Уральский федеральный университет

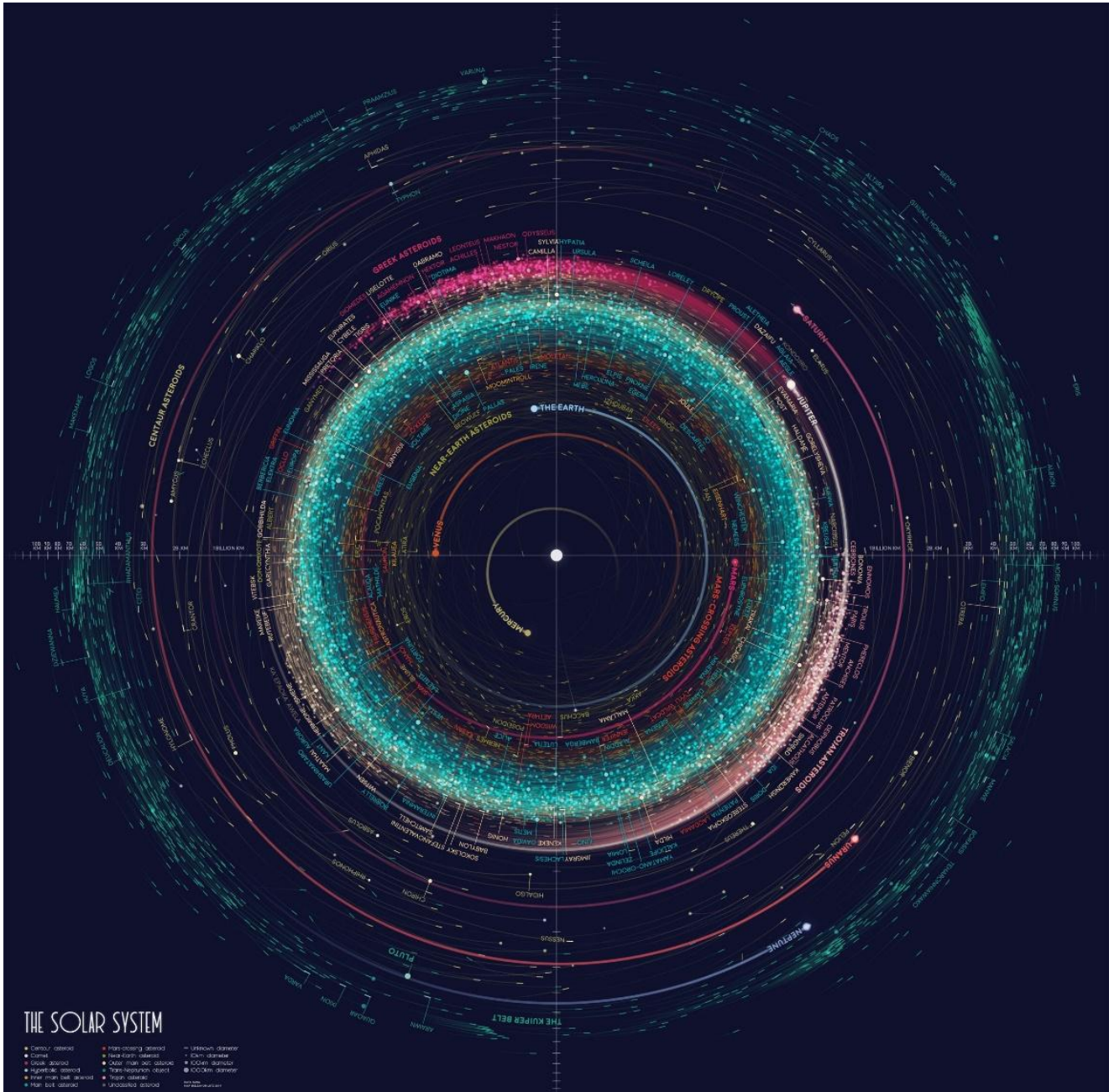
Малые тела Солнечной системы: происхождение и эволюция

Кузнецов Эдуард Дмитриевич

Околоземная астрономия – 2019
Молодежная школа
Казань, 03.10.2019

Введение

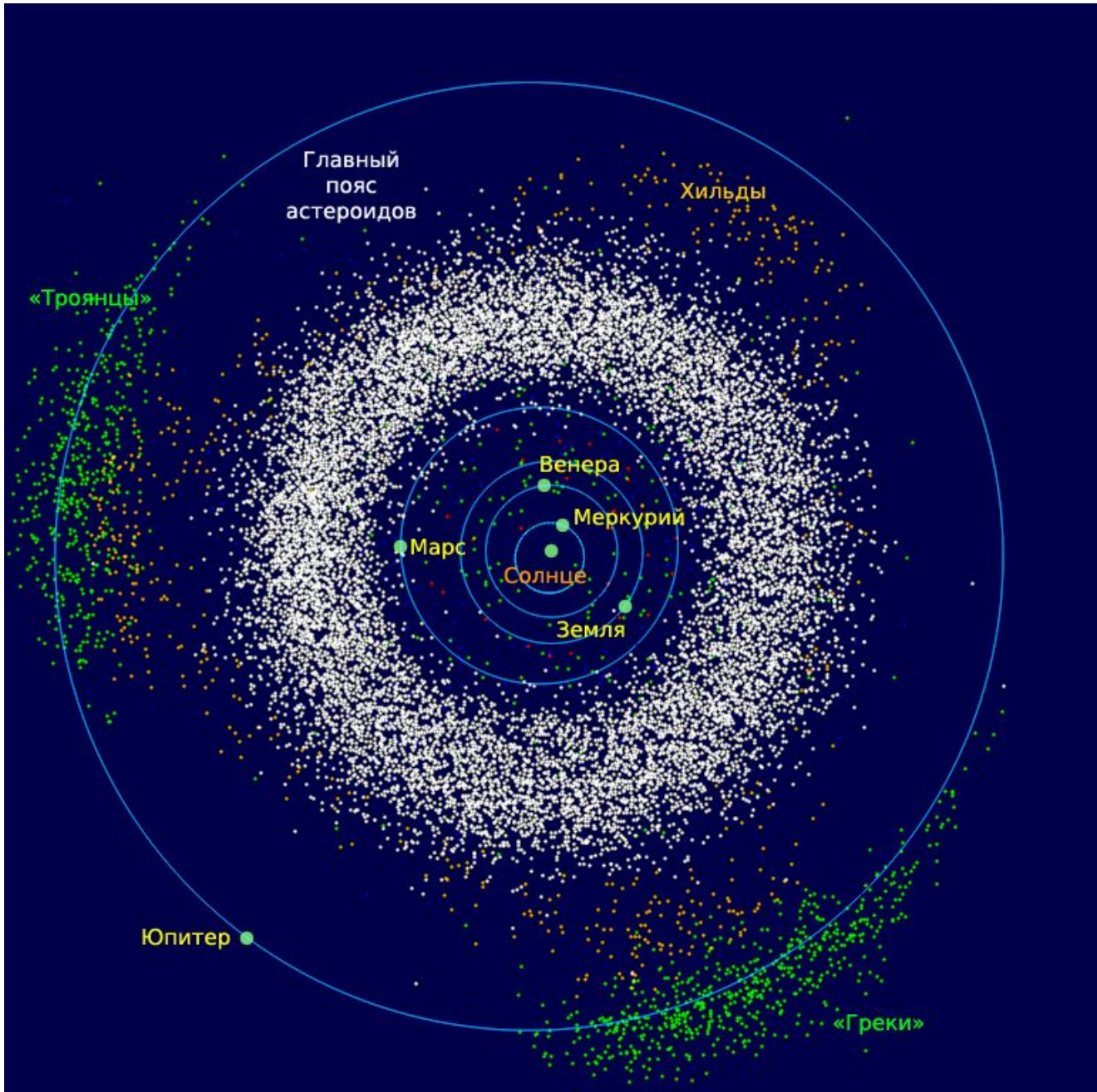
- **Распределение орбит астероидов** в Солнечной системе – результат различных процессов, действовавших в течение продолжительного времени



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

Введение

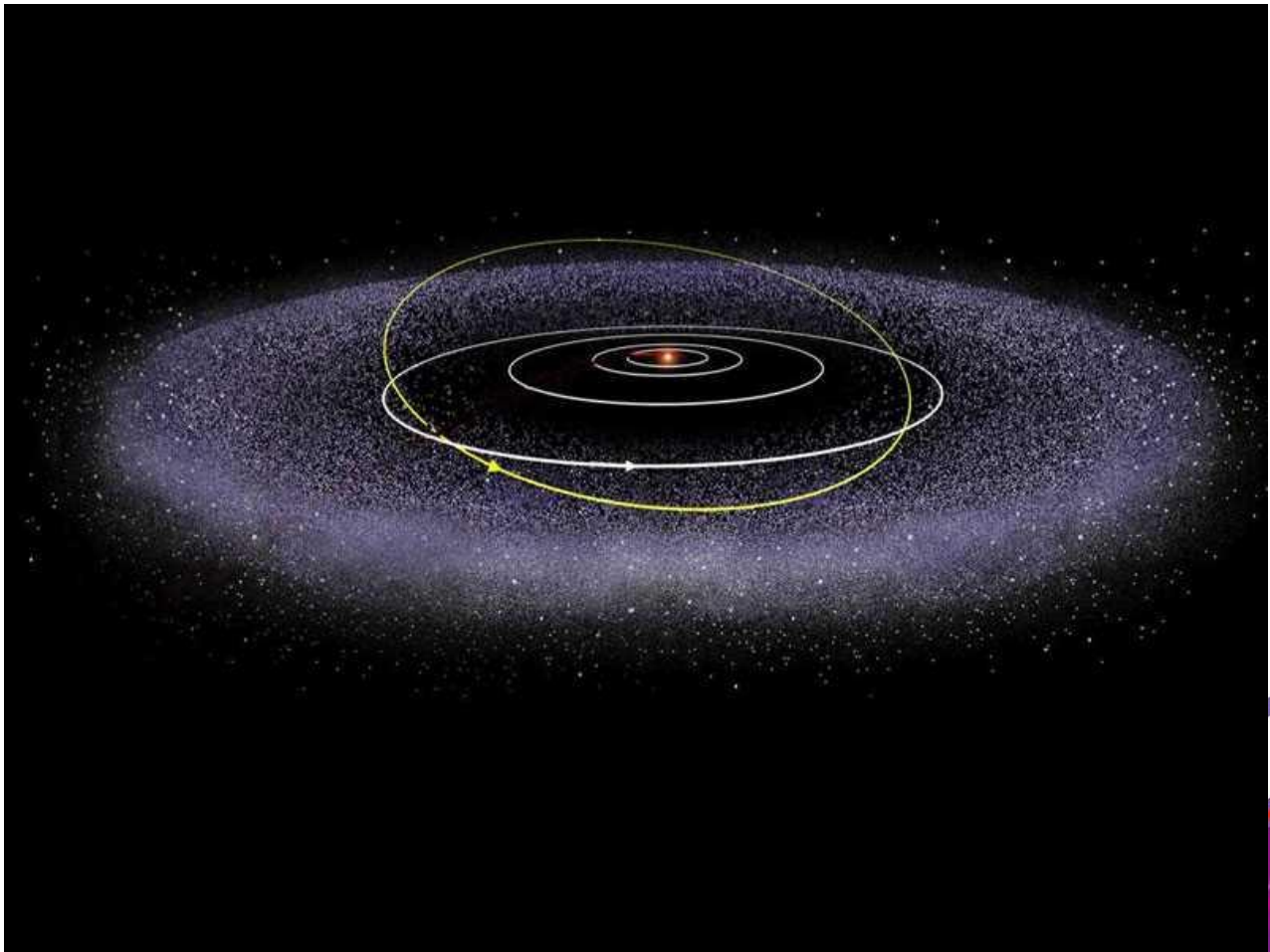
- **Внутренняя часть Солнечной системы**



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

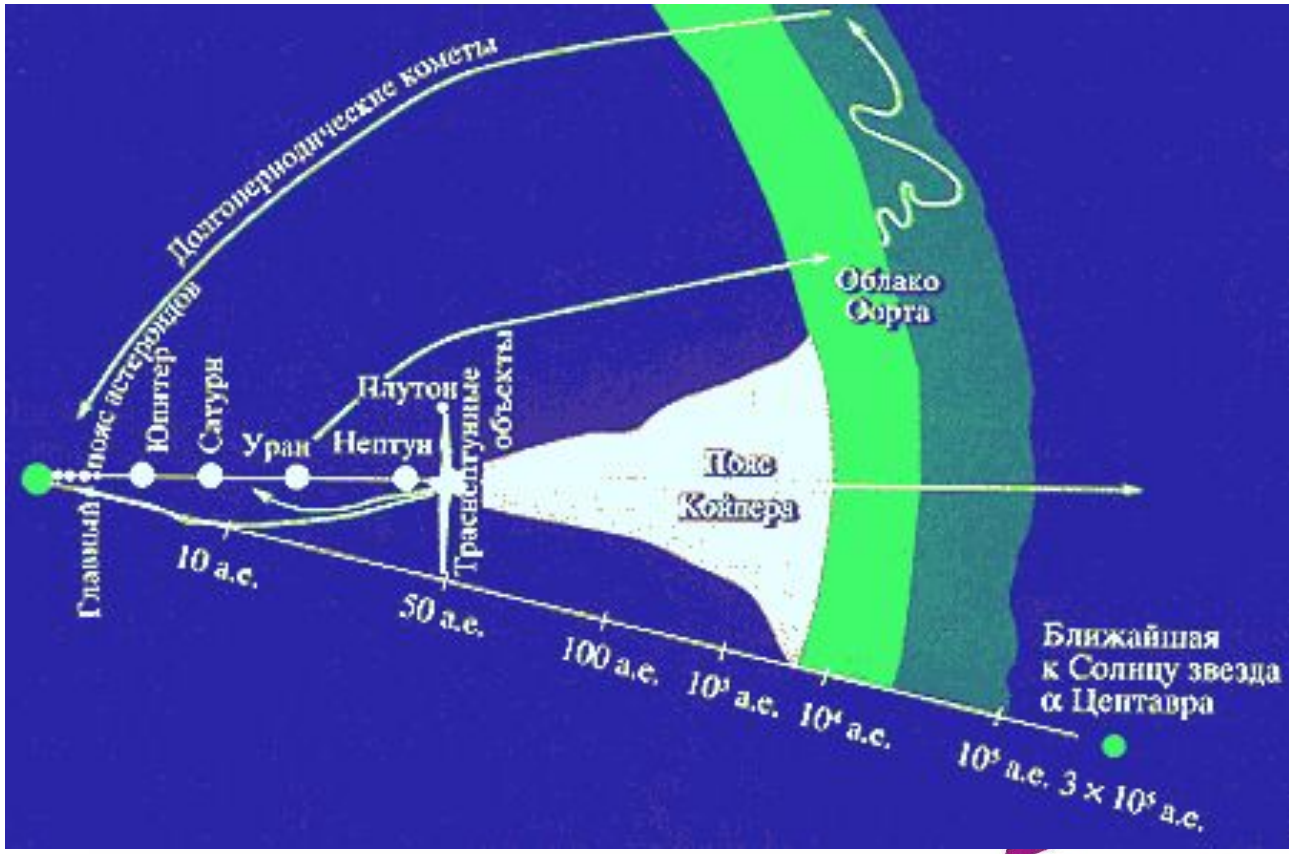
Введение

- **Пояс Койпера**



Введение

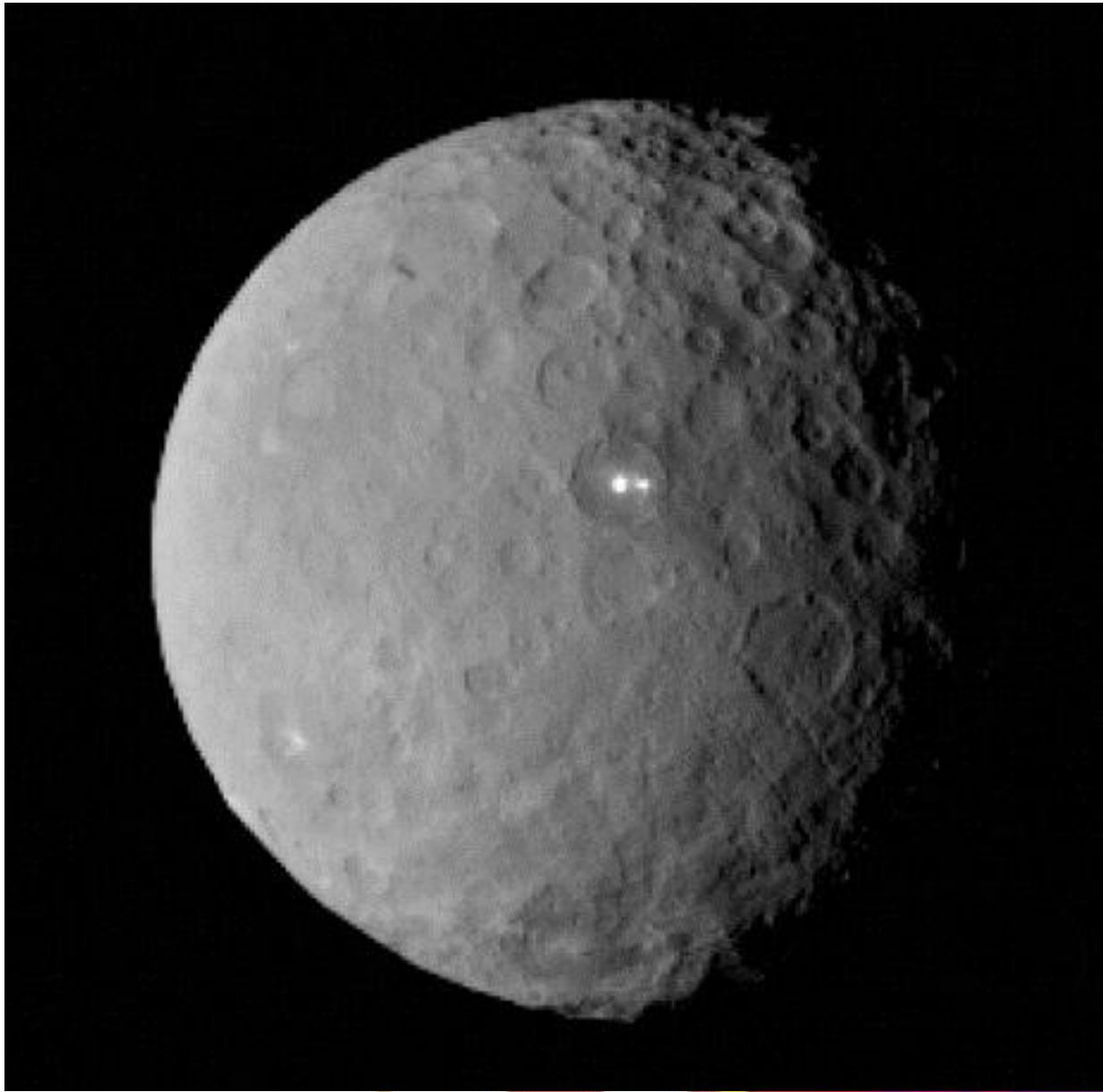
- **Облако Оорта**



Astronomie + Raumfahrt

Открытие

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



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

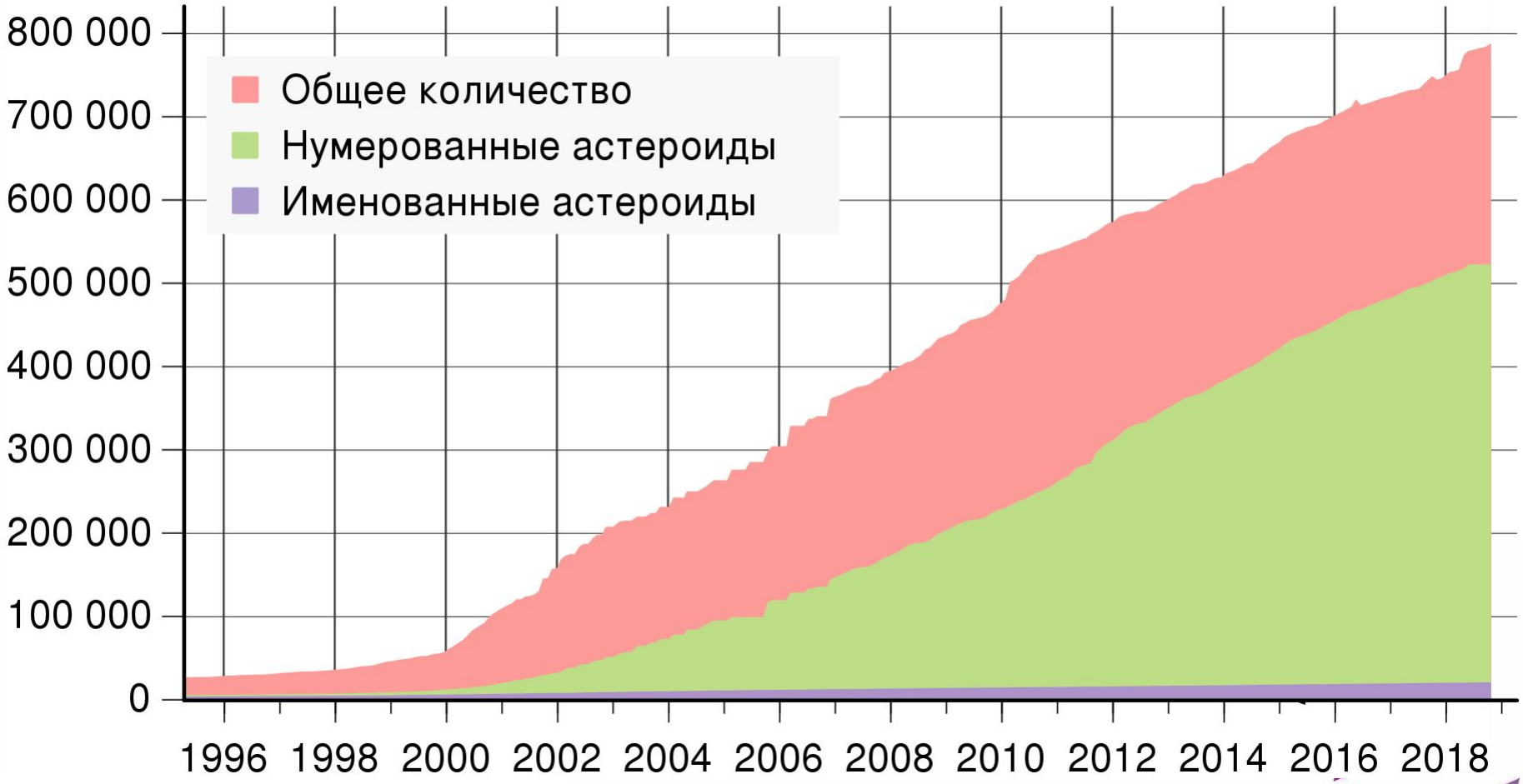
Открытие

- **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

Паллада
© NASA, Schmidt et al.

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

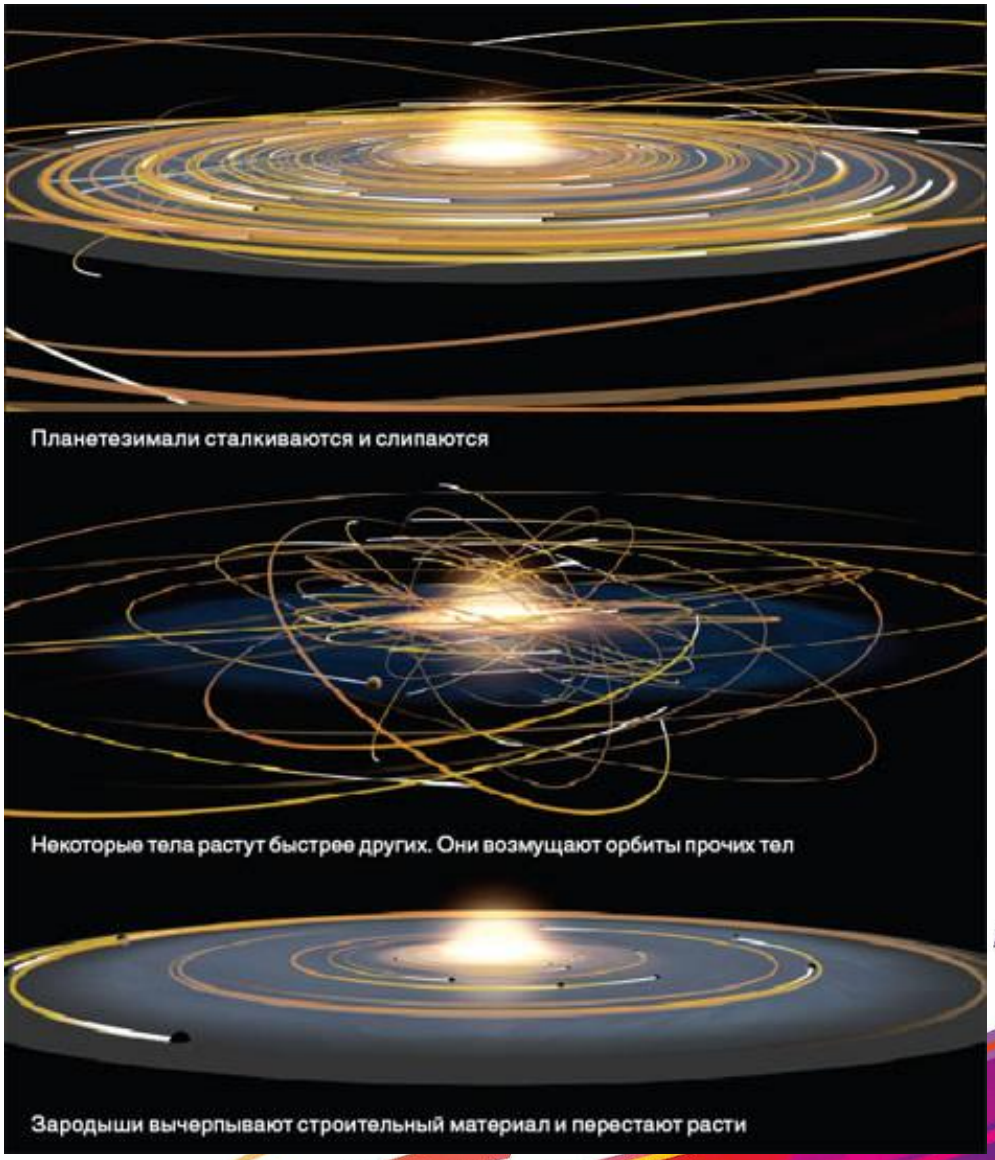
Открытия продолжаются



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

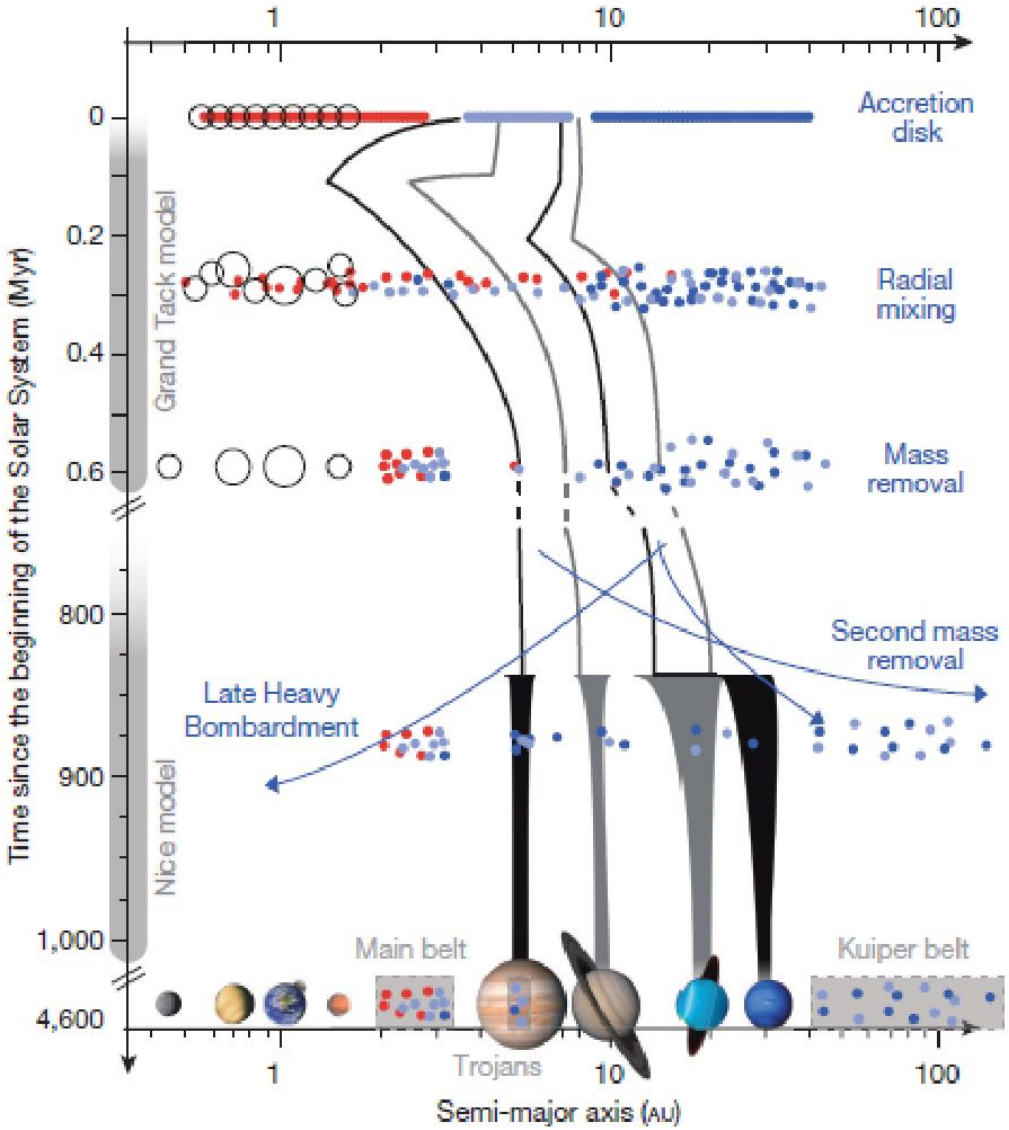
В процессе формирования планет остается **«строительный материал»**



https://elementy.ru/images/eltpub/planets_3_470.jpg

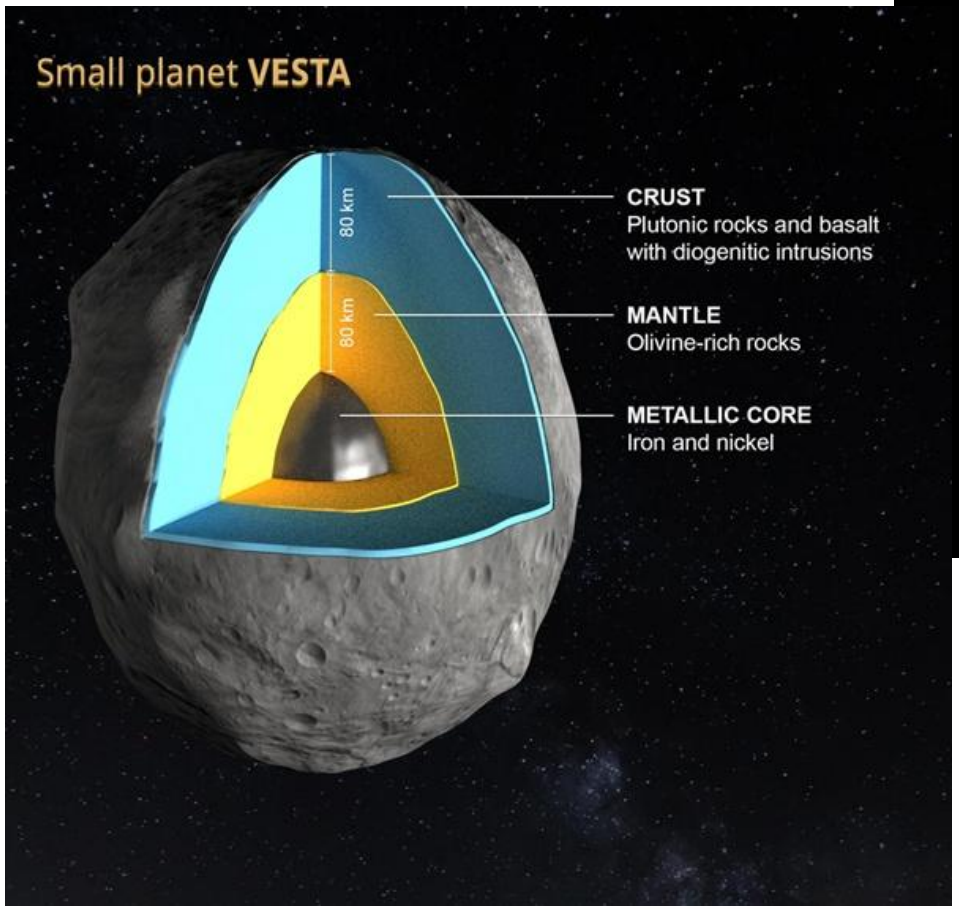
Миграция планет и перемешивание вещества

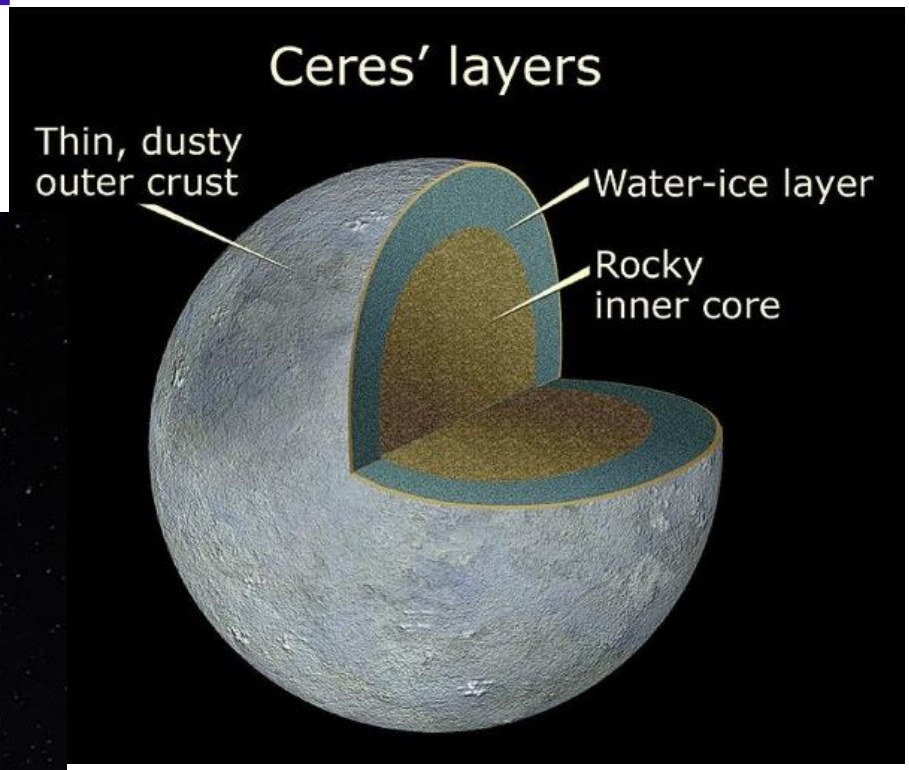
- **Миграция планет** и формирование наблюдаемой структуры Солнечной системы (возможный сценарий)



(DeMeo and Carry, 2014)

Миграция планет и перемешивание вещества

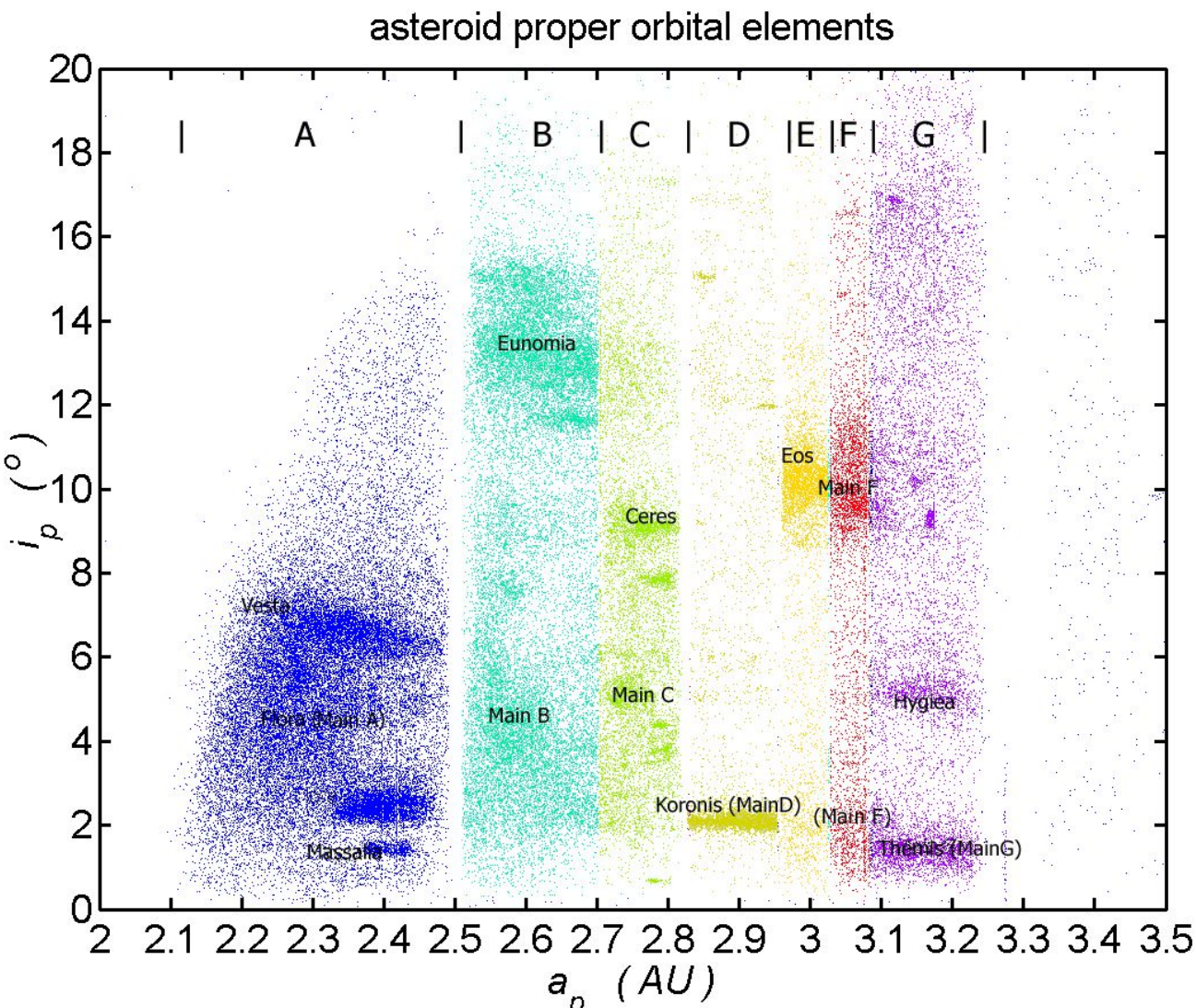




- **Церера** сформировалась в холодной области, богатой льдами
- **Веста** сформировалась в теплой и сухой области

Семейства астероидов, люки Кирквуда

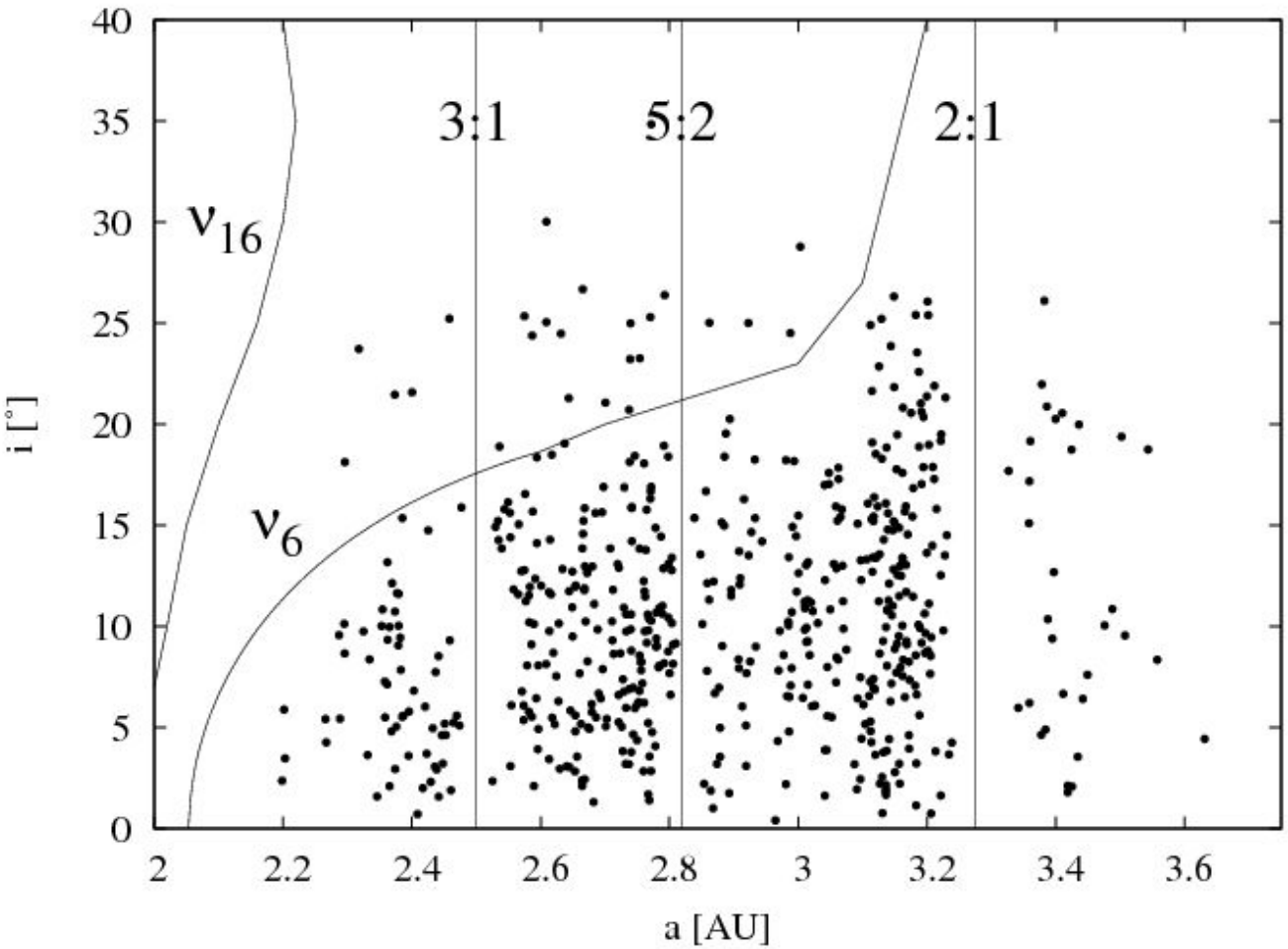
- **Резонансы средних движений**
- **Вековые резонансы**



Автор: Изначально этот файл был загружен участником Dreg743 из английский 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

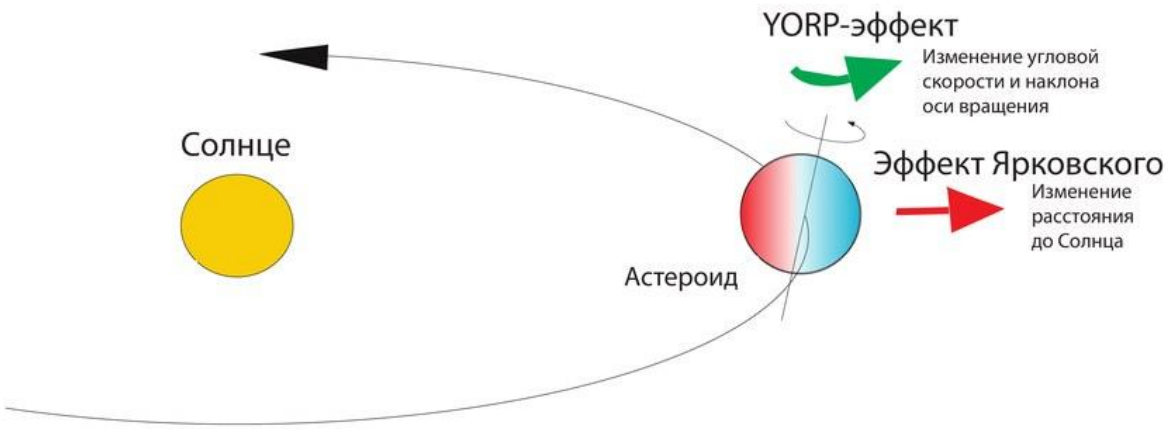
- **Резонансы средних движений**
- **Вековые резонансы**

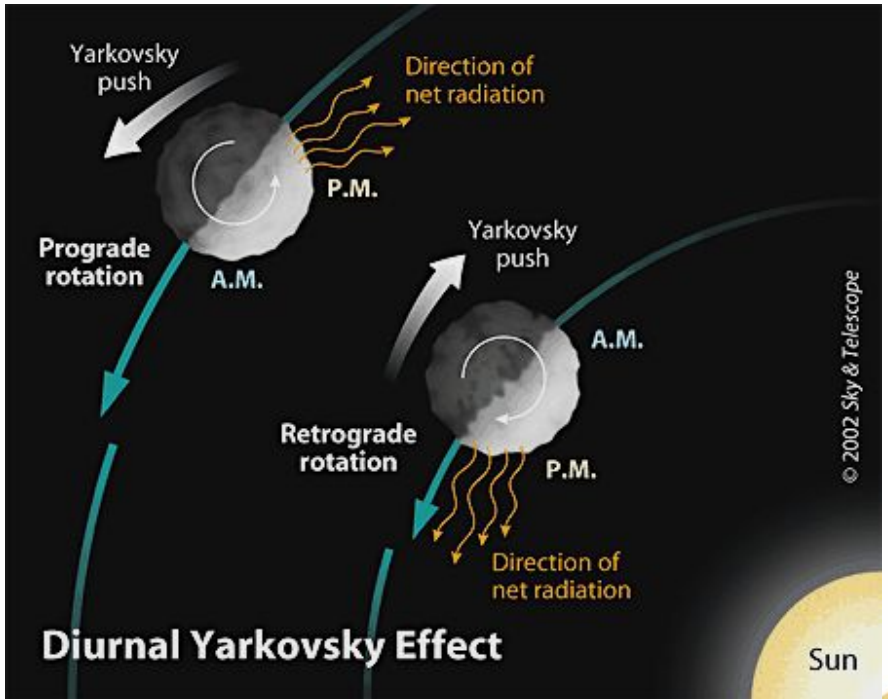


Автор: Изначально этот файл был загружен участником Dreg743 из английский Википедия - Перенесено с en.wikipedia на Викисклад., CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3098295

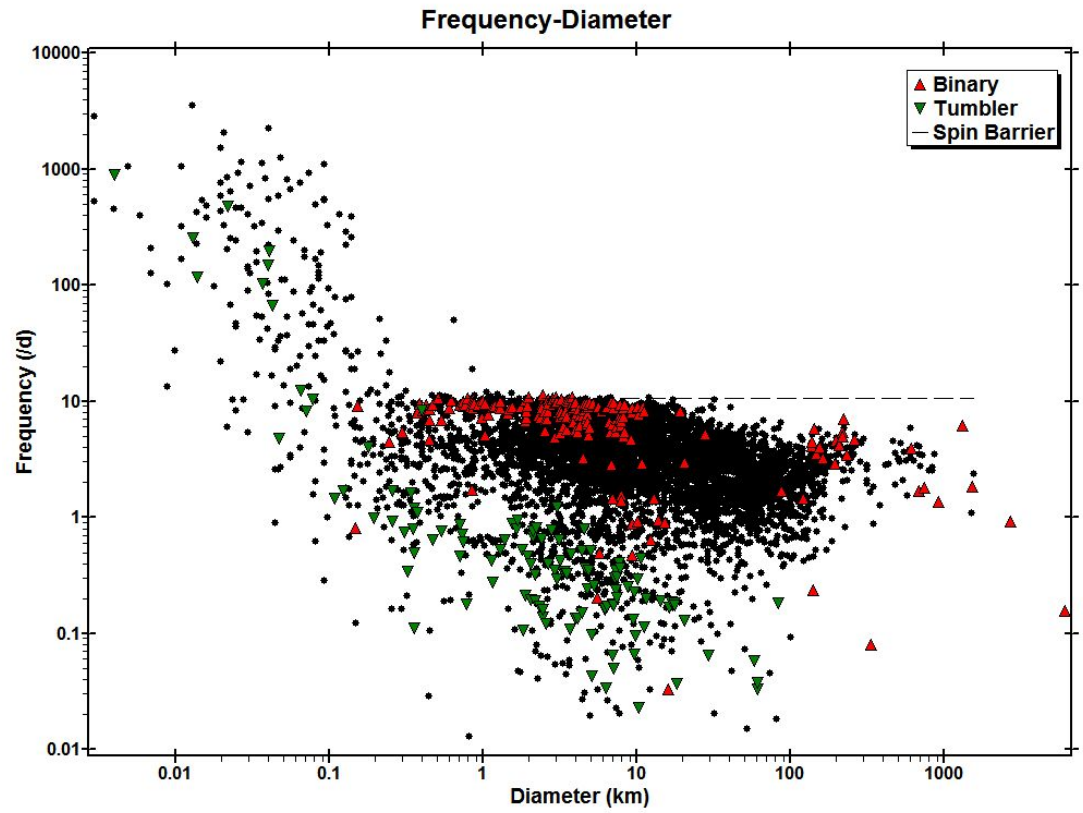
Эффект Ярковского и YORP-эффект

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

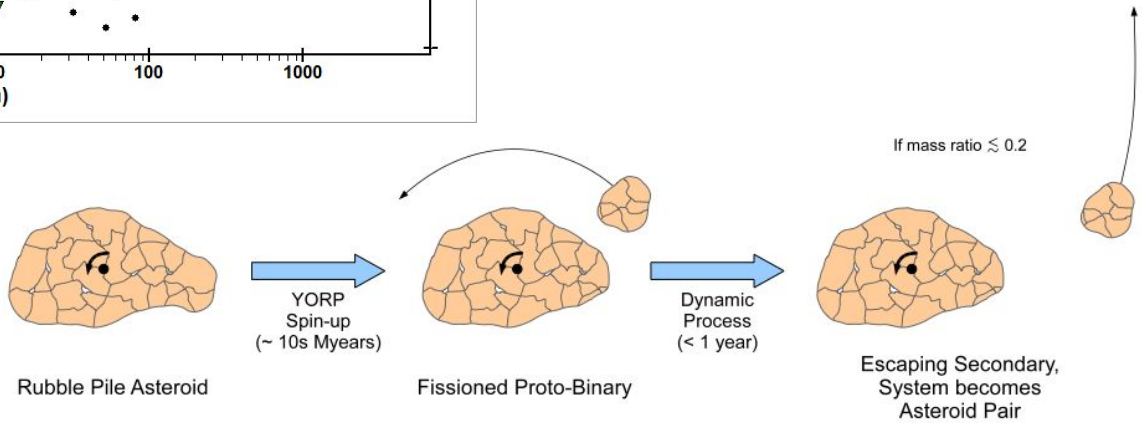




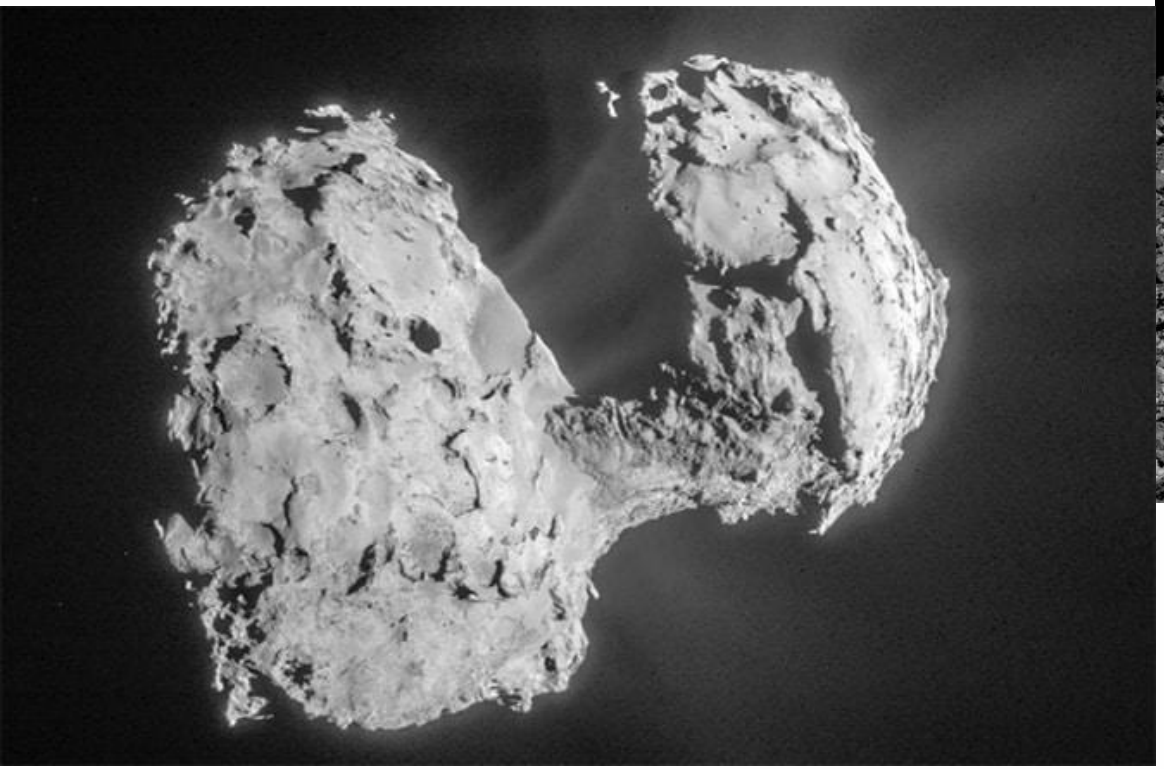
Эффект Ярковского и YORP-эффект

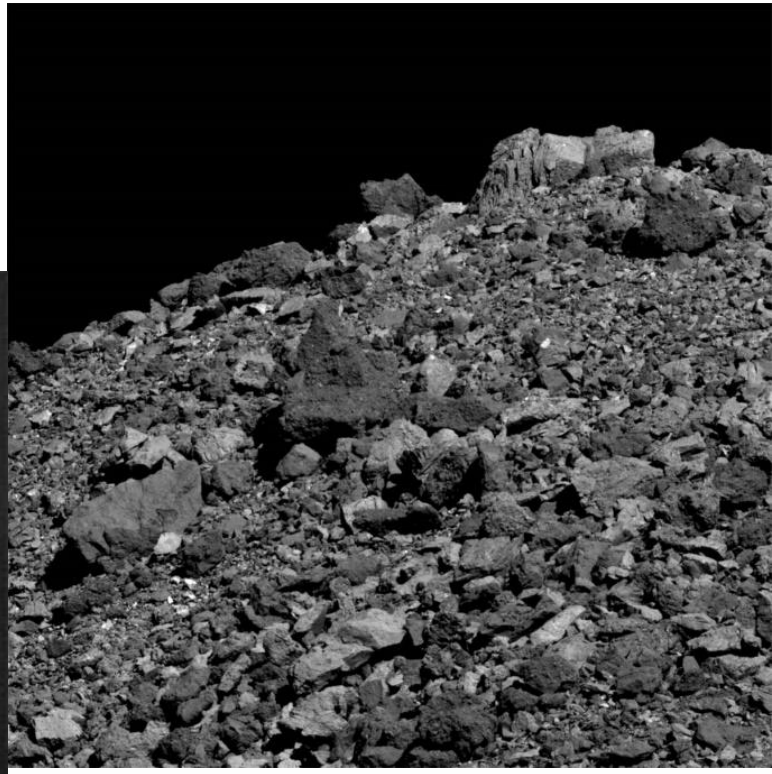


- **Дробление астероидов**
- **Модель «груда булыжников»**
- Критический период вращения – **2.2 часа**
- Диаметр **менее 20 км**



«Груда булыжников» и мягкие столкновения



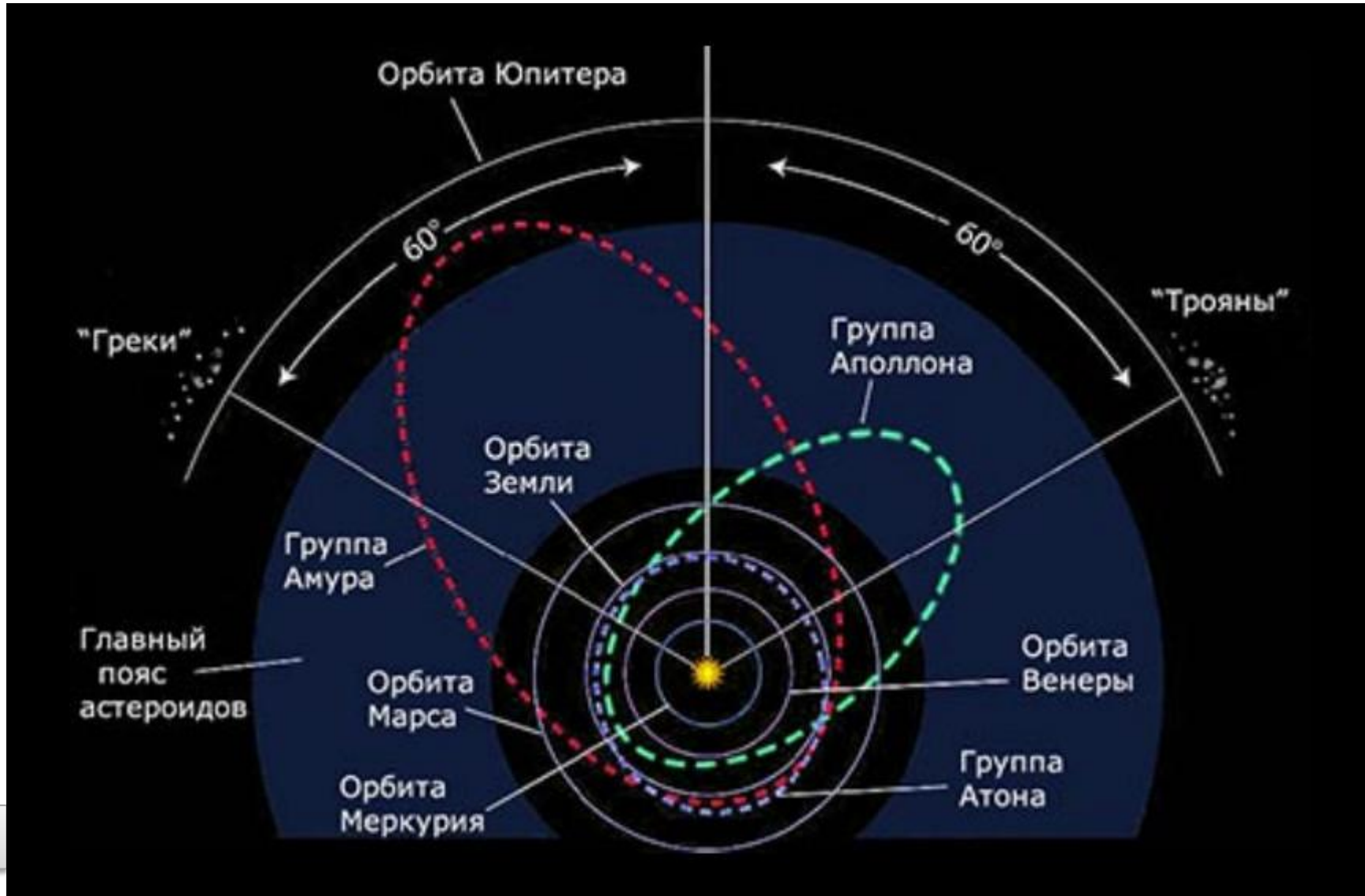


© NASA, GSFC, University of Arizona

Поверхность **астероида (101955) Bennu**

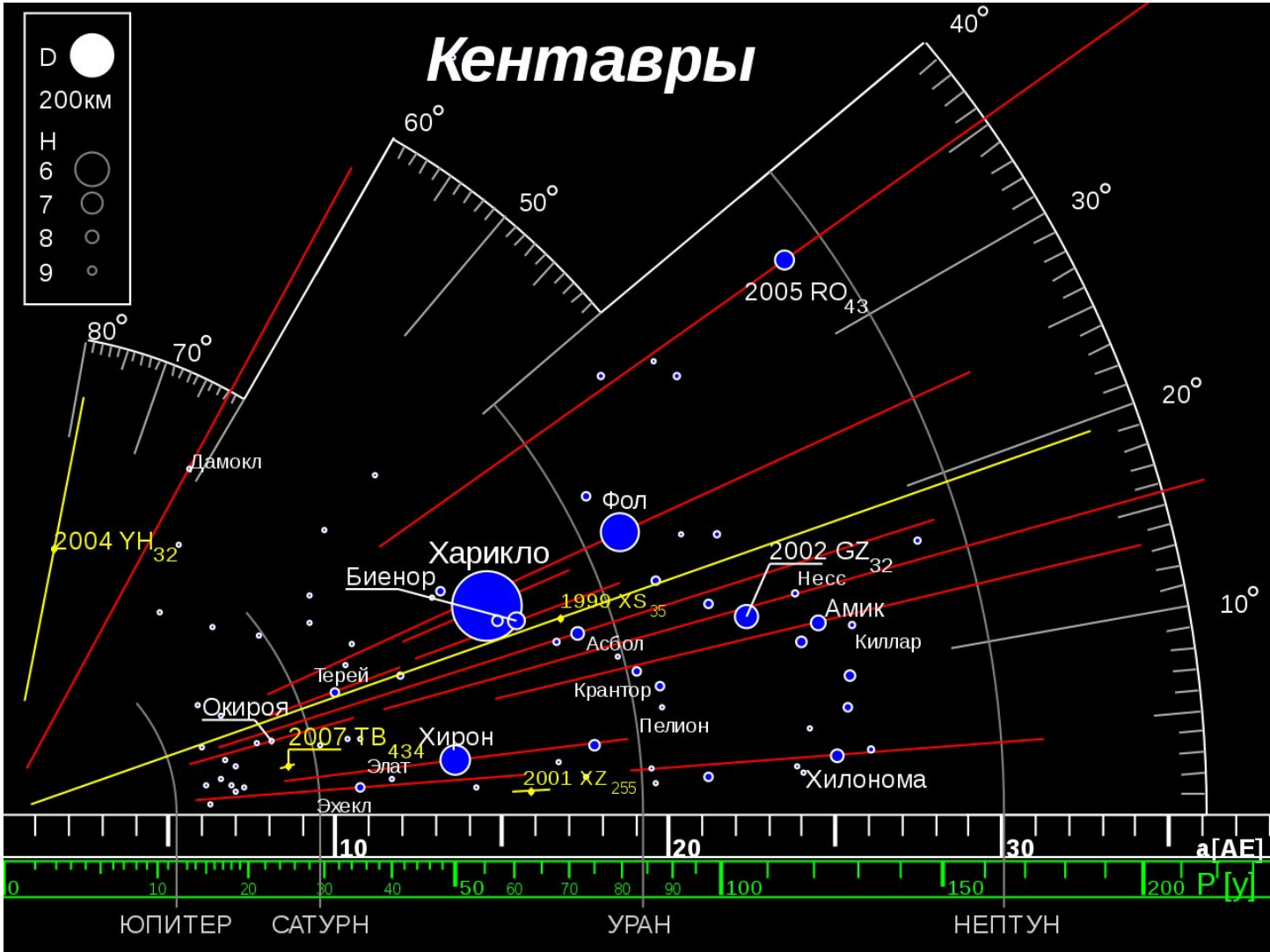
Комета 67P/Чурюмова-Герасименко

Астероиды, сближающиеся с Землей



Кентавры – среди орбит планет-гигантов

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

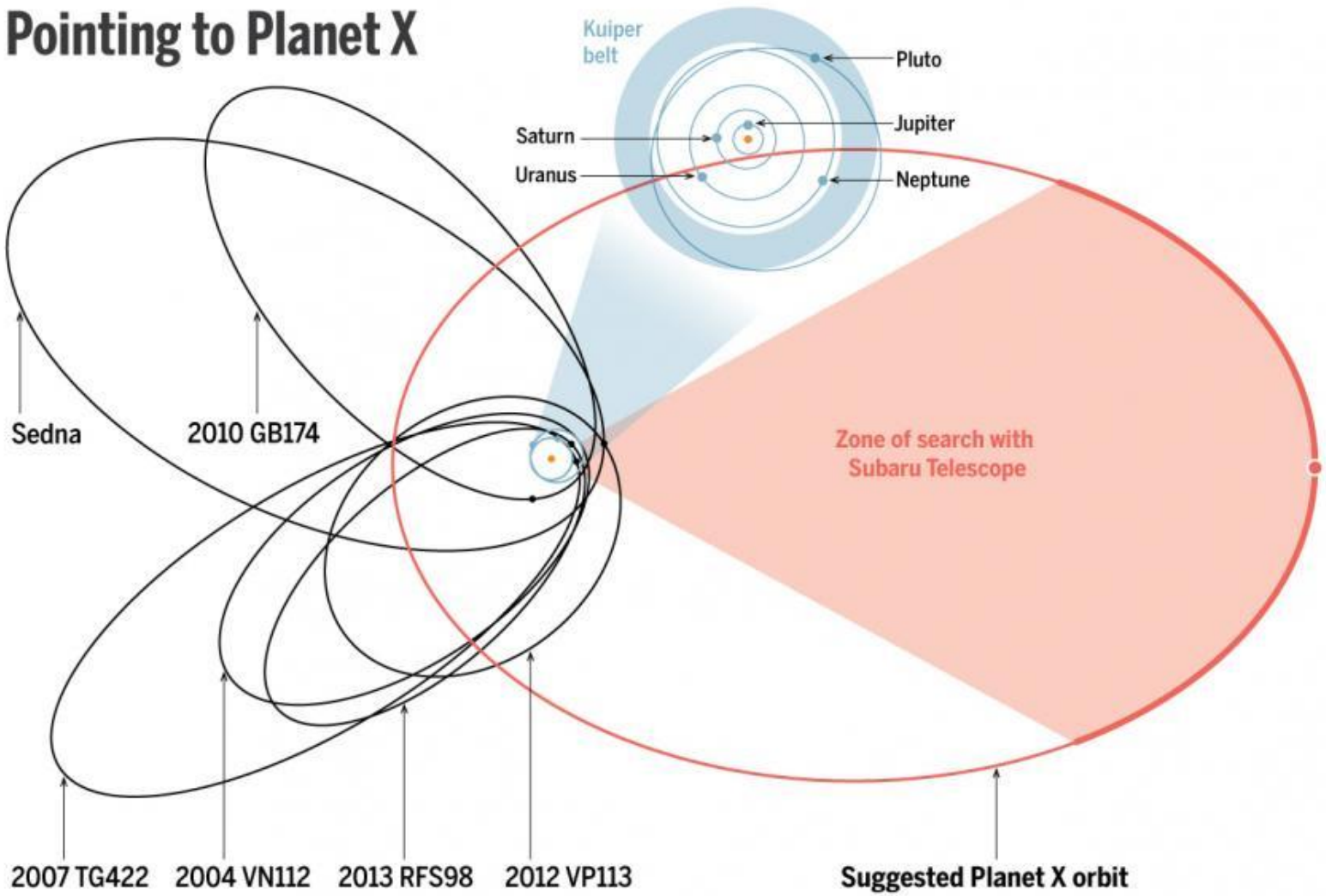


By Kirill Borisenko - This file was derived from: TheKuiperBelt 42AU Centaurs.svg, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=70562025

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 превысили силы 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, …*

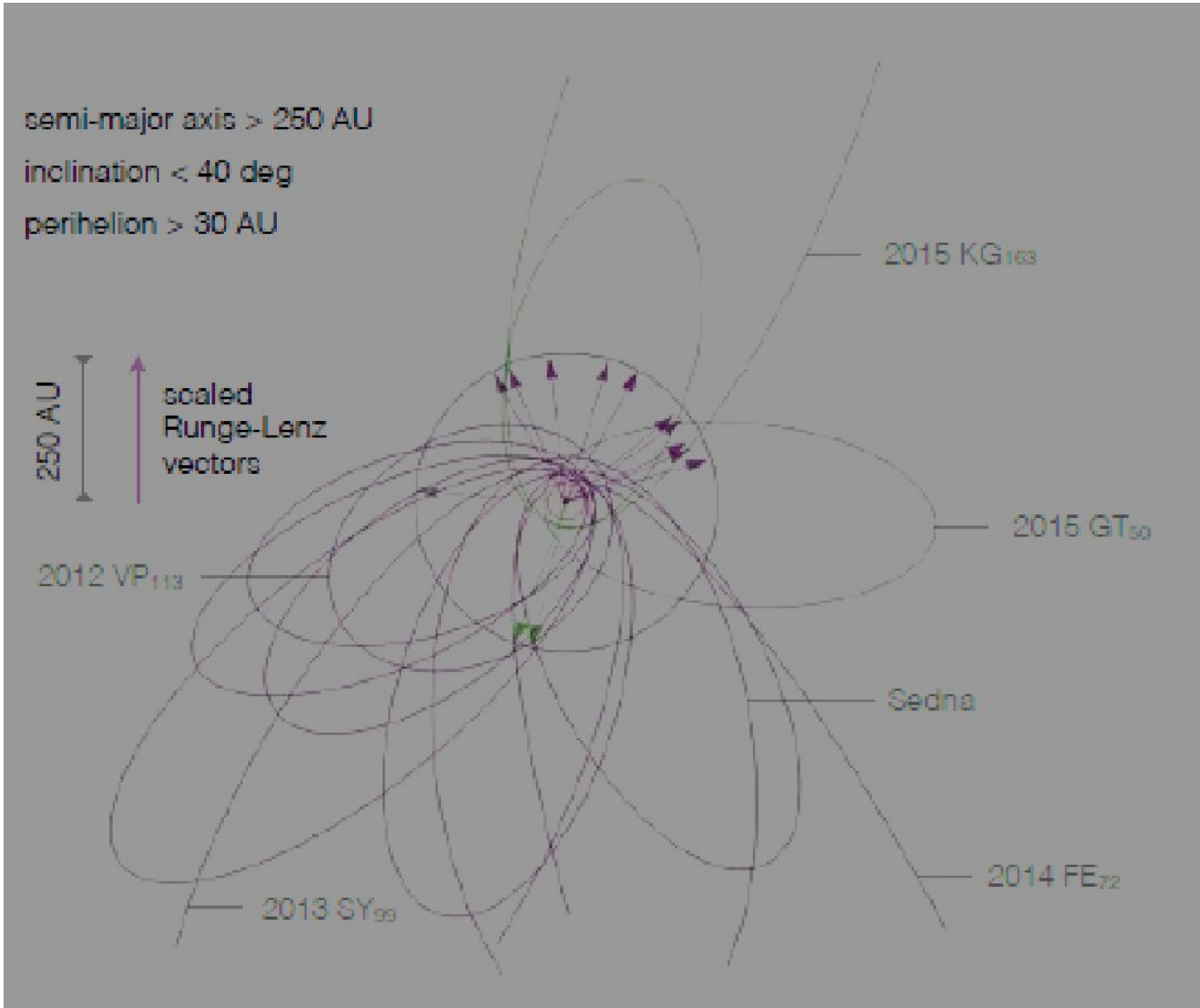
Планета X


Pointing to Planet X
Kuiper belt
Pluto
Jupiter
Saturn
Uranus
Neptune
Sedna
2010 GB174
Zone of search with Subaru Telescope
2007 TG422
2004 VN112
2013 RFS98
2012 VP113
Suggested Planet X orbit

Планета X

- m = 5-20 масс Земли
- *a* = 380-980 а.е.
- *e* = 0.6
- *i* = 30°
- 22 < V < 25 в афелии

(Brown and Batygin, 2016)

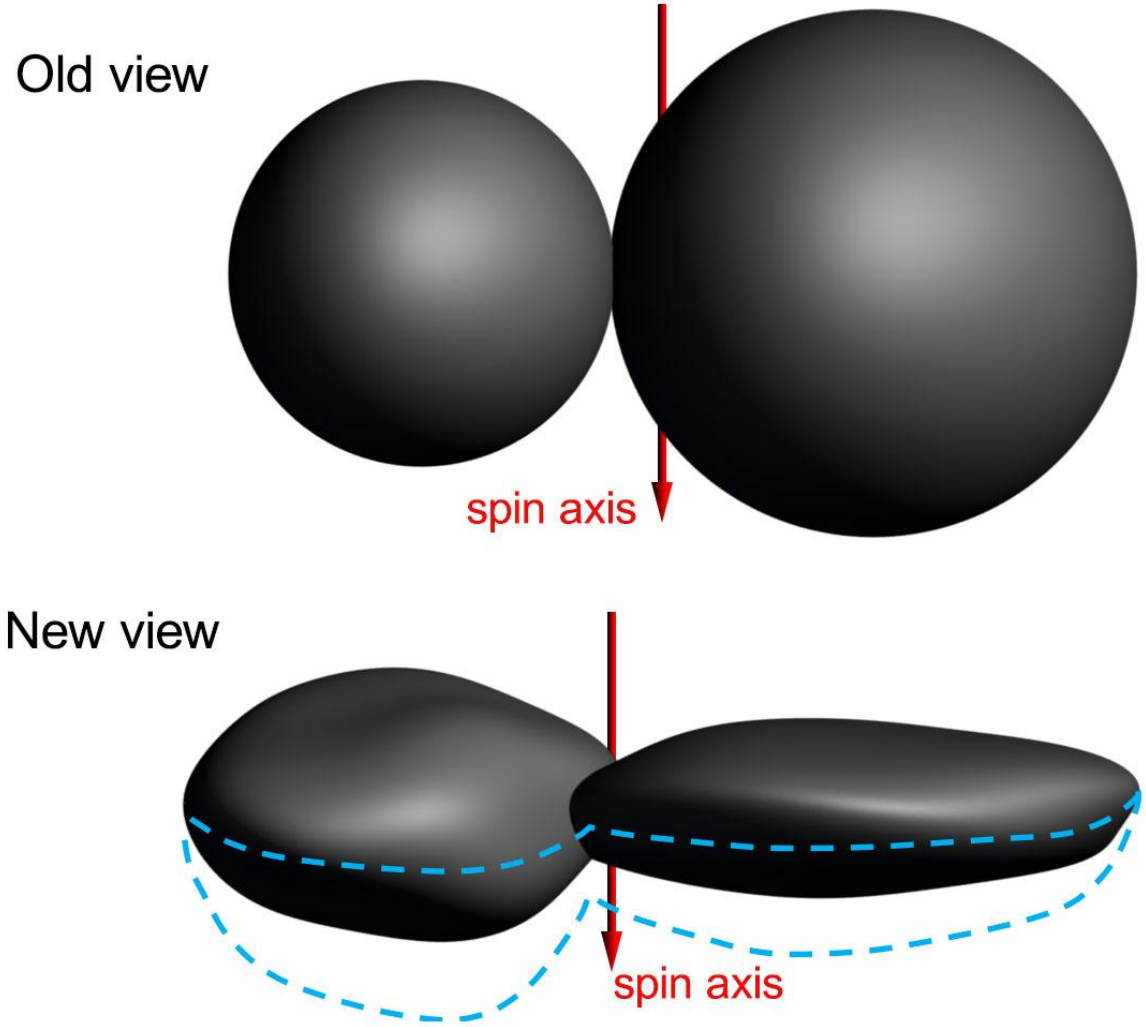


(Batygin, Morbidelli, 2017)

Ультима туле

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

Ультима туле



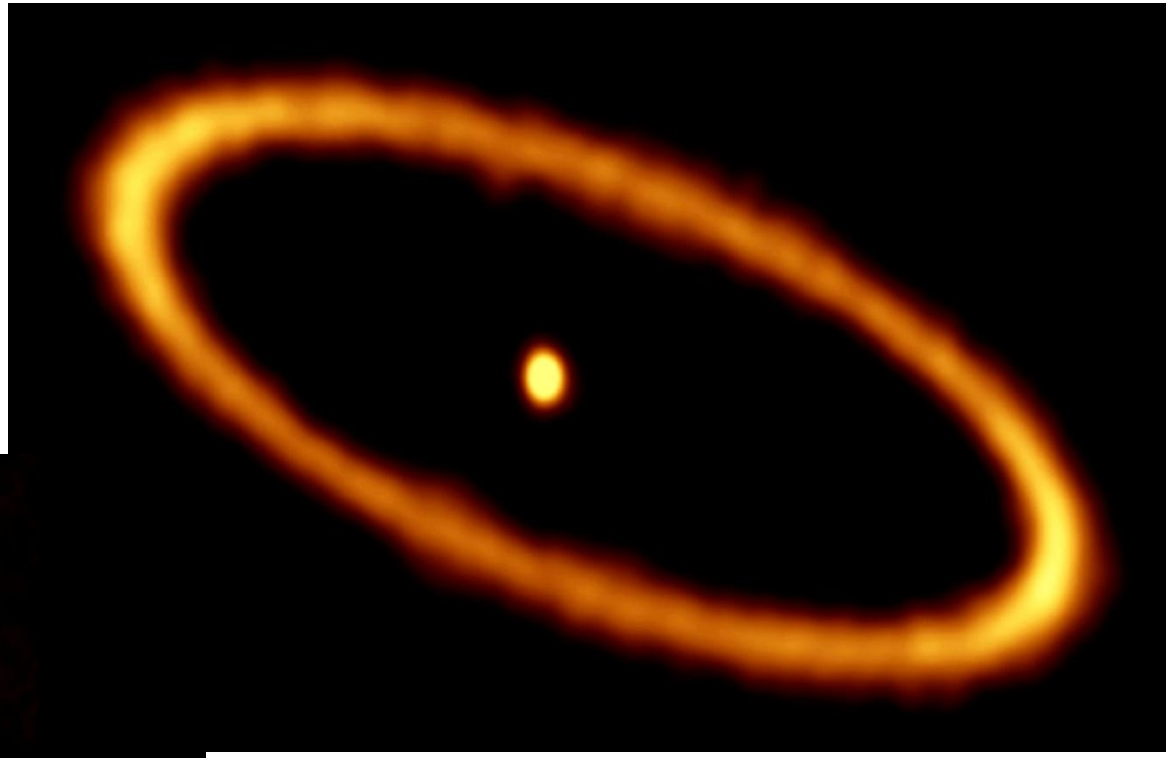
NASA/JHU APL/SwRI

Межзвездные малые тела

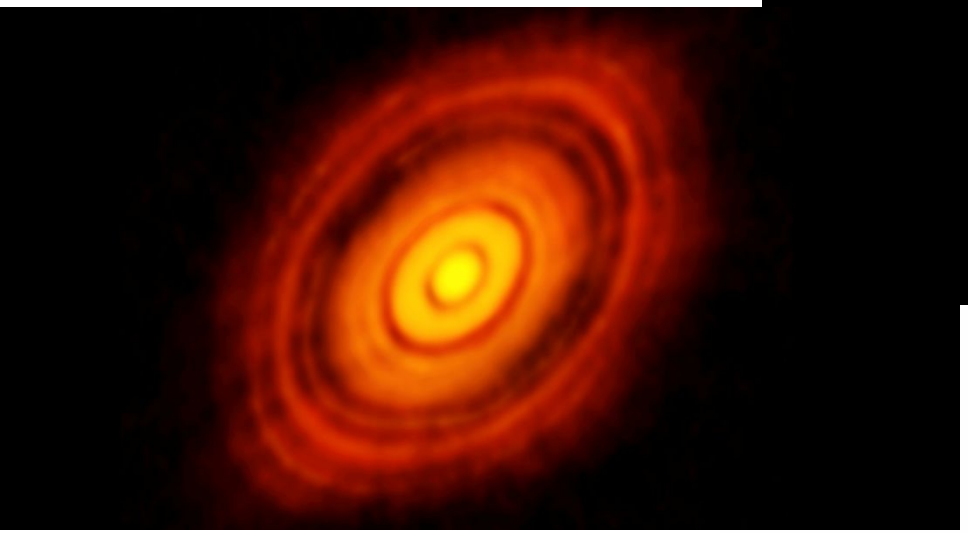
- **Астероид 1I/Oumuamua**
- **Комета 2I/Borisov**

Малые тела в других планетных системах

- **Диск остаточного вещества вокруг звезды Фомальгаут**

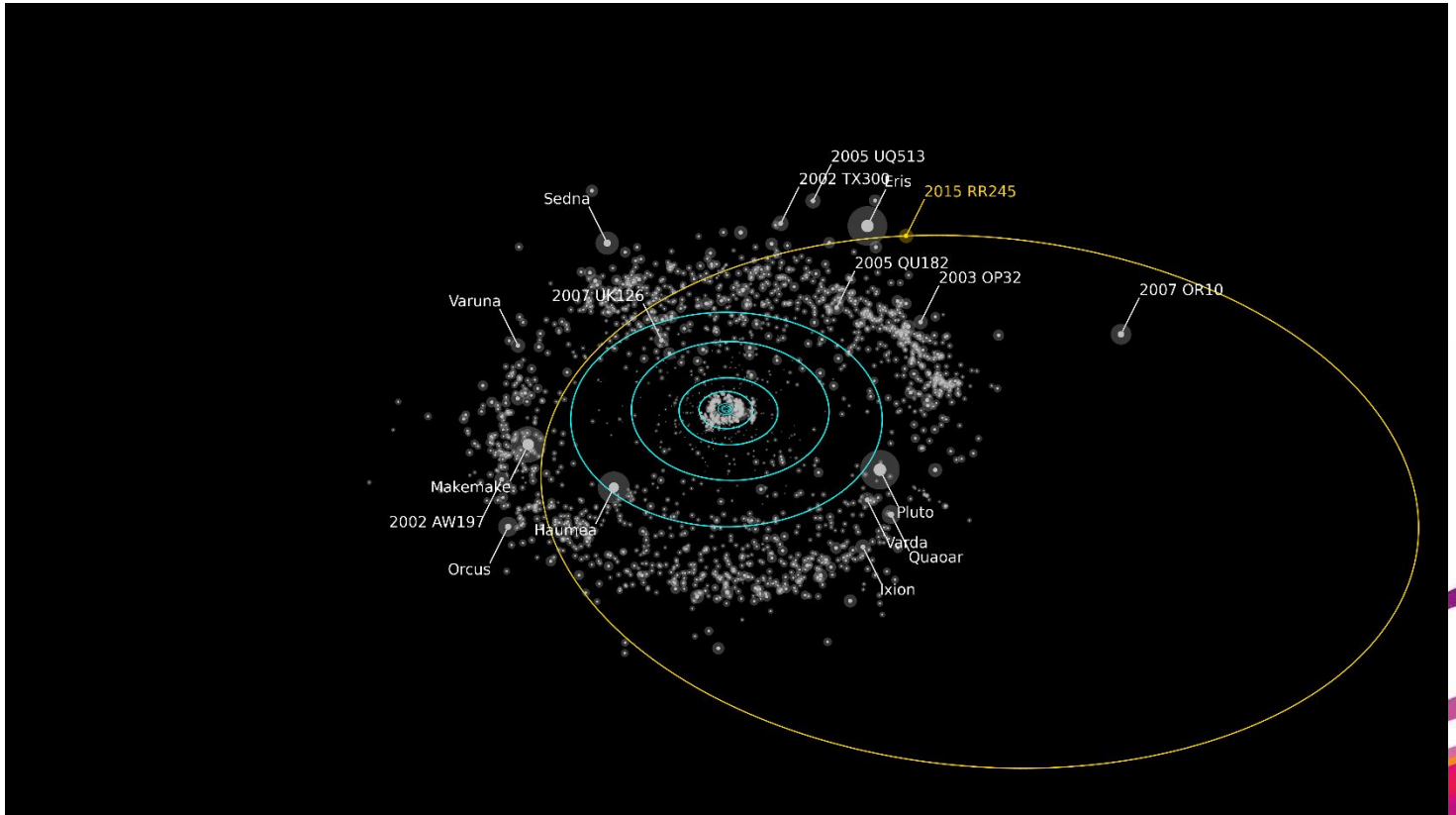


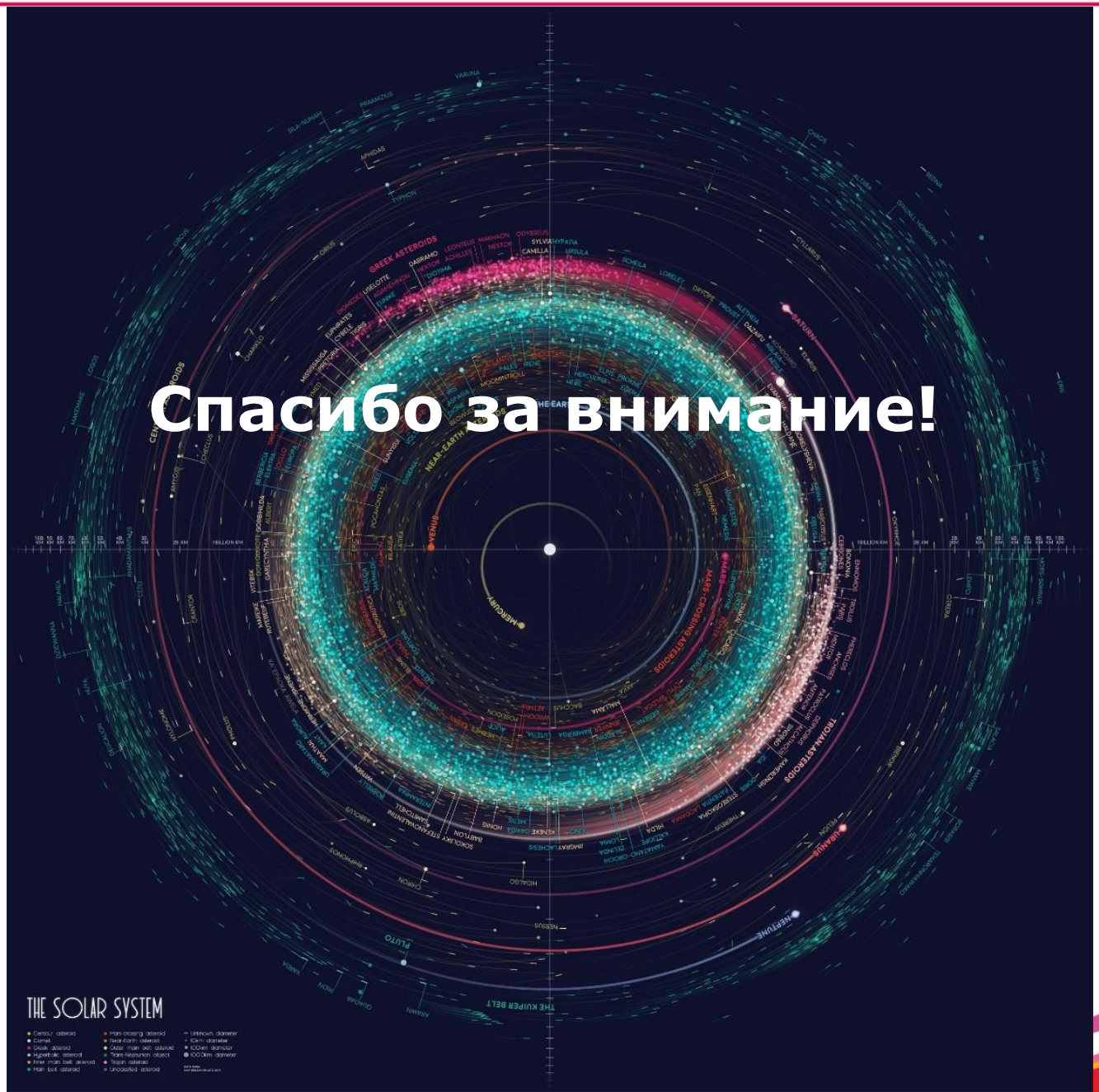
- **Протопланетный диск**



Заключение

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





Спасибо за внимание!