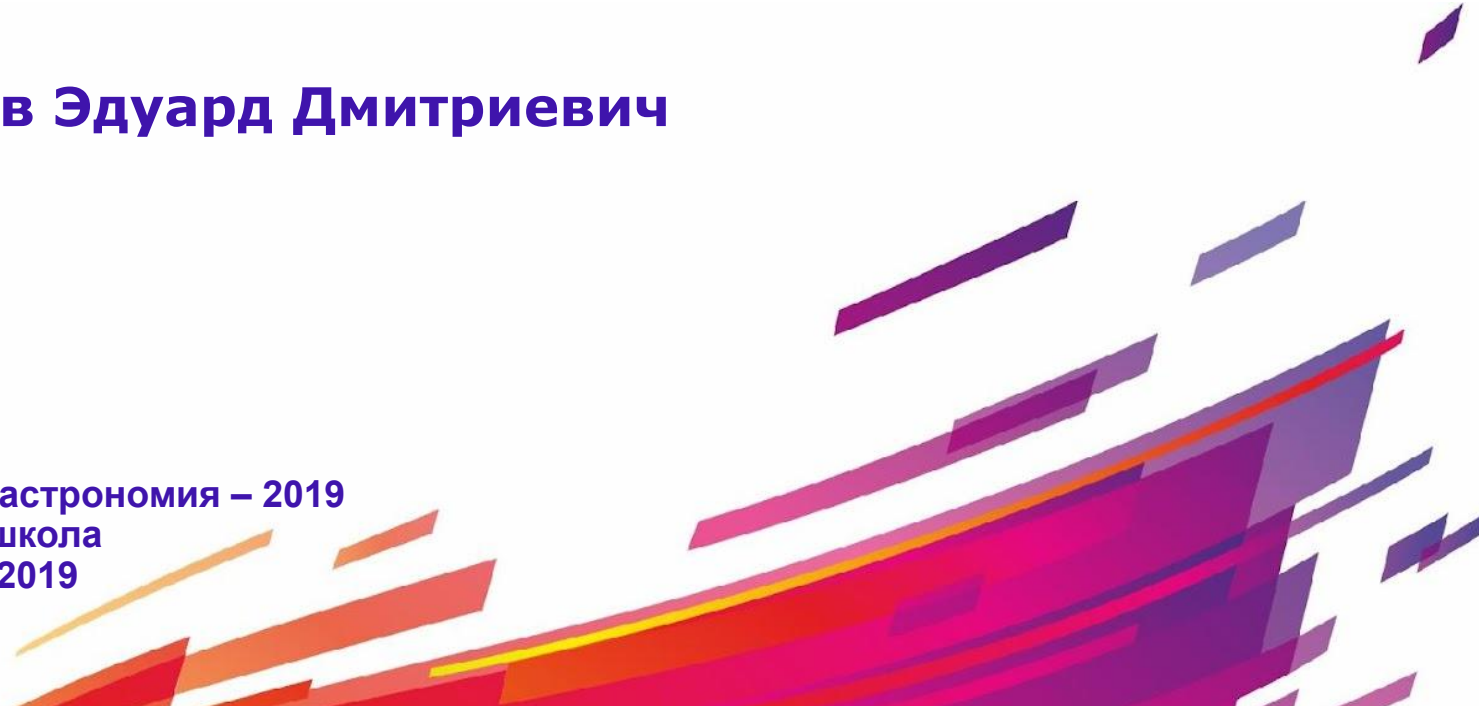


# Малые тела Солнечной системы: происхождение и эволюция

Кузнецов Эдуард Дмитриевич

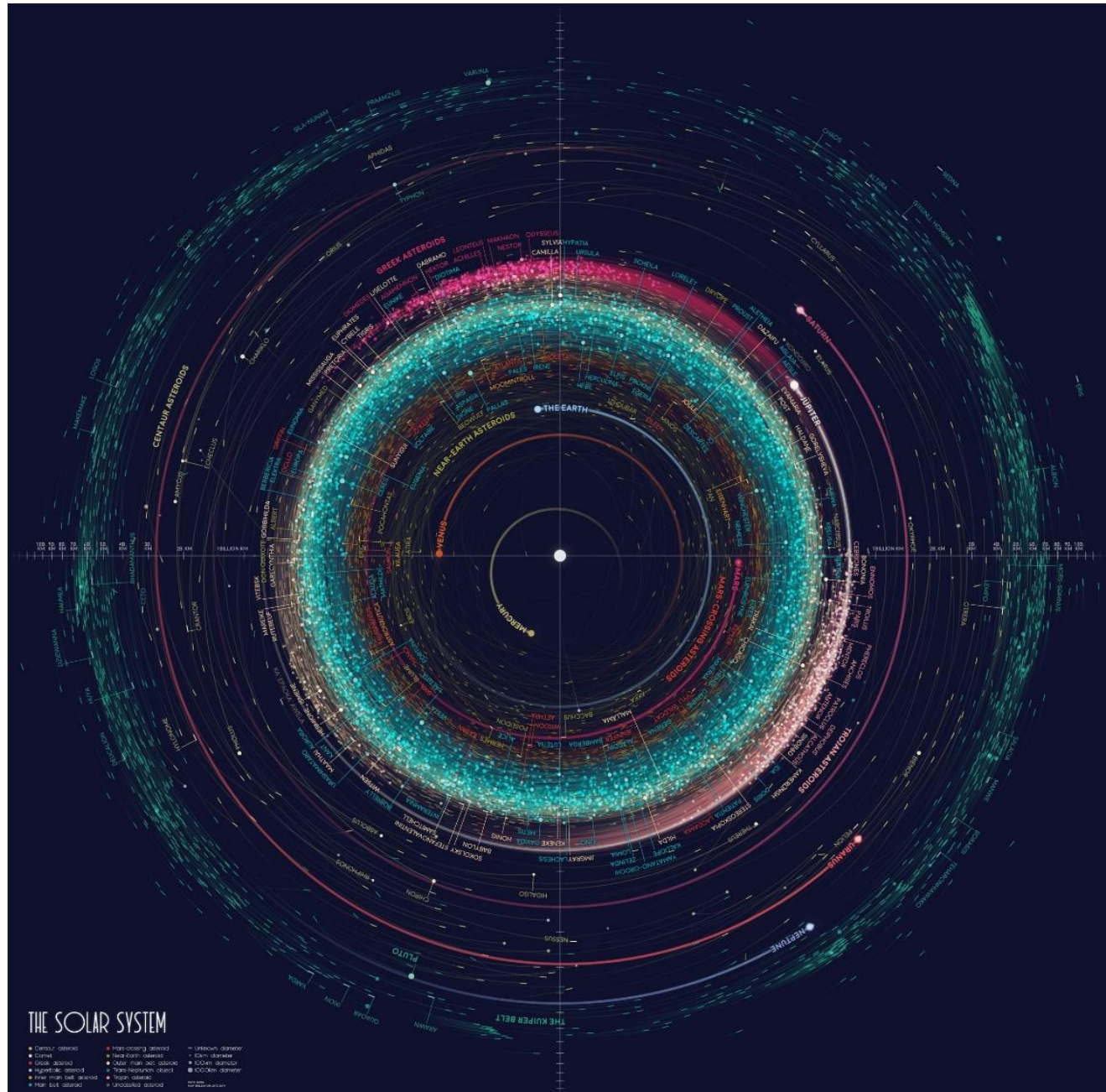
Околоземная астрономия – 2019  
Молодежная школа  
Казань, 03.10.2019



# Введение

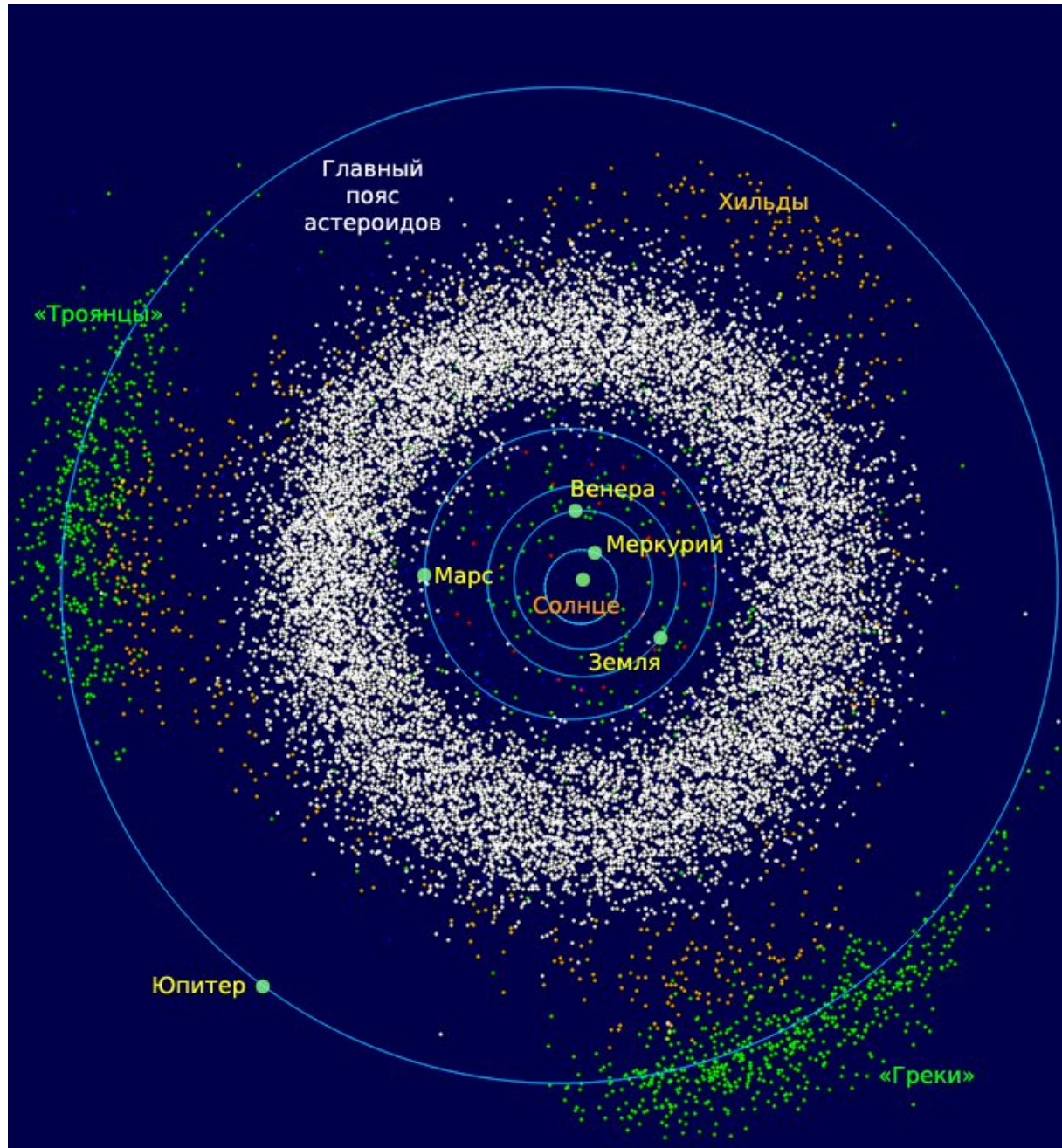
- **Распределение орбит астероидов** в Солнечной системе – результат различных **процессов**, действовавших в течение **продолжительного времени**

© Eleonora Lutz,  
<http://tabletopwhale.com/2019/06/10/the-solar-system.html>



# Введение

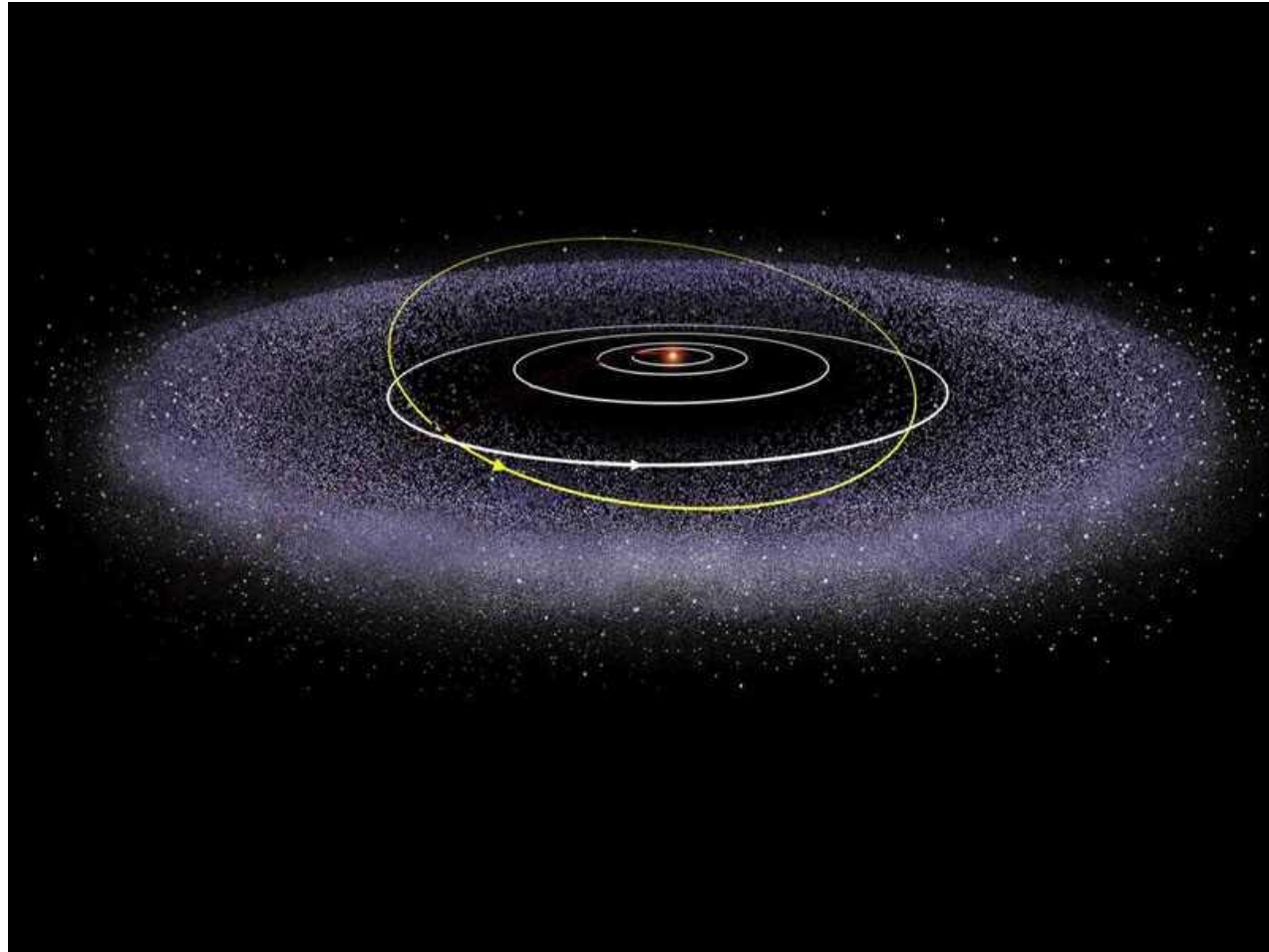
- **Внутренняя часть Солнечной системы**



Автор: InnerSolarSystem.png:  
Original uploader was Mdf at  
en.wikipediaderivative work: Skab  
(talk) - InnerSolarSystem.png,  
Общественное достояние,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8650253>

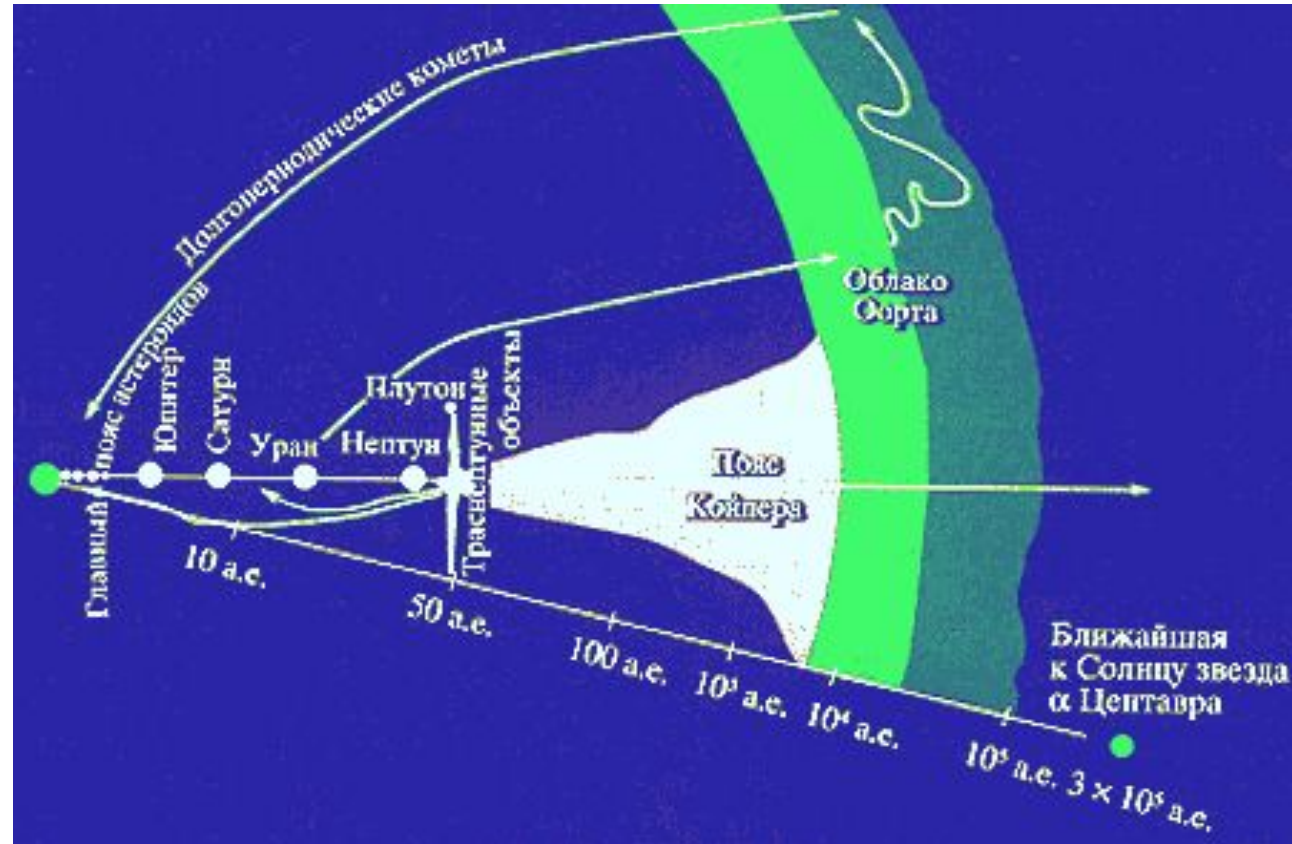
# Введение

- **Пояс Койпера**



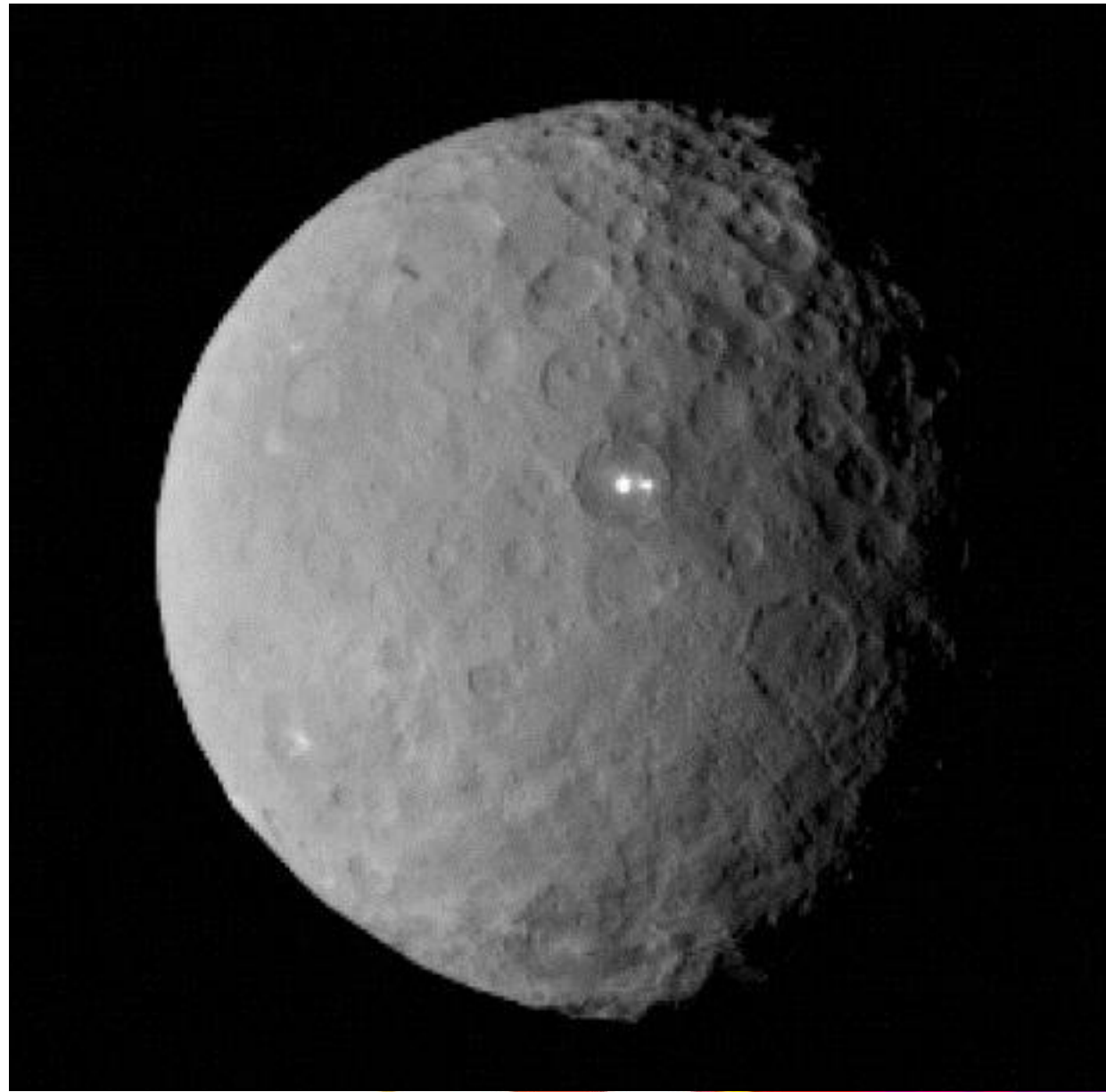
# Введение

- Облако Оорта



# Открытие

- **1 января 1801 г.**  
– Джузеппе  
**Пиацци**,  
наблюдая в  
Палермо,  
(случайно) открыл  
**Цереру** – как  
объект 7-ой  
звездной  
величины.



# Открытие

- **1802 г.** – снова  
нашли **Цереру**
- **1802 г.** –  
**Паллада**
- **1804 г.** – **Юнона**
- **1807 г.** – **Веста**
- В течение **40 лет**  
малые планеты **не**  
**открывали**
- **К 1900 г.** открыли  
**450** малых планет

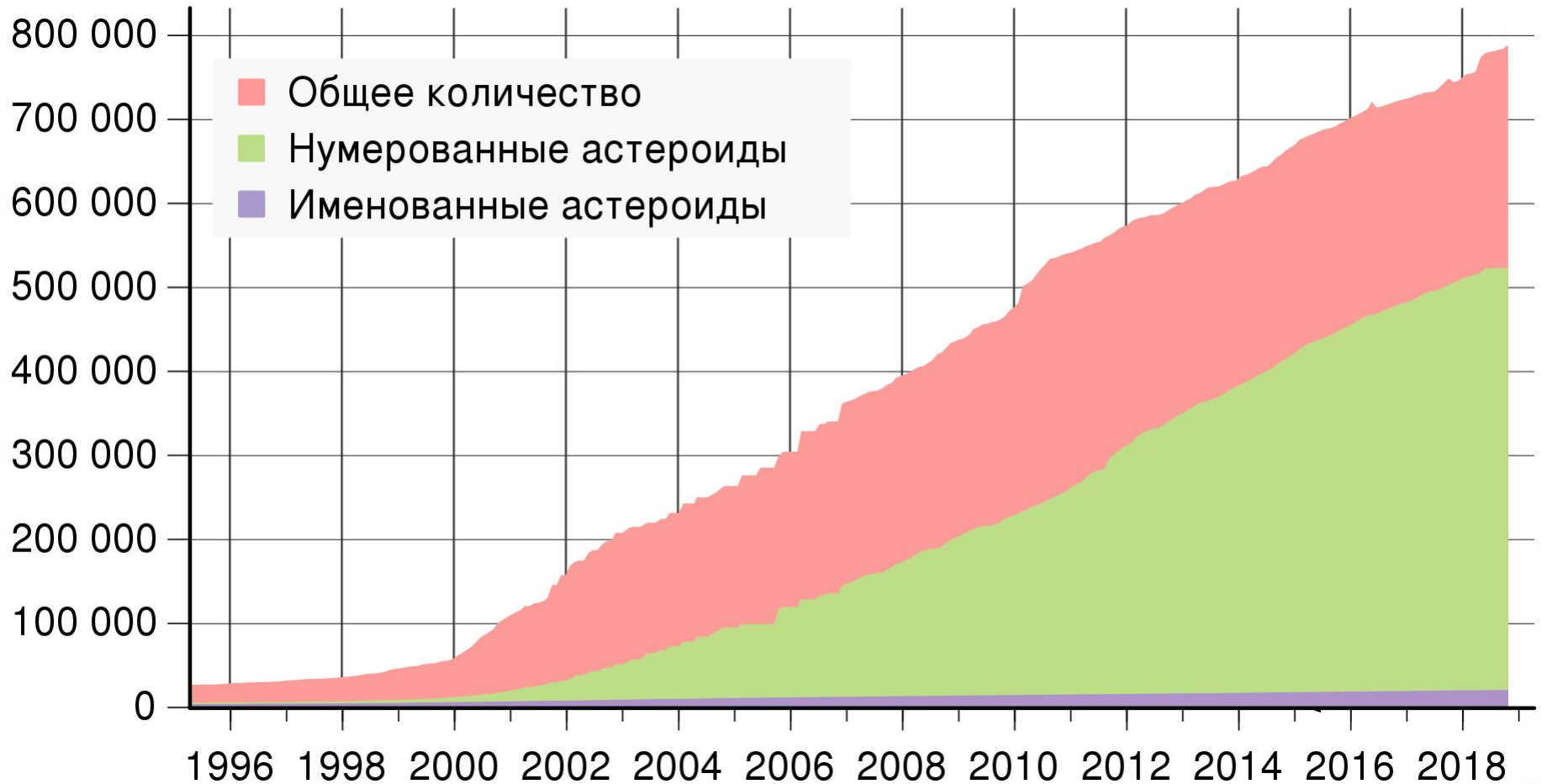
Веста

©  
NASA/JPL-Caltech/UCLA  
/MPS/DLR/IDA

Паллада  
© NASA, Schmidt et al.



# Открытия продолжают

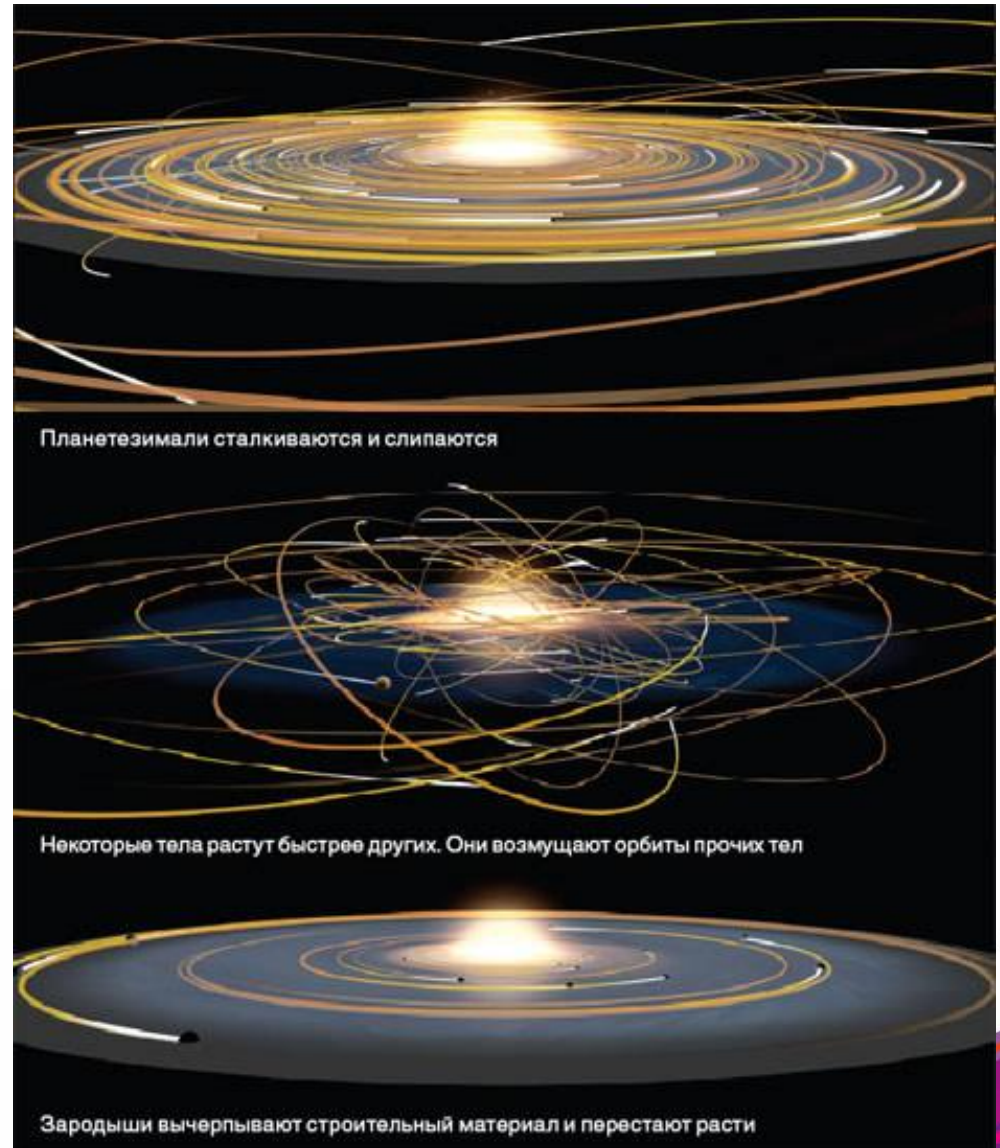


Автор: Graph is own work. - Graph generated from archive statistics by IAU Minor Planet Center, at [1]., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30437540>



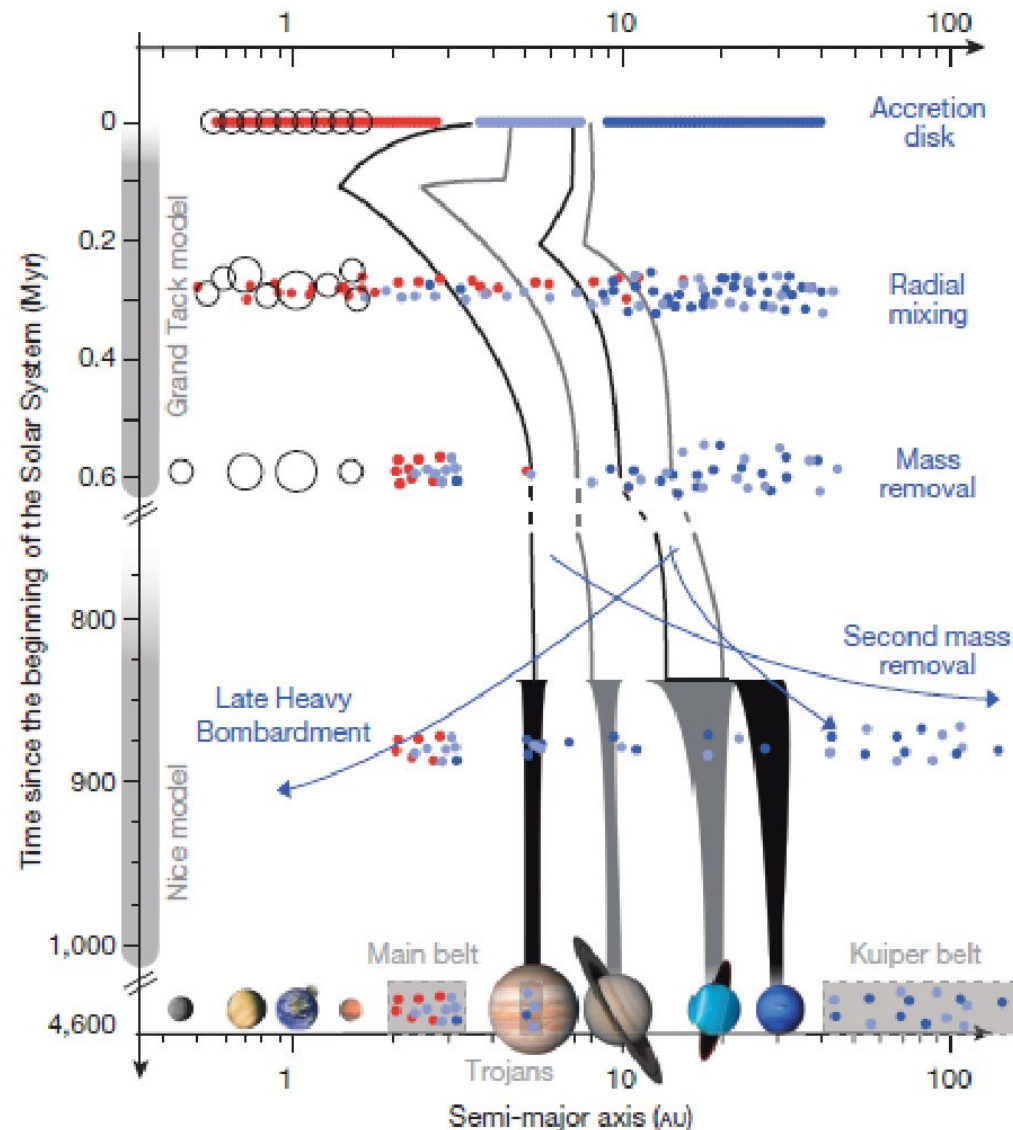
# Формирование планетной системы

В процессе формирования планет остается  
**«строительный материал»**

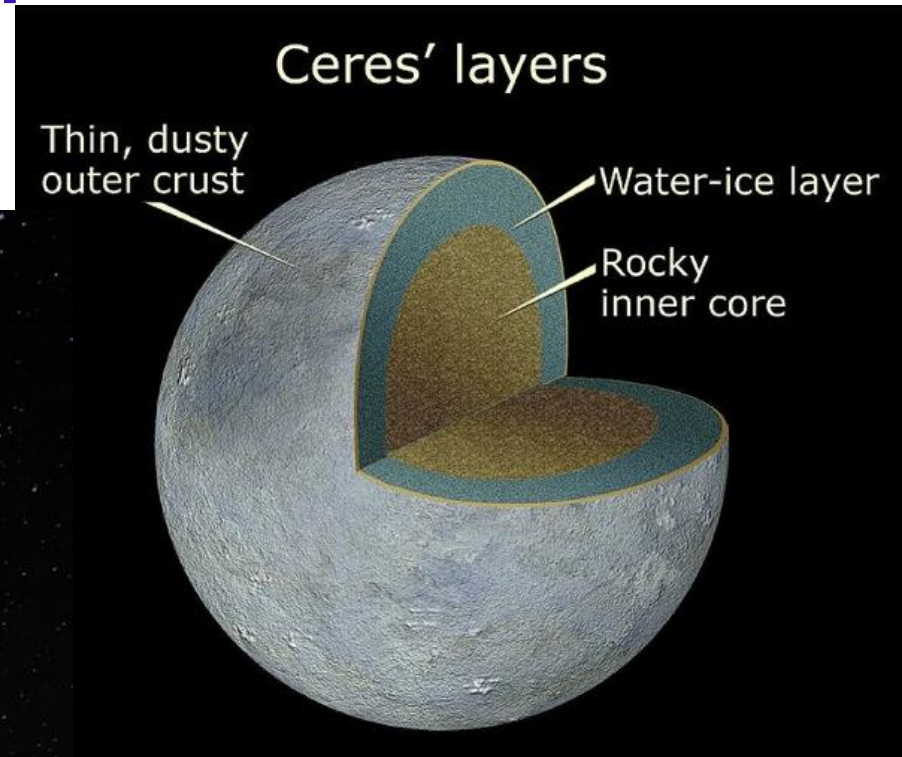
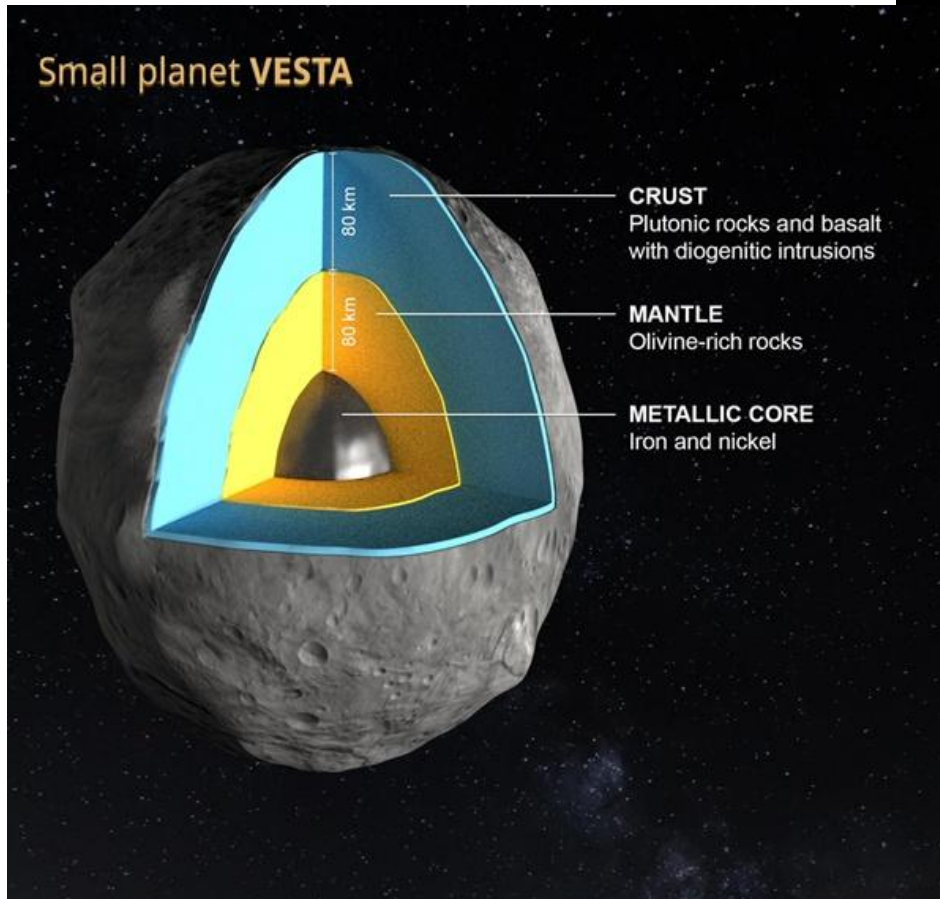


# Миграция планет и перемешивание вещества

- **Миграция планет и формирование наблюдаемой структуры Солнечной системы (возможный сценарий)**



# Миграция планет и перемешивание вещества

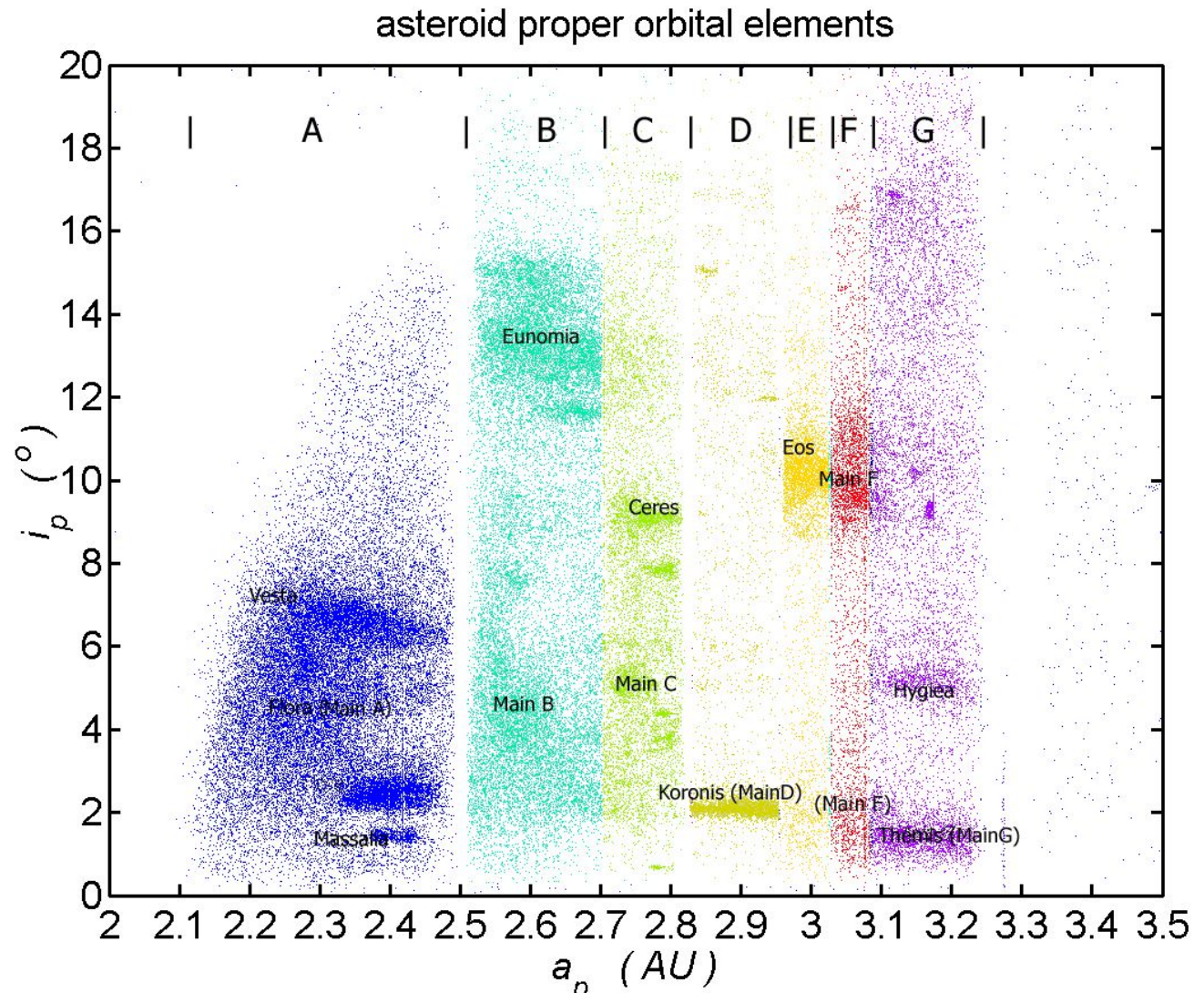


- **Церера** сформировалась в холодной области, богатой льдами
- **Веста** сформировалась в теплой и сухой области

# Семейства астероидов, люки Кирквуда

- Резонансы средних движений
- Вековые резонансы

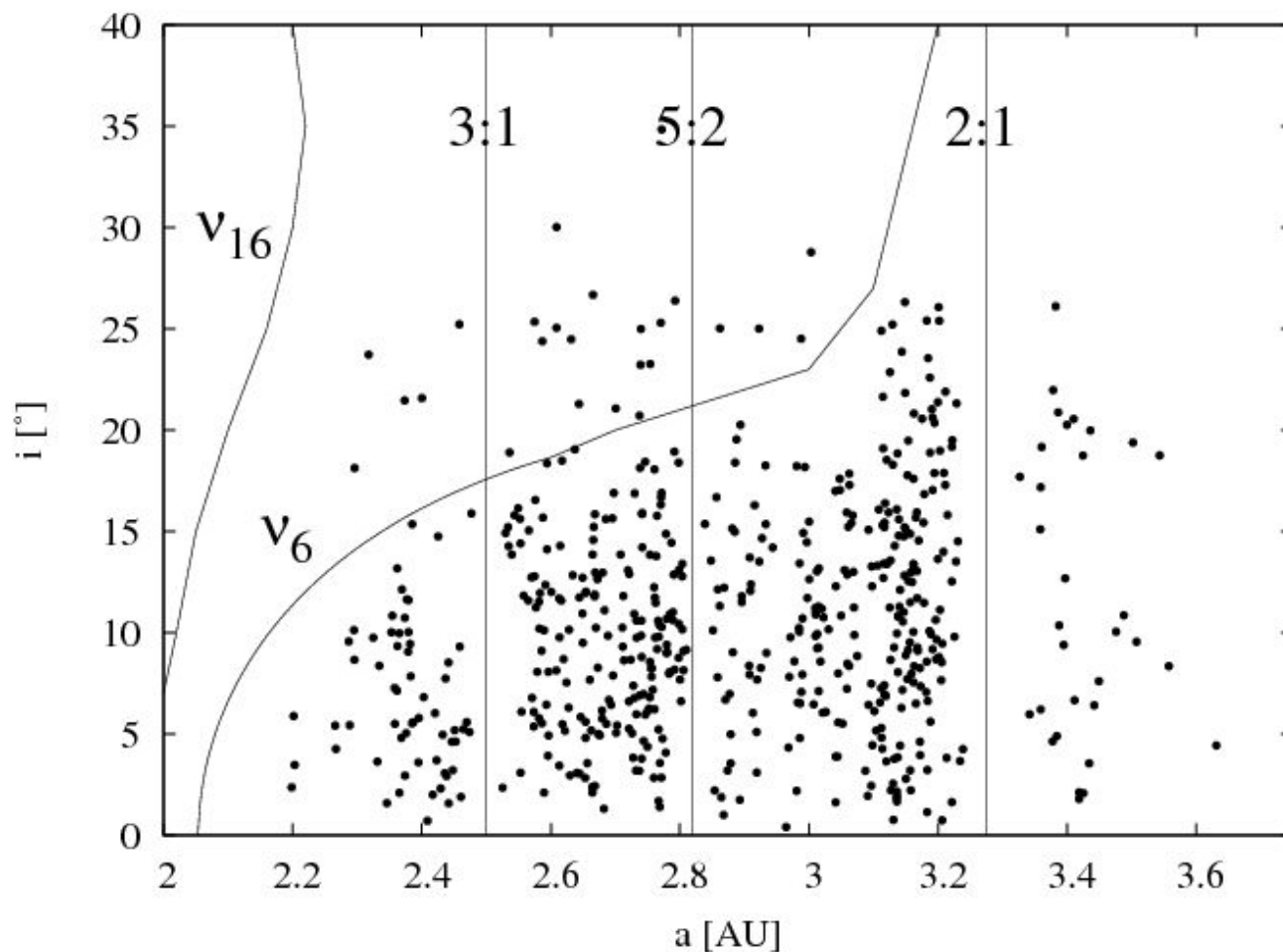
Автор: Изначально этот файл был загружен участником Dreg743 из английской Википедия - Перенесено с en.wikipedia на Викисклад., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3098295>



## Семейства астероидов, люки Кирквуда

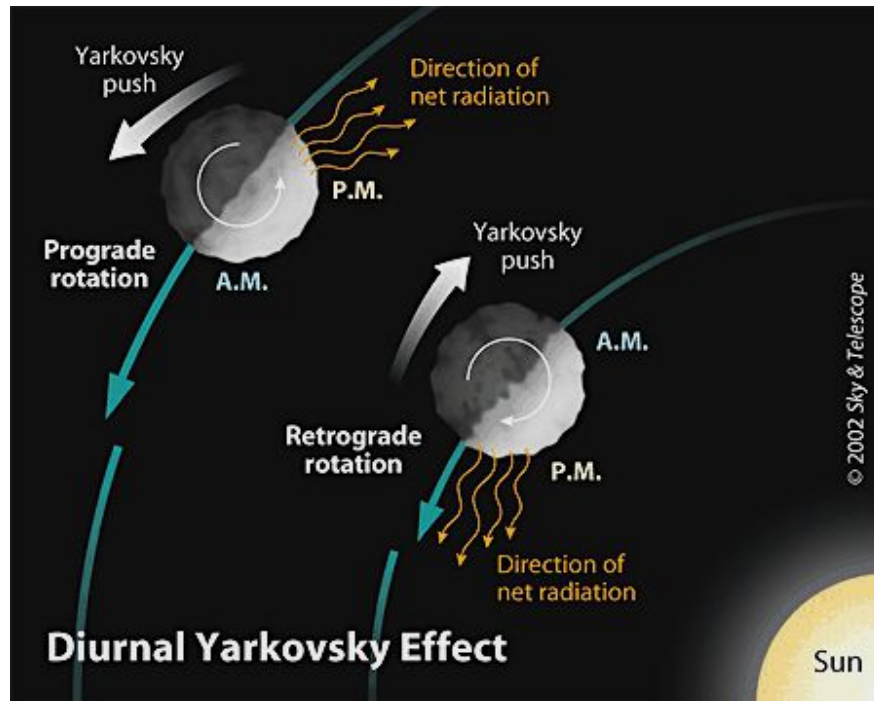
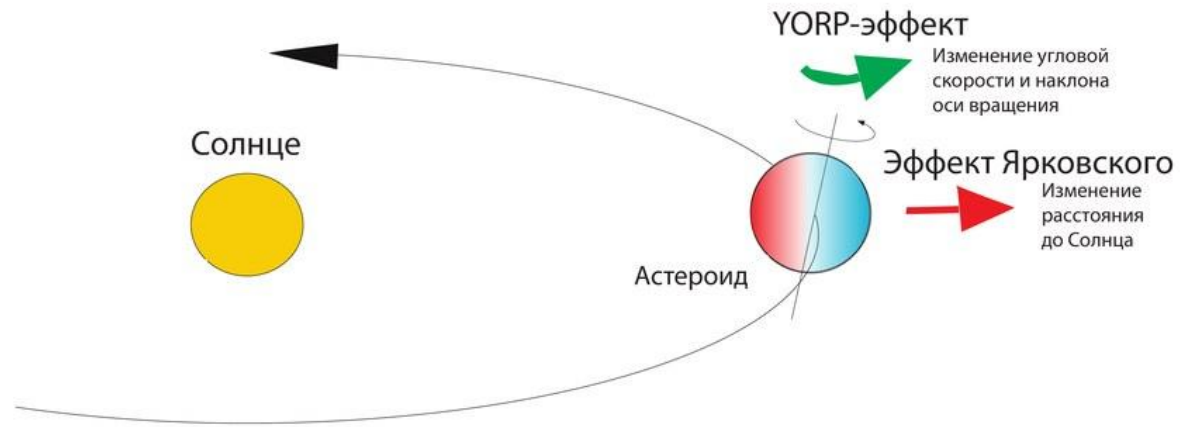
- Резонансы средних движений
- Вековые резонансы

Автор: Изначально этот файл был загружен участником Dreg743 из английской Википедия - Перенесено с en.wikipedia на Викисклад., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3098295>

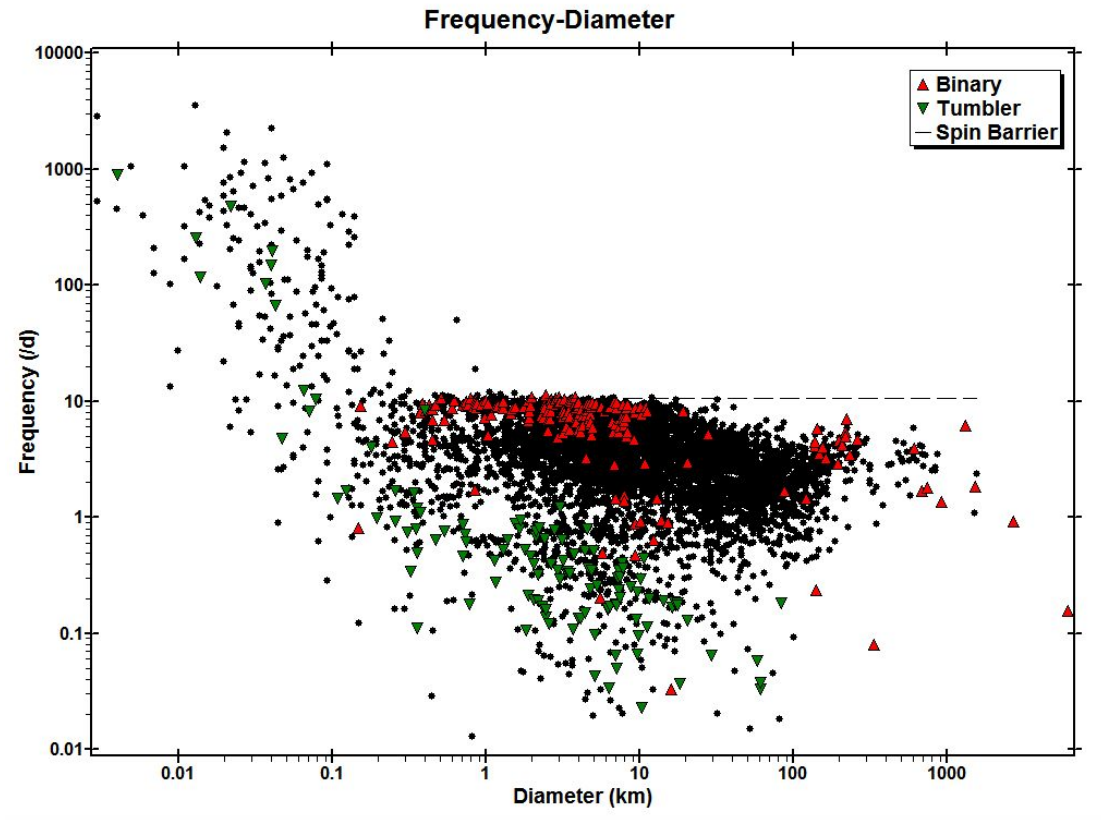


# Эффект Ярковского и YORP-эффект

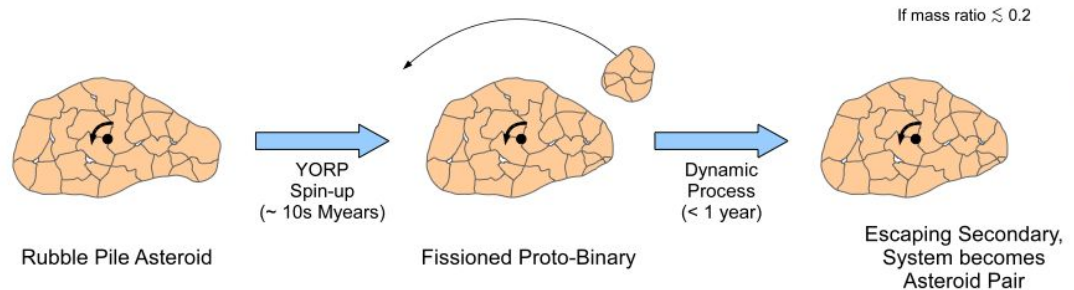
- **Миграция астероидов**  
размером менее 30-40  
км
- **Дробление**  
**астероидов**



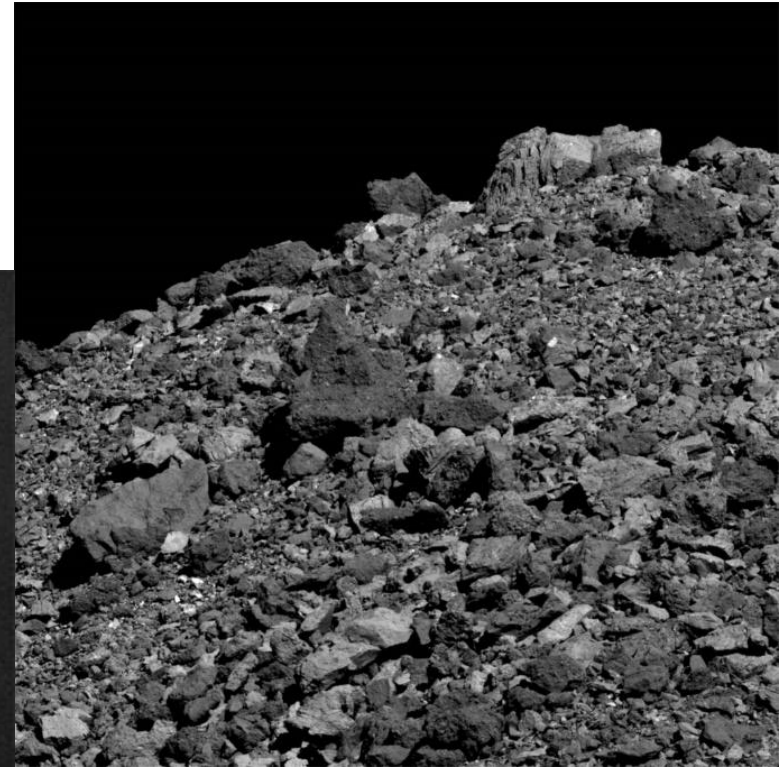
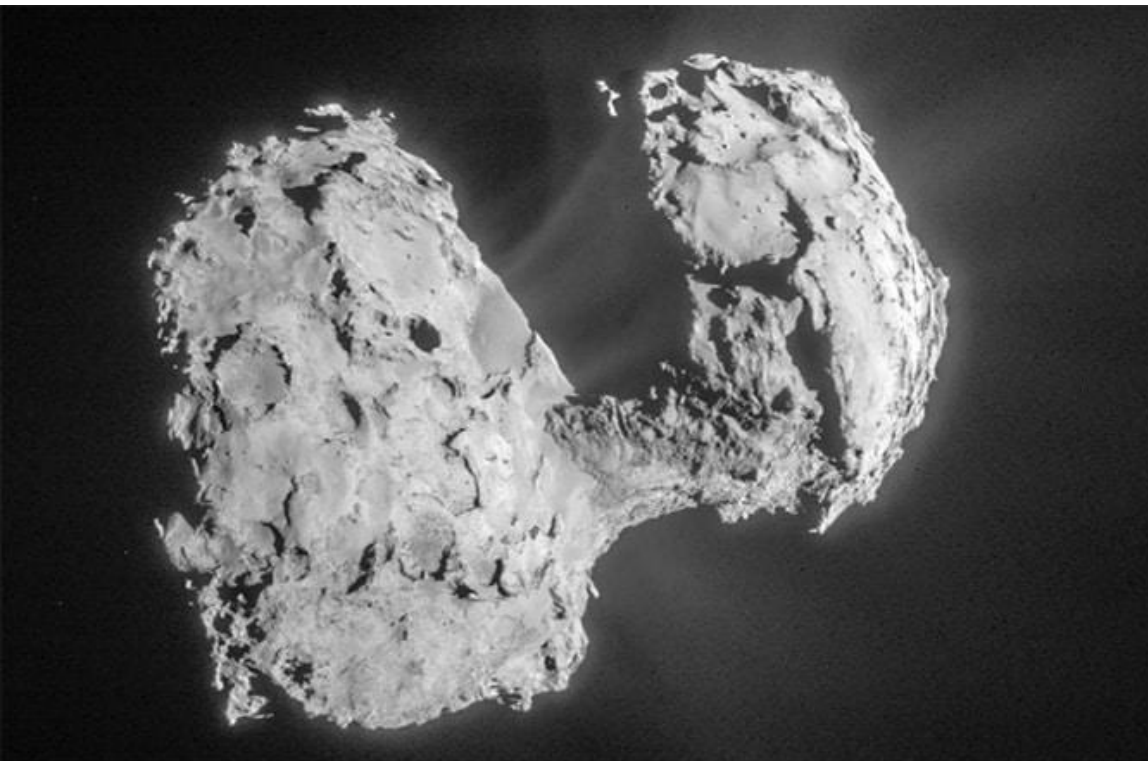
# Эффект Ярковского и YORP-эффект



- **Дробление астероидов**
- **Модель «груда булыжников»**
- Критический период вращения – **2.2 часа**
- Диаметр **менее 20 км**



# «Груда булыжников» и мягкие столкновения

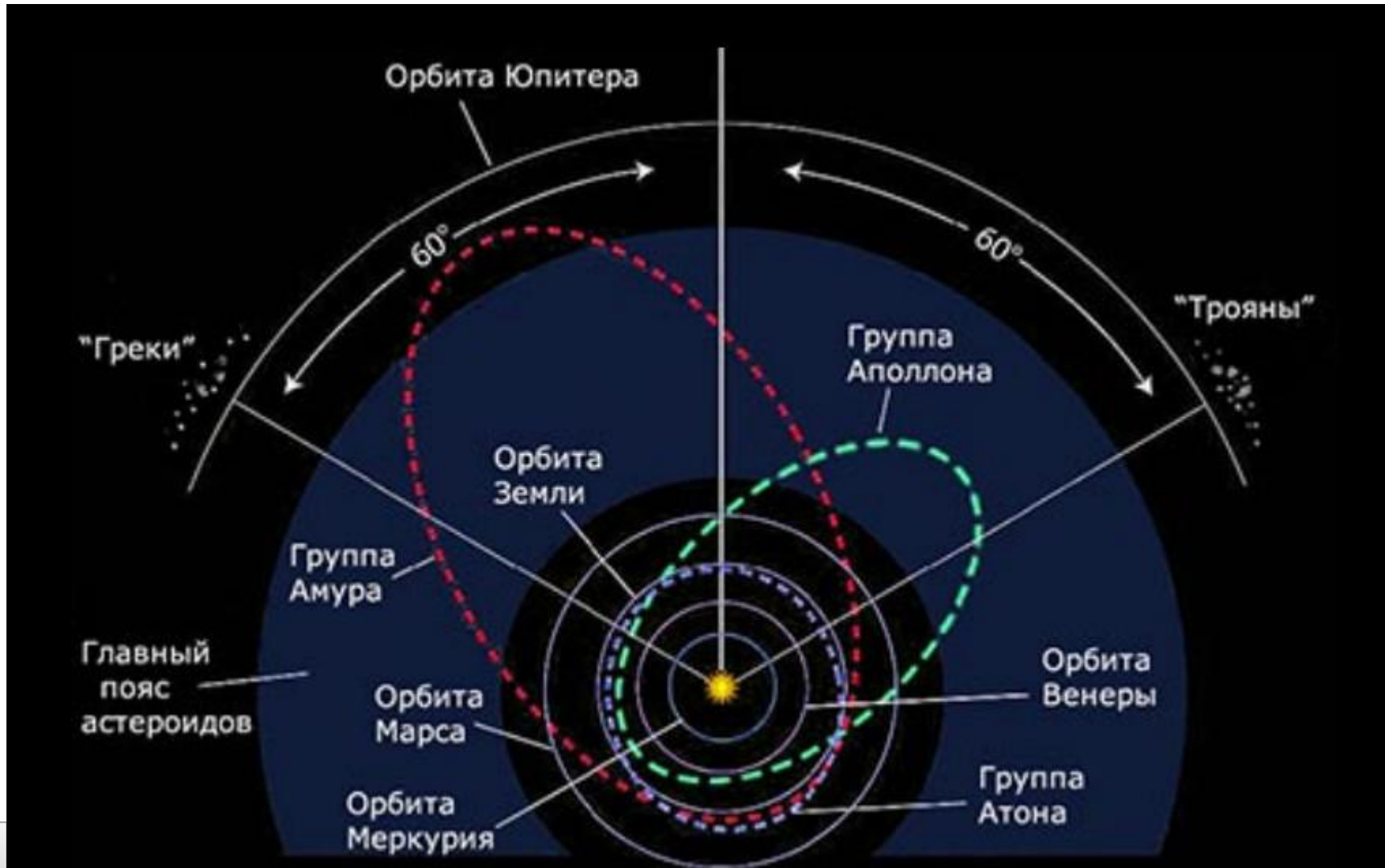


© NASA, GSFC, University of Arizona

Поверхность **астероида**  
**(101955) Bennu**

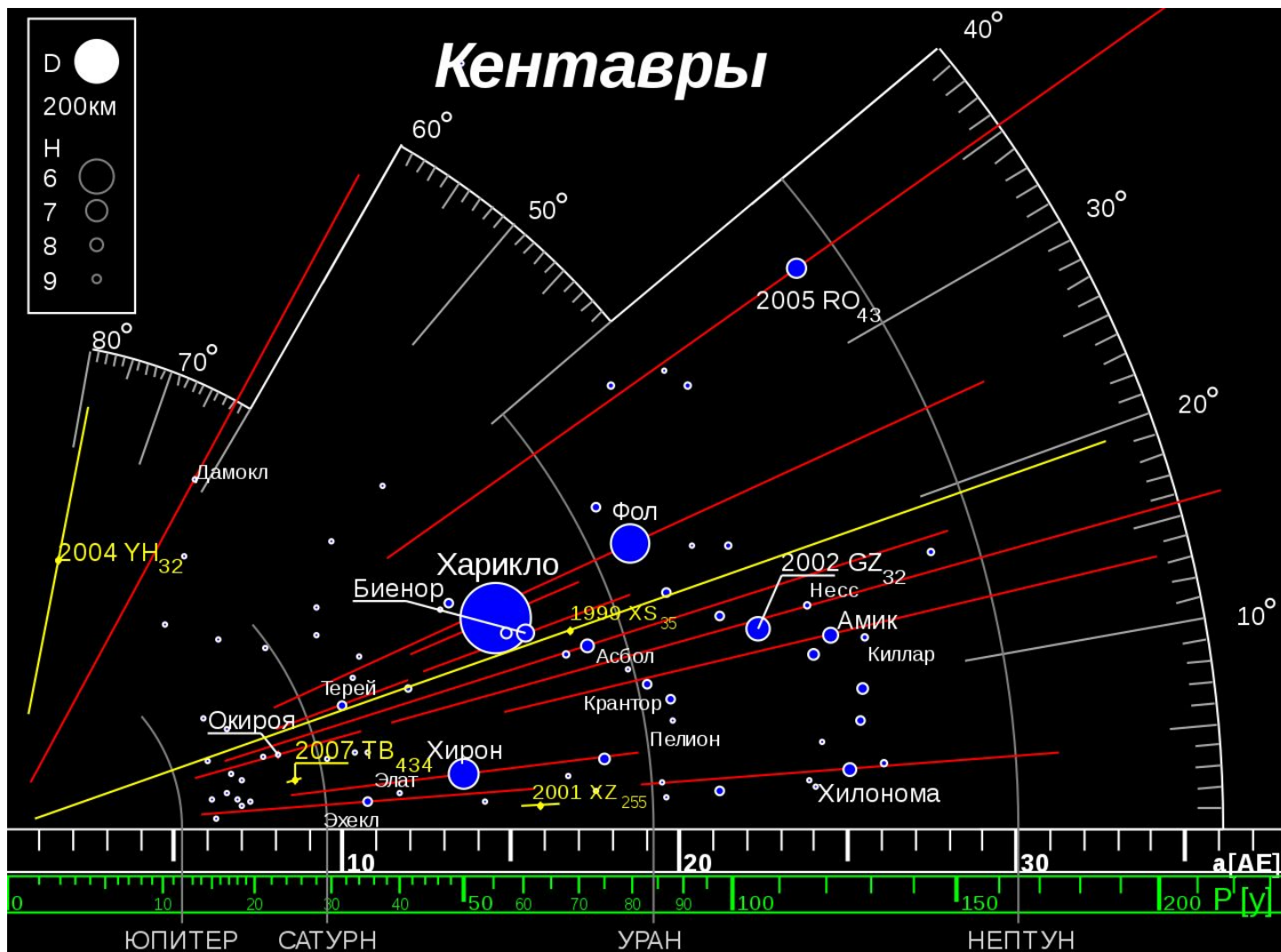


# Астероиды, сближающиеся с Землей



# Кентавры – среди орбит планет-гигантов

- Кентавр **Харикло** имеет систему **колец**



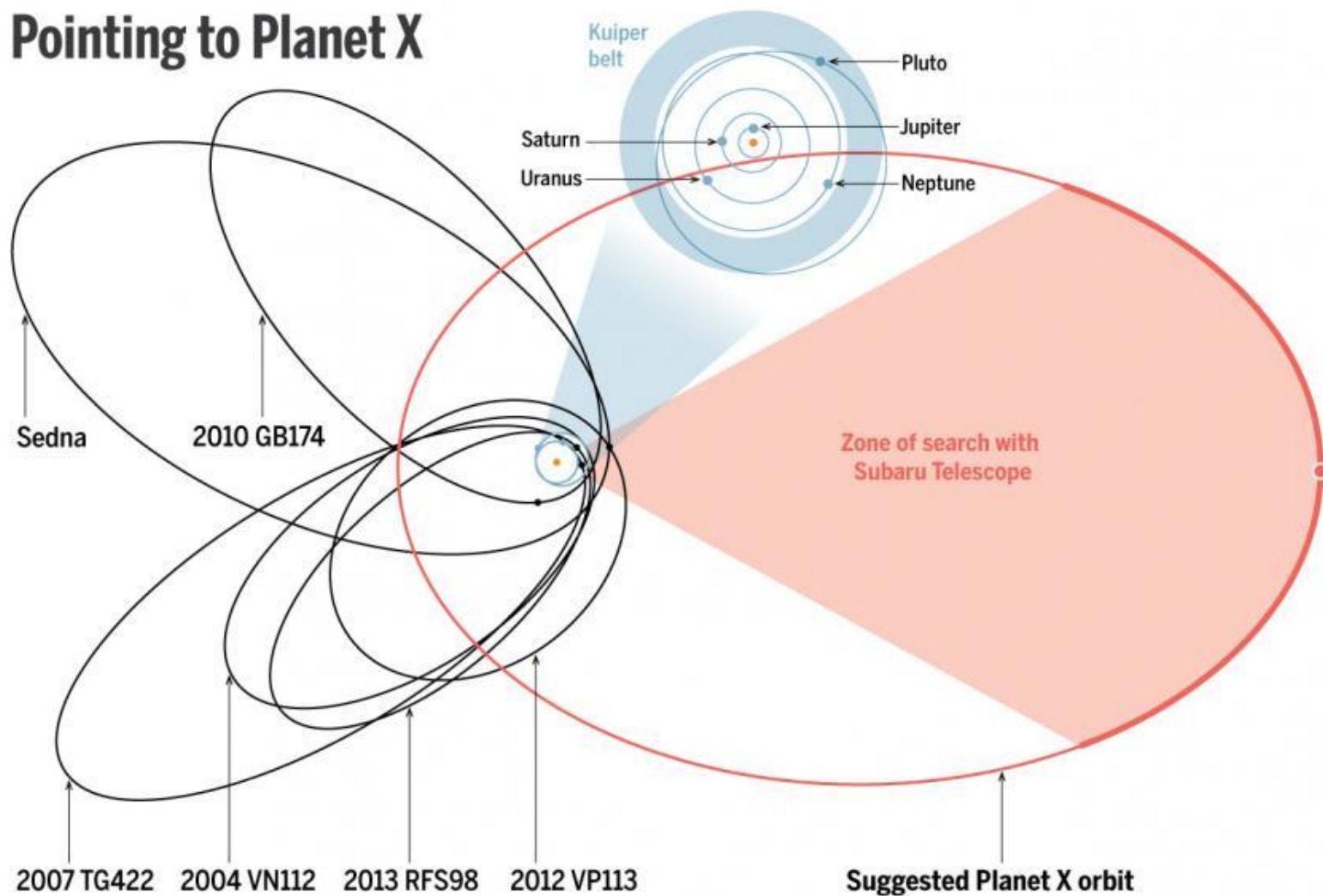
By Kirill Borisenko -  
This file was derived  
from: TheKuiperBelt  
42AU Centaurs.svg,  
CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=70562025>

# Резолюции XXVIII Генеральной ассамблеи МАС (2012)

- Определение понятий «планета», «карликовая планета», «малое тело».
- **Планета**
  - обращается по орбите вокруг Солнца;
  - имеет достаточную массу, такую, что собственные гравитационные силы преобладали над силами сохранения формы твёрдого тела и привели её к гидродинамически-равновесной форме (близкой к шарообразной).
  - **очистила пространство вокруг собственной орбиты.**
  - *Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.*
- **Карликовые планеты**
  - Нет требования: «очистила пространство вокруг собственной орбиты».
  - *Церера, Плутон, Хаумеа, Макемаке, Эрида, ...*

# Планета X

## Pointing to Planet X

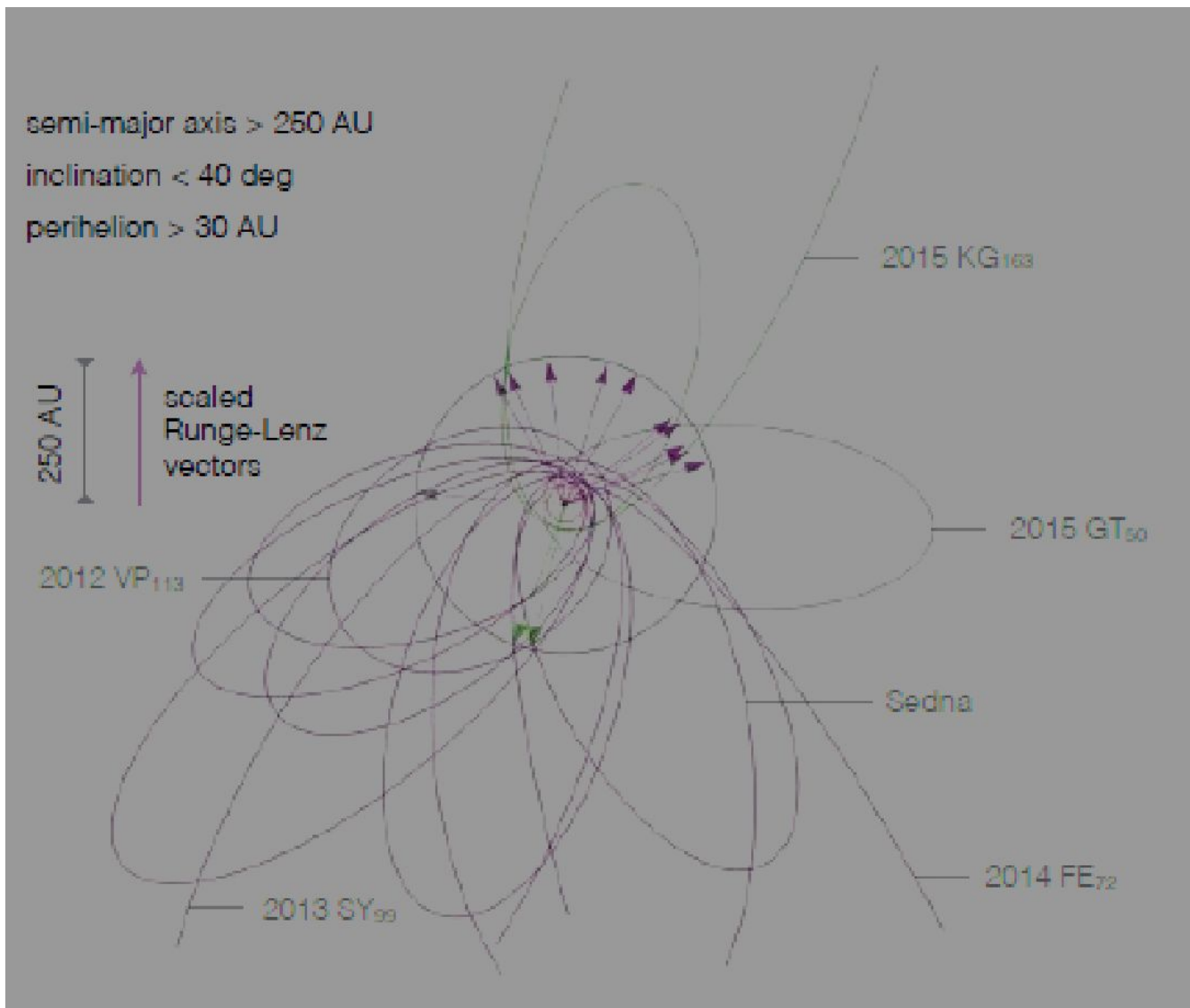


# Планета X

- $m = 5-20$  масс Земли
- $a = 380-980$  а.е.
- $e = 0.6$
- $i = 30^\circ$
- $22 < V < 25$  в афелии

(Brown and Batygin, 2016)

(Batygin, Morbidelli, 2017)

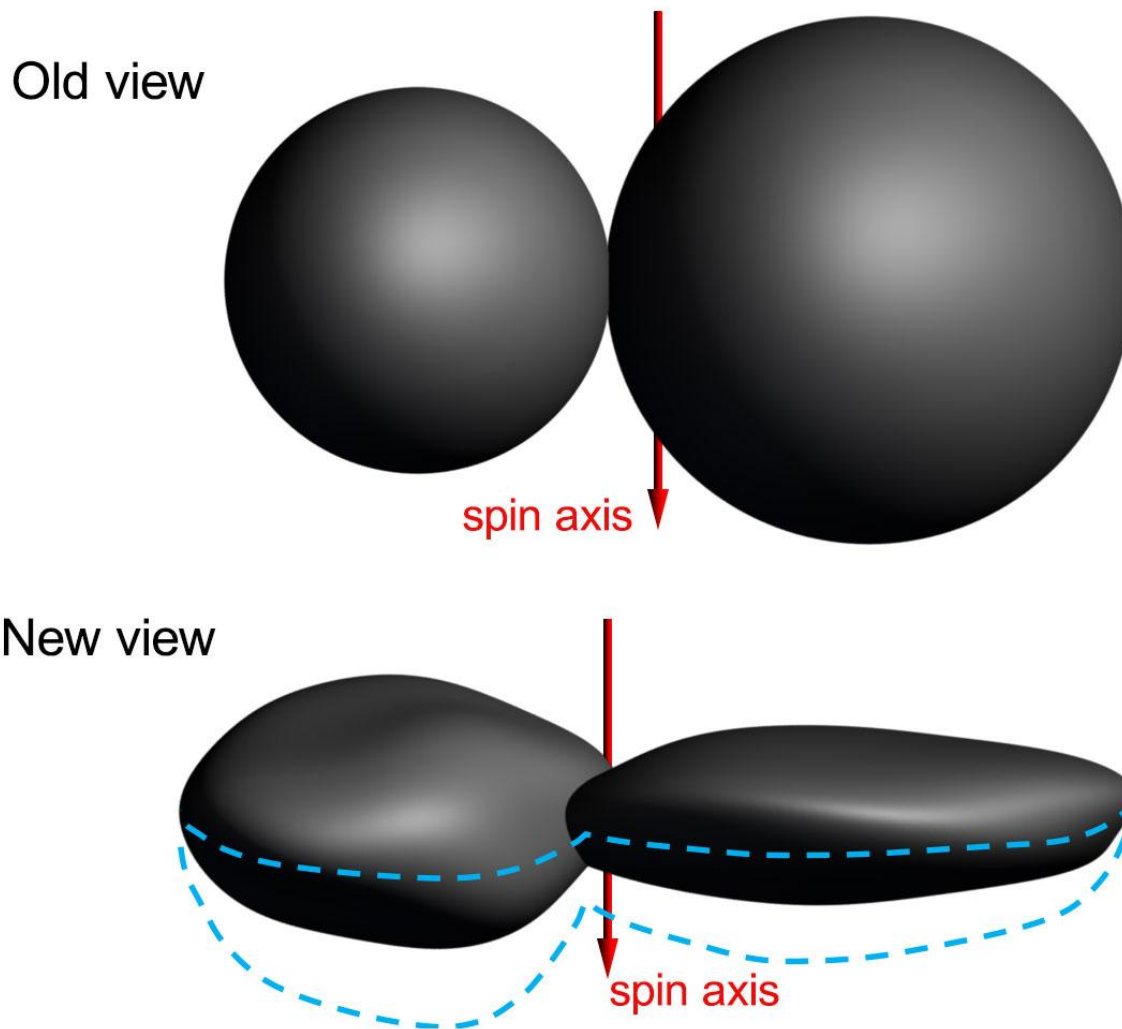


# Ультима туле

- **Малая планета  
2014 MU69**
- Снимок получен  
**КА «Новые  
горизонты»**  
01.01.2019

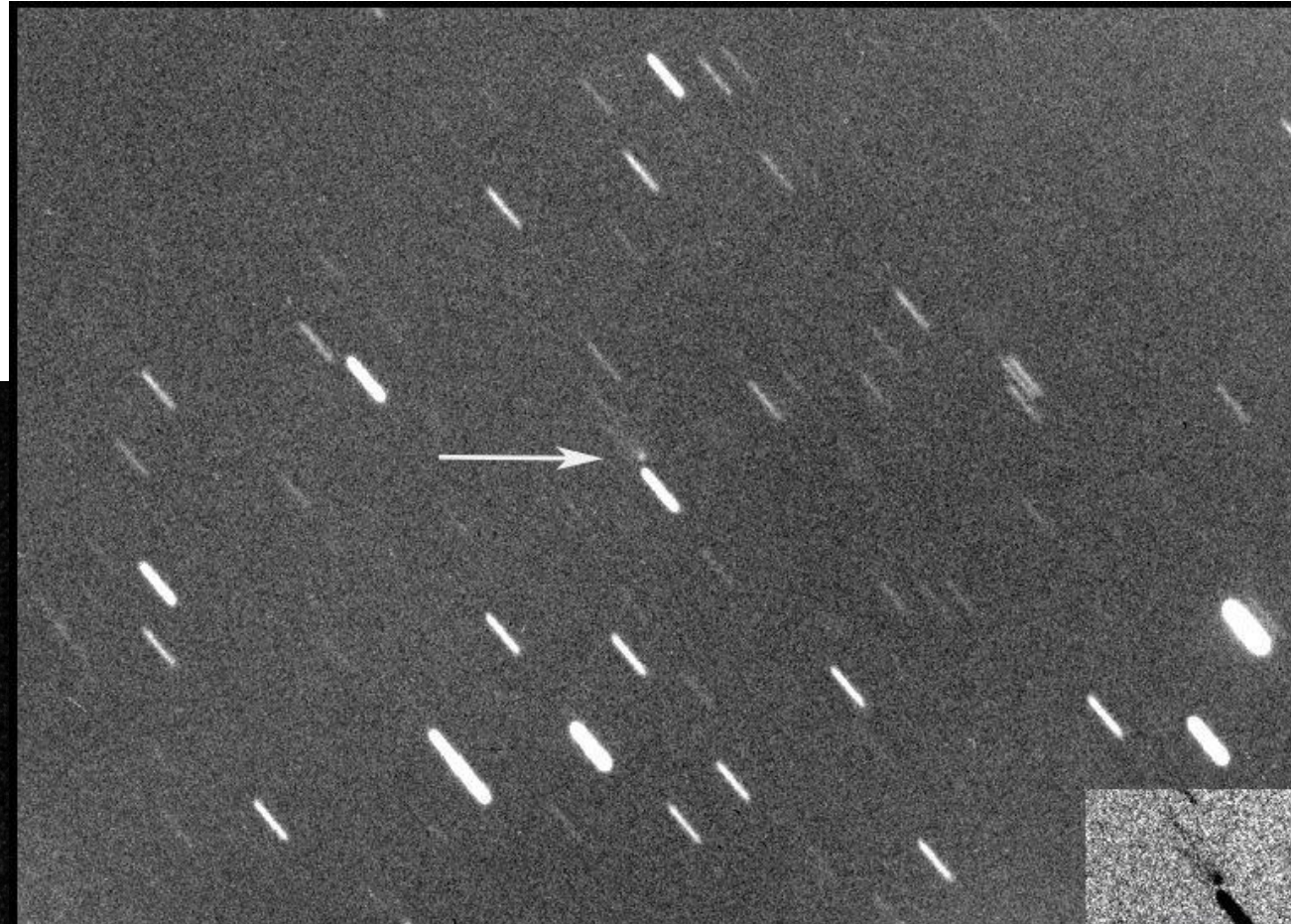


# Ультима туле



# Межзвездные малые тела

- Астероид  
1I/Oumuamua
- Комета  
2I/Borisov



**Interstellar Comet 2I/Borisov = C/2019 Q4 Borisov. 24 Sept. 2019, 03:27 UT.**

This image comes from the average of five, 300-seconds exposure, remotely taken with the "Elena" (PlaneWave 17" + Software Bisque Paramount ME + SBIG STL-6303E) robotic unit part of the Virtual Telescope Project. A 29% waning Moon was 19 deg far from the target. The comet shows an elongated coma to the NW direction (see the insert on the bottom right).

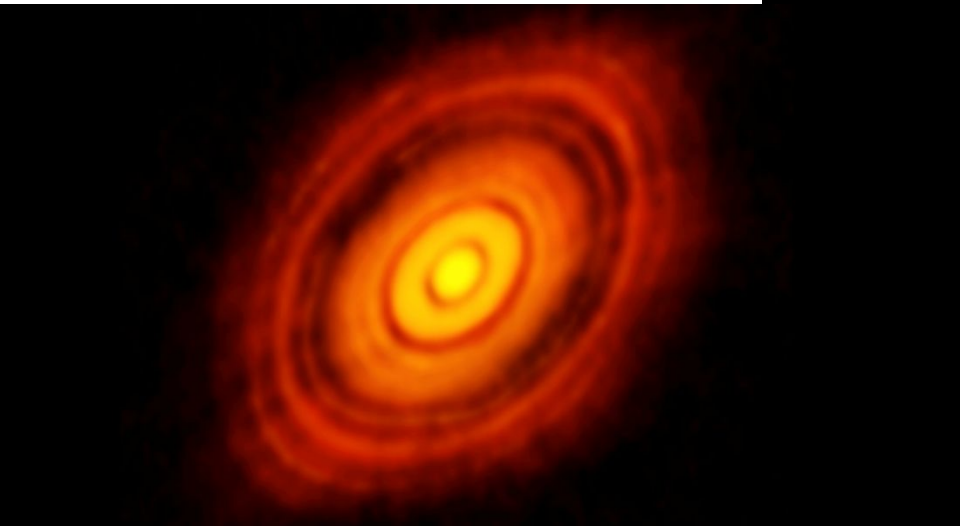
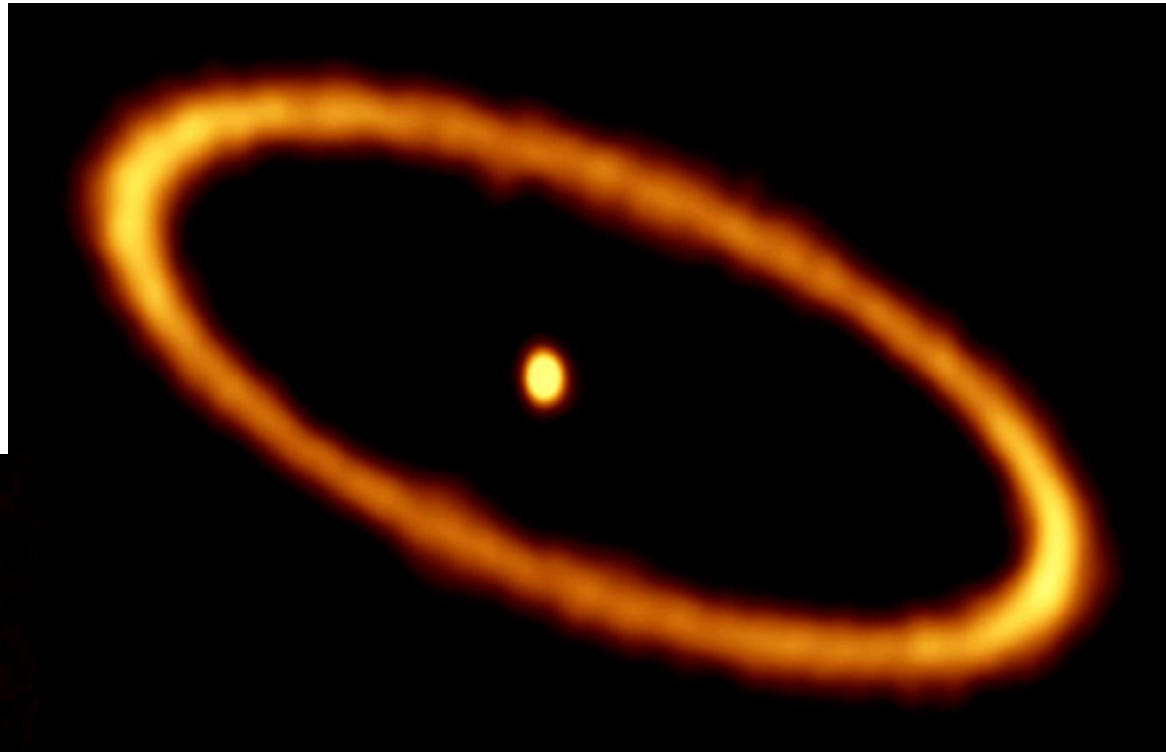
Image by Gianluca Masi, Ceccano (FR), Italy - MPC code: 470 - The Virtual Telescope Project - [www.virtualtelescope.eu](http://www.virtualtelescope.eu)





## Малые тела в других планетных системах

- **Диск остаточного вещества вокруг звезды Фомальгаут**
- **Протопланетный диск**



# Заключение

- **Малые тела хранят исходное вещество, из которого формировалась наша Солнечная система**
- **Распределение малых тел помогает понять основные этапы формирования нашей планетной системы**

