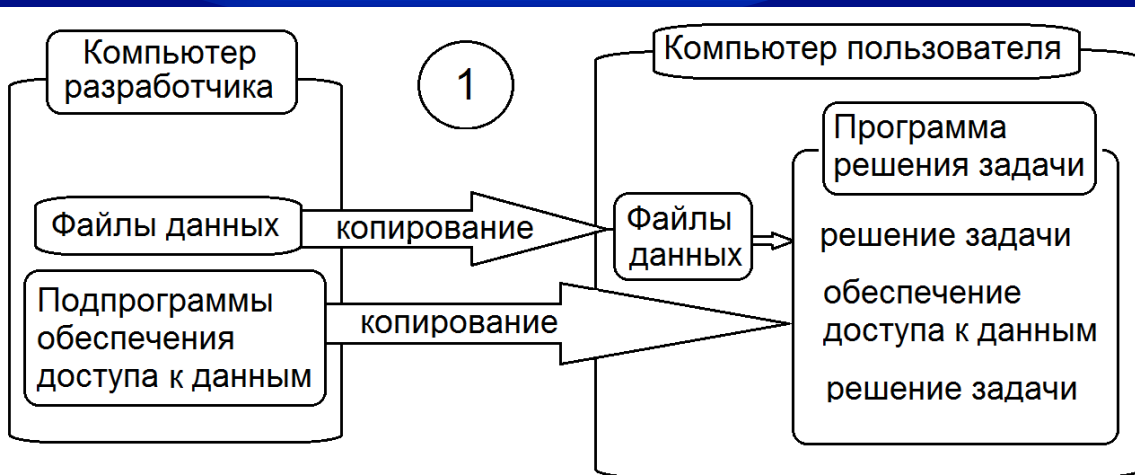
Emel'yanov N. V., Arlot J.-E. (2008)
The natural satellites ephemerides facility MULTI-SAT.
Astronomy and Astrophysics. 2008. V. 487. P. 759–765.

Arlot J.-E., Emelyanov N. V. (2009)
The NSDB natural satellites astrometric database.
Astronomy and Astrophysics. 2009. V. 503. P. 631–638. .

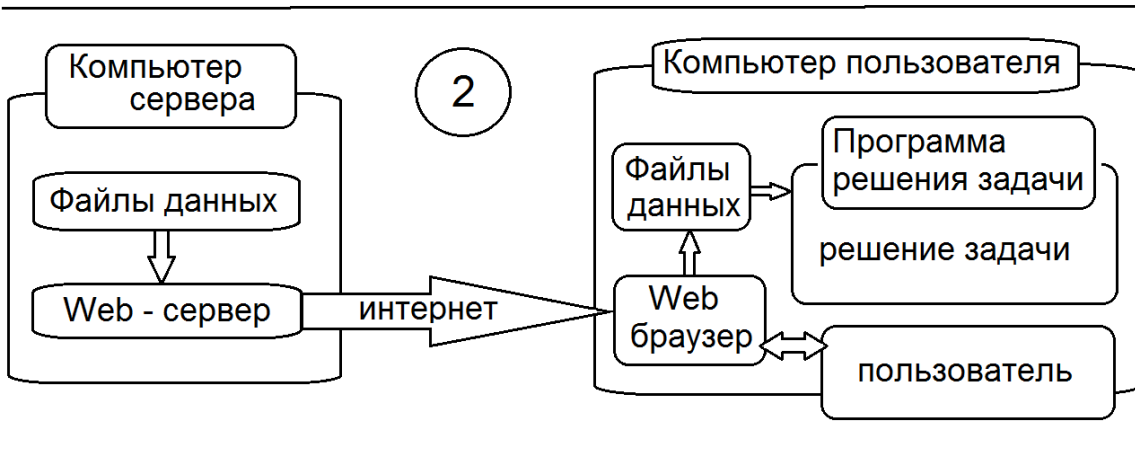
Емельянов Н.В., Вашковьяк С.Н., Уральская В.С. (2018)
Источники и базы данных для изучения динамики
спутников астероидов.
Астрономический вестник. 2018. Том. 52. № 3. С. 260–266.

Emelyanov N. V., Drozdov A. E.
Asteroid satellite ephemeride service. Mutual occultations and eclipses.
Icarus. 2021. V. 355. P. 114160.

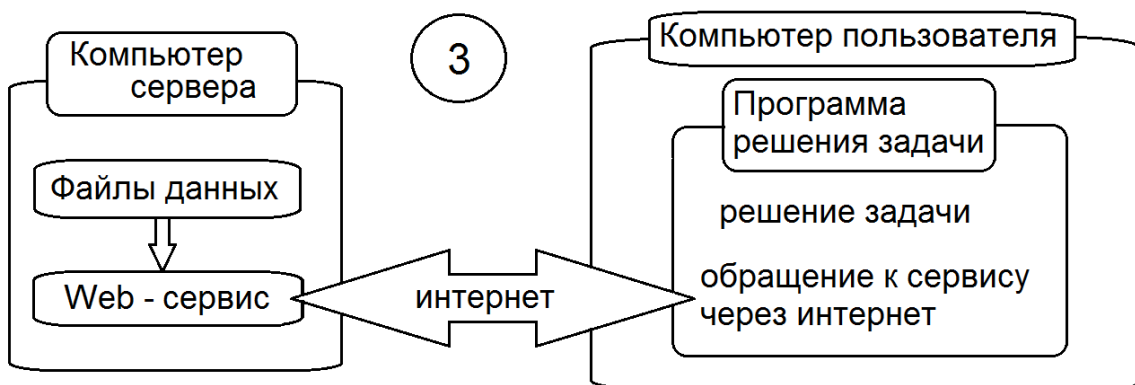
Как использовать сервер эфемерид спутников



⇐ Интернет не нужен



⇐ Копирование данных вручную (из окна в окно)



⇐ Удобно, но медленно работает

Где брать эфемериды? Где они разрабатываются? Где доступны серверы эфемерид?

| Где разработан и доступен на сайте | Главные спутники больших планет | Далекие спутники больших планет | Спутники астеридов |
|--|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| MPC (Центр малых планет) Международный центр | - - - | Только далекие спутники | - - - |
| ИПА РАН (С.-Петербург) Россия | Только главные спутники | - - - | - - - |
| JPL (США) | Все | Все | - - - |
| ГАИШ МГУ Москва, Россия копия в IMCCE (Франция) MULTI-SAT Емельянов Н.В. | Все | Все | Все |

В ГАИШ МГУ (Емельянов Н.В.) разработаны

- сервер эфемерид всех спутников больших планет (MULTI-SAT)
- сервер эфемерид всех спутников астероидов (MULTI-SAT)
- базы данных всех астрометрических наблюдений спутников

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

Службы постоянно обновляются и сопровождаются

Особенности и преимущества сервера MULTI-SAT

- * На выбор пользователя предлагаются несколько моделей движения планет (используются для эфемерид спутников) – DE405-DE431, INPOP08-INPOP19a, EPM, Леверье (19 век)
- * На выбор пользователя предлагаются несколько моделей движения спутников (разных авторов)
- * Возможность автоматического получения O-C для массива наблюдательных данных
- * Графическое представление положений спутников на небе
- * MULTI-SAT - сервер эфемерид не только спутников, но также и больших планет, Солнца и Луны
- * Предоставление оценок точности эфемерид

Разработка сервера MULTI-SAT и создание баз данных наблюдений

- В процессе эпизодически участвовали
- сотрудницы отдела небесной механики

- * Вашковьяк Софья Николаевна

- * Уральская Валентина Семеновна

Созданием баз данных наблюдений спутников планет и астероидов, их постоянным обновлением (сбором данных) систематически занимается сотрудник отдела

- * Варфоломеев Максим Иванович

Определение орбит спутников астероидов делалось «в две руки» вместе со студентом теперь 6-го курса

- * Дроздов Алексей Эдуардович

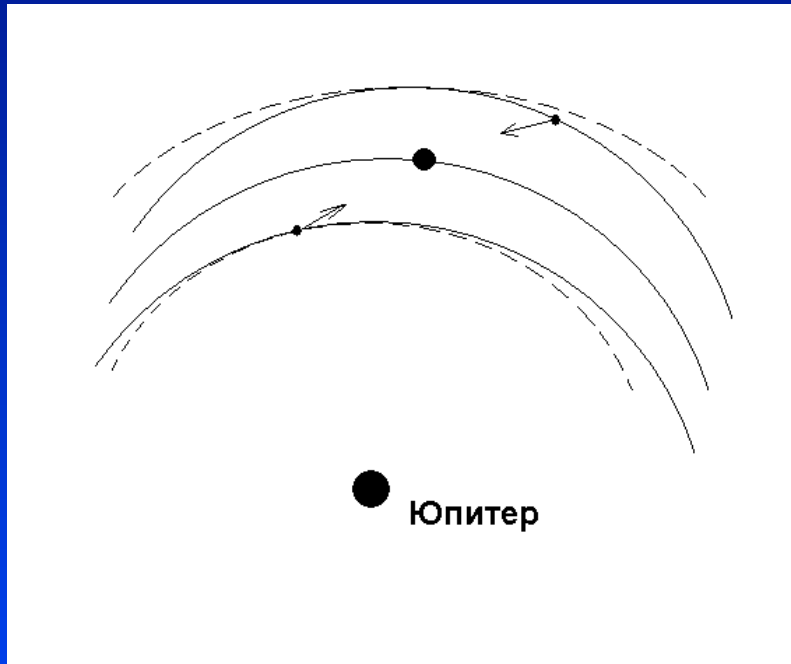
Какие новые данные добыты в процессе разработки моделей движения спутников

- Прежде всего определяются массы планет и астероидов.
- Это важно для навигации вокруг планет.
- Чем точнее знаем массы, тем точнее имеем модель их движения.
- Из наблюдений отдельно получают радиус орбиты 'а' и частота обращения спутника – 'n'.
- В итоге имеем
$$a^3 n^2 = G m$$
- Для астероидов это пока единственный способ определить массы
- Массы спутников можно было бы определять по их взаимному притяжению.
- «Не тут-то было!» Точности астрометрических наблюдений не хватает !!!
- Единственный только уникальный был такой случай ...

Емельянов Н.В. Основные результаты (2005)

Новые знания динамики спутников планет

Определение массы Гималии (спутник Юпитера)
по взаимным гравитационным возмущениям спутников



По астрометрическим
наблюдениям других спутников
с учетом притяжения
Гималией

$Gm = 0.28 \pm 0.04 \text{ км}^3/\text{с}^2$
(сравнить с $0.45 \text{ км}^3/\text{с}^2$
из справочников)

Emelyanov N.V. (2005) The mass of Himalia from the perturbations on other satellites. *Astronomy and Astrophysics*. V. 438. P. L33-L36.

Только в 2017 году такое определение было повторено,
и результат был подтвержден в работе

Brozovic, M., Jacobson R. A. (2017) The Orbits of Jupiter's Irregular Satellites. *The Astronomical Journal*. 2017. V. 153. Issue 4. Article id. 147, 10 pp.

Емельянов Н.В.
Основные результаты (2005)

**Новые знания динамики
спутников планет**

**Определены массы 64 астероидов по наблюдениям
движения спутников**

Emelyanov N. V., Drozdov A. E.
Determination of the orbits of 62 moons of asteroids
based on astrometric observations.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
2020. V. 494, 2410–2416.

**Ранее это было сделано другими авторами,
но только для 38 астероидов**

Strong tidal dissipation in Io and Jupiter from astrometric observations

Valéry Lainey¹, Jean-Eudes Arlot¹, Özgür Karatekin² & Tim Van Hoolst²

Io is the volcanically most active body in the Solar System and has a large surface heat flux^{1–3}. The geological activity is thought to be the result of tides raised by Jupiter⁴, but it is not known whether the current tidal heat production is sufficiently high to generate the observed surface heat flow^{5,6}. Io's tidal heat comes from the orbital energy of the Io–Jupiter system (resulting in orbital acceleration), whereas dissipation of energy in Jupiter causes Io's orbital motion to decelerate. Here we report a determination of the tidal dissipation in Io and Jupiter through its effect on the orbital motions of the Galilean moons. Our results show that the rate of internal energy dissipation in Io ($k_2/Q = 0.015 \pm 0.003$, where k_2 is the Love number and Q is the quality factor) is in good agreement with the observed surface heat flow^{5,6}, and suggest

detailed set of observations such as this is necessary to reveal the long-term effects of dissipation on the orbits. We use a weighted least-squares inversion procedure and minimize the differences between the observed and computed positions of the satellites to determine the parameters of the model, in particular the respective dissipation ratios, k_2/Q , of Io and Jupiter. Our solution for the tidal dissipation yields $k_2/Q = 0.015 \pm 0.003$ (formal error bar, 1σ) for Io and $k_2/Q = (1.102 \pm 0.203) \times 10^{-5}$ for Jupiter. The Io–Jupiter interaction dominates the orbital evolution and is responsible for a large correlation coefficient of 0.983 between the dissipation ratios of Io and Jupiter. The almost 2% difference with respect to unity is due to the evolution of the Laplace resonance and is sufficient to separate the dissipation in Io from that in Jupiter (see Supplementary Information for details of the analysis and the model). Our results

Strong tidal dissipation in Io and Jupiter from astrometric observations

Valéry Lainey¹, Jean-Eudes Arlot¹, Özgür Karatekin² & Tim Van Hoolst²

Получены параметры вязкости
Юпитера и спутника Ио

Для Юпитера: $k_2/Q = (1.102 \pm 0.203) \cdot 10^{-5}$

Для Ио: $k_2/Q = 0.015 \pm 0.003$

Новые знания о Солнечной системе

TB, SD, APJ/ApJ428274/ART, 11/05/2012

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 750:1 (19pp), 2012 ???

doi:10.1088/0004-637X/750/1/1

© 2012. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

STRONG TIDAL DISSIPATION IN SATURN AND CONSTRAINTS ON ENCELADUS' THERMAL STATE FROM ASTROMETRY

VALÉRY LAINEY¹, ÖZGÜR KARATEKIN², JOSSELIN DESMARS^{1,3}, SÉBASTIEN CHARNOZ⁴, JEAN-EUDES ARLOT¹,
NICOLAI EMELYANOV^{1,5}, CHRISTOPHE LE PONCIN-LAFITTE⁶, STÉPHANE MATHIS⁴, FRANÇOISE REMUS^{1,4,7},
GABRIEL TOBIE⁸, AND JEAN-PAUL ZAHN⁷

¹ IMCCE-Observatoire de Paris, UMR 8028 du CNRS, UPMC, 77 Av. Denfert-Rochereau, 75014 Paris, France; lainey@imcce.fr

² Royal Observatory of Belgium, Avenue Circulaire 3, 1180 Uccle, Bruxelles, Belgium

³ Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, 80 Nandan Road, 200030 Shanghai, China

⁴ Laboratoire AIM, CEA/DSM-CNRS-Université Paris Diderot, IRFU/SaP Centre de Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France

⁵ Sternberg Astronomical Institute, 13 Universitetskij Prospect, 119992 Moscow, Russia

⁶ SyRTE-Observatoire de Paris, UMR 8630 du CNRS, 77 Av. Denfert-Rochereau, 75014 Paris, France

⁷ LUTH-Observatoire de Paris, UMR 8102 du CNRS, 5 place Jules Janssen, 92195 Meudon Cedex, France

⁸ Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de Nantes, Université de Nantes, CNRS, UMR 6112, 2 rue de la Houssinière, 44322 Nantes Cedex 3, France

Received 2011 September 4; accepted 2012 March 23; published 2012 ???

ABSTRACT

Tidal interactions between Saturn and its satellites play a crucial role in both the orbital migration of the satellites and the heating of their interiors. Therefore, constraining the tidal dissipation of Saturn (here the ratio k_2/Q) opens the door to the past evolution of the whole system. If Saturn's tidal ratio can be determined at different frequencies, it may also be possible to constrain the giant planet's interior structure, which is still uncertain. Here, we try to determine Saturn's tidal ratio through its current effect on the orbits of the main moons, using astrometric data spanning more than a century. We find an intense tidal dissipation ($k_2/Q = (2.3 \pm 0.7) \times 10^{-4}$), which is about 10 times higher than the usual value estimated from theoretical arguments. As a consequence, eccentricity equilibrium for Enceladus can now account for the huge heat emitted from Enceladus' south pole. Moreover, the measured k_2/Q is found to be poorly sensitive to the tidal frequency, on the short frequency interval considered. This suggests

Новые знания о Солнечной системе

TB, SD, APJ/ApJ428274/ART, 11/05/2012

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 750:1 (19pp), 2012 ???

doi:10.1088/0004-637X/750/1/1

© 2012. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

STRONG TIDAL DISSIPATION IN SATURN AND CONSTRAINTS ON ENCELADUS' THERMAL STATE FROM ASTROMETRY

VALÉRY LAINEY¹, ÖZGÜR KARATEKIN², JOSSELIN DESMARS^{1,3}, SÉBASTIEN CHARNOZ⁴, JEAN-EUDES ARLOT¹, NICOLAI EMELYANOV^{1,5}, CHRISTOPHE LE PONCIN-LAFITTE⁶, STÉPHANE MATHIS⁴, FRANÇOISE REMUS^{1,4,7},
Cécile Trossen⁸, Jean-Benoît Delisle⁷

Получено значение параметра вязкости Сатурна
 $k_2/Q = (2.3 \pm 0.7) 10^{-3}$
которое примерно в 10 раз больше, чем обычно
принимаемое значение, установленное из
теоретических предпосылок.

Получено неожиданно высокое значение векового
ускорения спутника Сатурна Мимас
 $da/dt = -(15.7 \pm 4.4) \times 10^{-15}$ а.е./сут.

Емельянов Н.В. 2018

Новые знания динамики
спутников планет

Заново построена теория эволюции орбит спутников планет, обусловленная приливами в вязко-упругих телах планет и спутников

Emelyanov N.

Influence of tides in viscoelastic bodies of planet and satellite on the satellite's orbital motion.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.

V. 479. 2018. Issue 1. P. 1278-1286.

Показано, что два из четырех уравнений, используемых в этой теории ранее другими авторами, оказались не верными.

Это подтвердилось позже в работах других авторов.

Успех астрономии всегда
зависел от развития
электроники и оптики
(телескопостроение)

Новые знания динамики
спутников планет

Некоторые не стали ждать новых успехов
телескопостроения,
а стали искать новые способы наблюдений

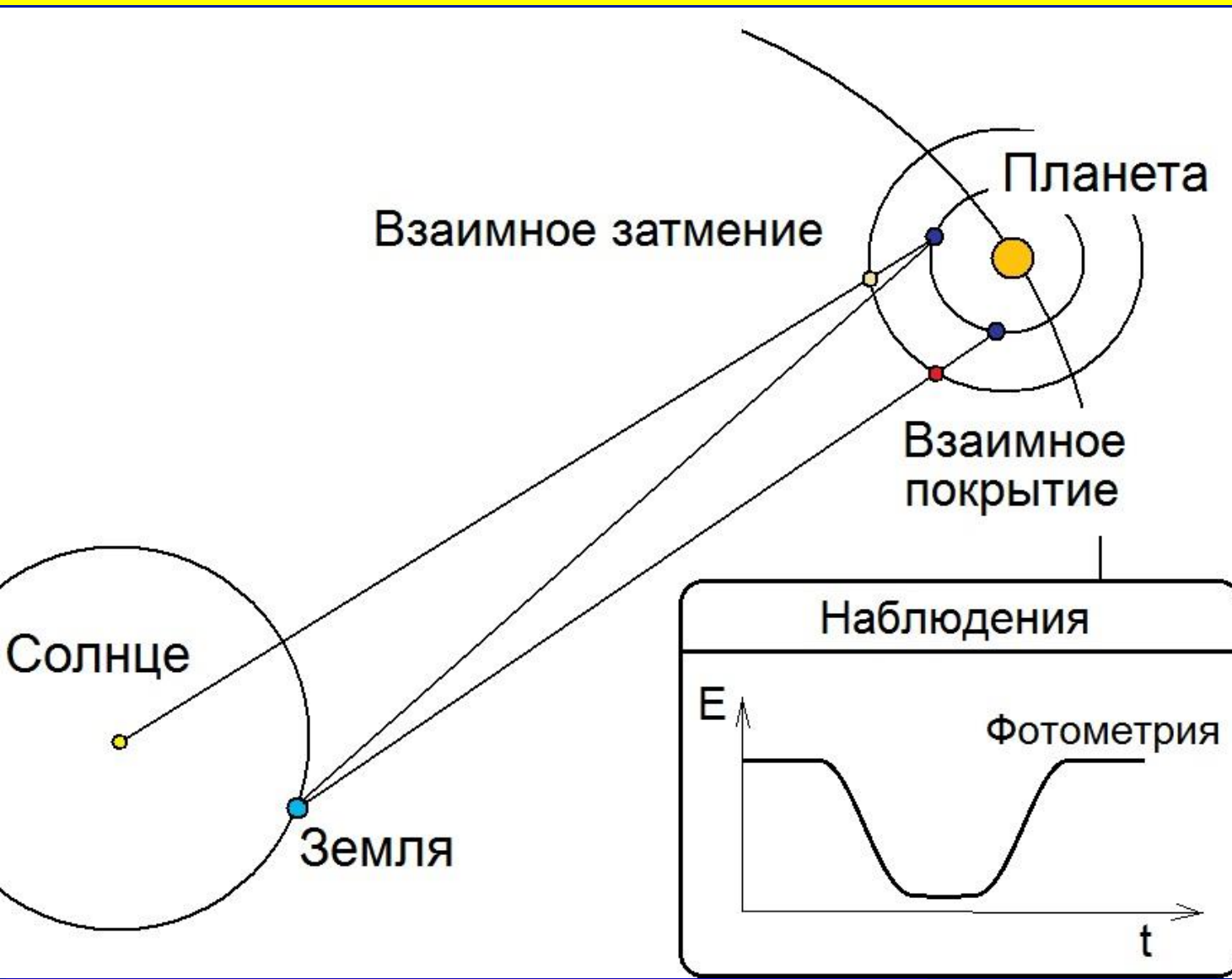
Одна из находок:

Фотометрия спутников планет во время
их взаимных покрытий и затмений

Что это такое?

ПОИСК новых типов наблюдений

Астрометрические данные из фотометрии взаимных покрытий и затмений главных спутников



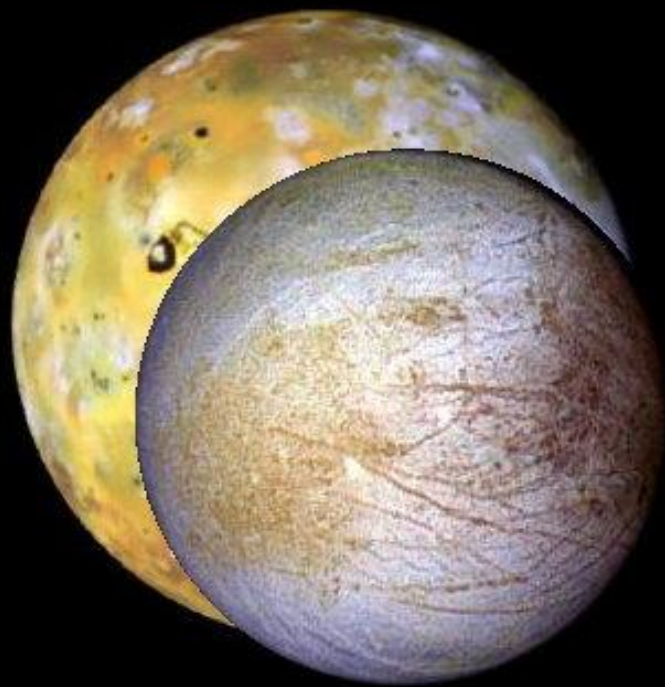
Плоскость орбит спутников и плоскость орбиты планеты не совпадают.

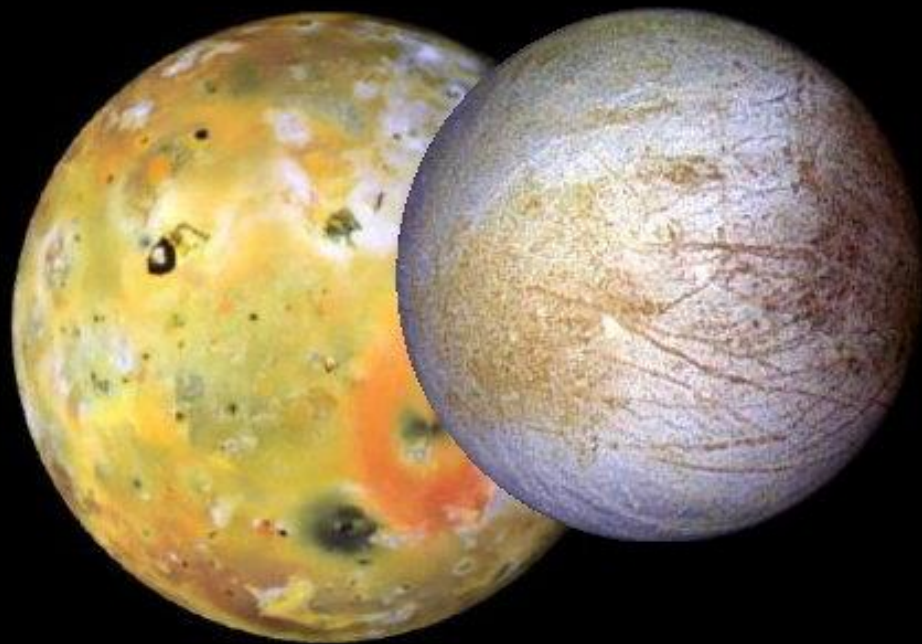
Из-за этого периоды событий приходят два раза за период обращения планеты

явления РНЕМУ



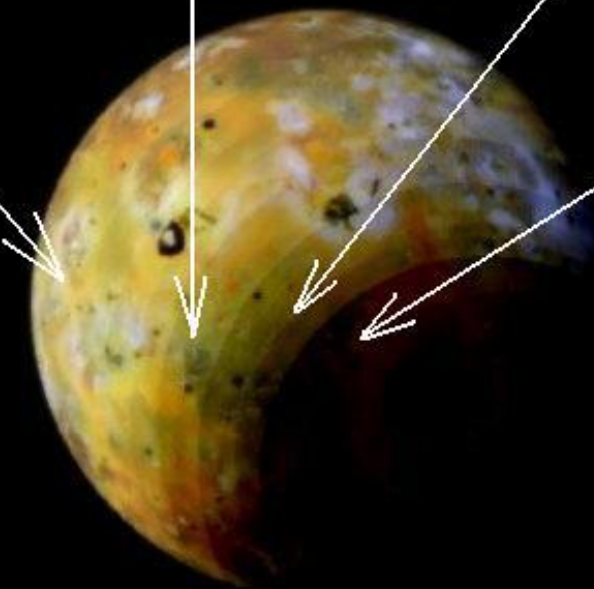
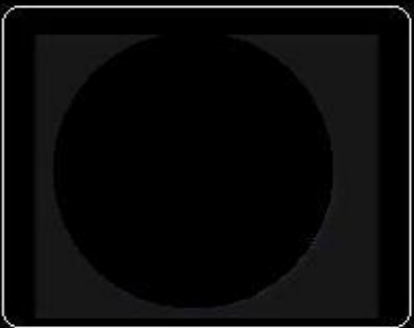
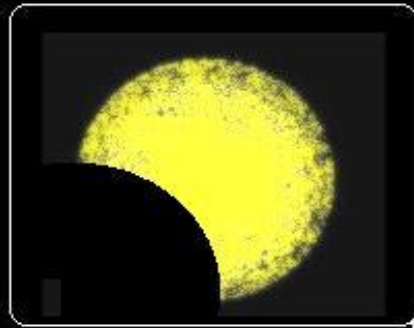
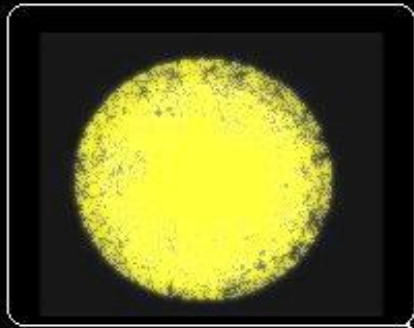




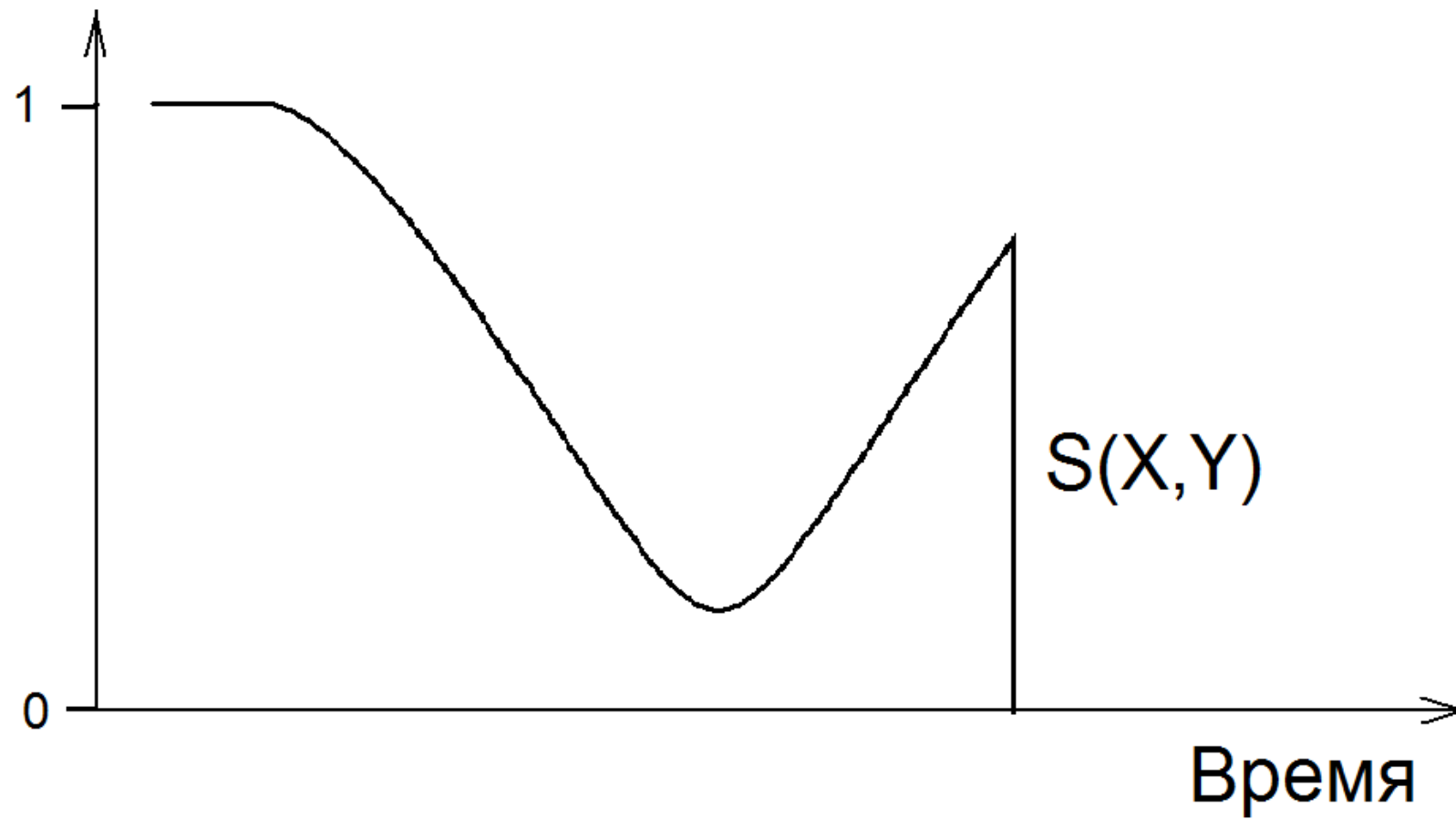








Световой
ПОТОК



Задача: Редукция фотометрических наблюдений взаимных покрытий и затмений главных спутников планет.

Редукция делается специальным методом :

Даны: кривые блеска спутников
во время взаимного явления

Определить: разности топоцентрических координат двух спутников.

Из каждой измеренной кривой яркости спутников получается пара разностей координат двух спутников.

Принимаются во внимание:

- сложная геометрия явления
- светообразовательные свойства каждой точки поверхностей спутников
- сложная регистрация световых потоков в фотоприемниках телескопов

Чрезвычайно громоздкий метод и алгоритм !

Специальные задачи динамики Солнечной системы

Взаимные покрытия и затмения спутников планет

Периоды явлений длительностью в 6 – 9 месяцев повторяются через пол-оборота планеты вокруг Солнца.

Спутники Юпитера : 1997, 2003, 2009, 2015, 2020. ...

Спутники Сатурна: 1995, 2009, 2023, ...

Спутники Урана : 1965, 2007, 2049, ...

Длительность каждого явления 5 – 20 минут.

Происходят от 1 до 10 явлений в неделю.

Каждое явление наблюдаемо только на 30% обсерваторий.

Регулярно проводятся международные кампании фотометрических наблюдений взаимных явлений.

Обработка результатов — получение астрометрических данных
- чрезвычайно сложный и трудоемкий процесс

В отделе небесной механики ГАИШ разработан оригинальный метод получения астрометрических данных из фотометрии явлений (Емельянов 2003 - 2014).

Емельянов Н.В.
Основные результаты
(2005-2011)

Новые знания динамики
спутников планет

За каждую кампанию получают до 440
относительных астрометрических координат спутников.

Точность астрометрических координат:

Спутники Юпитера: 0.03 — 0.06 сек.дуги.

Спутники Сатурна : 0.003 — 0.006 сек.дуги.

Спутники Урана : 0.003 — 0.006 сек.дуги.

Для сравнения.

Точность обычных астрометрических наблюдений
главных спутников Юпитера, Сатурна, Урана
0.05 — 0.2 сек. дуги.

Емельянов Н.В.
(2003-2021)

Новые средства
изучения динамики
спутников планет

Оригинальный метод:

Емельянов Н. В. (2003) Метод обработки фотометрических наблюдений взаимных покрытий и затмений спутников планет.
Астрономический вестник. V. 37. N. 4. P. 344-355.

Emelyanov N. V., Gilbert R. (2006) Astrometric results of observations of mutual occultations and eclipses of the Galilean satellites of Jupiter in 2003.
Astronomy and Astrophysics. V. 453. P. 1141-1149.

С 2003 года все результаты всемирных кампаний наблюдений обрабатываются в ГАИШ МГУ.

Получаются высокоточные позиционные данные о спутниках

Решение актуальных задач динамики Солнечной системы

Уже близко к заключению доклада

Среди далеких спутников Юпитера и Сатурна имеются спутники, орбиты которых определены на очень коротких интервалах времени.

Эфемериды имеют точность +/- половина оборота спутника вокруг планеты.

То есть спутники уже потеряны.

Есть спутники, которые скоро будут потеряны.

Нужны обычные астрометрические наблюдения далеких спутников.

Звездные величины 21-26.

Уже близко к заключению доклада

**Для решения актуальных задач
динамики Солнечной системы**

**Нужны астрометрические наблюдения
двойных астероидов**

- с помощью адаптивной оптики**
- с помощью спекл-интерферометрии**

Для решения актуальных задач динамики Солнечной системы

Нужно просто участвовать в международных кампаниях наблюдений спутников планет во время их взаимных явлений.

ВыГОды:

**Наблюдения можно делать скромными средствами
(доступно любителям астрономии)**

**Все наблюдатели становятся соавторами статей в
высокорейтинговых научных журналах**

Заключение **Почему нужно этим заниматься**

Так освоение Солнечной системы
обеспечивается всегда свежими данными

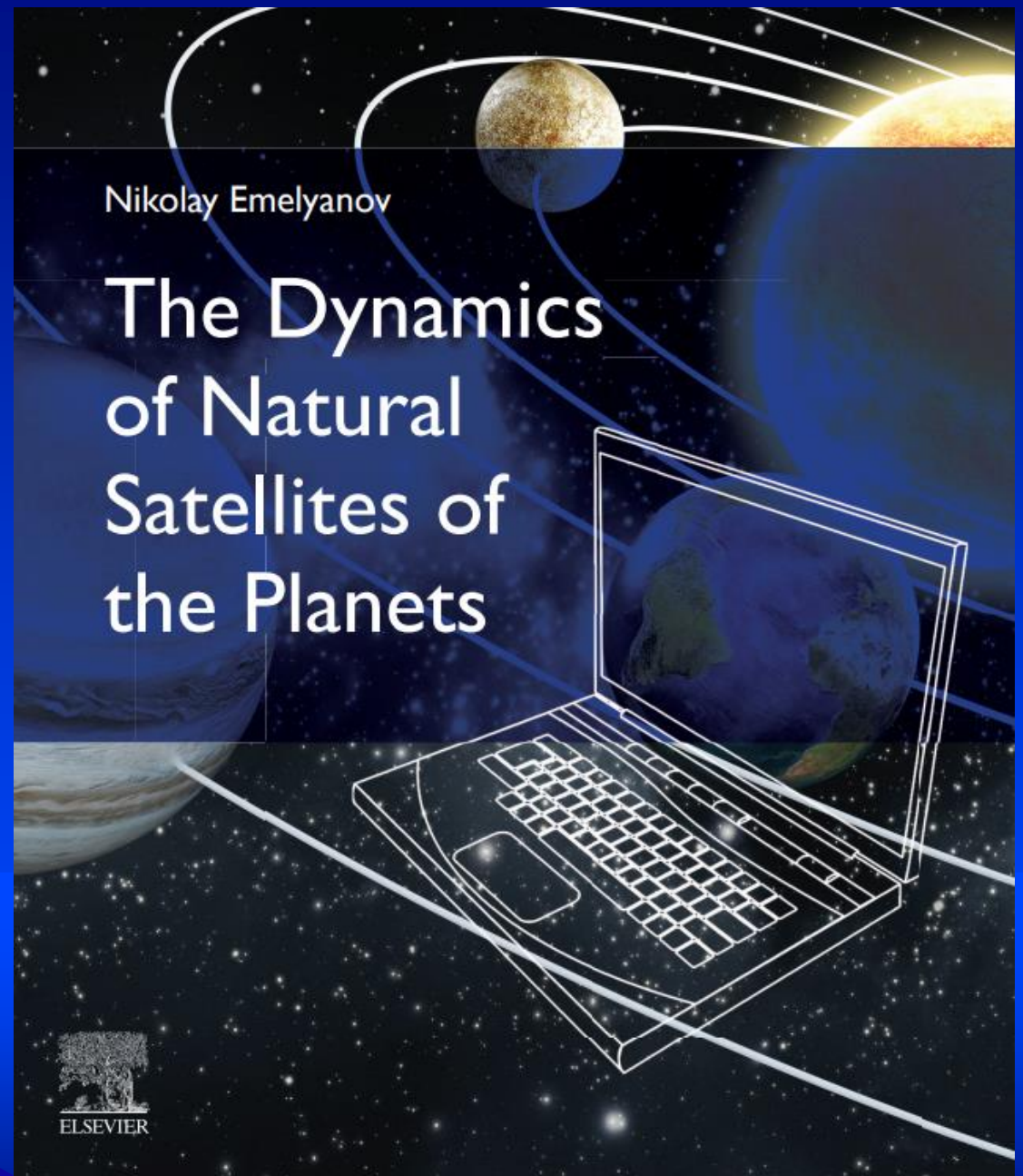
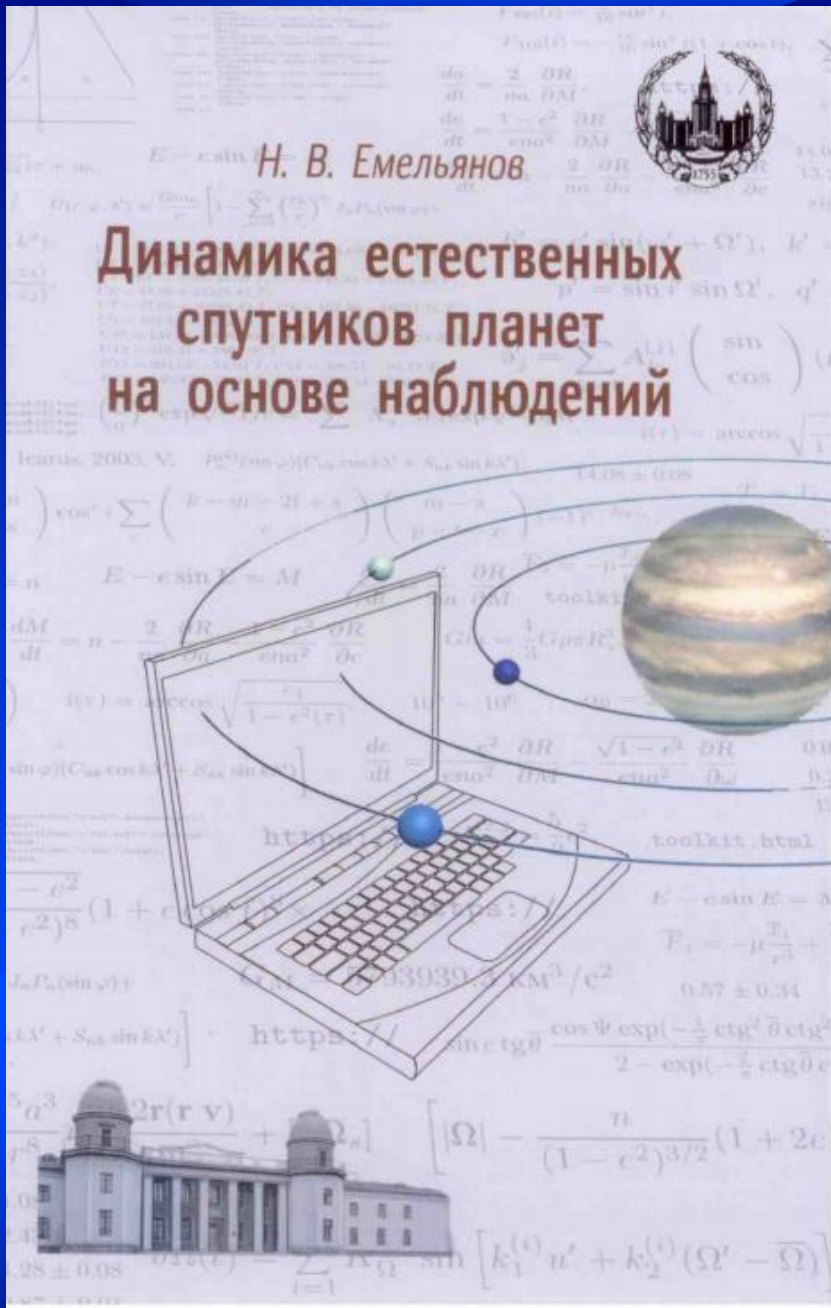
Так получается информация для выяснения
происхождения и эволюции Солнечной системы

Добываются новые данные для смежных наук

Выгодно как для науки, так и для исполнителей:

- работа поддерживается грантами
- результаты публикуются в высокорейтинговых журналах
- постоянно ведется международное сотрудничество

По теме доклада опубликована книга



Доступна online http://www.sai.msu.ru/neb/Bidon/book_Emelyanov_NSD.htm

Емельянов Н.В.

Конец доклада



Спасибо за внимание