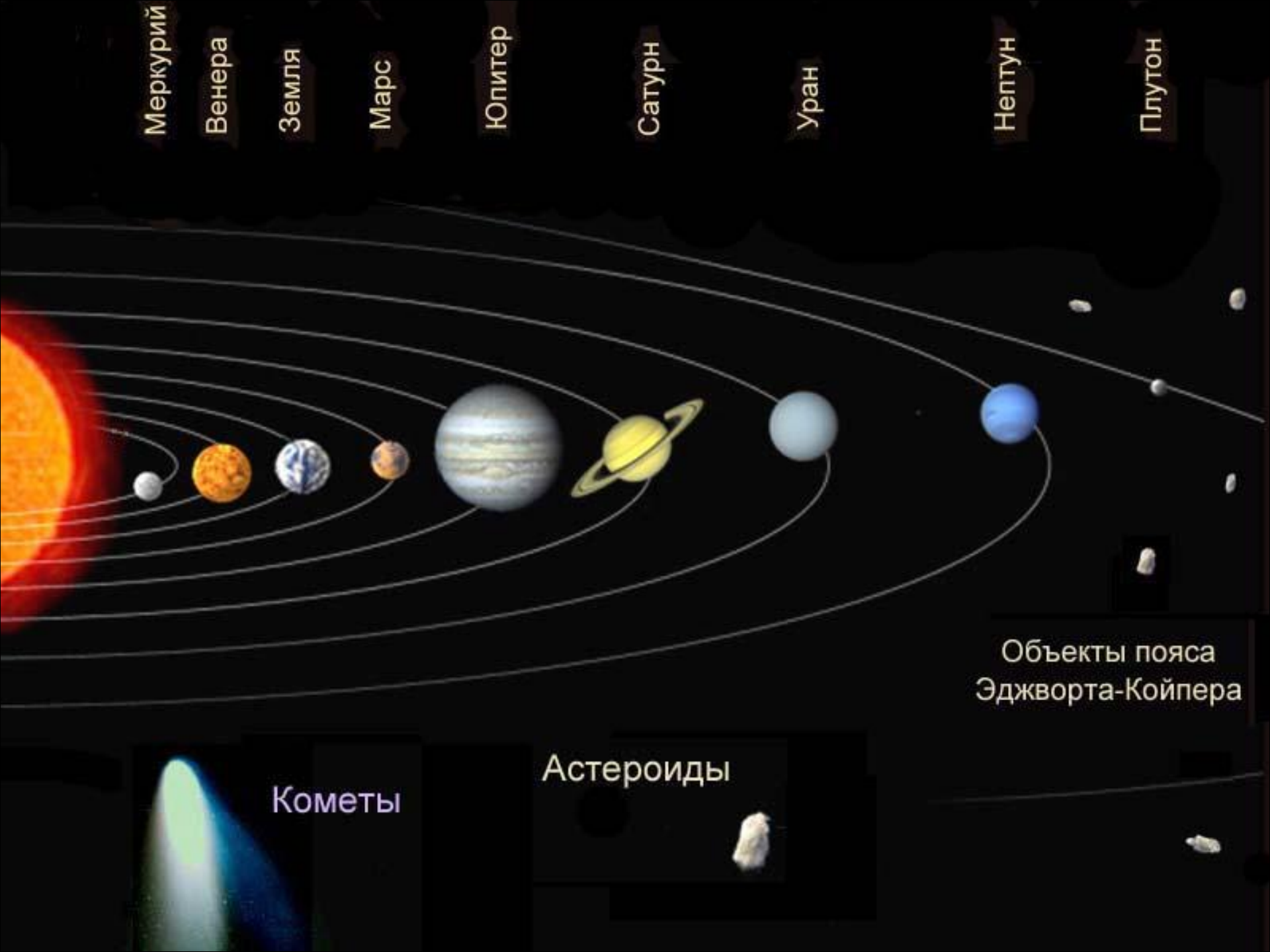
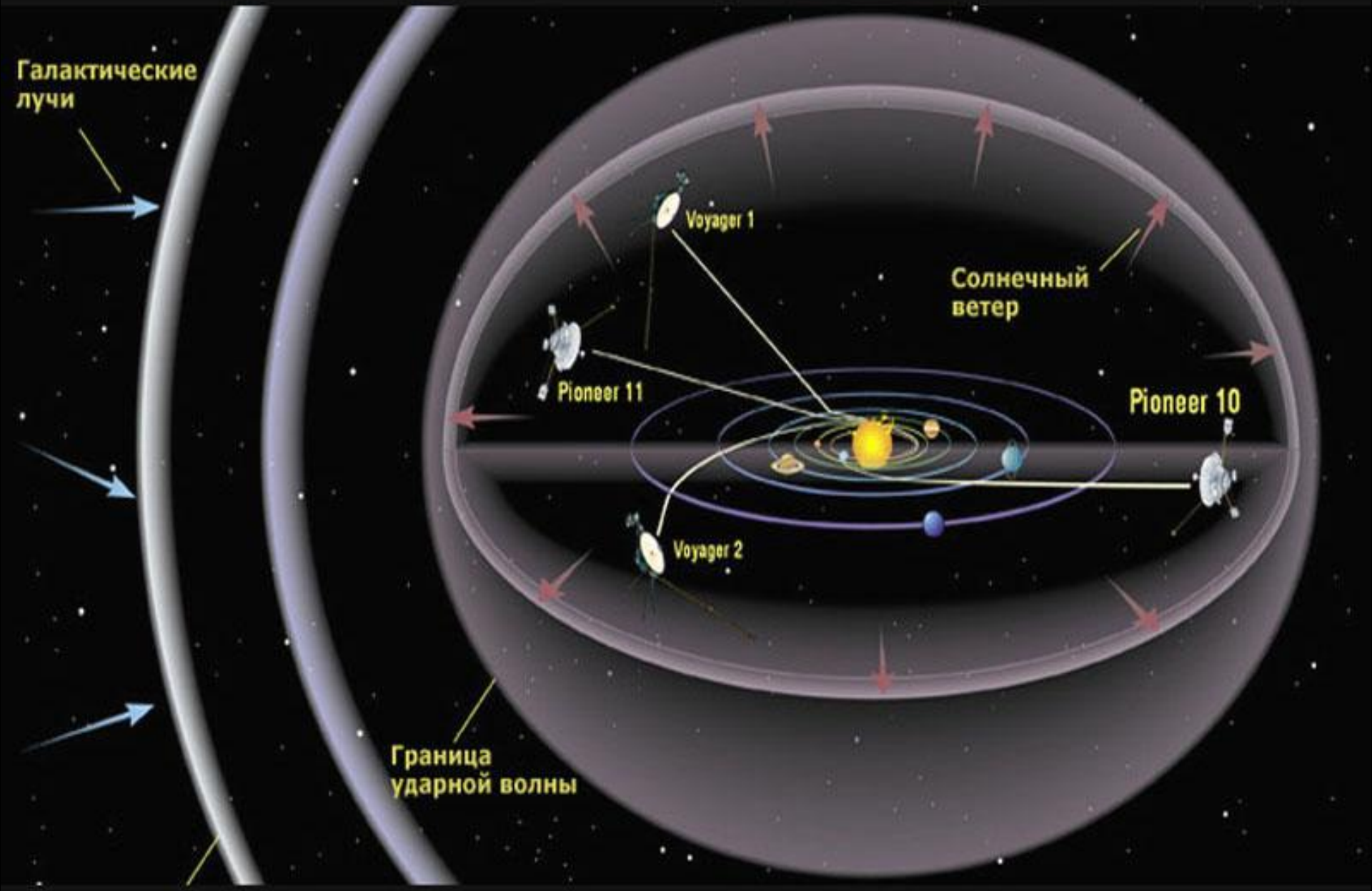
ЭВОЛЮЦИЯ Солнца и Солнечной системы

В. Г. Сурдин (ГАИШ МГУ)

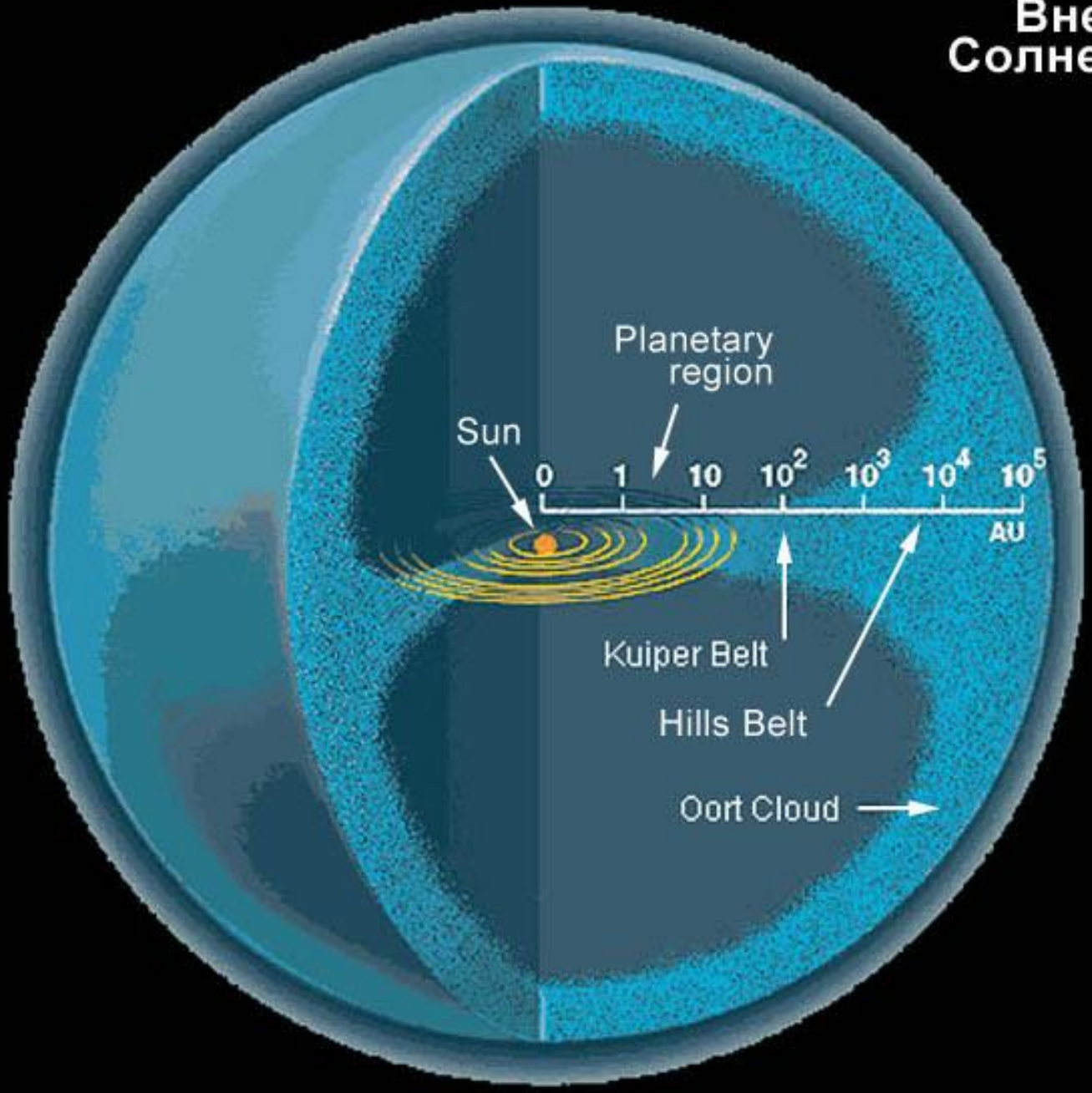
Наш Космический Дом


Меркурий
Венера
Земля
Марс
Юпитер
Сатурн
Уран
Нептун
Плутон
Объекты пояса
Эджворта-Койпера
Астероиды
Кометы

Большая Солнечная система



Внешние области Солнечной системы

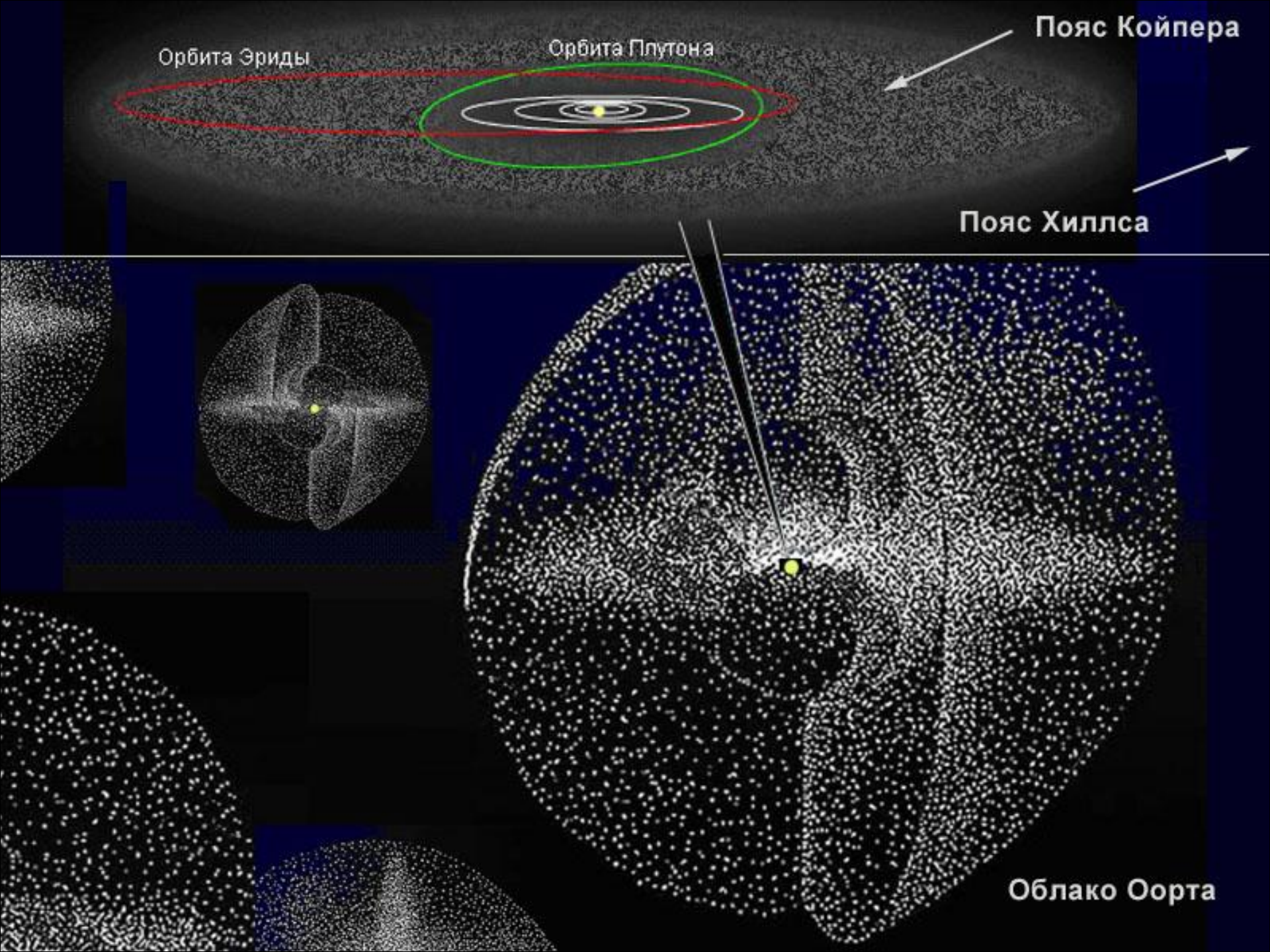


Область больших планет

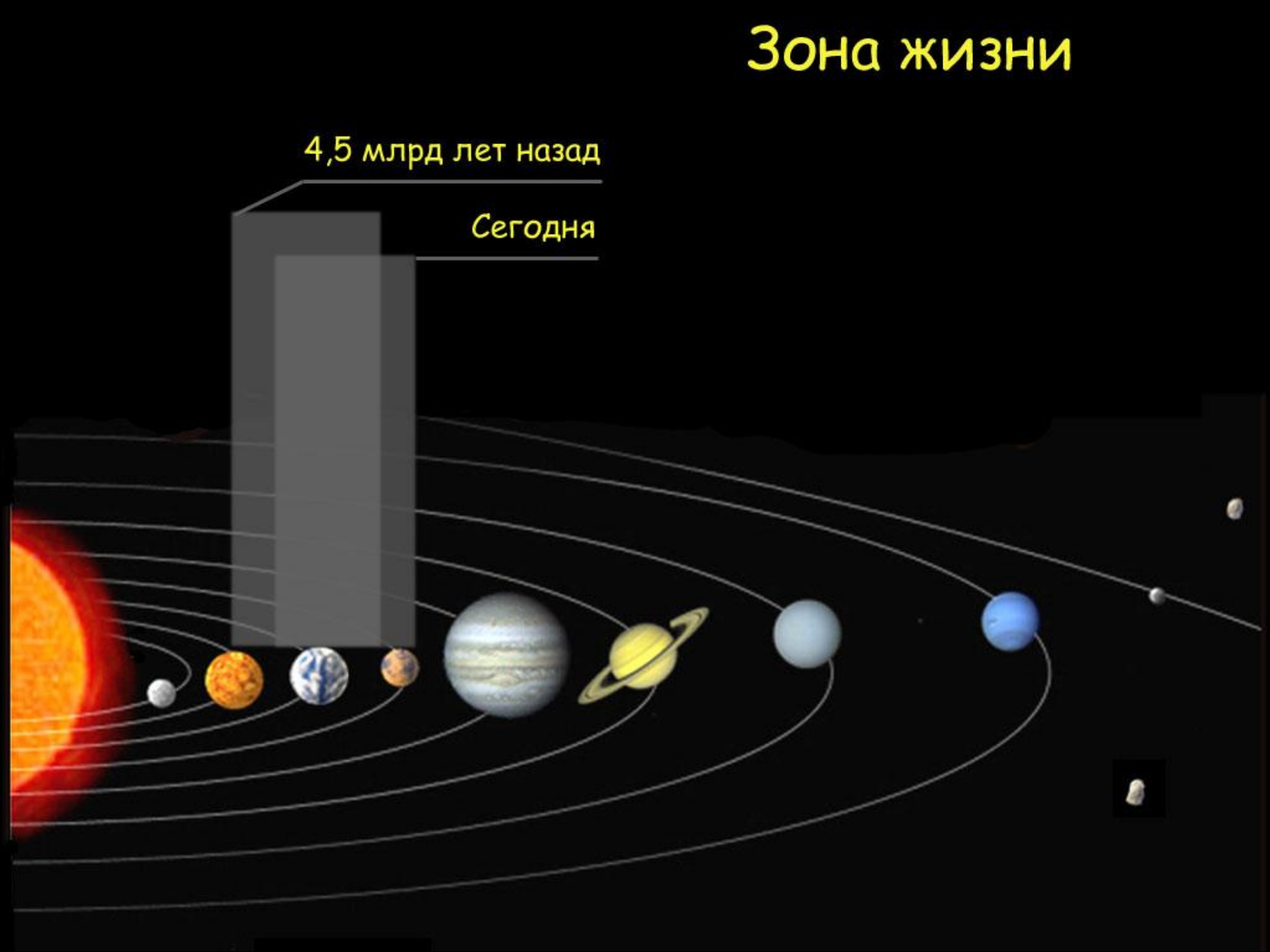
Пояс Койпера

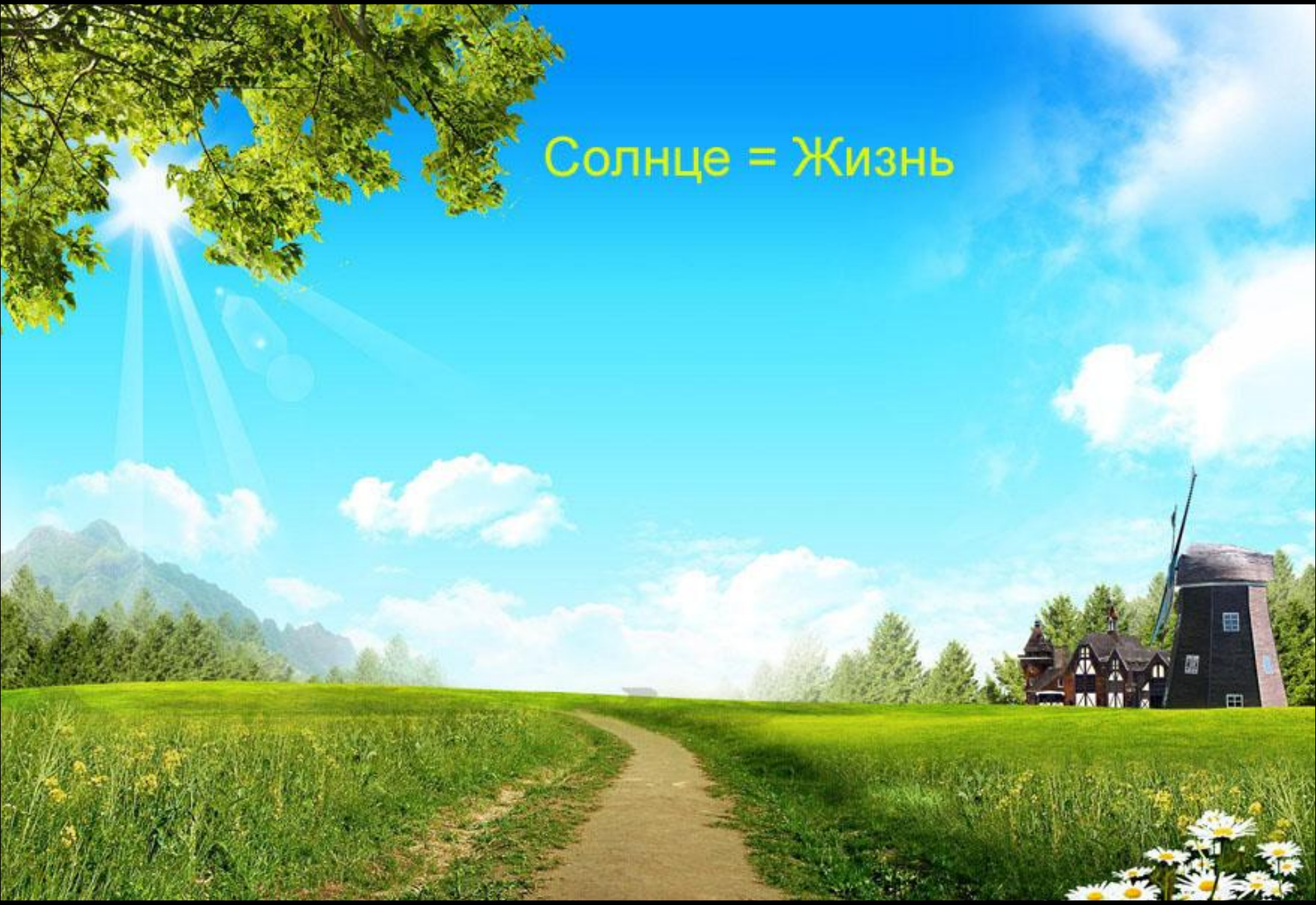
Пояс Хиллса

Облако Оорта


Пояс Койпера
Орбита Эриды
Орбита Плутона
Пояс Хиллса
Облако Оорта

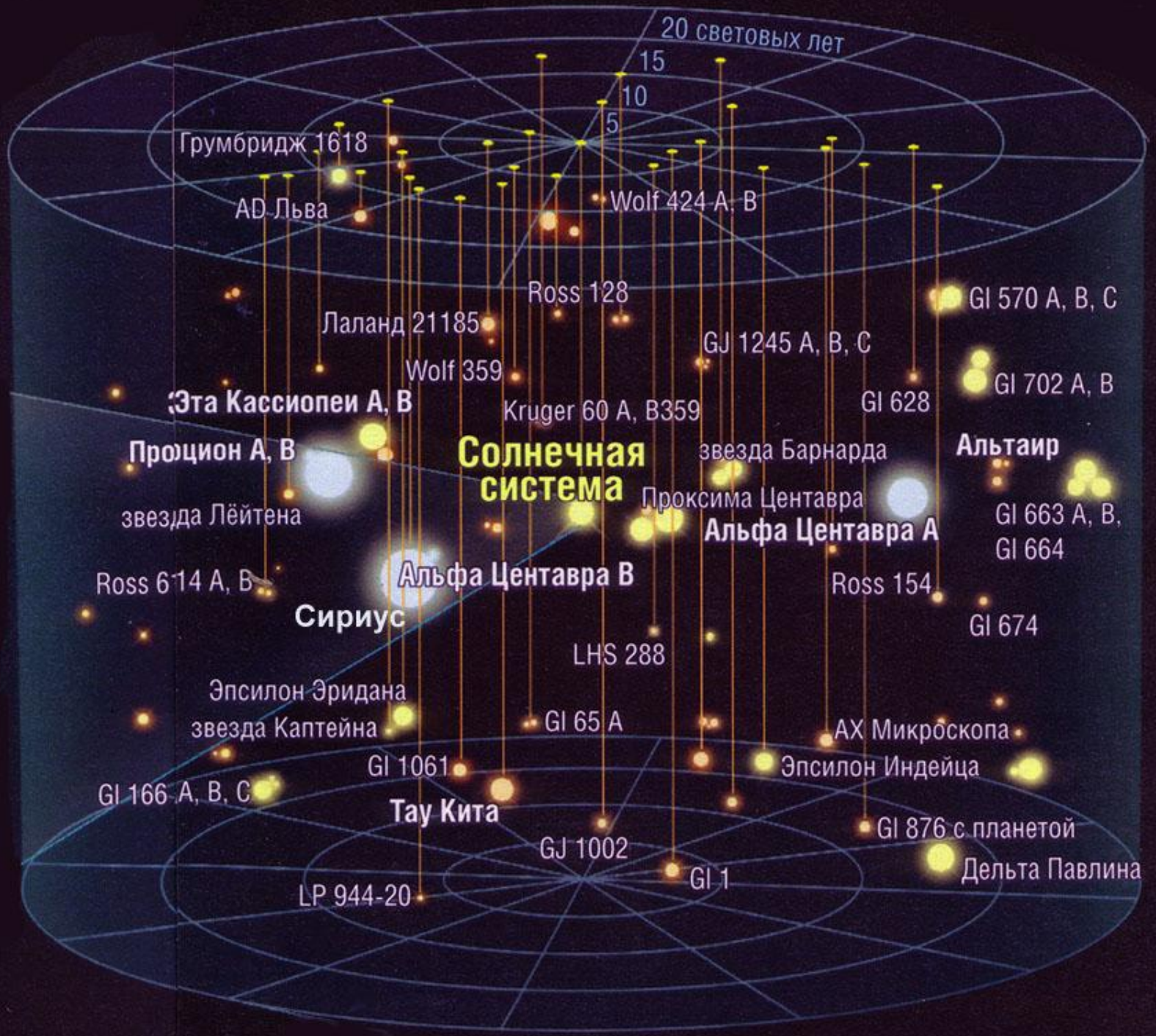
Зона жизни



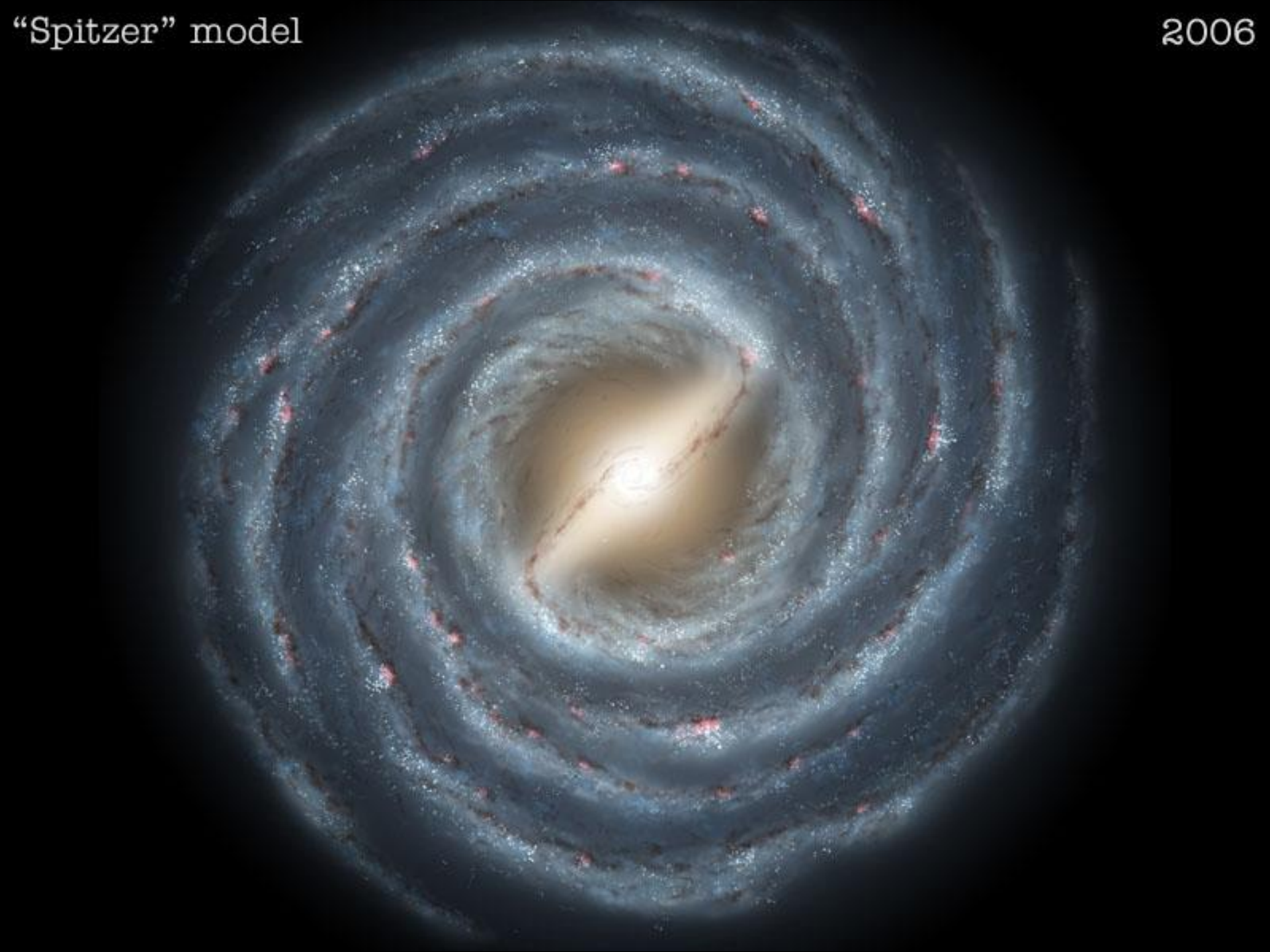

Солнце = Жизнь

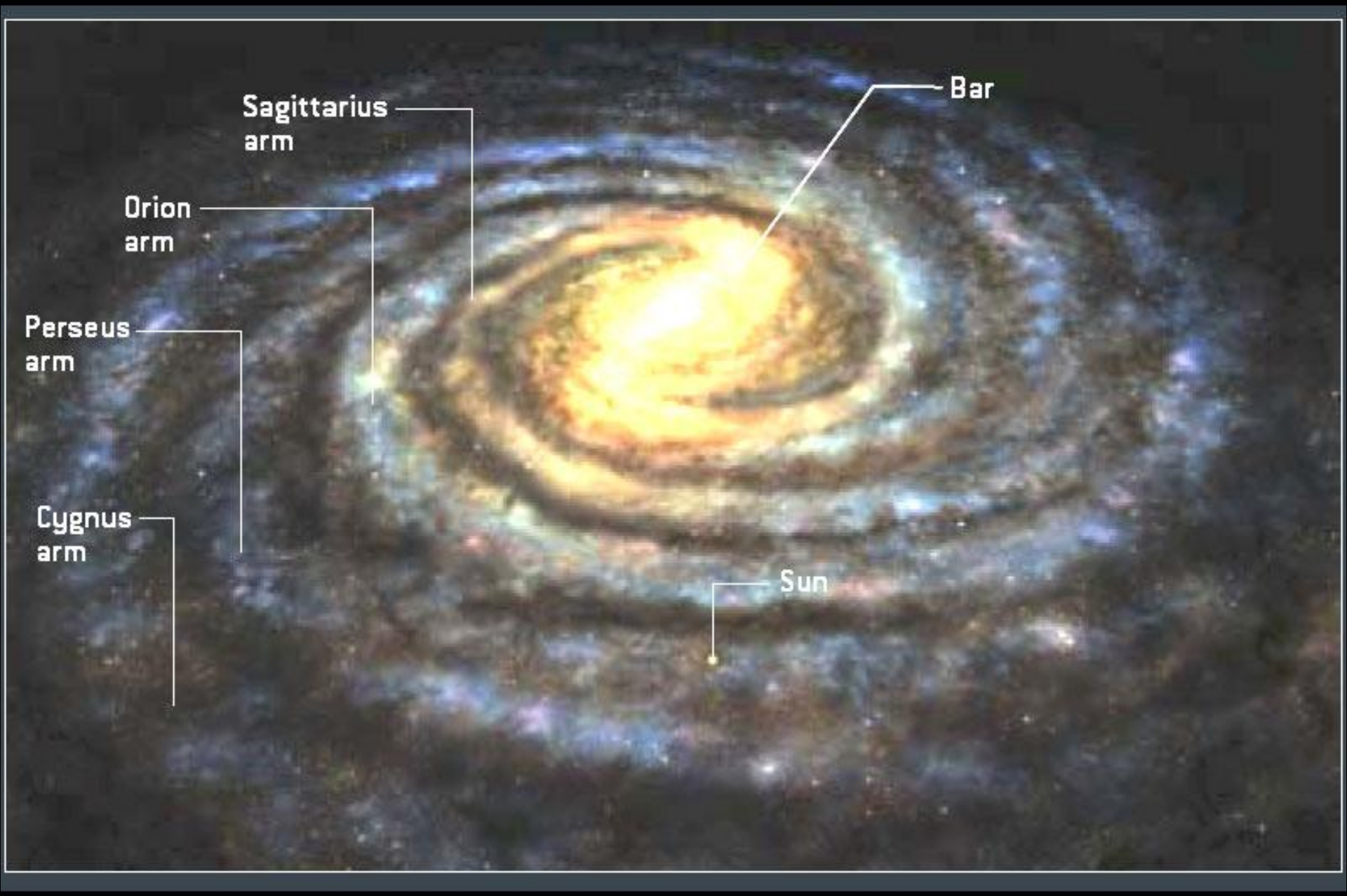
Если **всю мощность Солнца** (L=4·10^{26} Вт) направить на Землю...

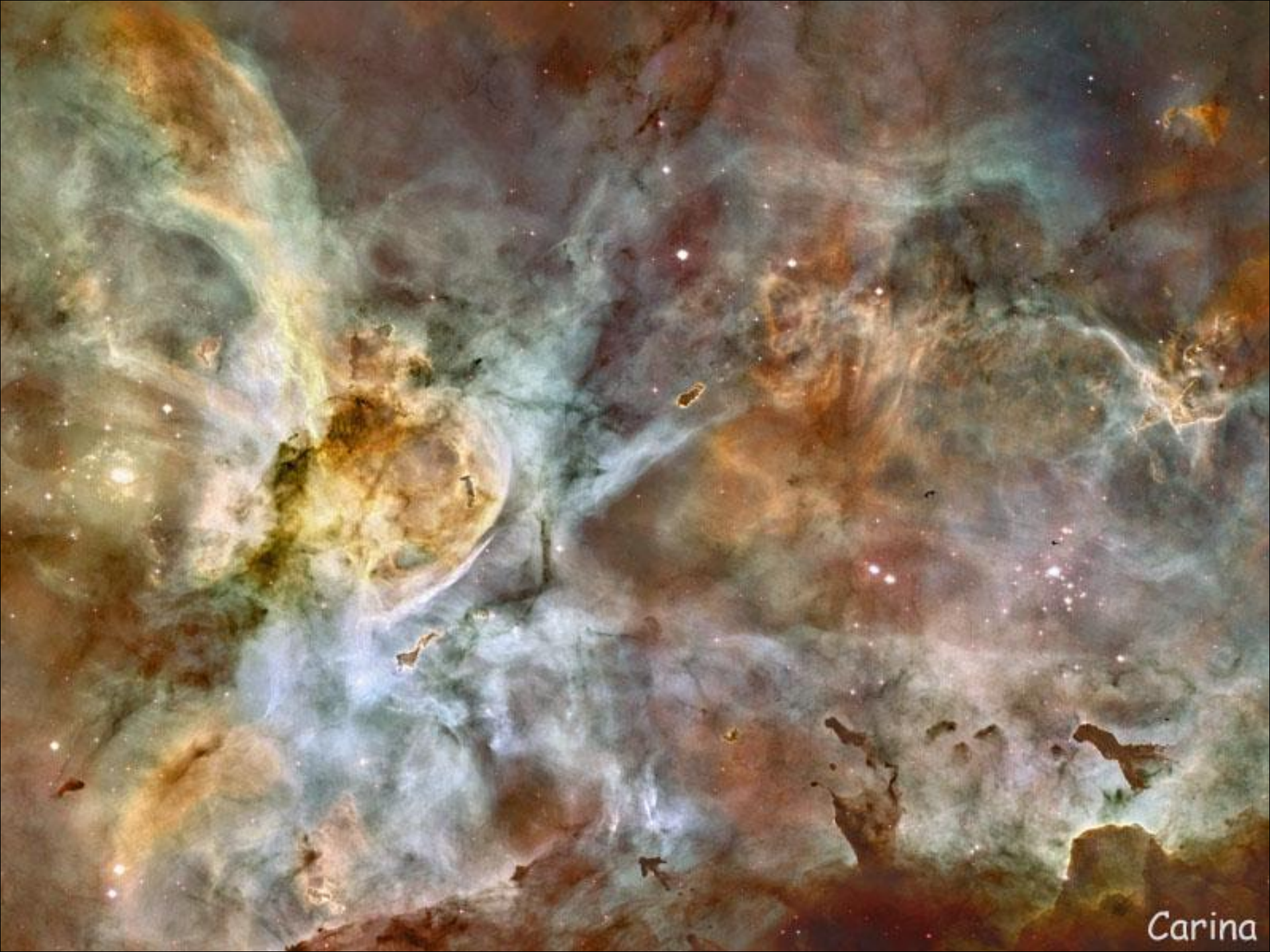
Как родилось Солнце?

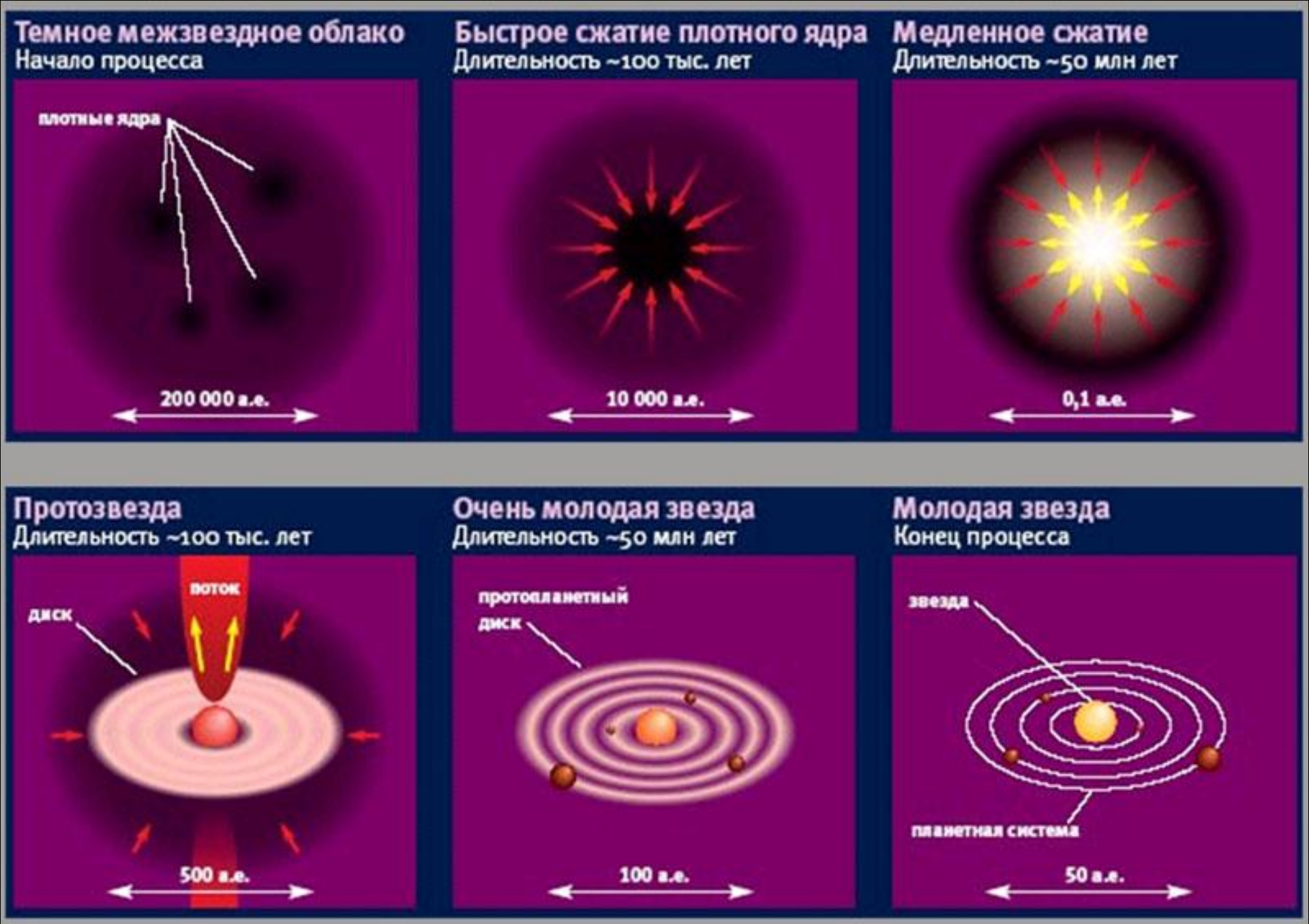

20 световых лет
15
10
5
Грумбридж 1618
AD Льва
Wolf 424 A, B
Ross 128
GI 570 A, B, C
Лаланд 21185
GJ 1245 A, B, C
Wolf 359
GI 702 A, B
Эта Кассиопеи A, B
Kruger 60 A, B359
GI 628
Процион A, B
Солнечная система
звезда Барнарда
Альтаир
Проксима Центавра
звезда Лёйтена
Альфа Центавра A
GI 663 A, B,
GI 664
Ross 614 A, B
Альфа Центавра B
Ross 154
Сириус
GI 674
LHS 288
Эпсилон Эридана
звезда Каптейна
GI 65 A
AX Микроскопа
GI 1061
Эпсилон Индейца
GI 166 A, B, C
Тау Кита
GI 876 с планетой
GJ 1002
Дельта Павлина
GI 1
LP 944-20

NGC 3370 HST


“Spitzer” model
2006


Sagittarius arm
Bar
Orion arm
Perseus arm
Cygnus arm
Sun

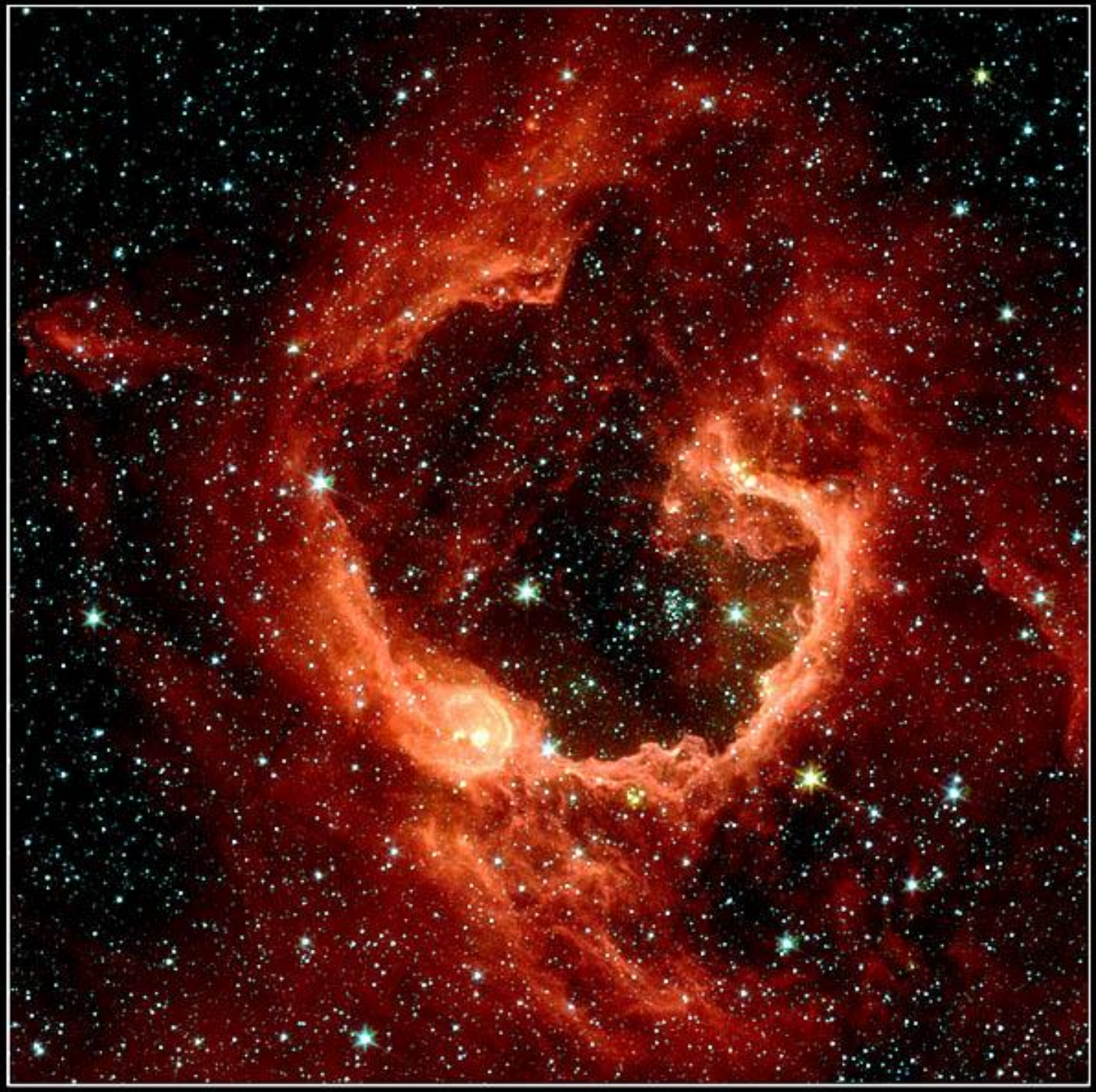

Carina



Этапы формирования звезды

NGC 2237-9
(Monoceros)

Rosette
nebula



Взаимодействие массивных звезд с МЗС приводит к формированию гигантских пузырей и оболочек HI

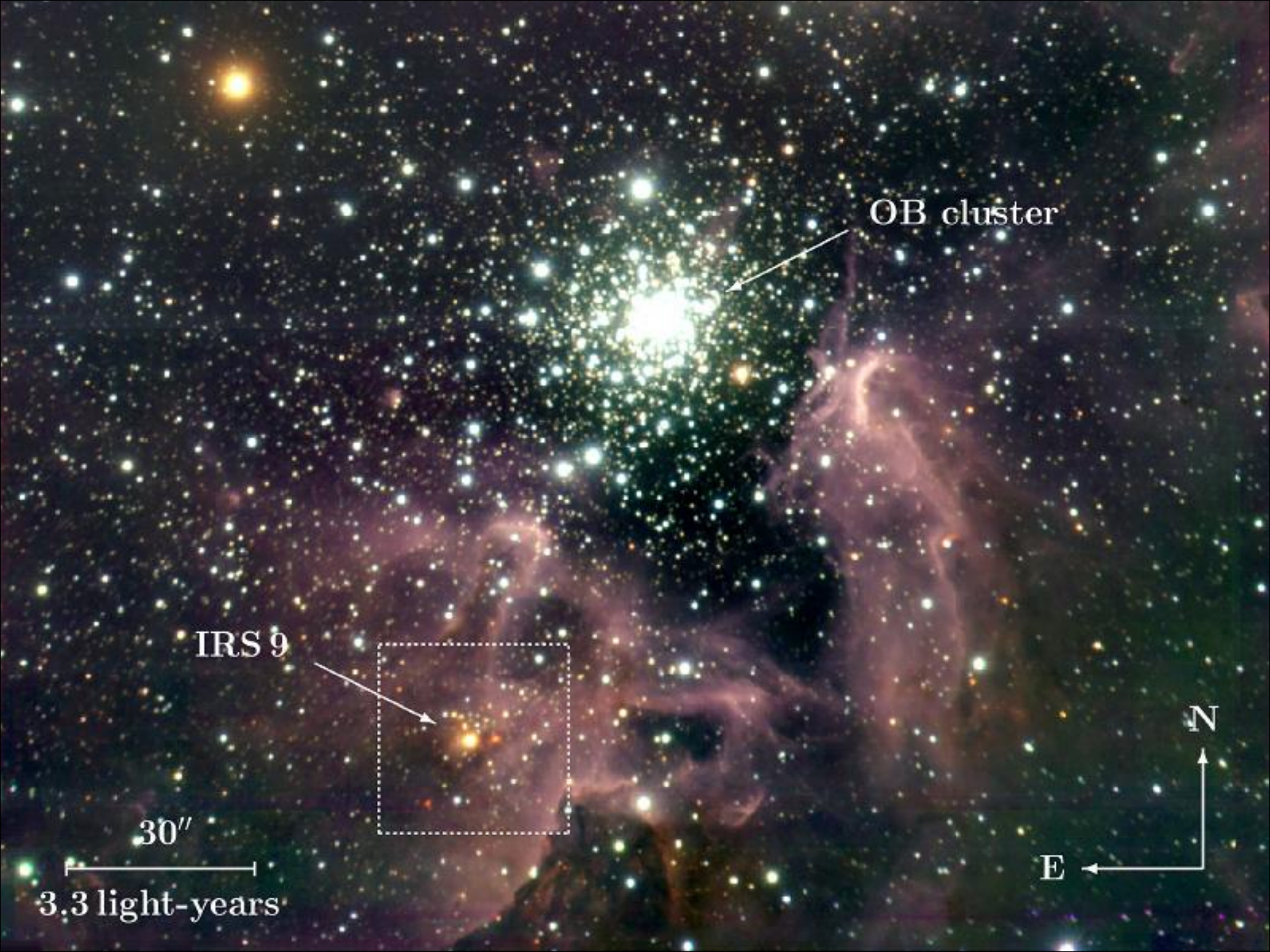
Не исключено, что в них формируется следующее поколение звезд

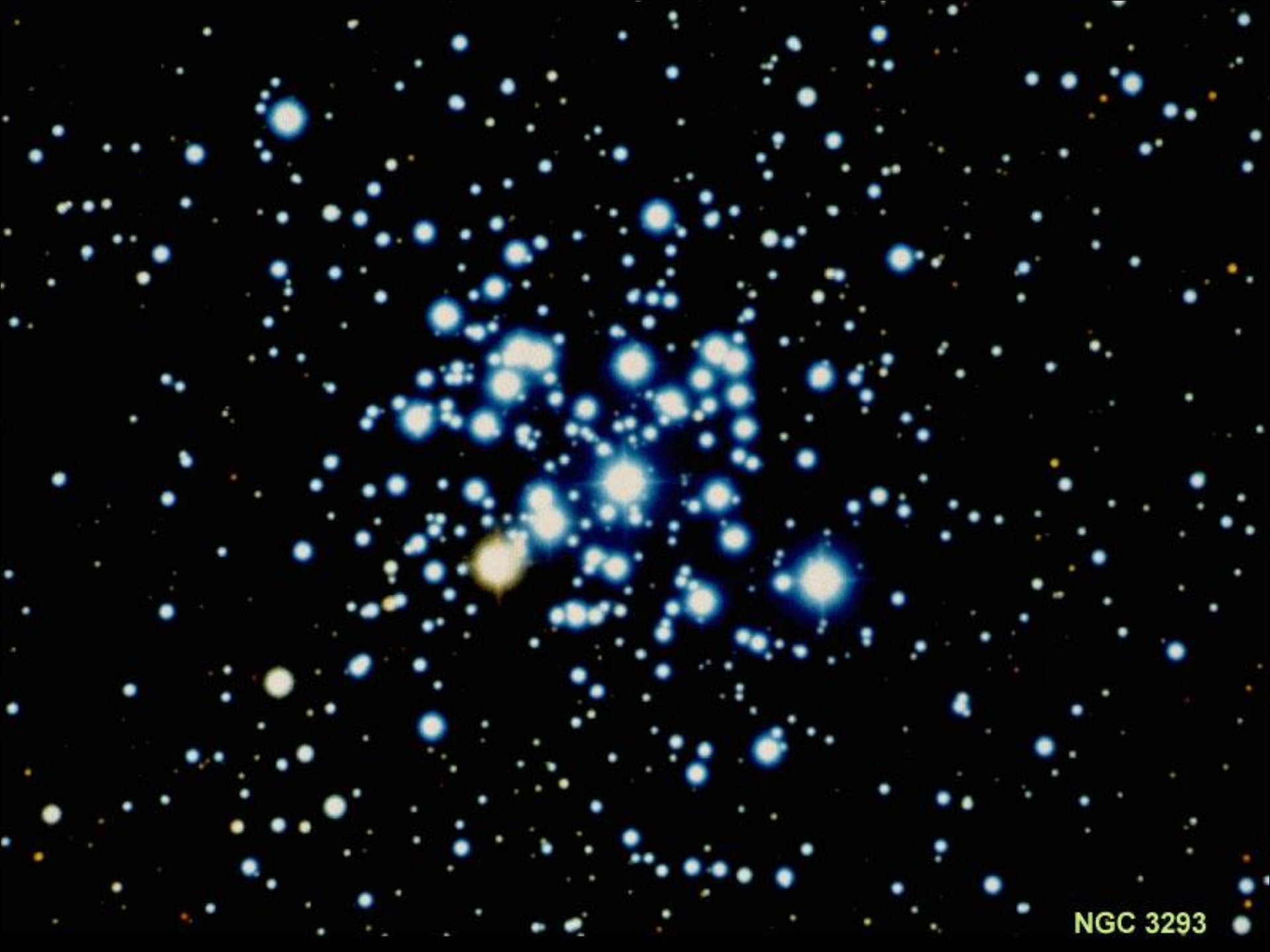
Star-Forming "Bubble" RCW 79

Spitzer Space Telescope • IRAC

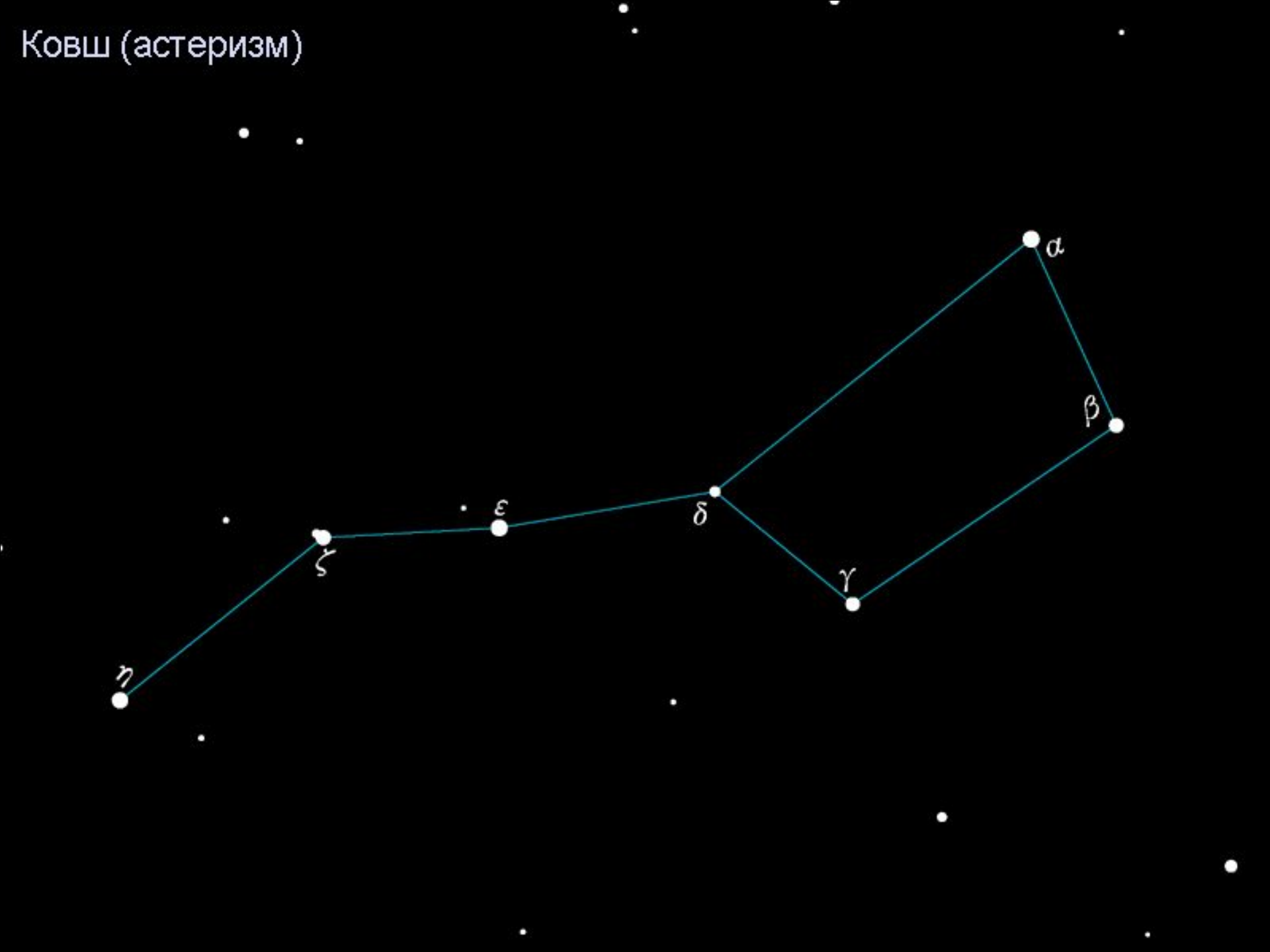
NASA / JPL-Caltech /

E. Churchwell (University of Wisconsin-Madison)

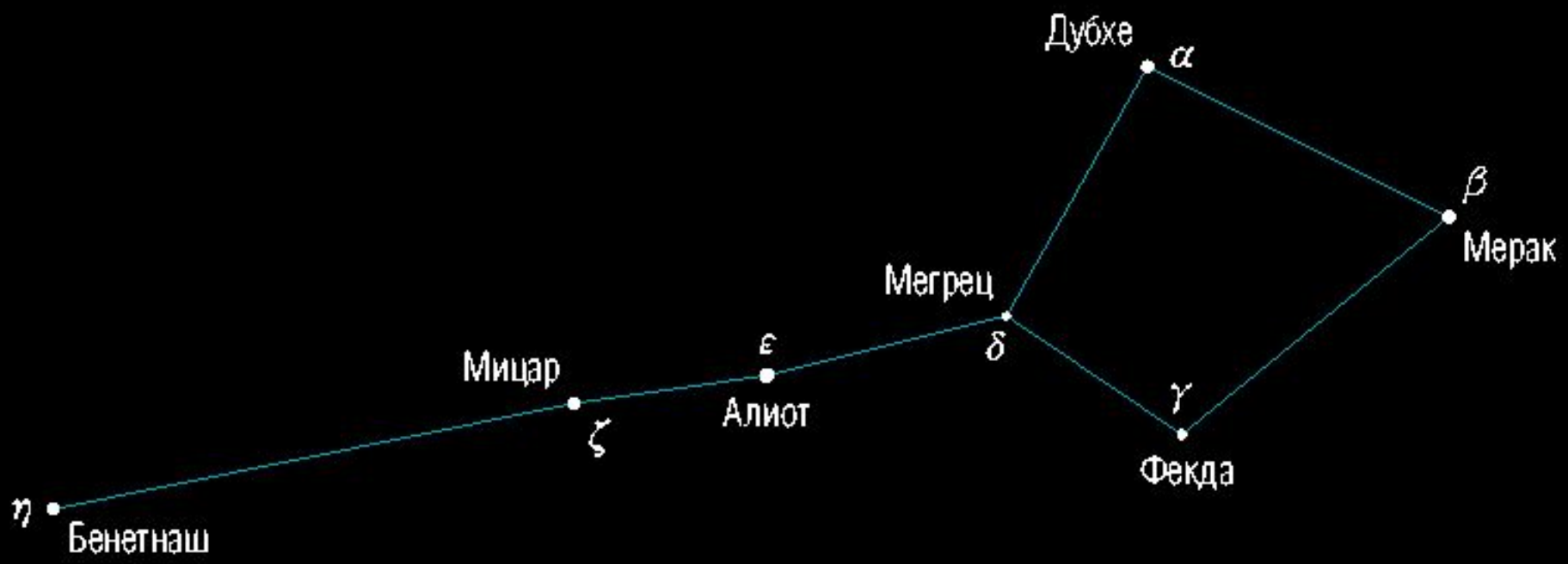

OB cluster
IRS 9
30″
3.3 light-years
N
E


NGC 3293

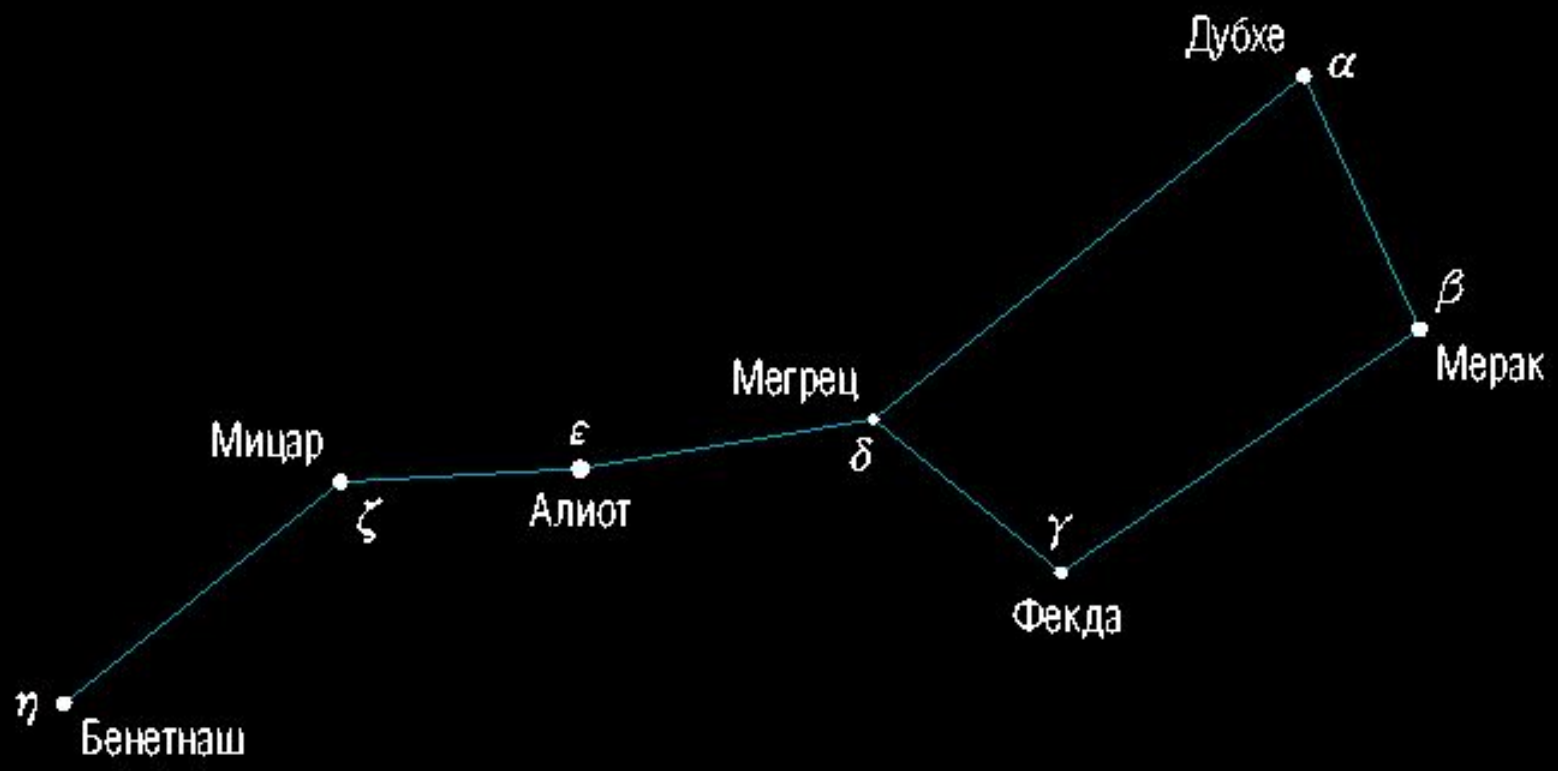
Ковш (астеризм)



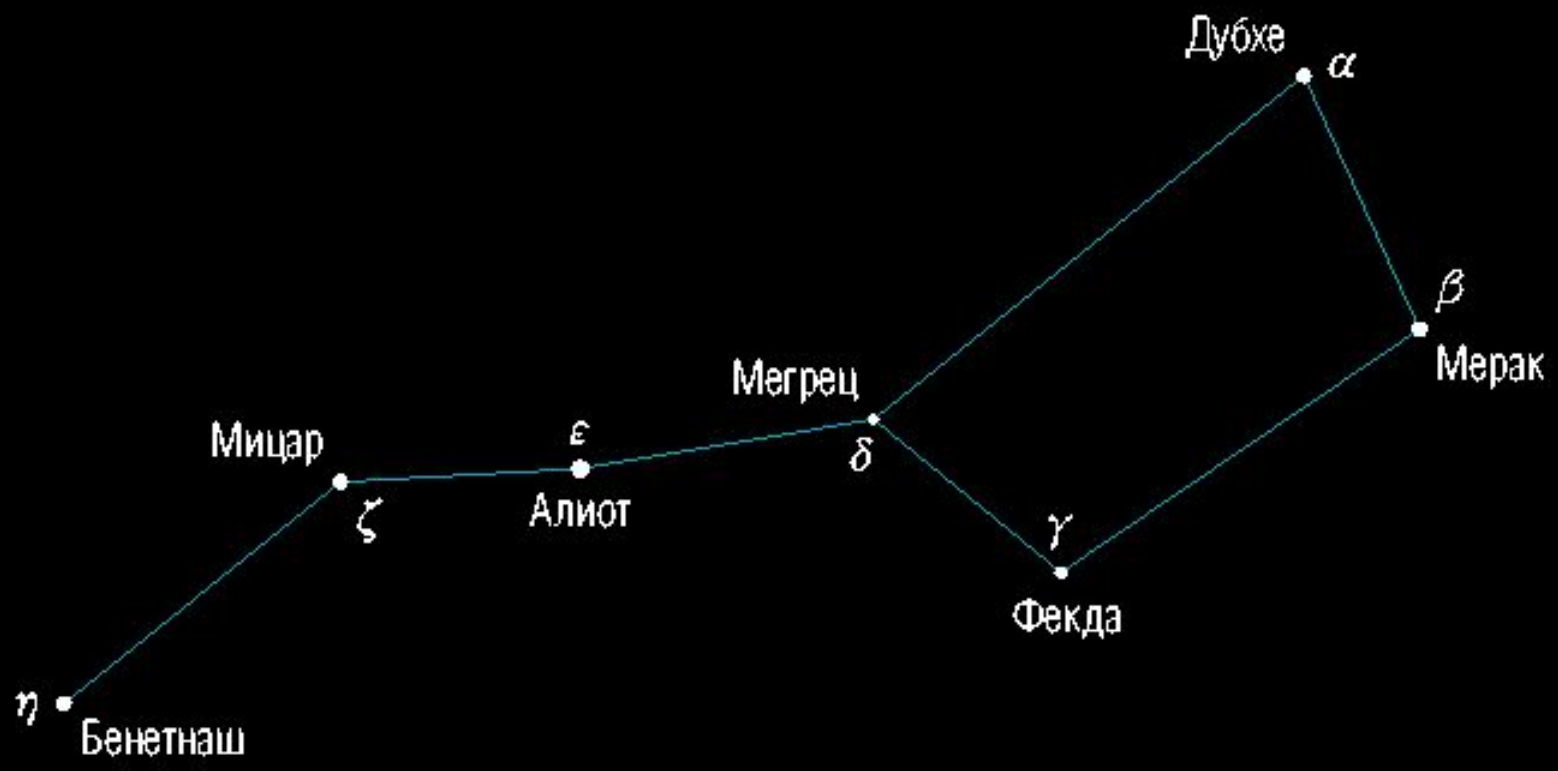
100 000 лет тому назад



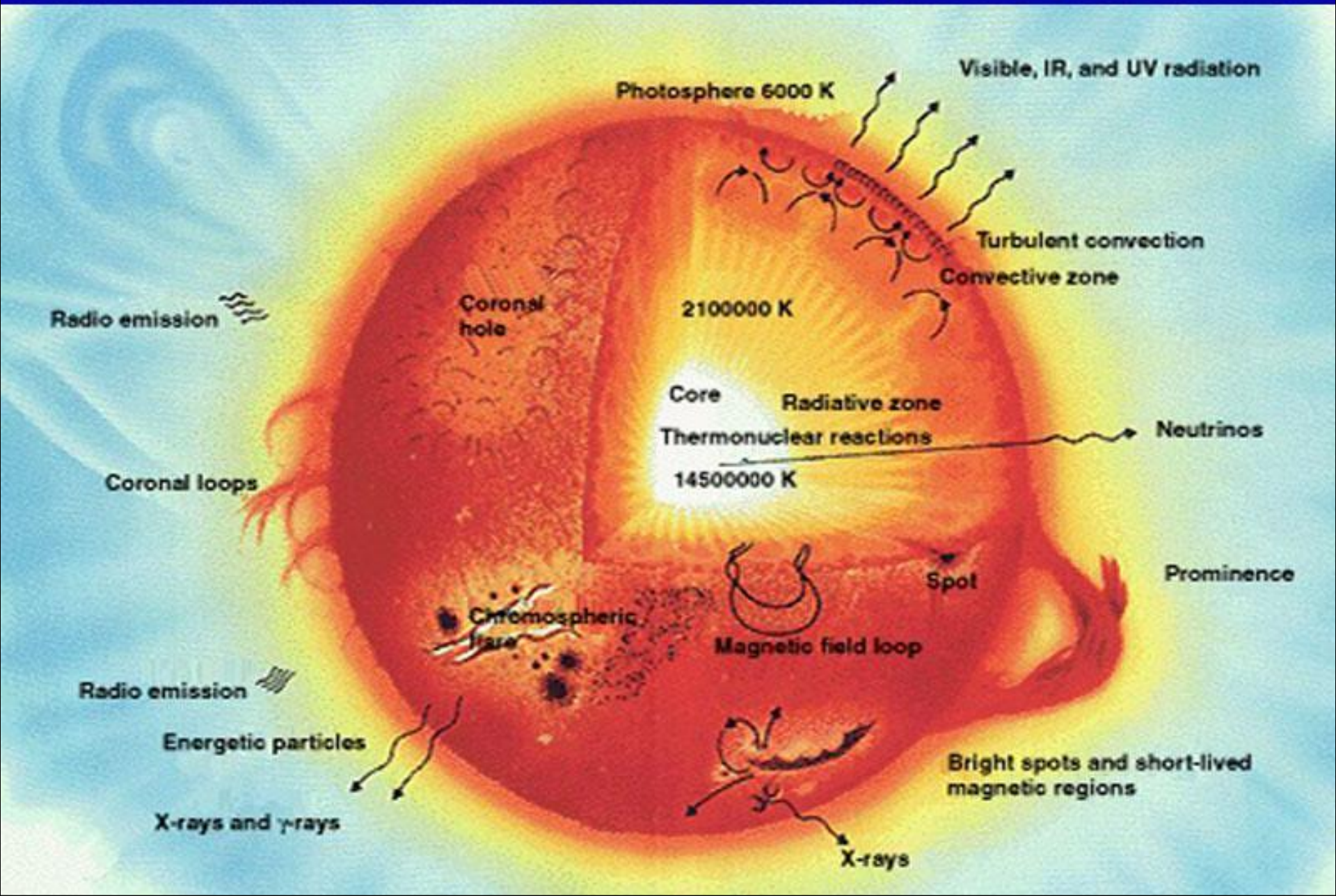
В настоящее время



В настоящее время

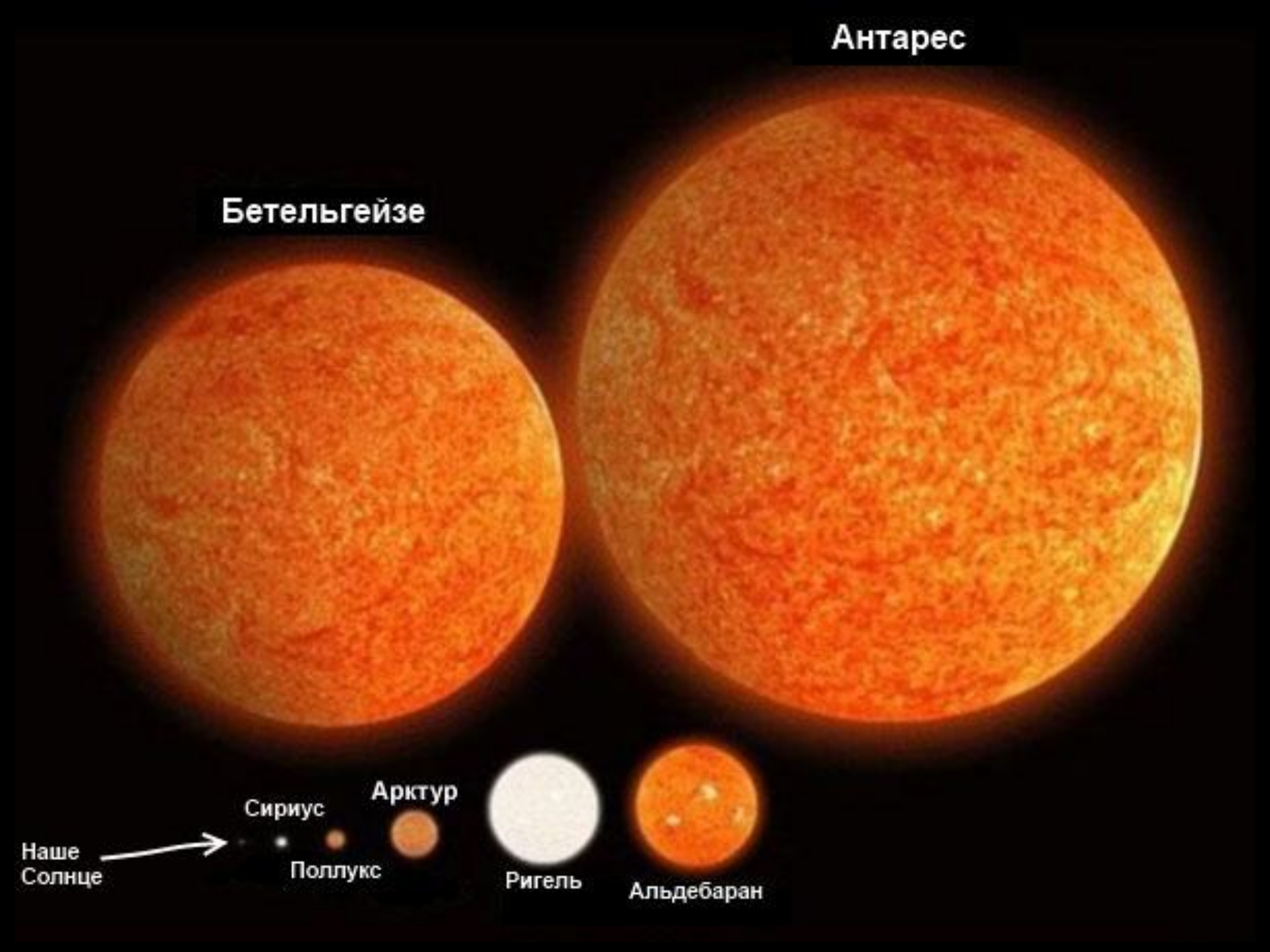


С возрастом мощность Солнца возрастает

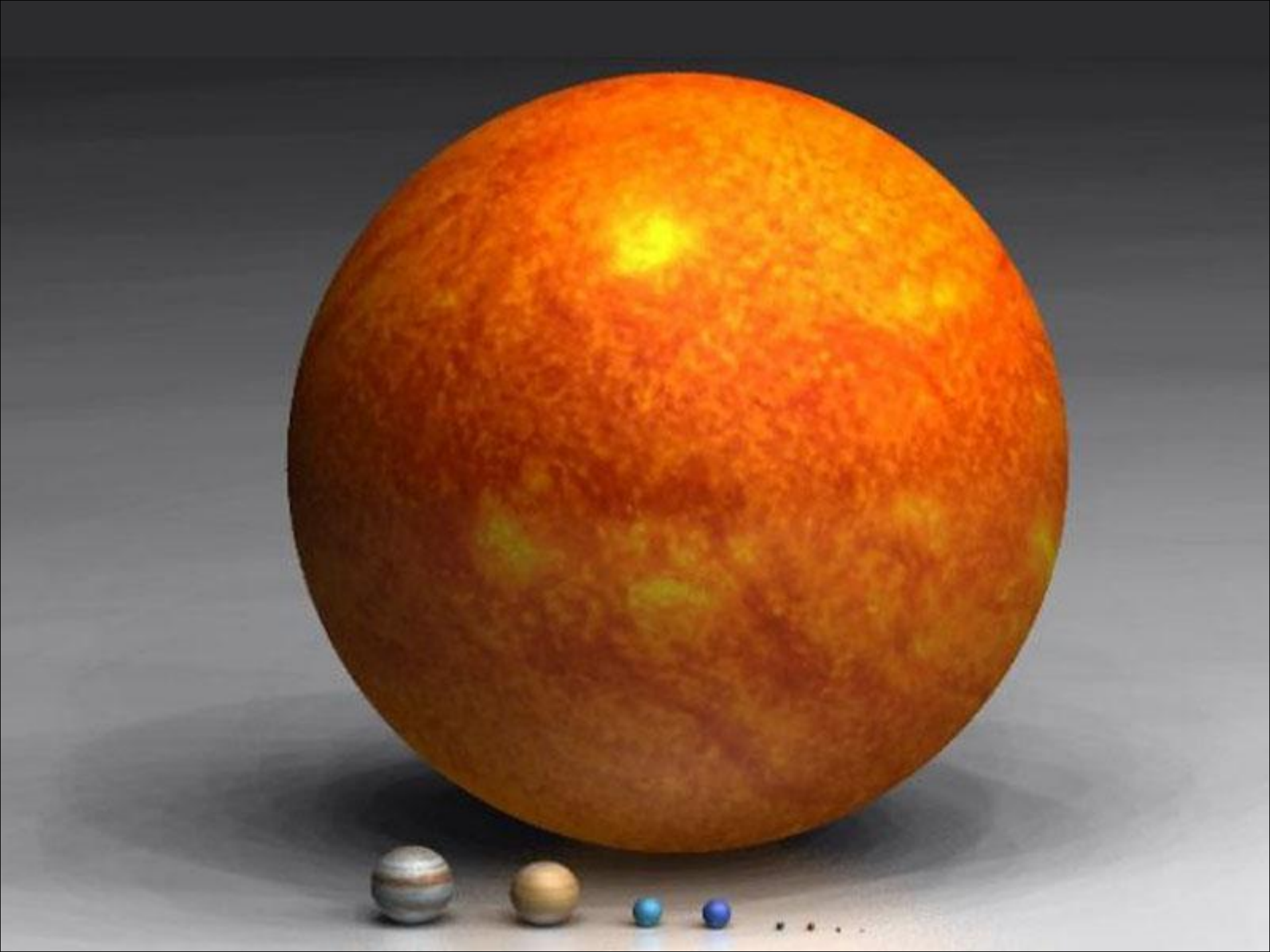


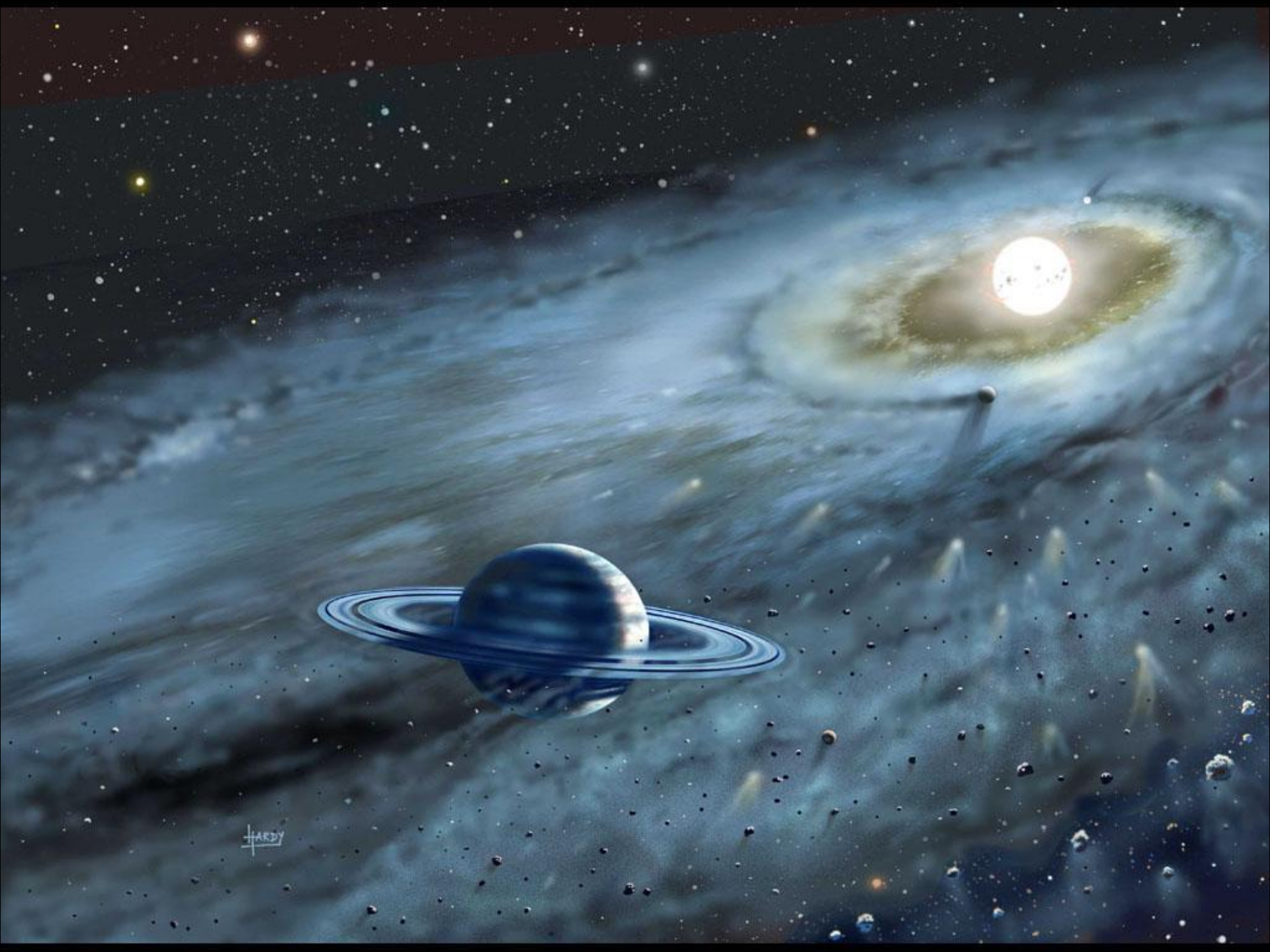
Воздушный шарик — модель **красного гиганта**

Чем больше размер оболочки, тем она прозрачнее


Антарес
Бетельгейзе
Наше Солнце
Сириус
Поллукс
Арктур
Ригель
Альдебаран

Эволюция Солнца

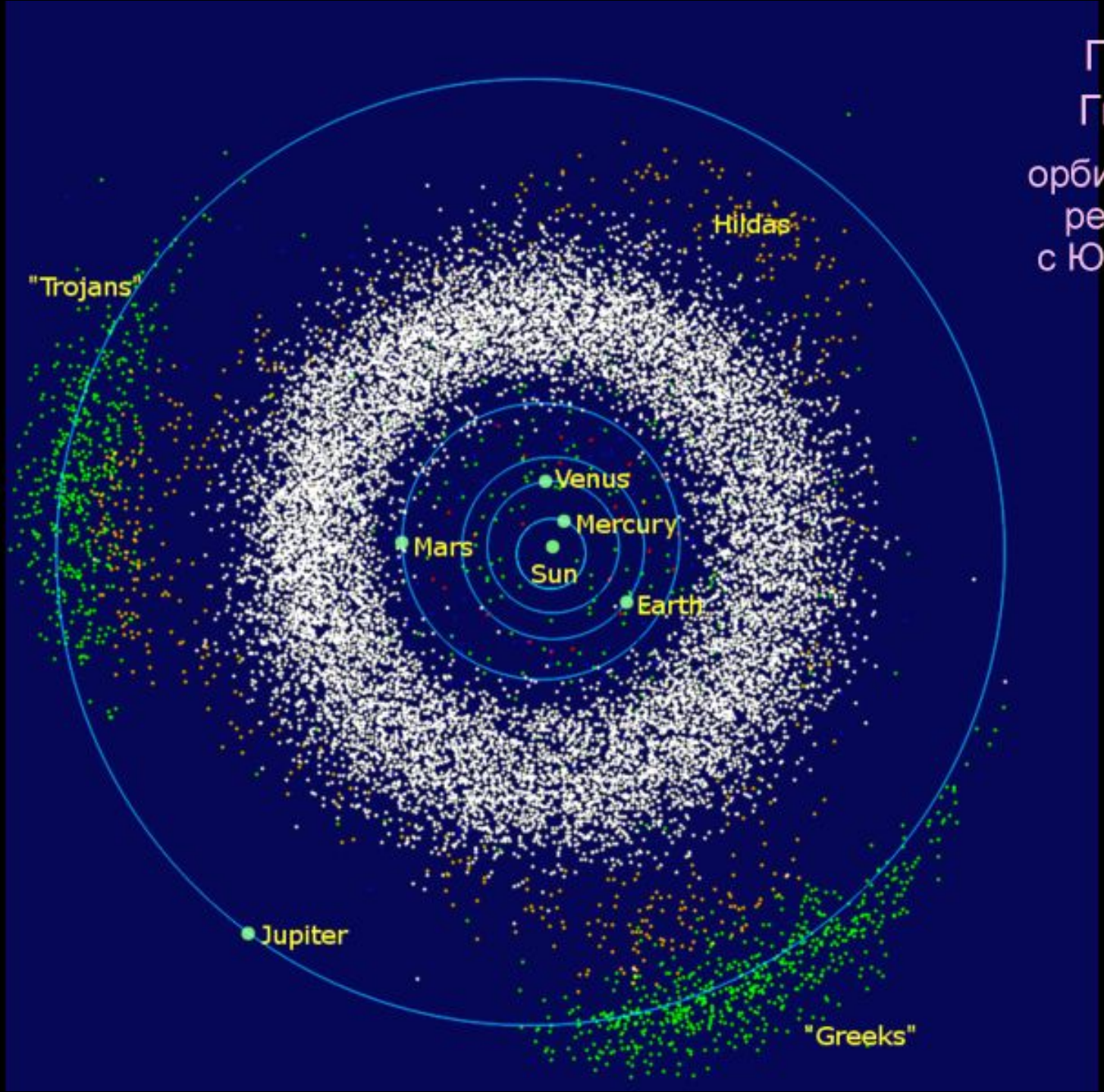



HARDY

Троянцы

Группа Гильды

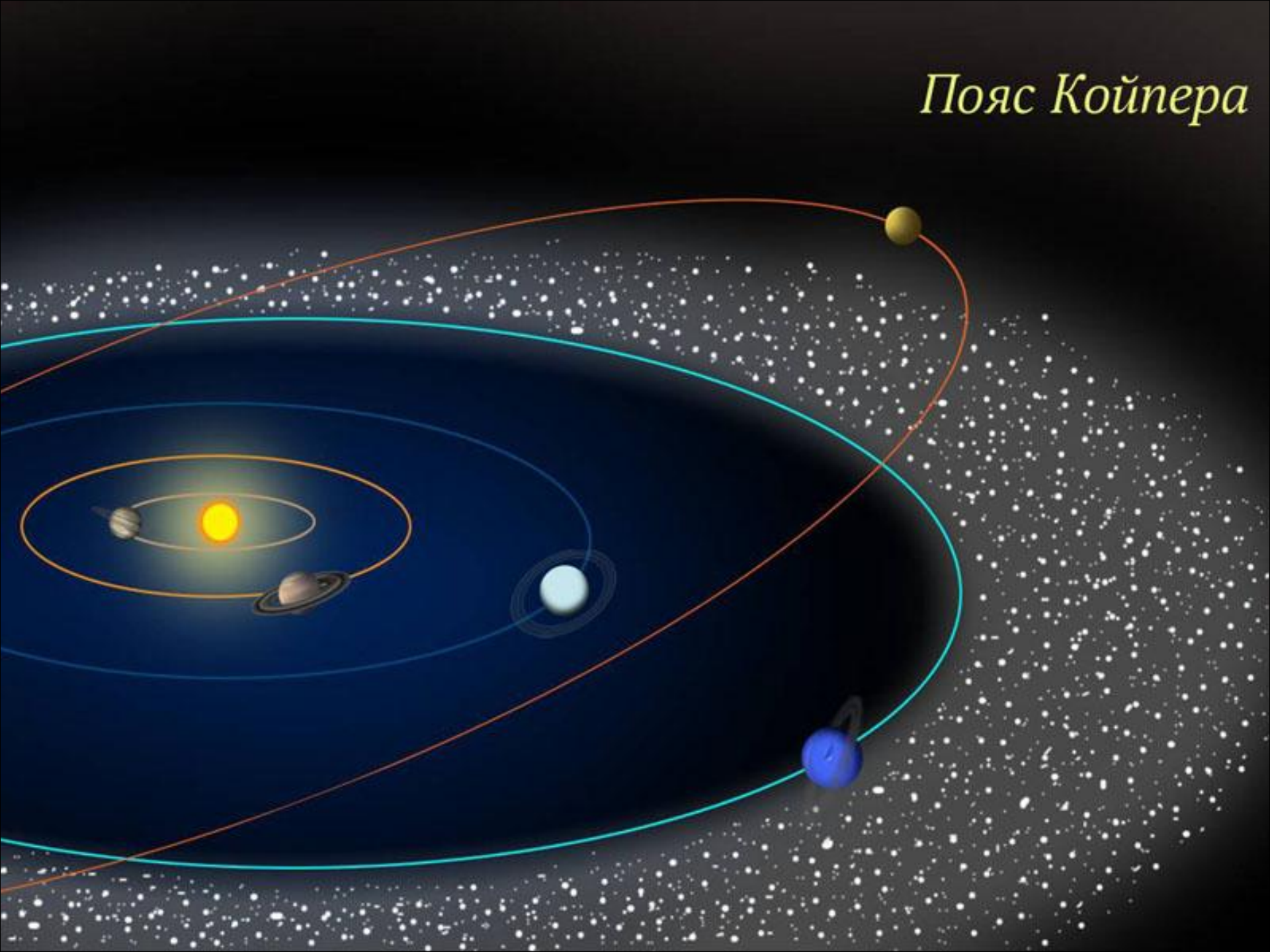
орбитальный резонанс с Юпитером 2:3

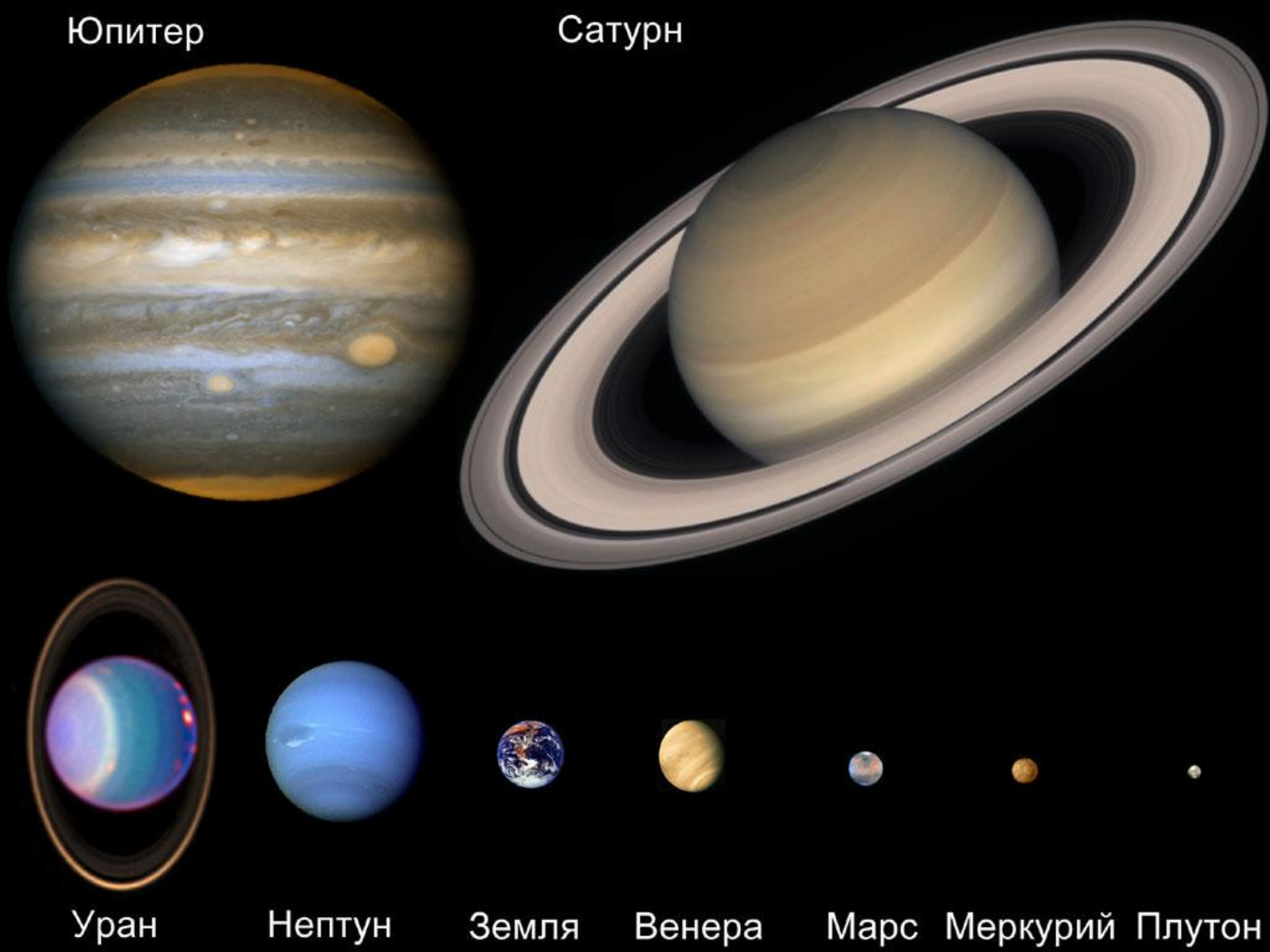


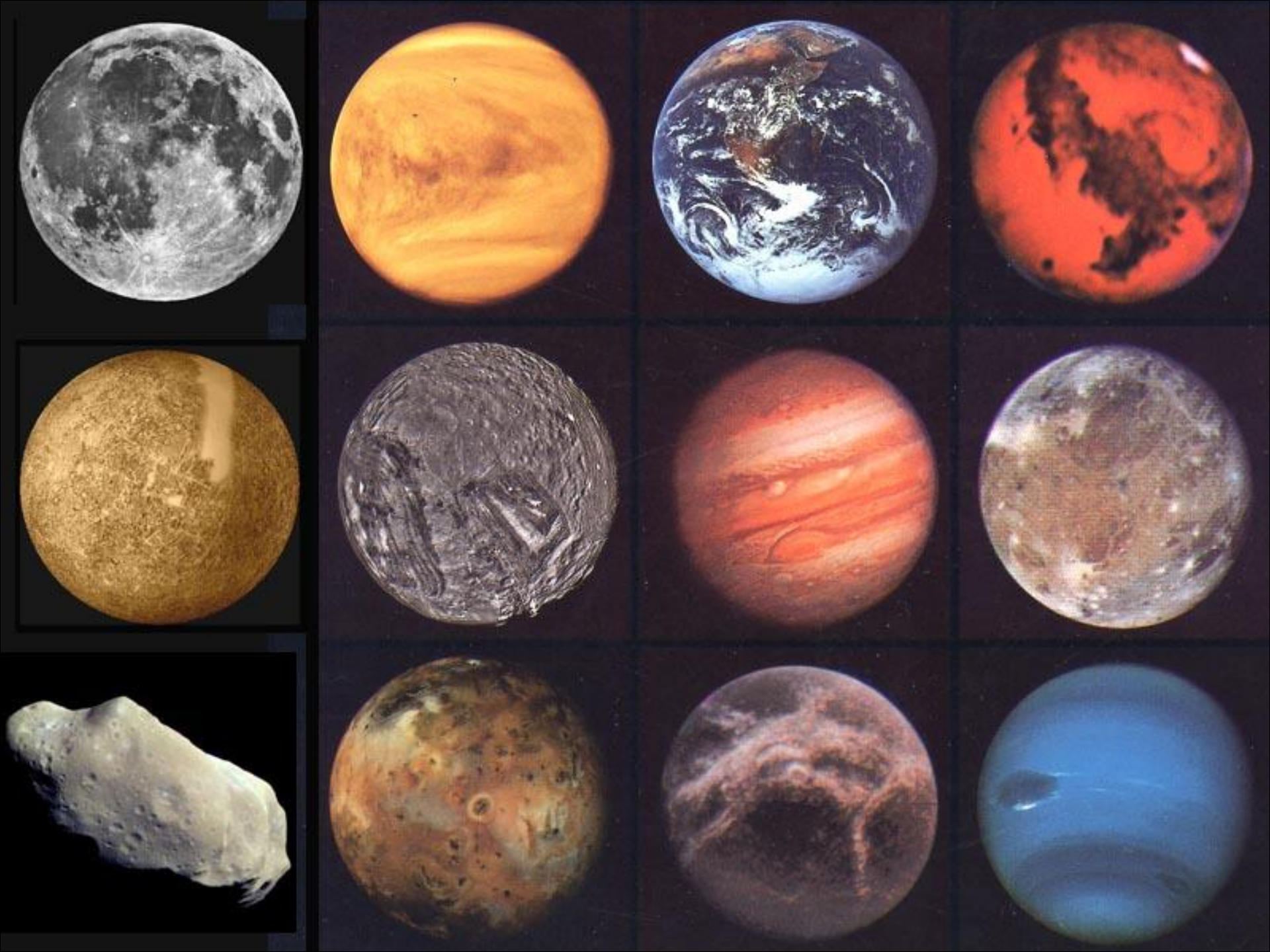
Юпитер

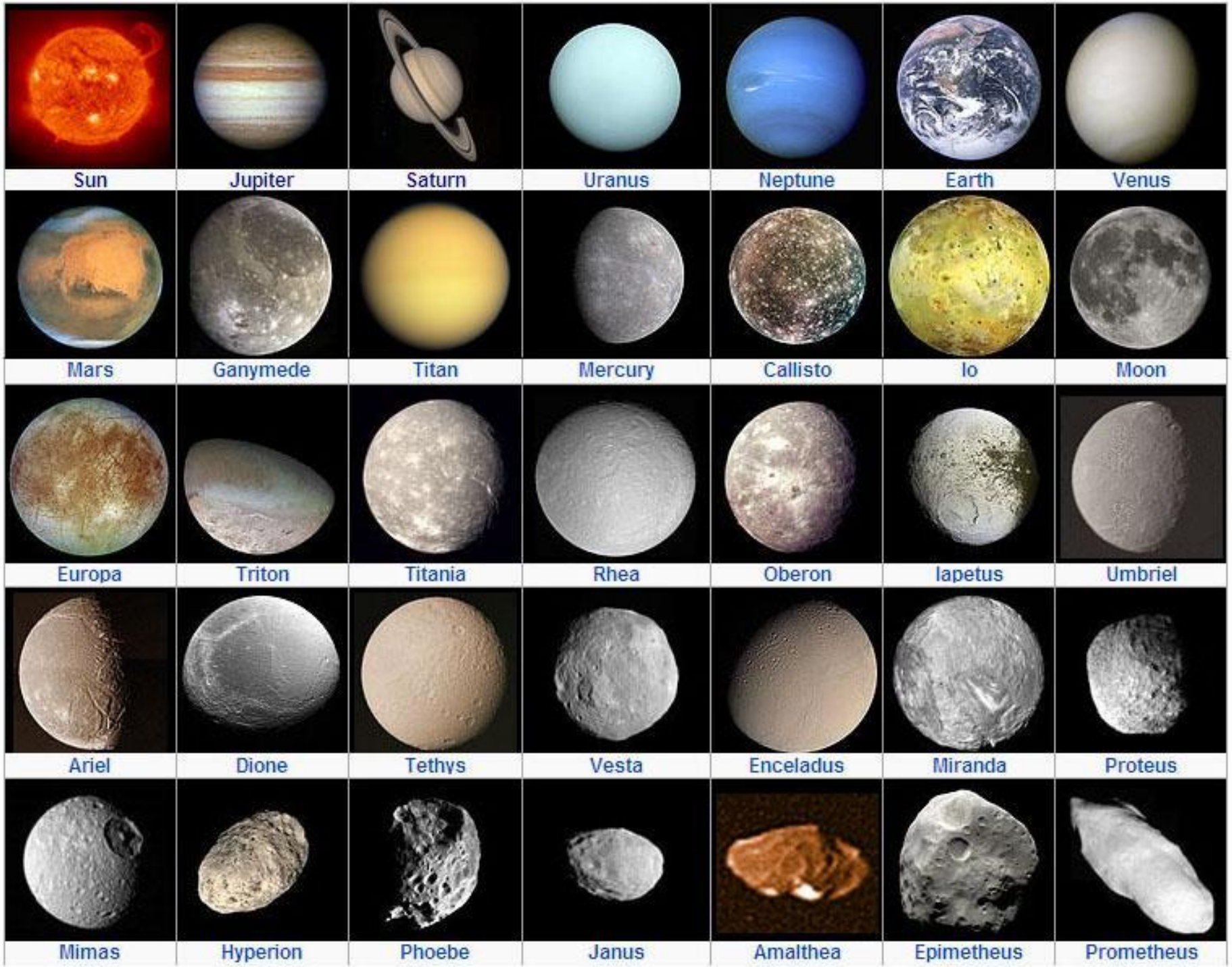
Греки

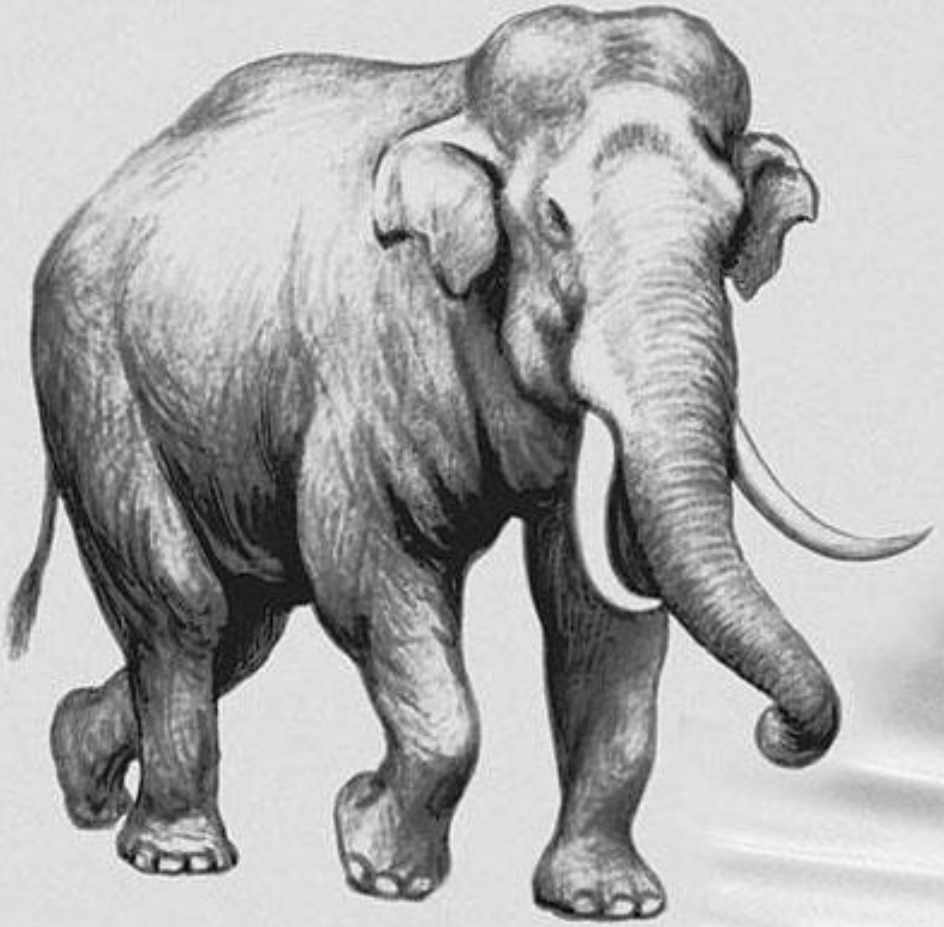
Пояс Койпера




Юпитер
Сатурн
Уран
Нептун
Земля
Венера
Марс
Меркурий
Плутон




Sun
Jupiter
Saturn
Uranus
Neptune
Earth
Venus
Mars
Ganymede
Titan
Mercury
Callisto
Io
Moon
Europa
Triton
Titania
Rhea
Oberon
Iapetus
Umbriel
Ariel
Dione
Tethys
Vesta
Enceladus
Miranda
Proteus
Mimas
Hyperion
Phoebe
Janus
Amalthea
Epimetheus
Prometheus



Отсутствие единого масштаба затрудняет адекватное восприятие

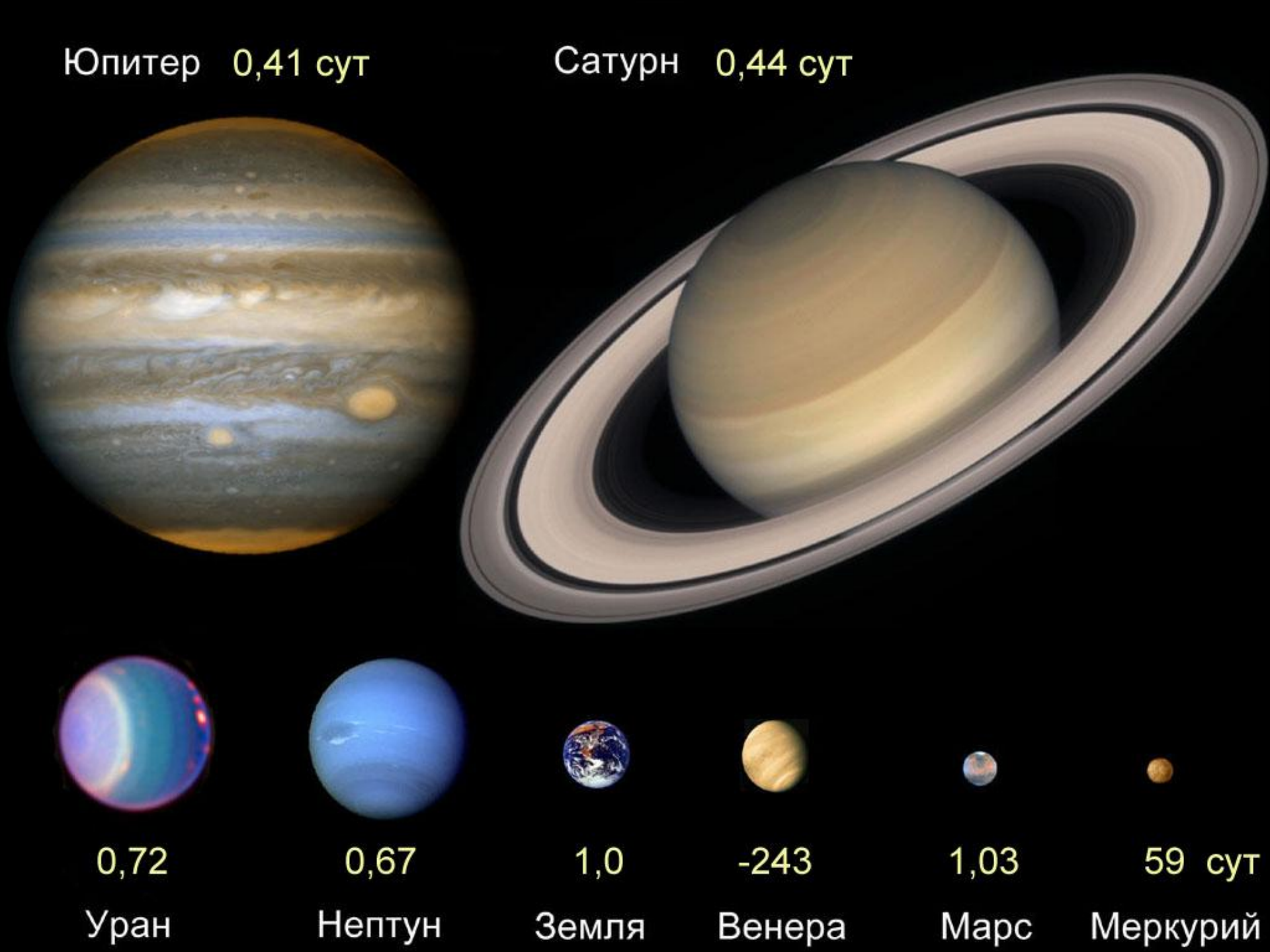
Слон: 3 метра, 5 тонн

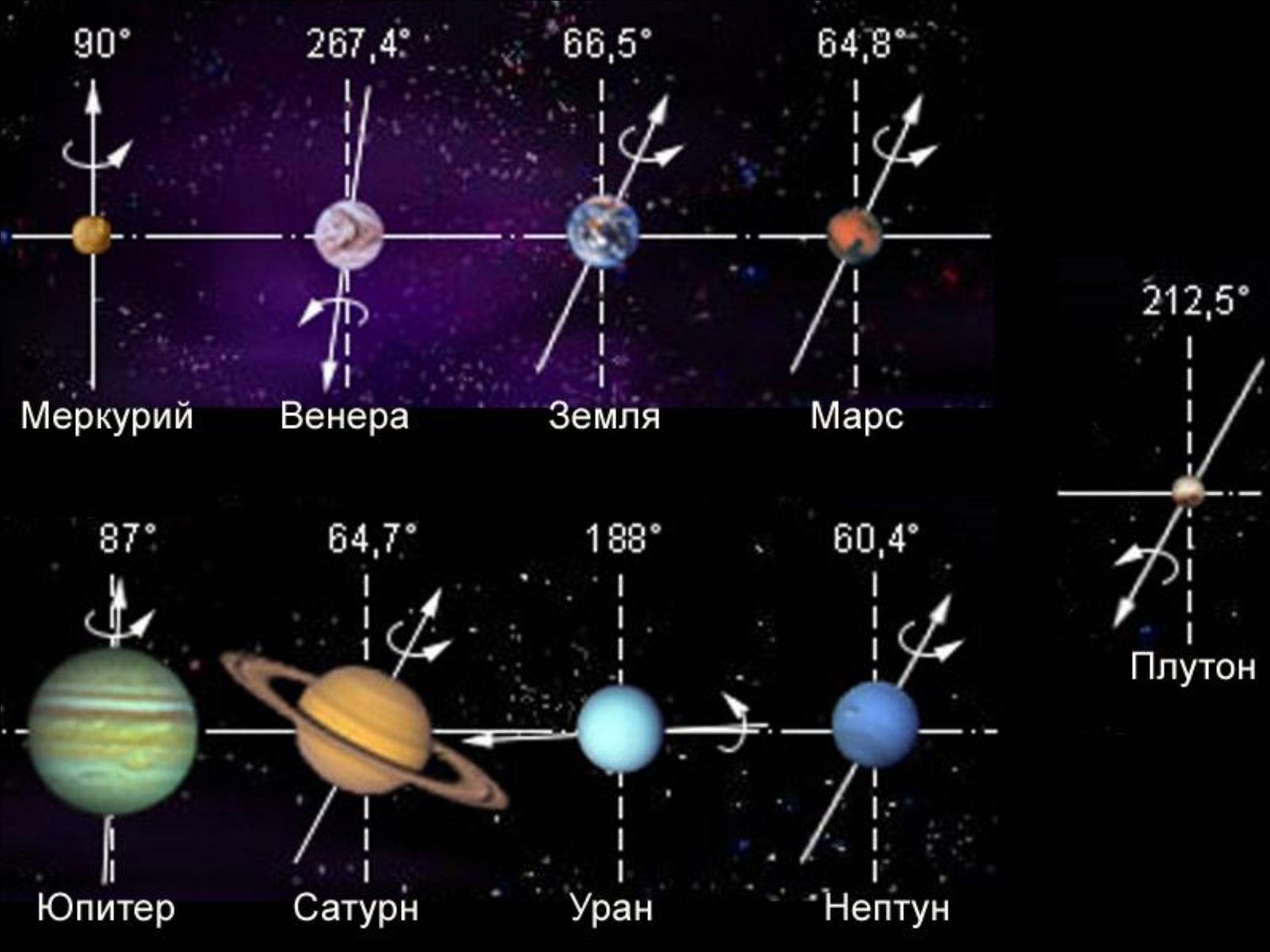
Водомерка: 1 см, 50 мг

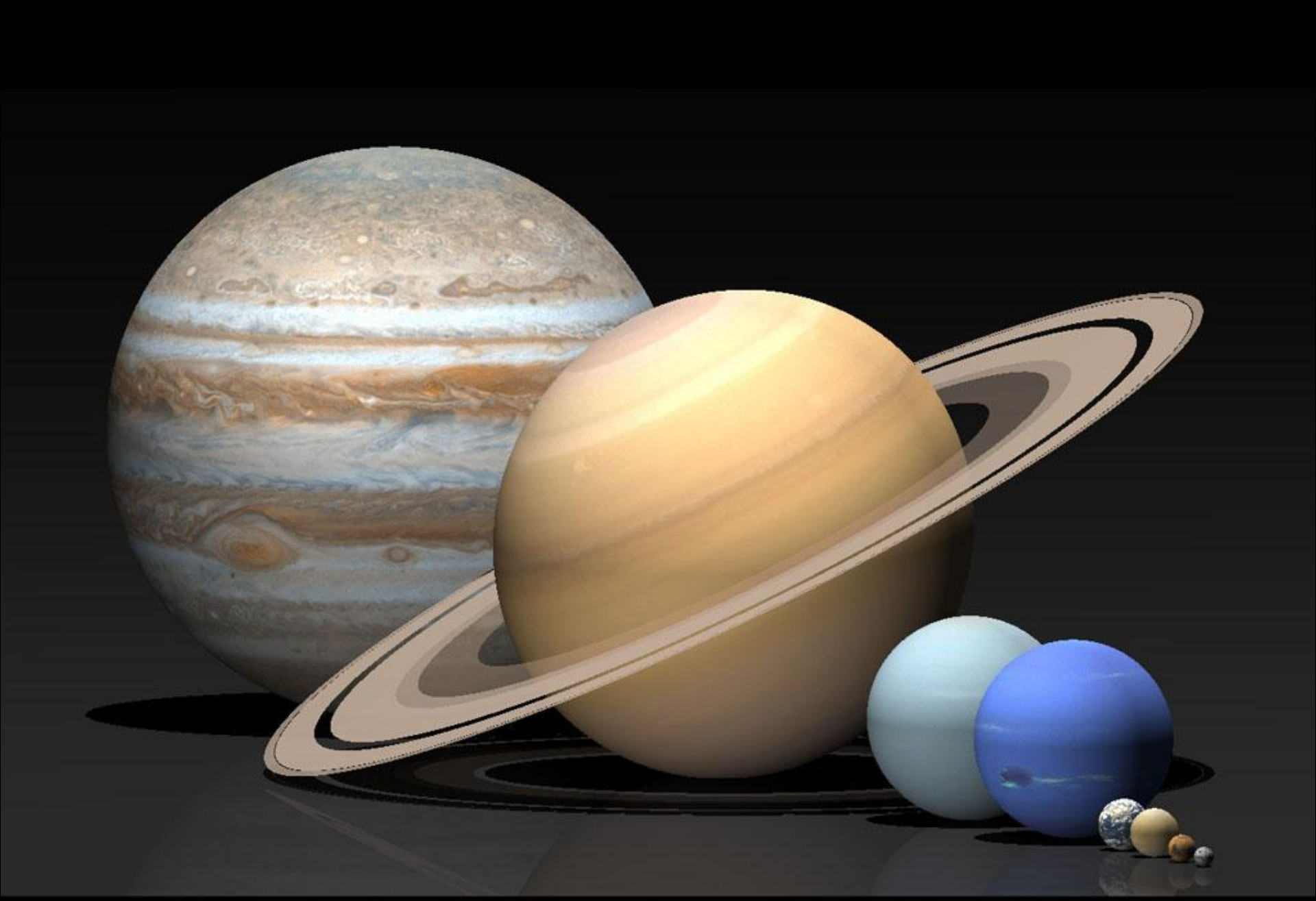
Размер 1:300

Масса 1: 100 млн

Луна - Солнце


Юпитер 0,41 сут
Сатурн 0,44 сут
0,72
Уран
0,67
Нептун
1,0
Земля
-243
Венера
1,03
Марс
59 сут
Меркурий

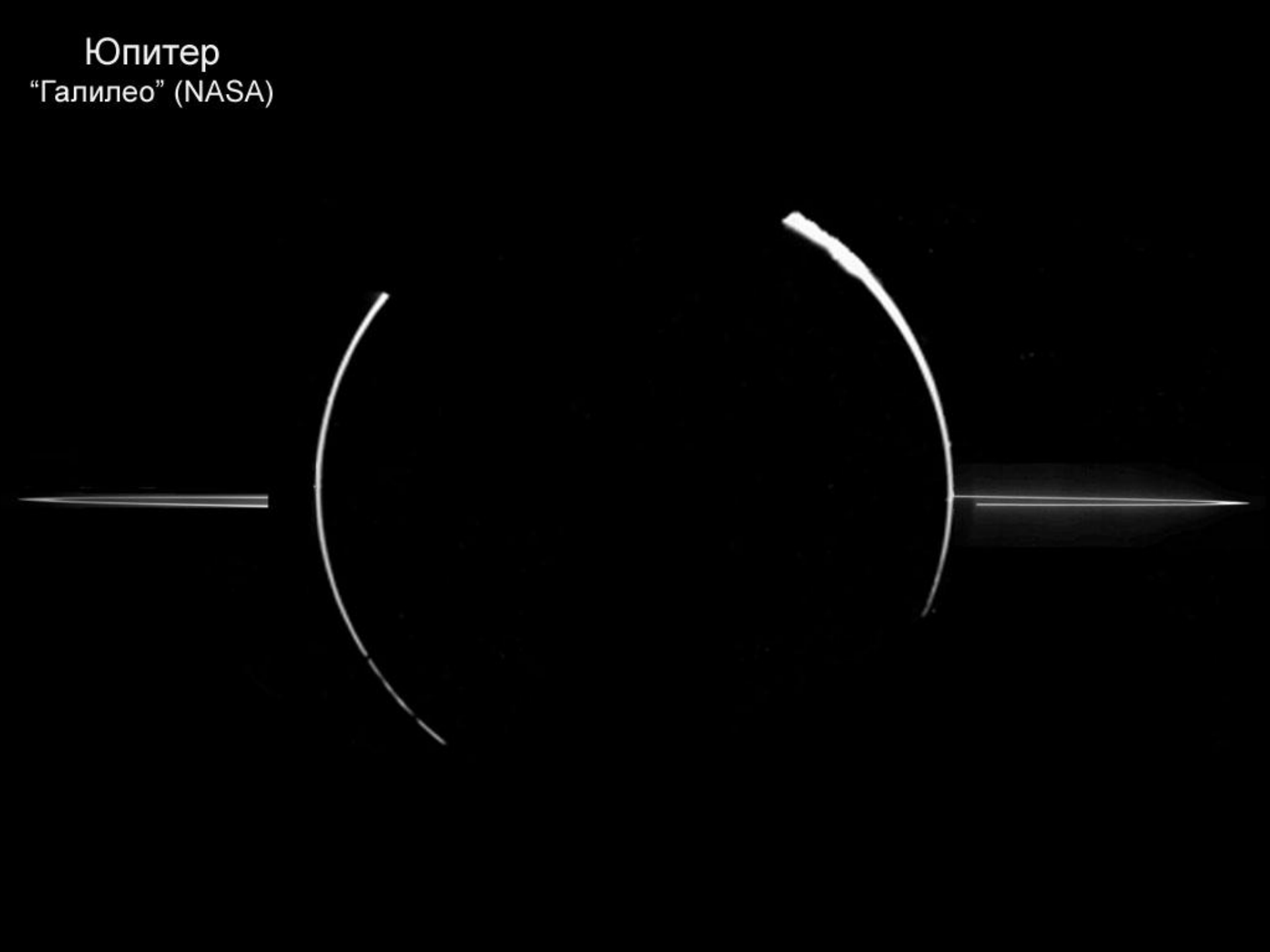

90°
267,4°
66,5°
64,8°
Меркурий
Венера
Земля
Марс
212,5°
Плутон
87°
64,7°
188°
60,4°
Юпитер
Сатурн
Уран
Нептун



Сатурн - уникальная “окольцованная” планета?

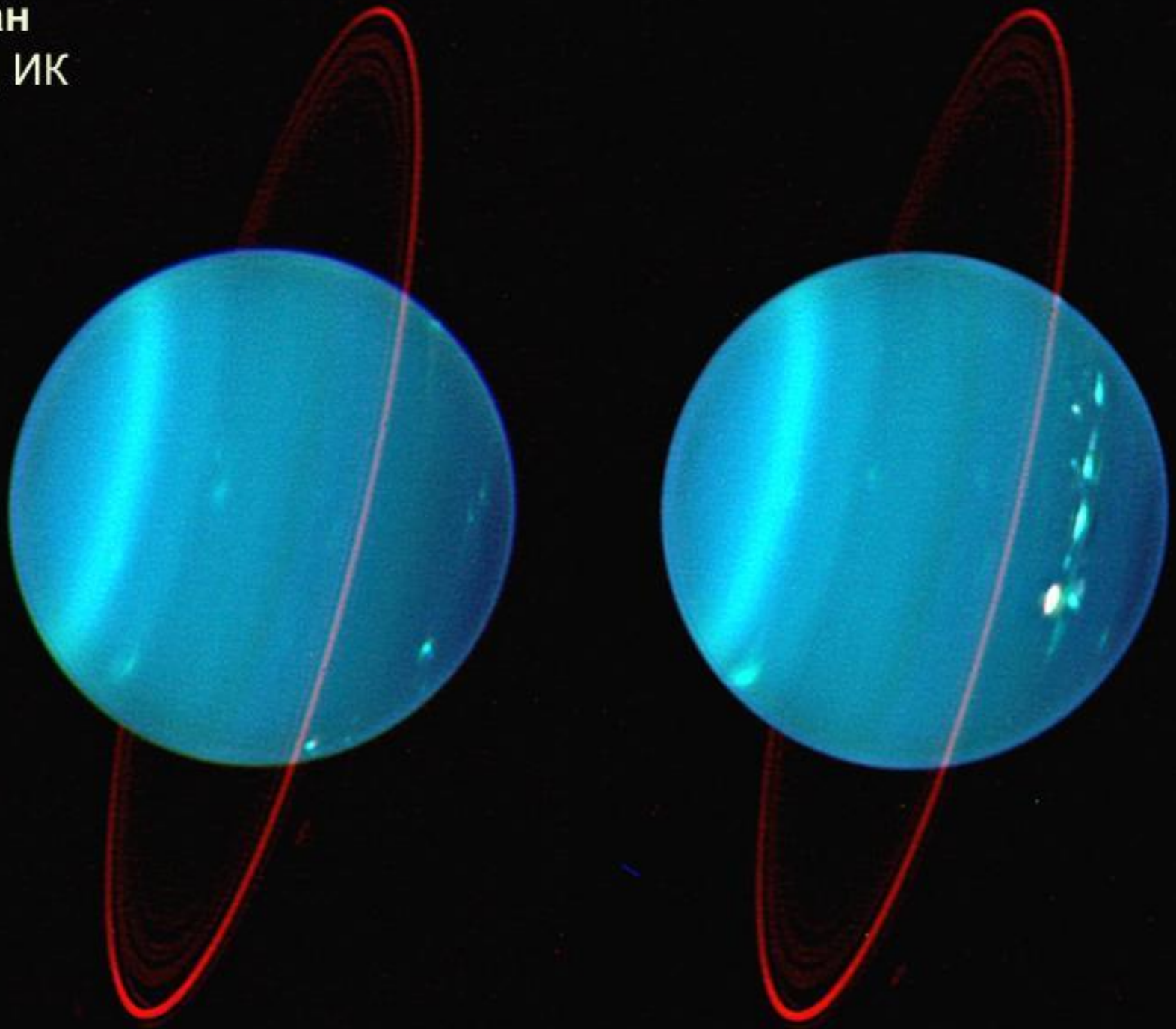
Юпитер

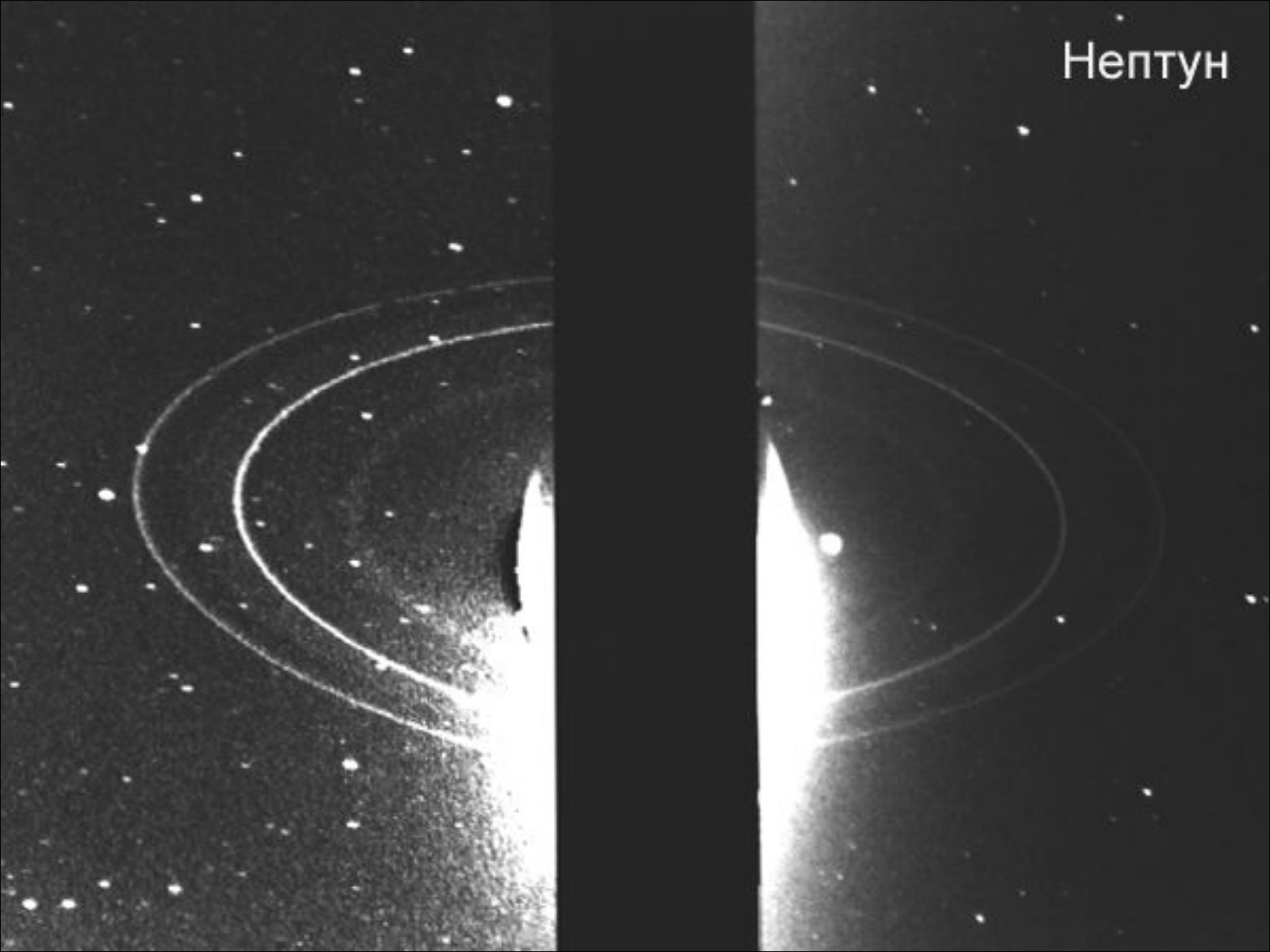
“Галилео” (NASA)

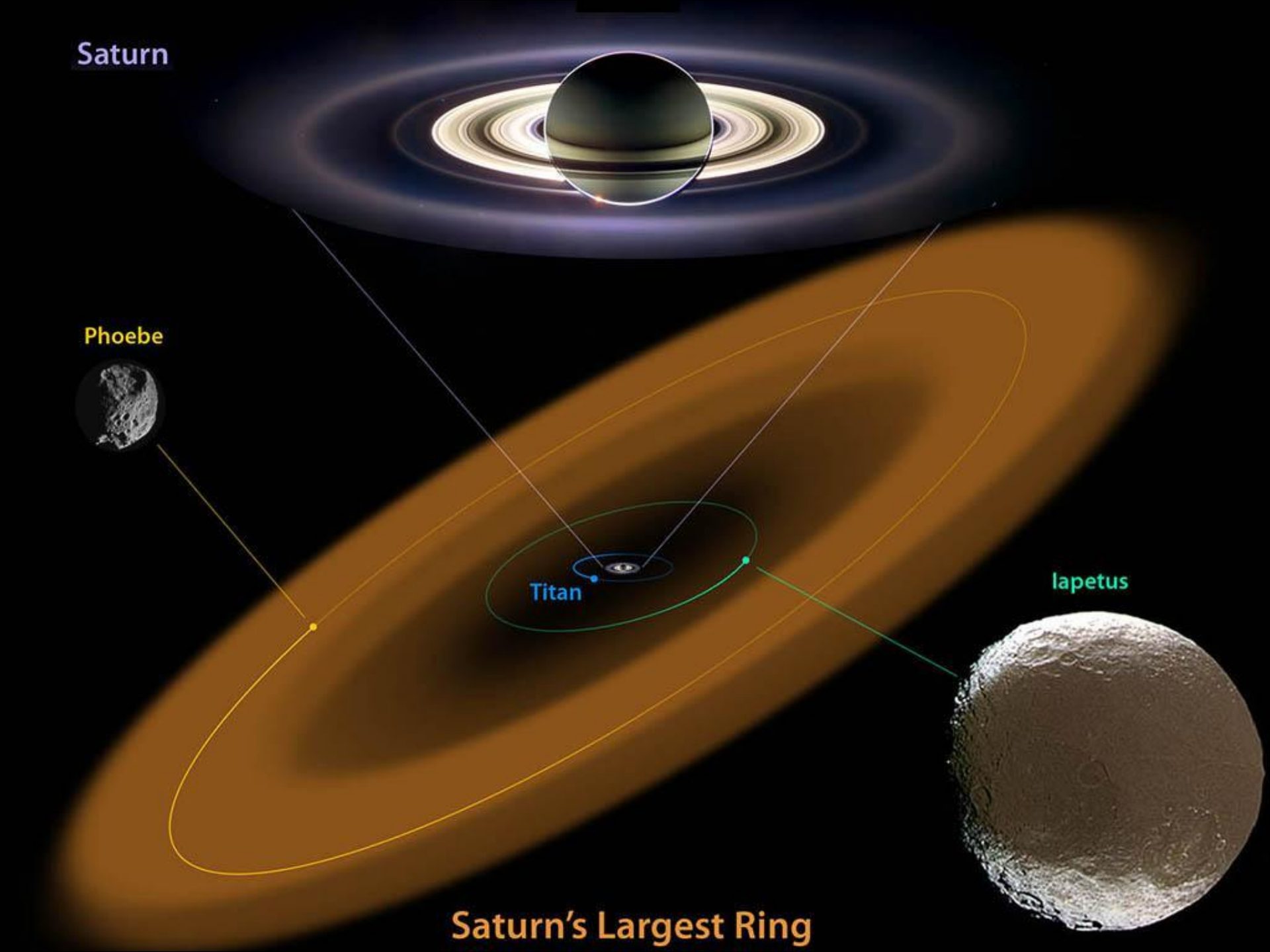


Уран

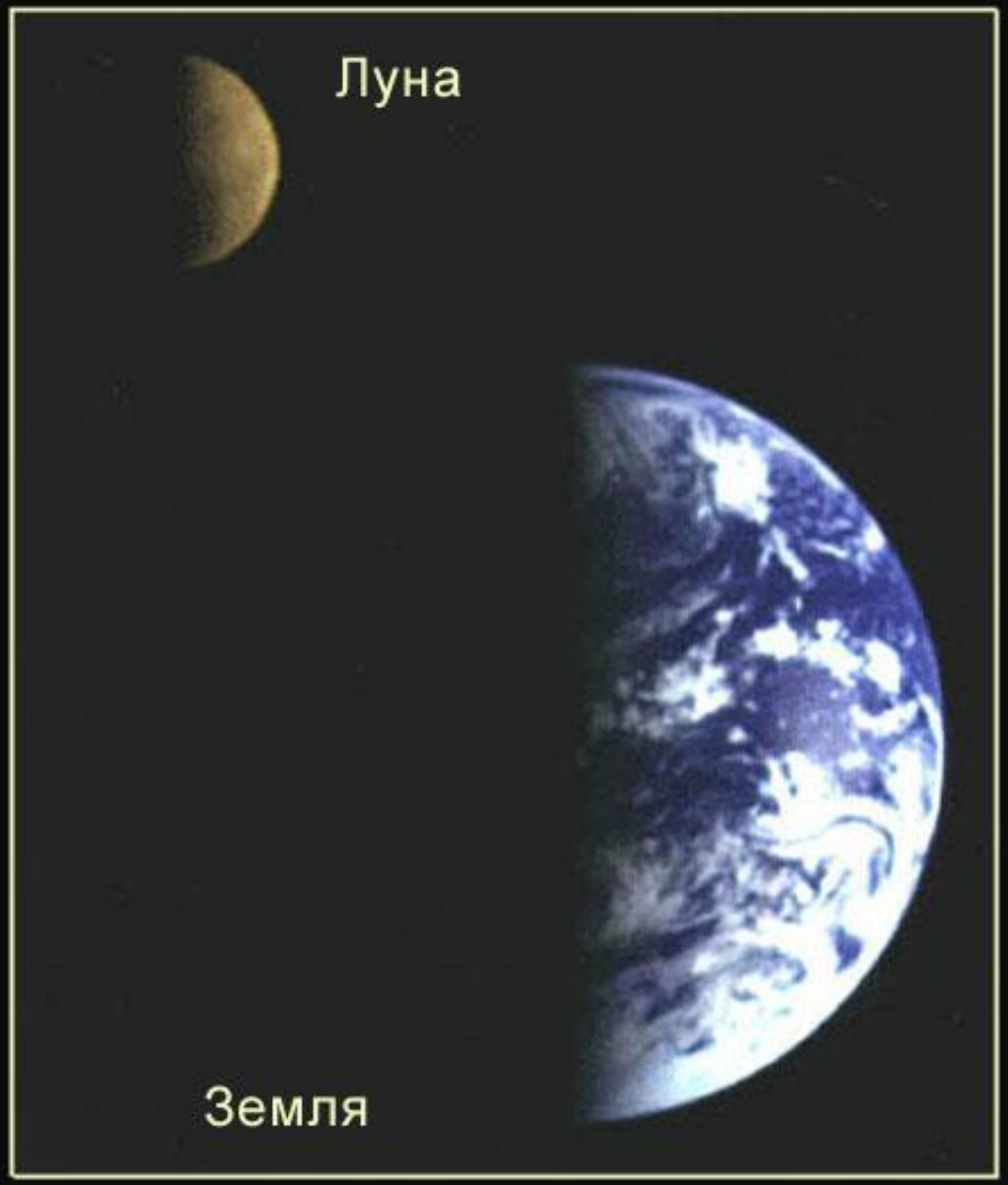
“Кек”, ИК




Нептун


Saturn
Phoebe
Titan
Iapetus
Saturn's Largest Ring

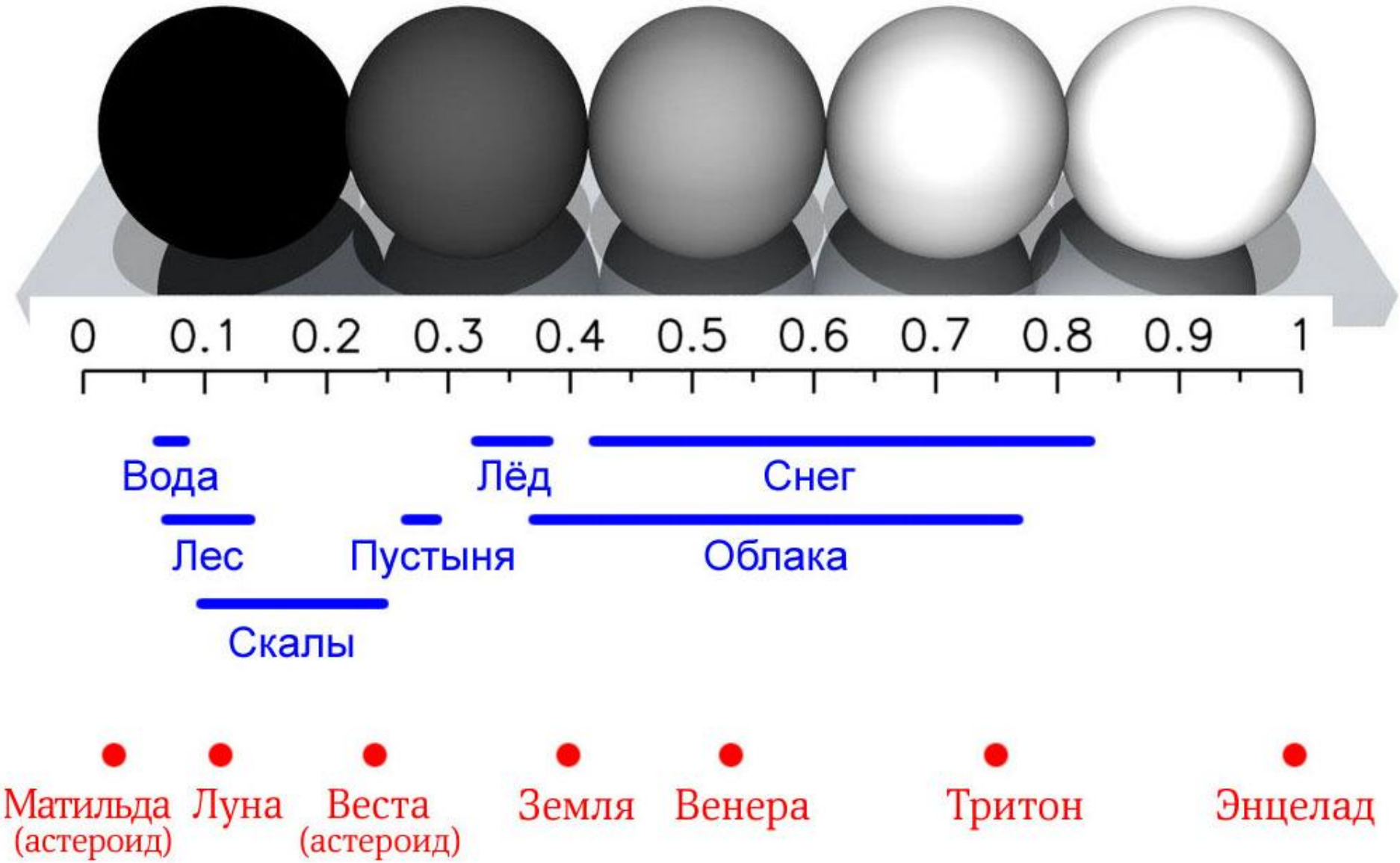
Яркость поверхности планеты зависит от наличия и свойств атмосферы



Яркость поверхности безатмосферного тела зависит от ее состава и структуры

Луна

Альбедо: доля солнечного света, отраженная поверхность



A = 0.99

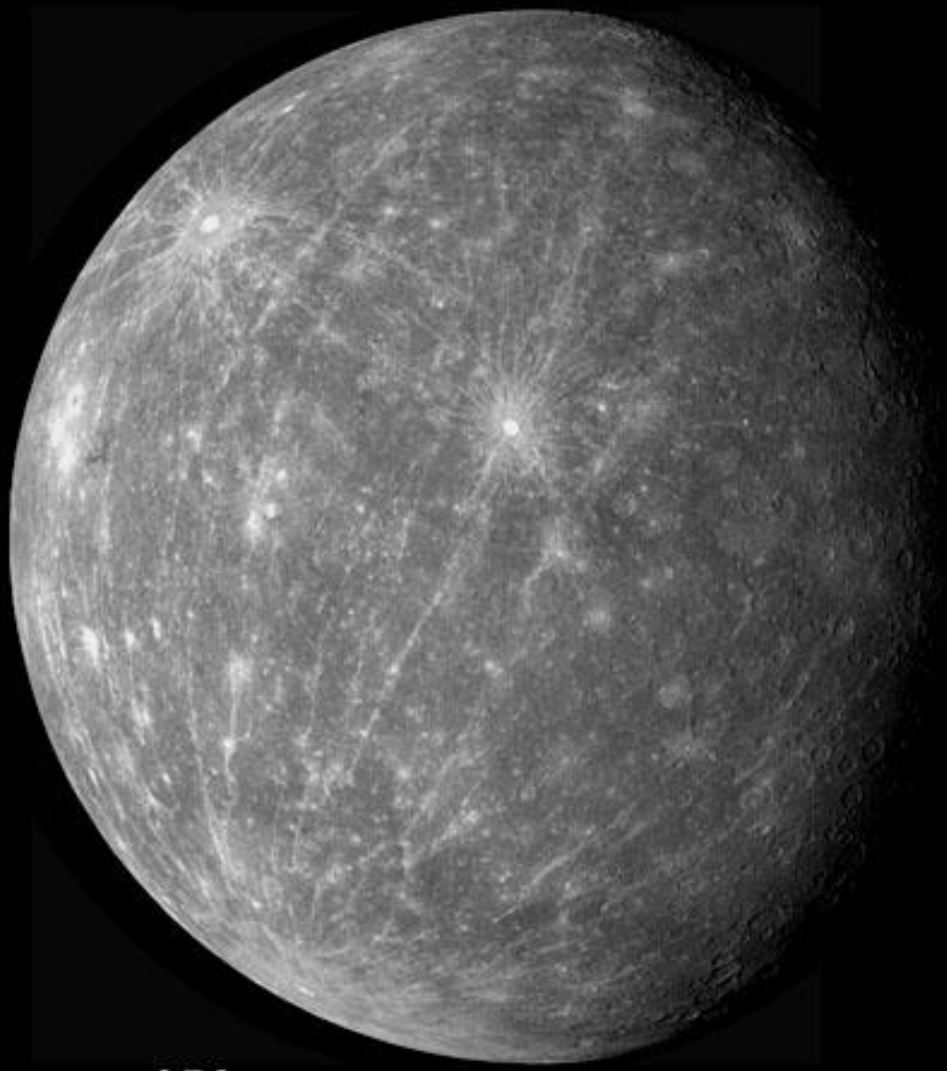
A = 0.31

A = 0.11

A = 0.05

Меркурий

$\rho = 5{,}4$ г/см^3

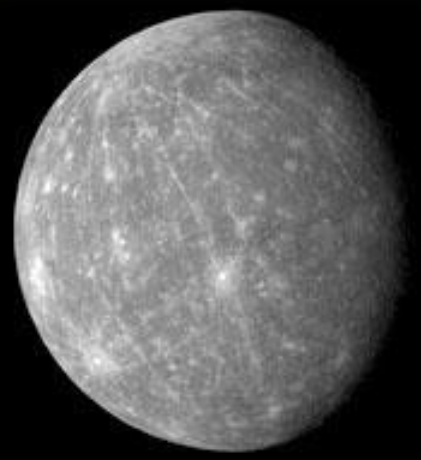
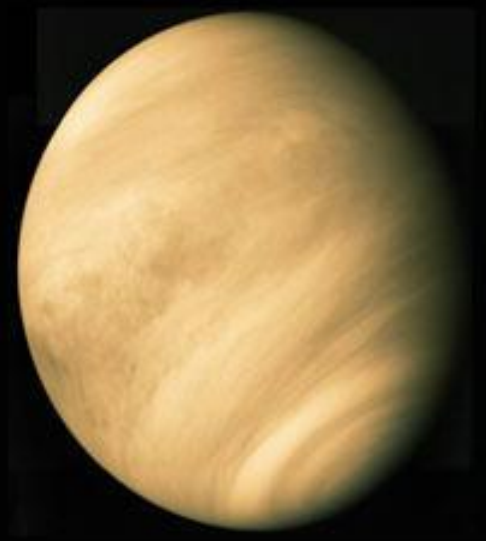


Железо и камень

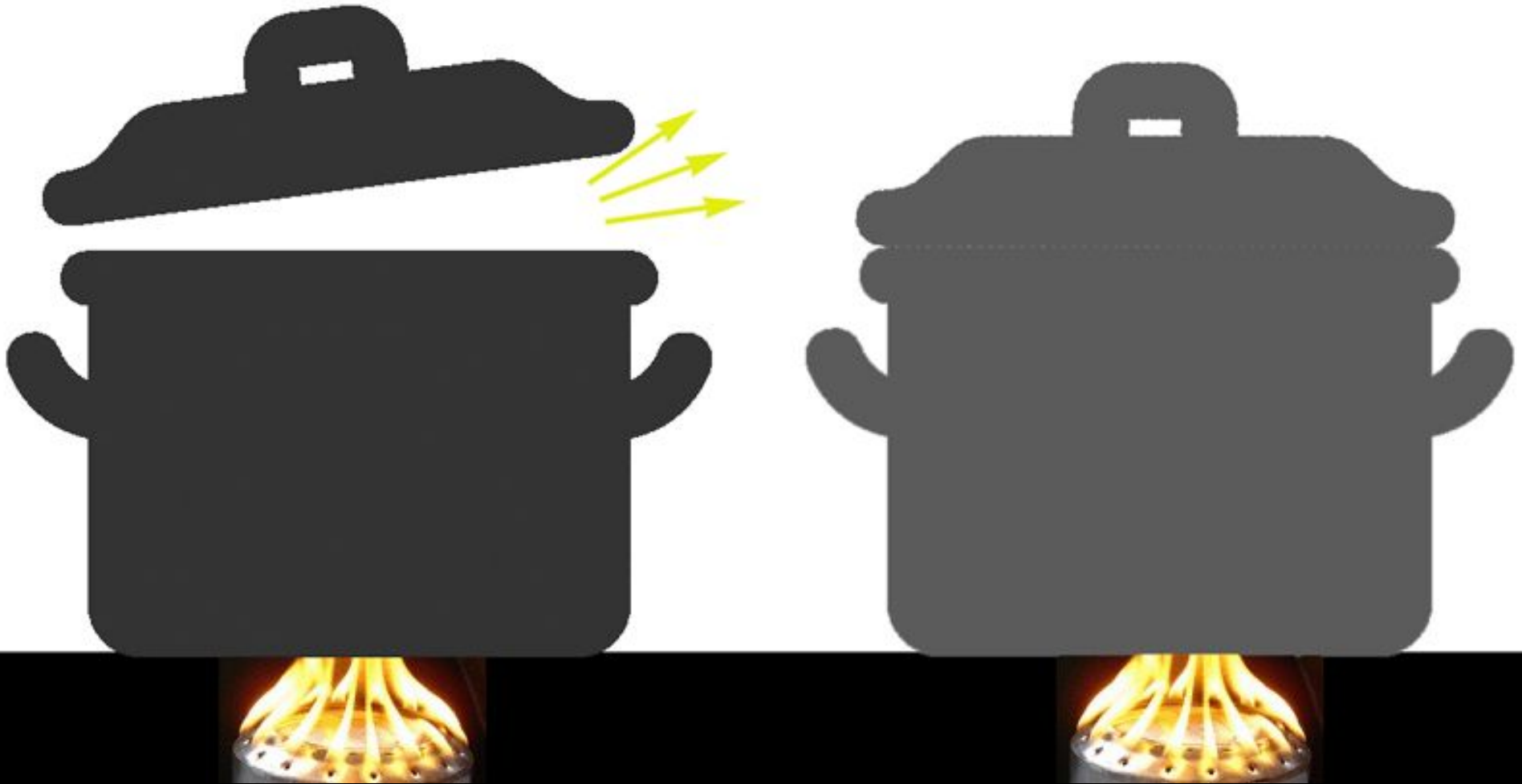
Энцелад

$\rho = 1{,}6$ г/см^3

Лёд и камень

Расстояние от Солнца	Альбедо (по Бонду)		Средняя температура поверхности
0,39 а.е.	0,07		-75 °C у полюсов +67 °C на экваторе
0,72 а.е.	0,90		+462 °C на всей поверхности

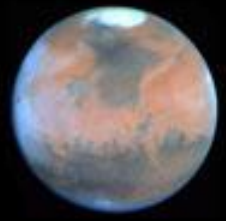
Парниковый эффект



ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

Влияние парникового эффекта, ΔT (K)

Луна и Меркурий **0**



Марс **8**

Земля **39**

Венера **504**

Планеты-карлики

2015 г.

Хаумеа

Макемаке

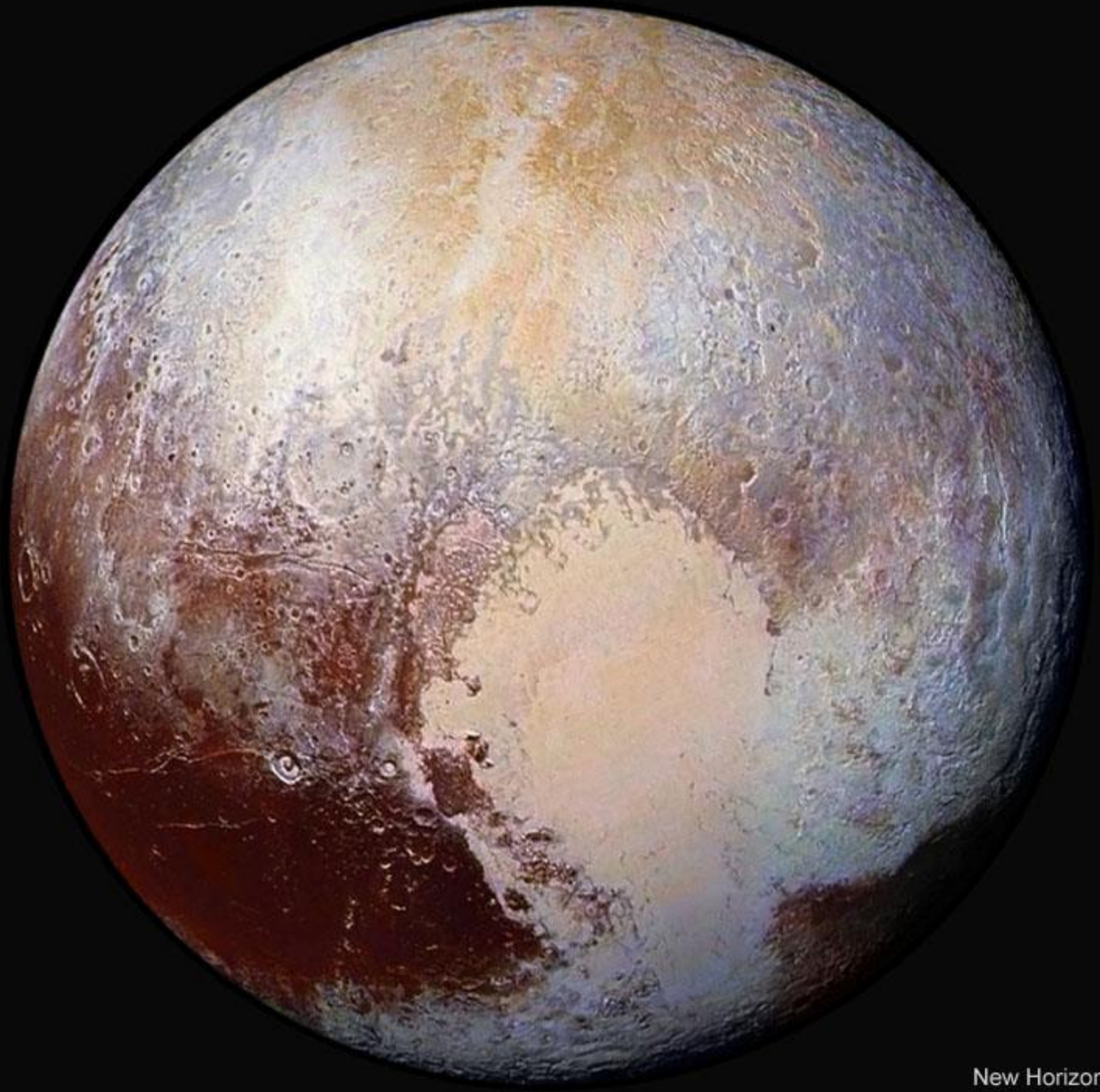
Церера

Эрида

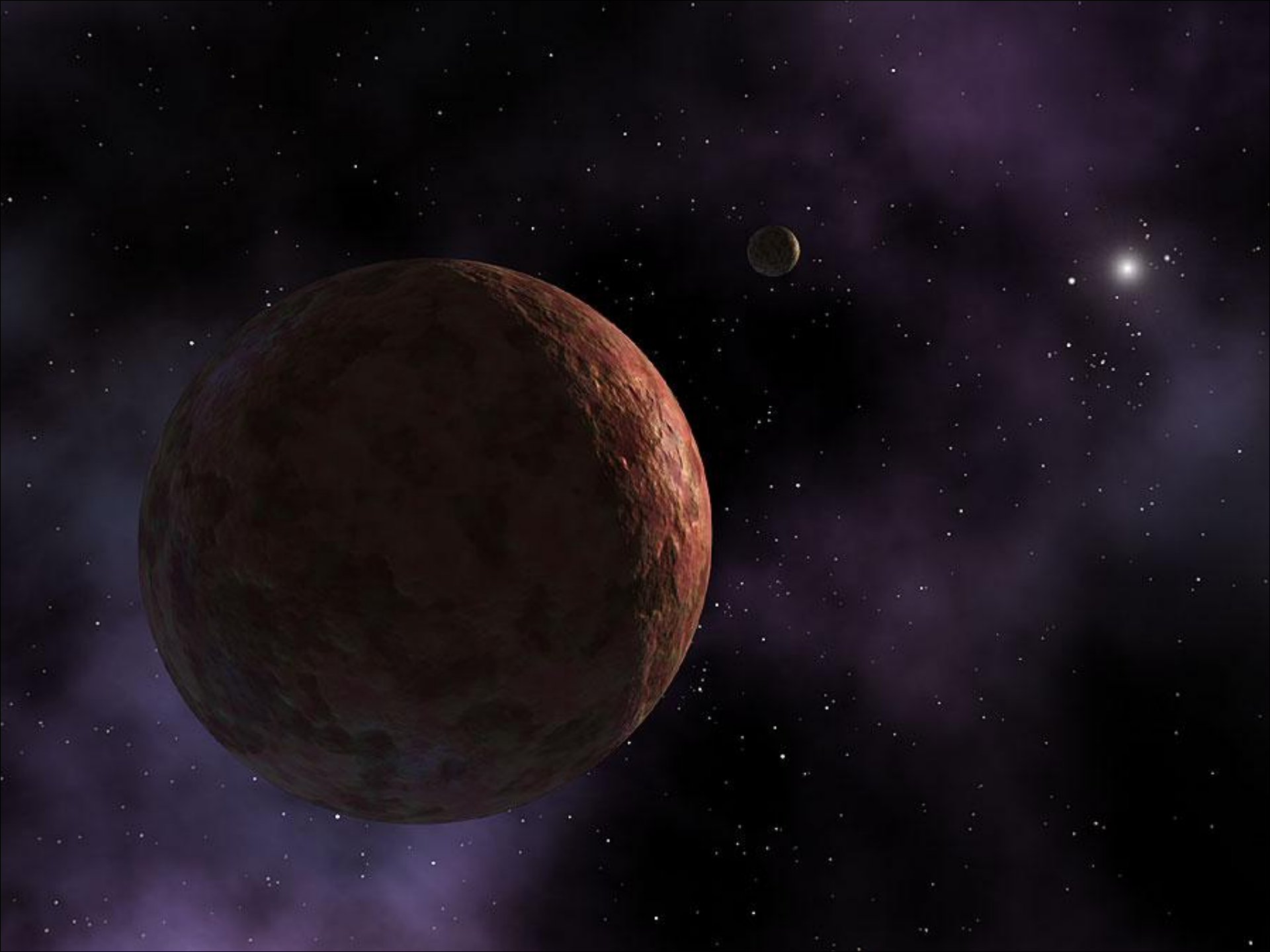
Плутон

Луна

Плутон



New Horizons, NASA, 2015



Атмосфера Плутона

N_2	CO	CH_4
Азот	Монооксид углерода	Метан

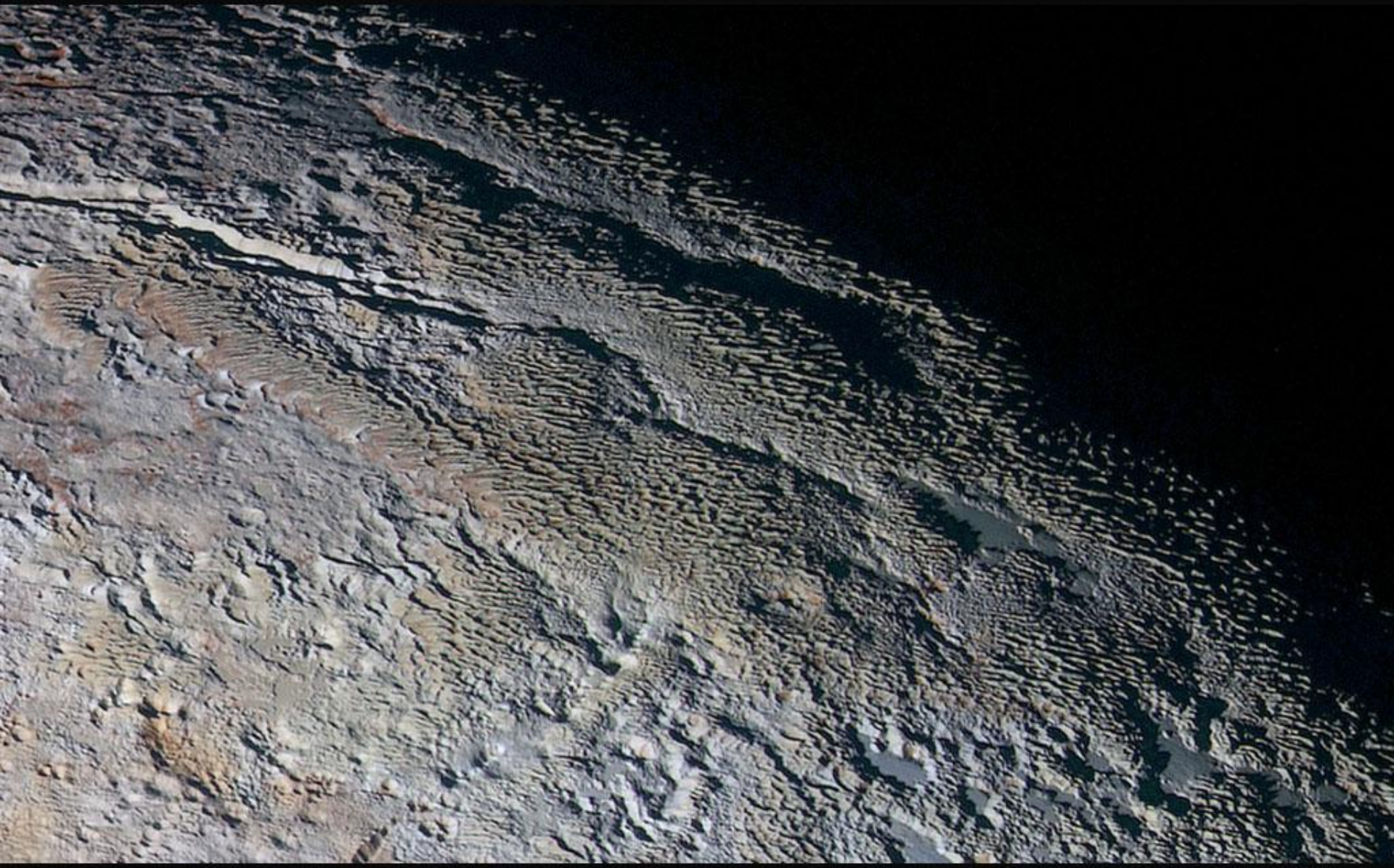
P = (0,65 - 2,4) Pa

~ 10^{-5} атм

Давление (т. е. масса) атмосферы существенно меняется в течение года из-за большого эксцентриситета орбиты

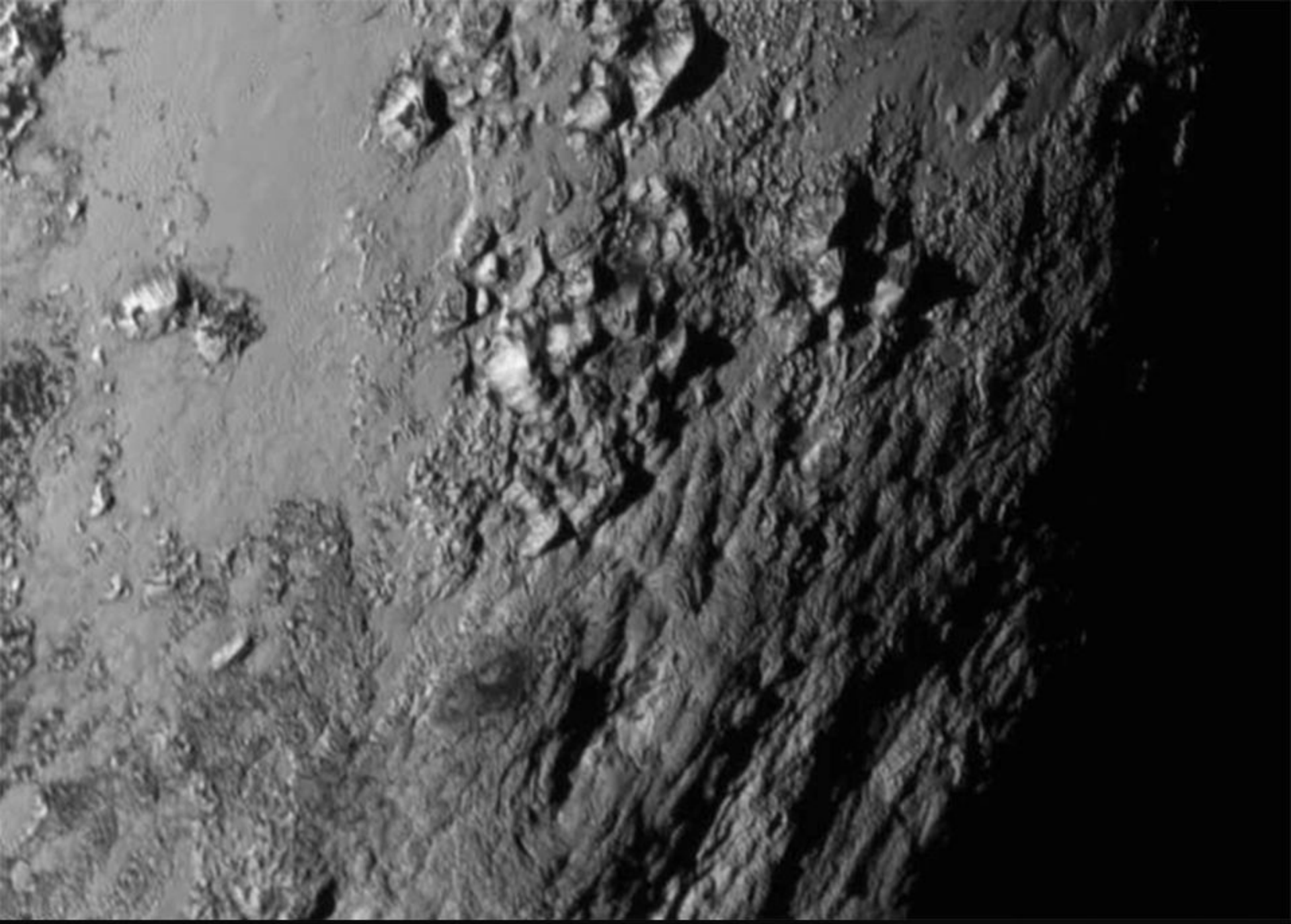
В области перигелия происходит интенсивная сублимация твердого азота, покрывающего поверхность

В атмосфере присутствуют толины (греч. толос - мутный), полимерные соединения $C_XH_YN_Z$ массой до 8000 а. е. м., придающие рассеянному свету оранжевый оттенок (Титан), а проходящему - голубой. Фото: New Horizons, NASA ,2015



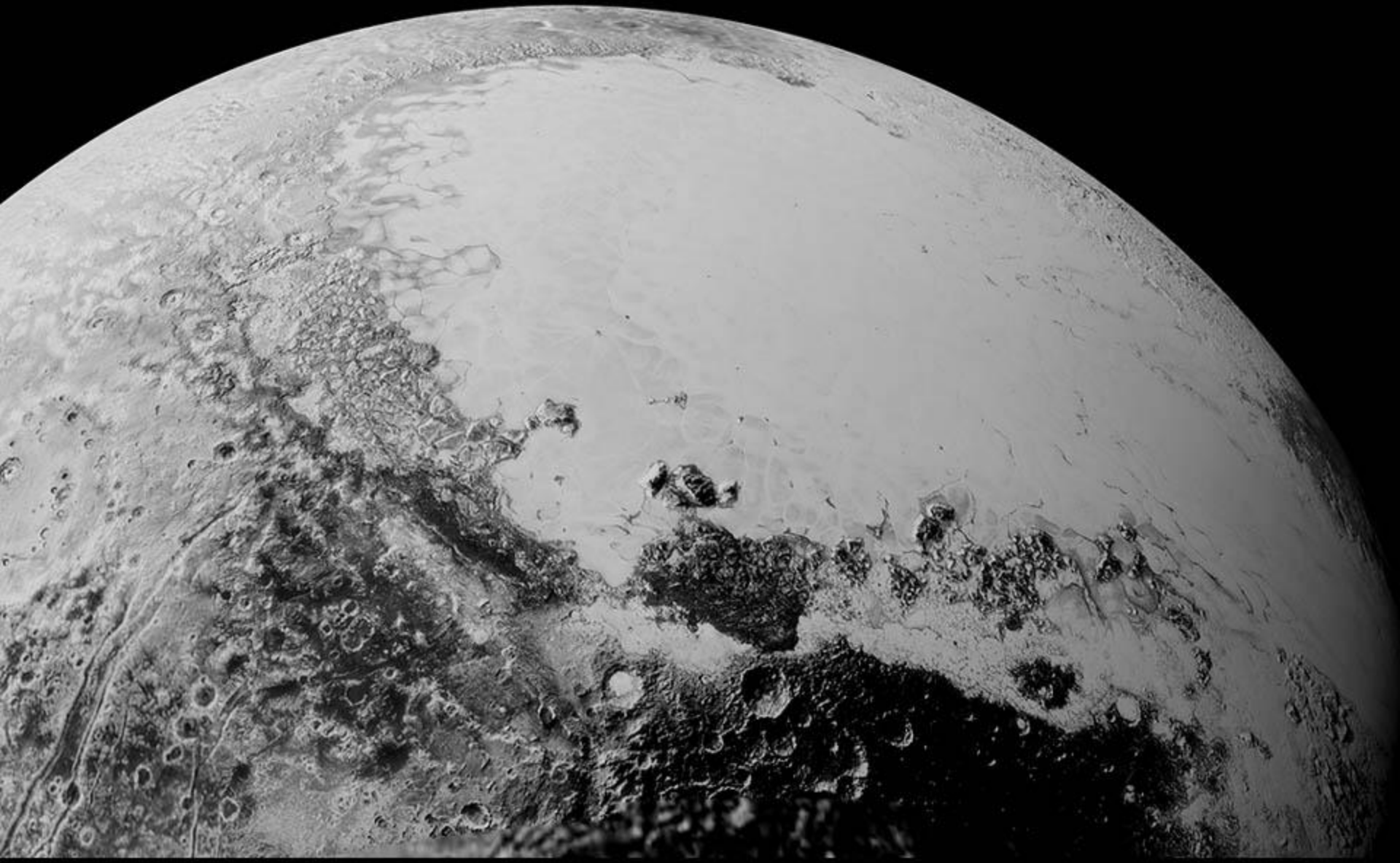
Дюны на Плутоне? Признак динамики атмосферы.

New Horizons, NASA, 2015



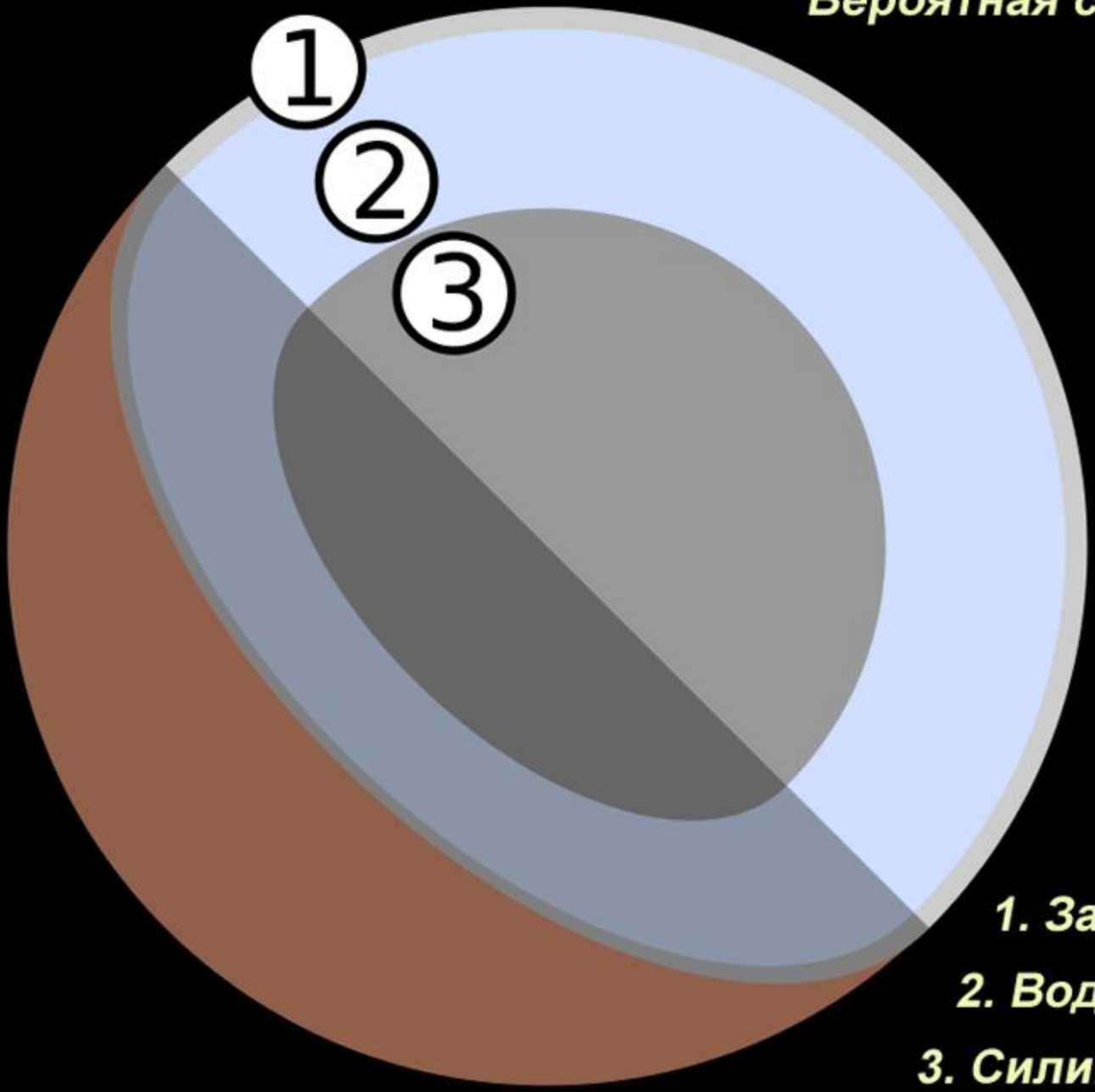
Ледяные горы на Плутоне достигают в высоту 3,5 км. New Horizons, NASA, 2015

Плутон



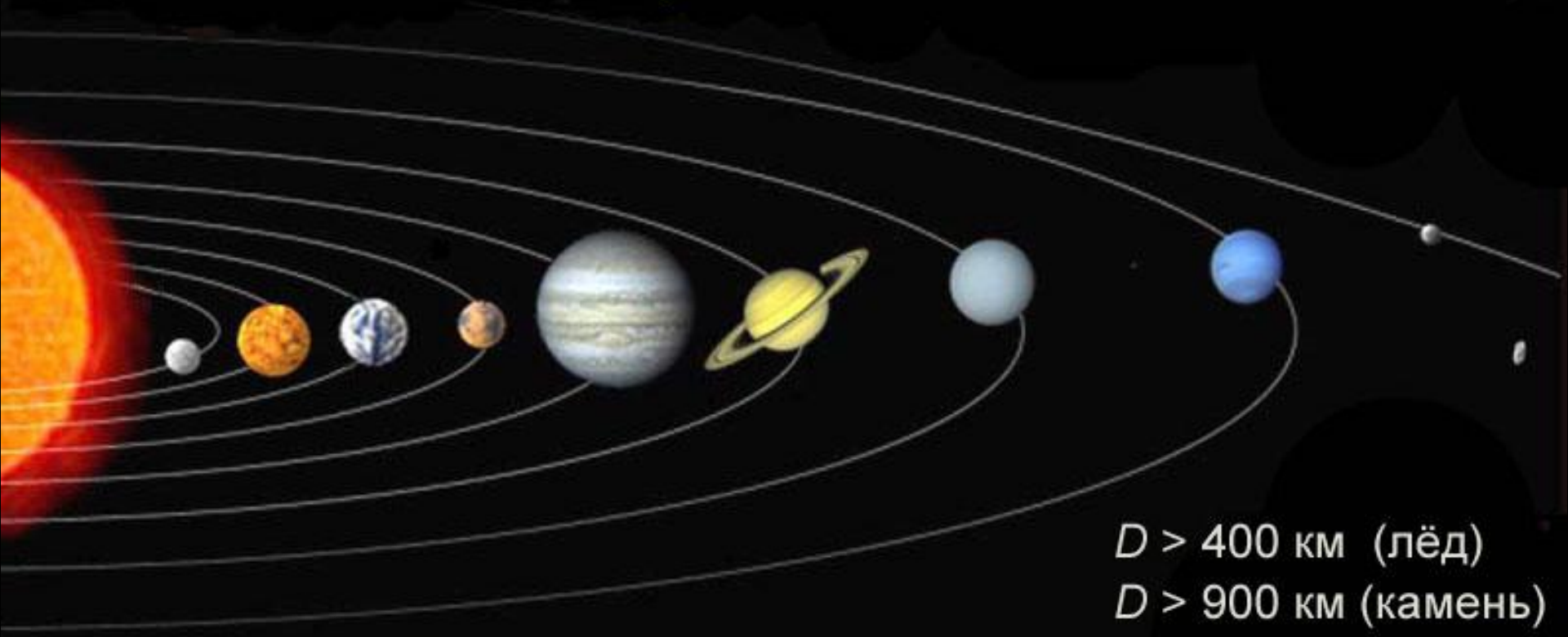
New Horizons, NASA, 2015

Вероятная структура Плутона



1. Замёрзший азот
2. Водный лёд
3. Силикаты и водный лёд

Сколько планет-карликов в Солнечной системе?



D > 400 км (лёд)
D > 900 км (камень)

Mike Brown

10 objects which are nearly certainly dwarf planets,
26 objects which are highly likely to be dwarf planets,
49 objects which are likely to be dwarf planets,
86 objects which are probably dwarf planets, and
371 objects which are possibly dwarf planets.

(Feb 23 2015)

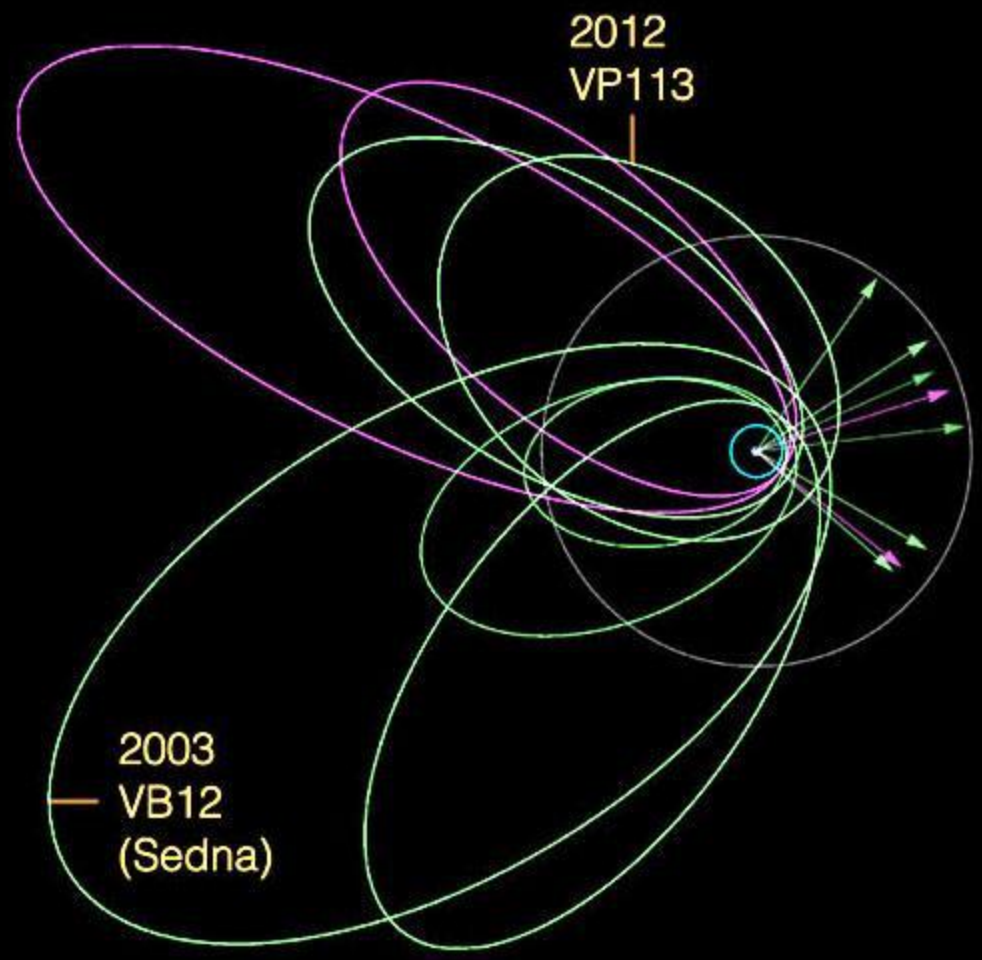
Mike Brown and Konstantin Batygin

CalTech, 2016, Jan 20

EVIDENCE FOR A DISTANT GIANT PLANET
IN THE SOLAR SYSTEM

Astronomical Journal

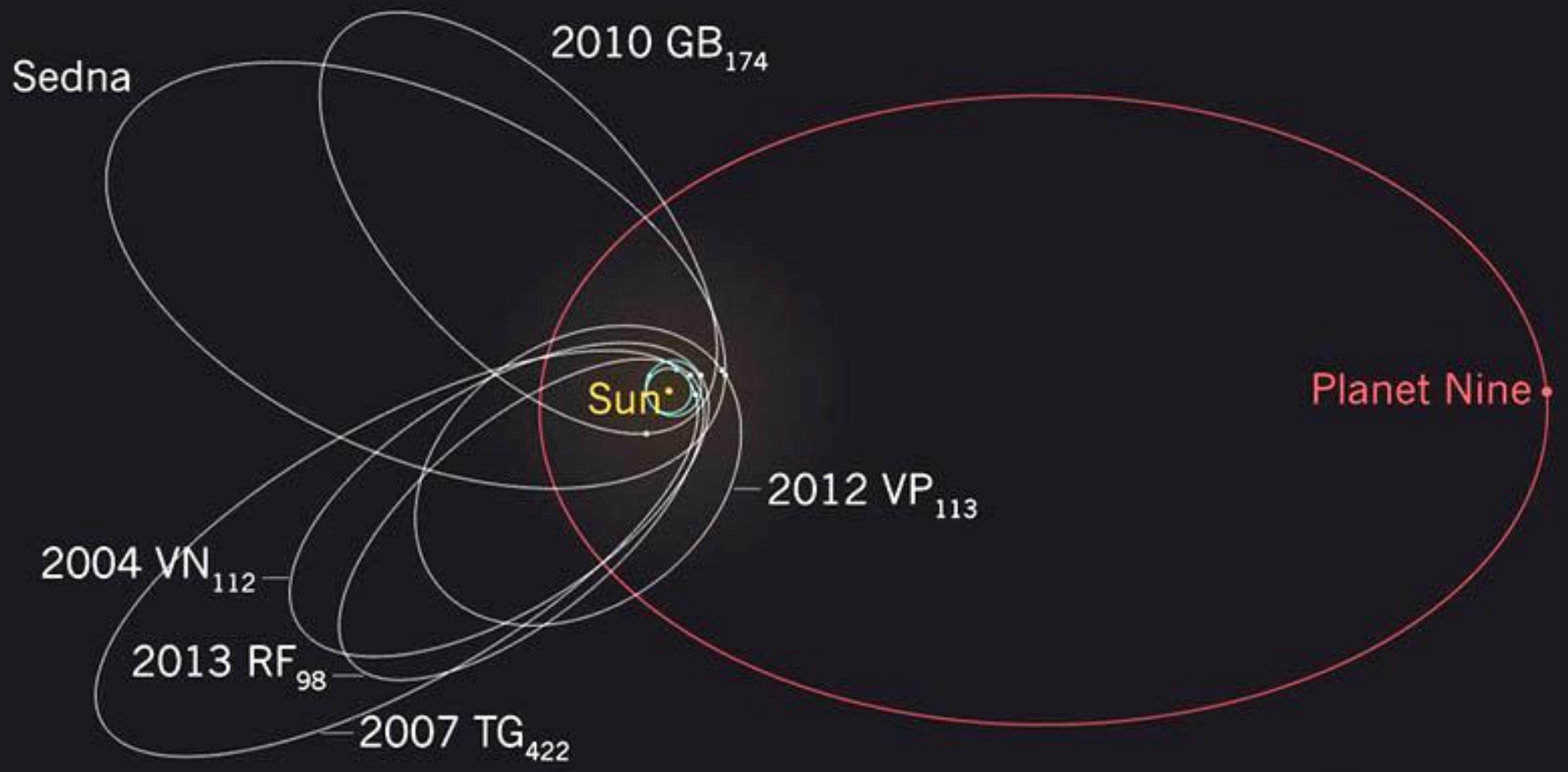
Volume 151, Number 2



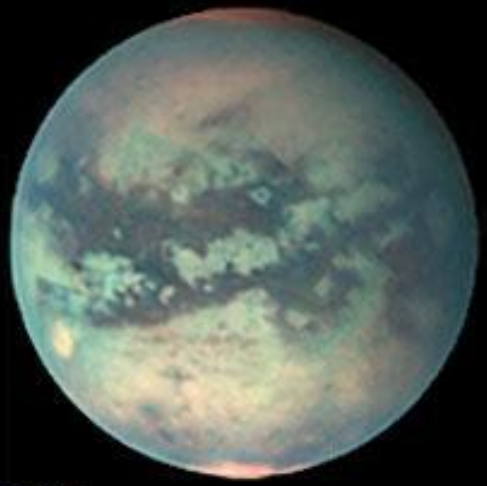
250 AU

scaled Runge-Lenz vectors
(Laplace-Runge-Lenz vectors)

The existence of an unseen 'Planet Nine' could explain the strange orbits of several objects (whose orbits are shown in white) in the Kuiper belt beyond Neptune.



Луна

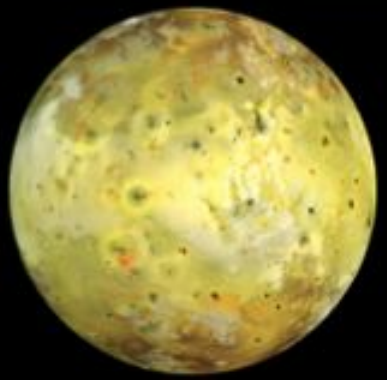


Титан

Земля

Планеты-спутники

ЕВРОПА



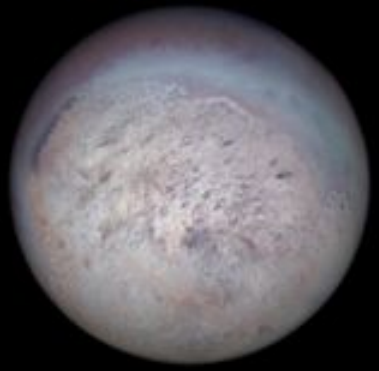
ИО

КАЛЛИСТО

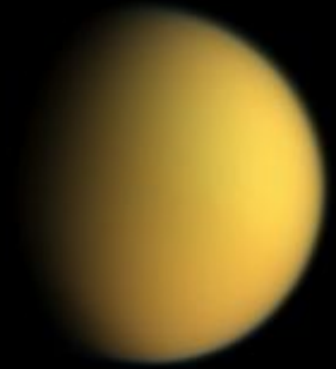
ГАНИМЕД

ТЕФИЯ

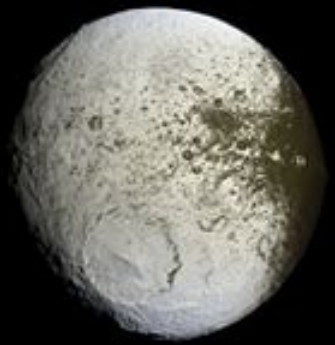
ДИОНА



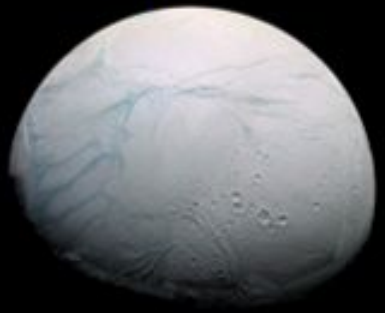
ТРИТОН



ТИТАН

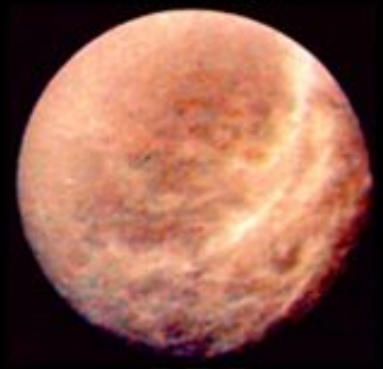


ЯПЕТ



ЭНЦЕЛАД

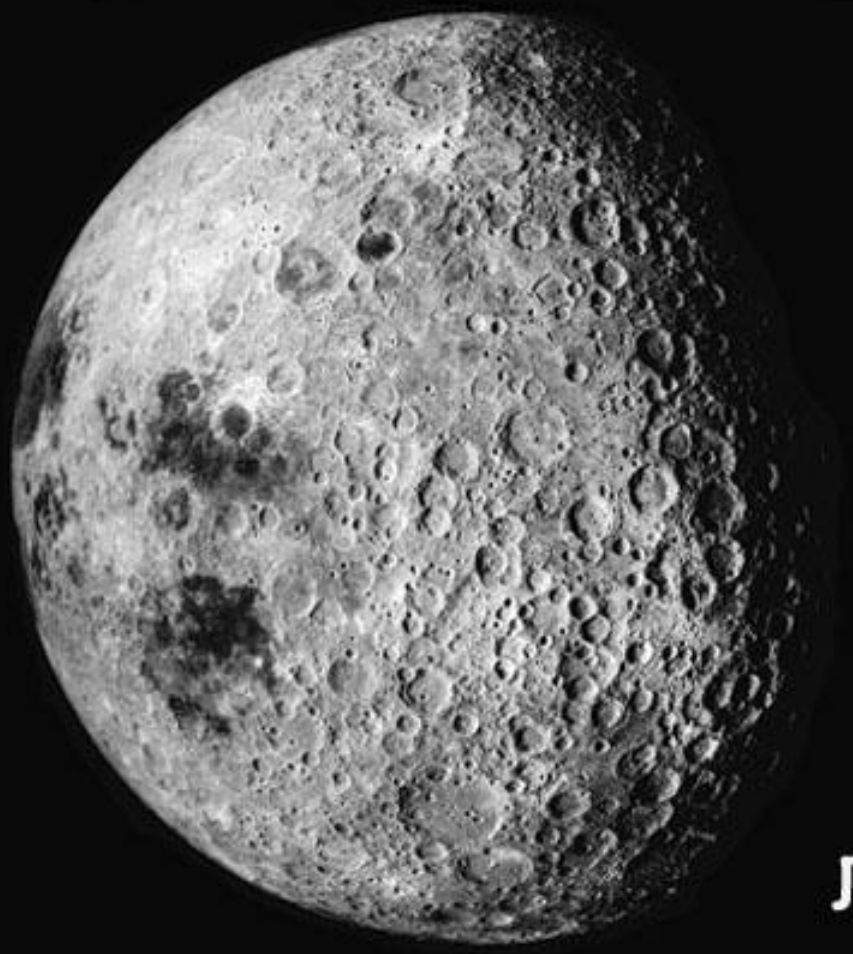
ЛУНА



РЕЯ

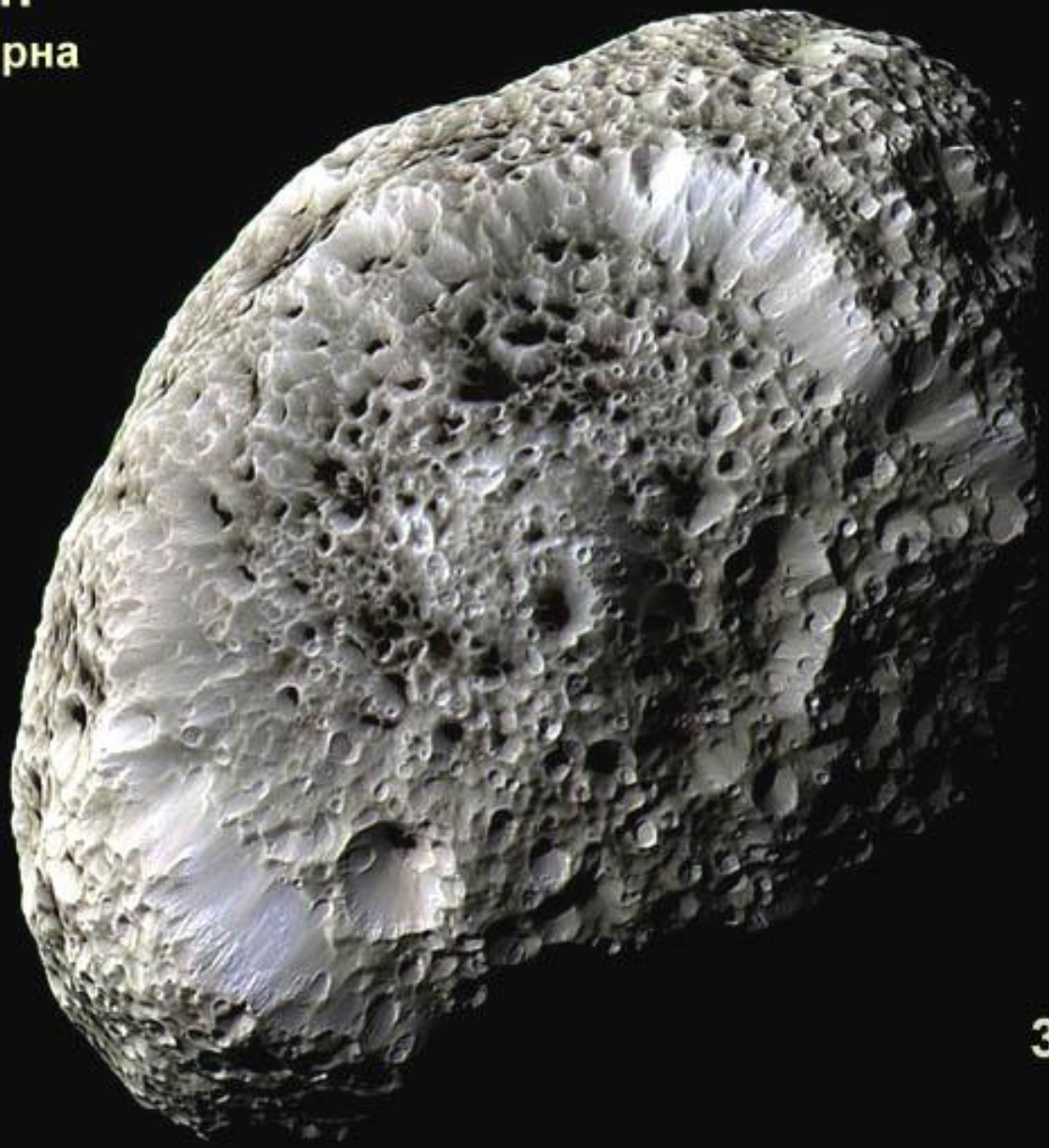
Эволюция поверхности планет

4,5 млрд лет
непрерывной бомбардировки



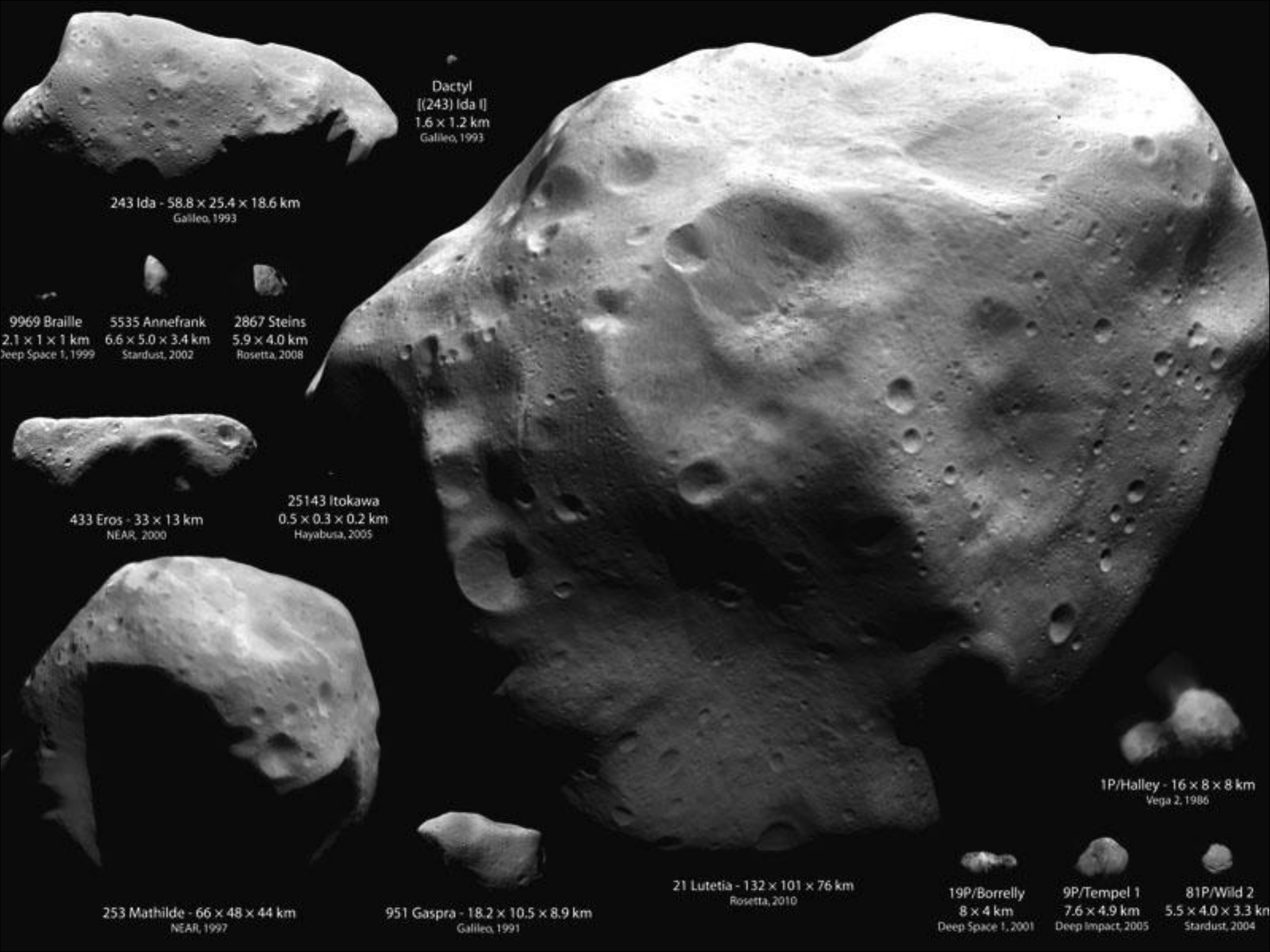
Луна

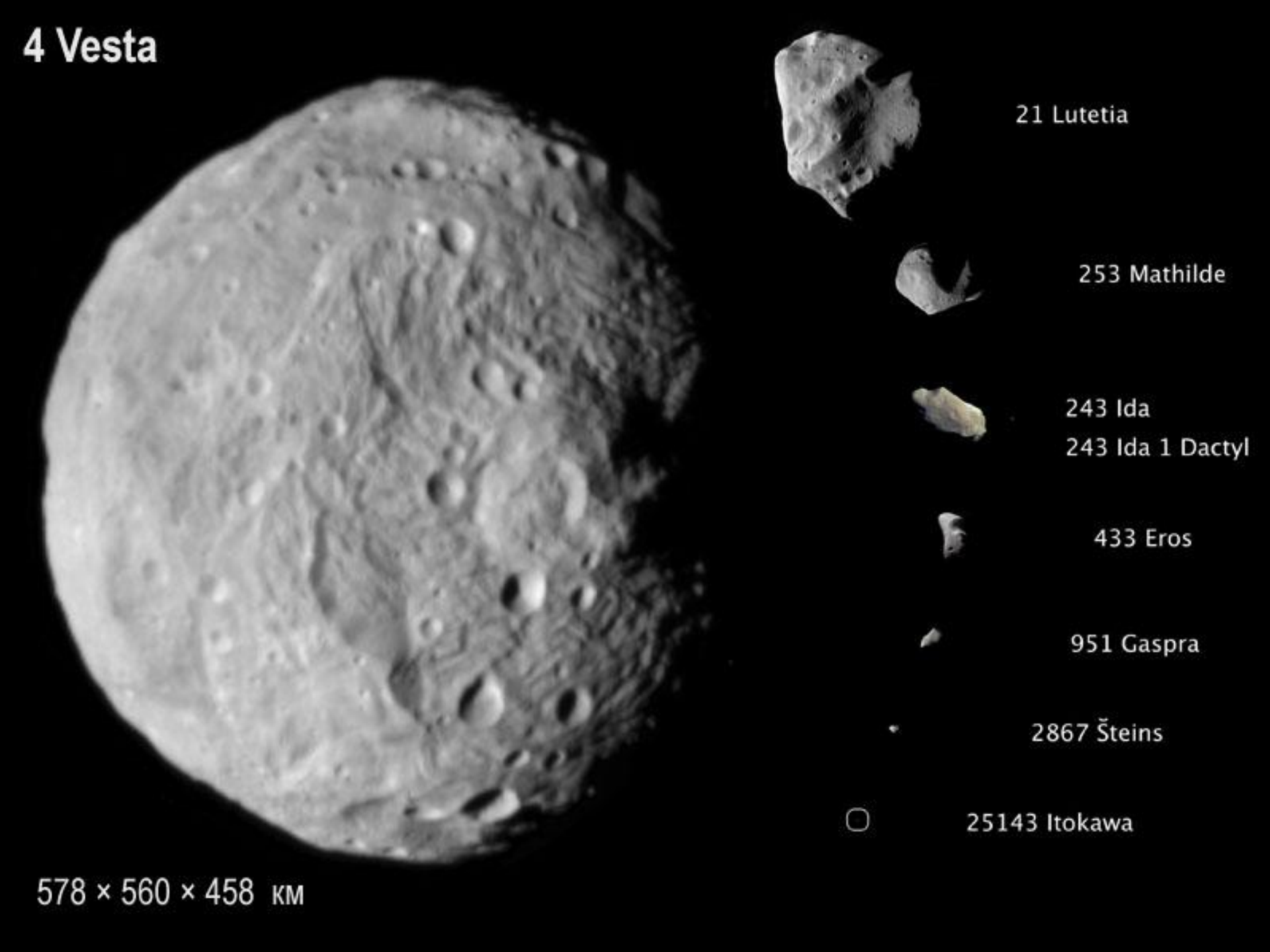
Гиперион
спутник Сатурна



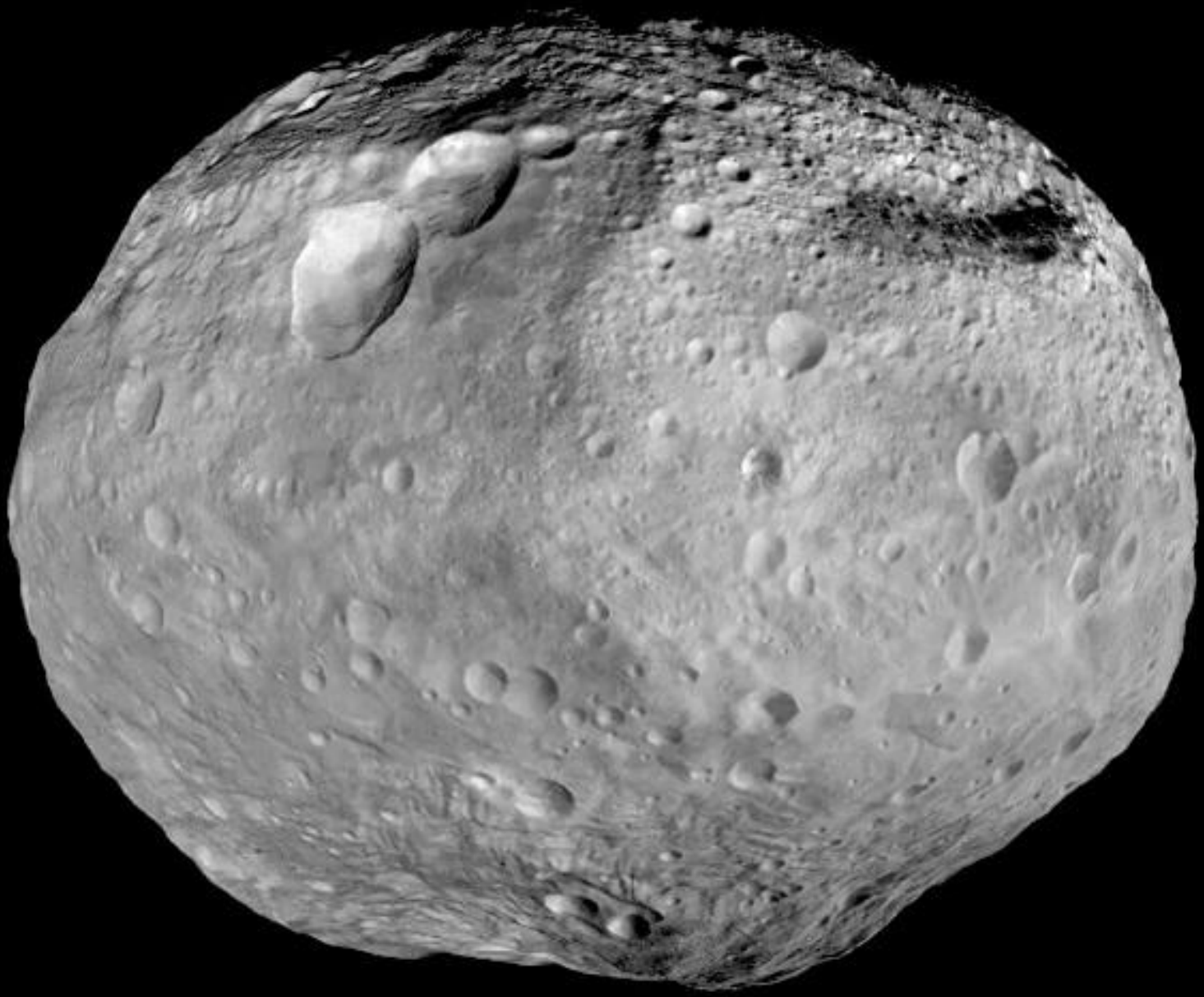
370 x 226 км

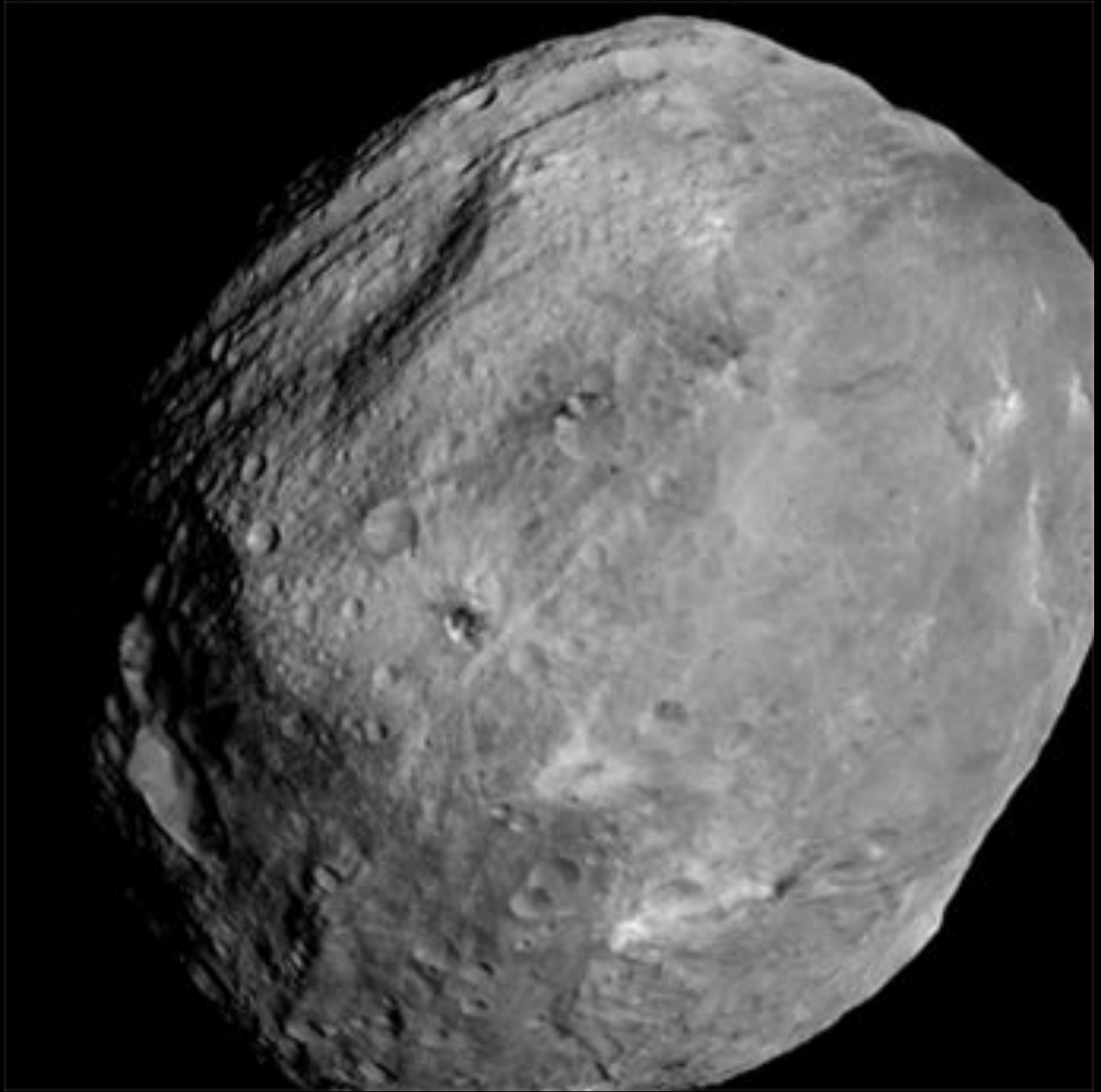
0,57 г/см^3

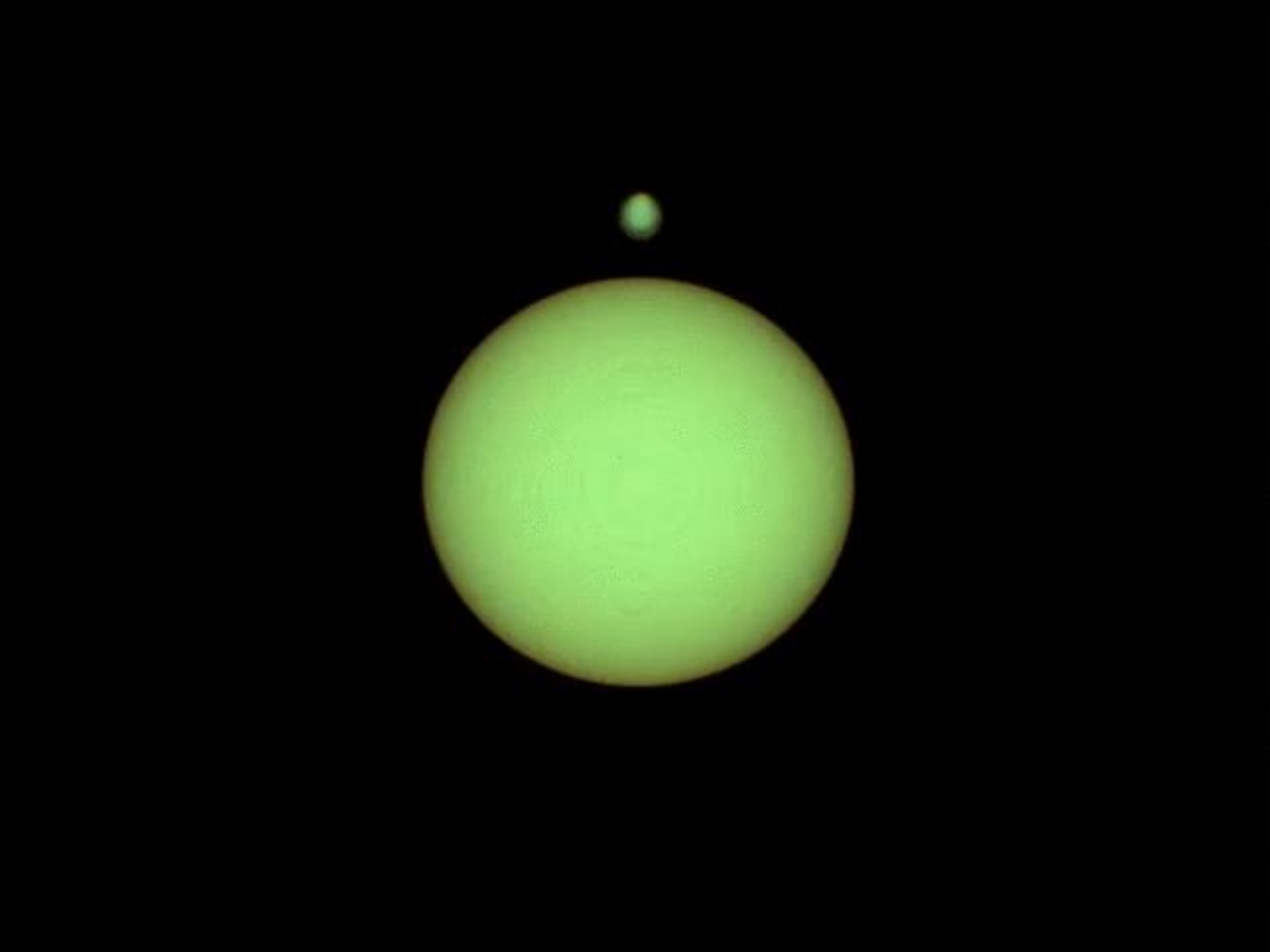

Dactyl
[(243) Ida I]
1.6 × 1.2 km
Galileo, 1993
243 Ida - 58.8 × 25.4 × 18.6 km
Galileo, 1993
9969 Braille
2.1 × 1 × 1 km
Deep Space 1, 1999
5535 Annefrank
6.6 × 5.0 × 3.4 km
Stardust, 2002
2867 Steins
5.9 × 4.0 km
Rosetta, 2008
433 Eros - 33 × 13 km
NEAR, 2000
25143 Itokawa
0.5 × 0.3 × 0.2 km
Hayabusa, 2005
1P/Halley - 16 × 8 × 8 km
Vega 2, 1986
253 Mathilde - 66 × 48 × 44 km
NEAR, 1997
951 Gaspra - 18.2 × 10.5 × 8.9 km
Galileo, 1991
21 Lutetia - 132 × 101 × 76 km
Rosetta, 2010
19P/Borrelly
8 × 4 km
Deep Space 1, 2001
9P/Tempel 1
7.6 × 4.9 km
Deep Impact, 2005
81P/Wild 2
5.5 × 4.0 × 3.3 km
Stardust, 2004

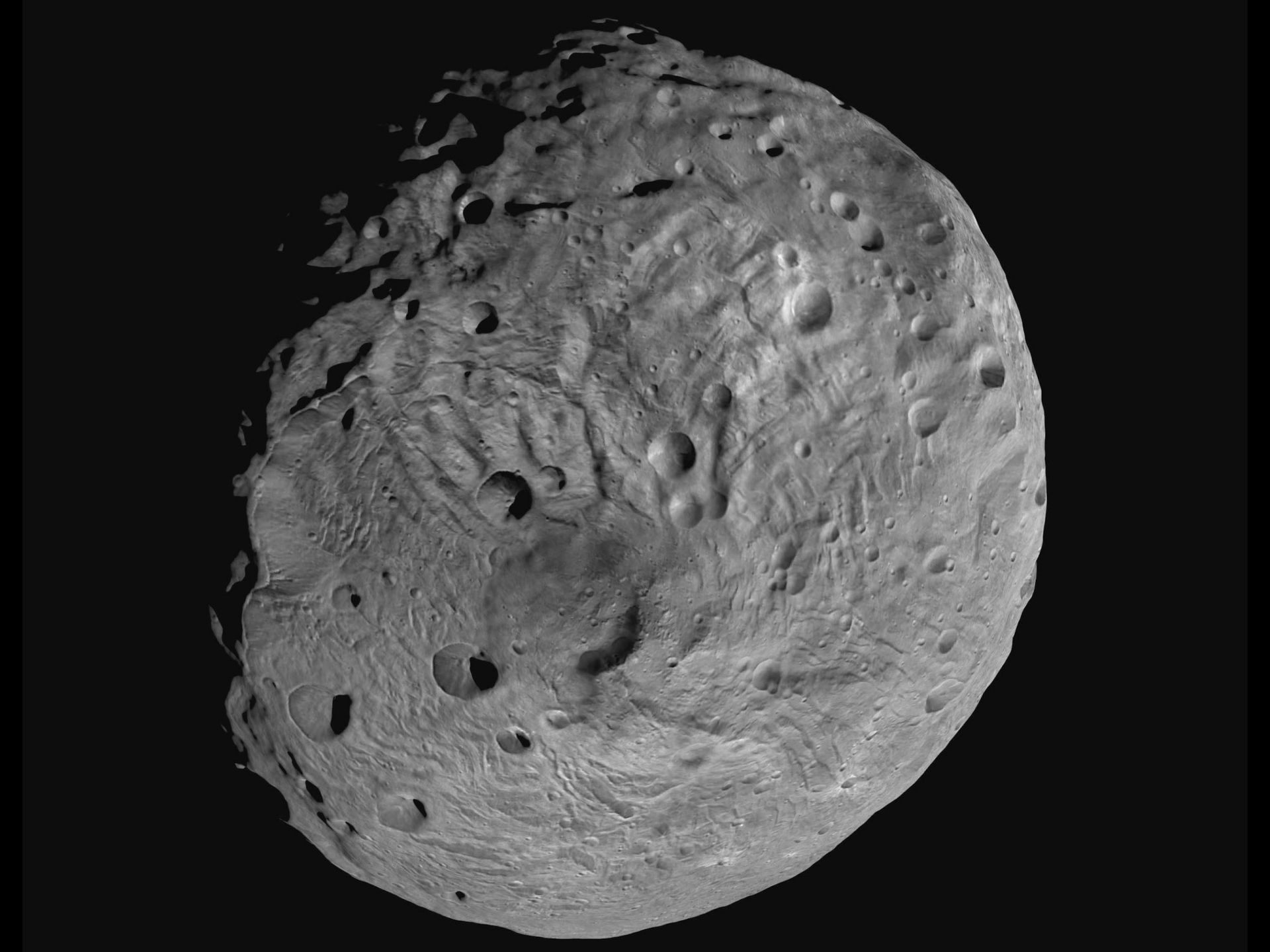

4 Vesta
578 × 560 × 458 KM
21 Lutetia
253 Mathilde
243 Ida
243 Ida 1 Dactyl
433 Eros
951 Gaspra
2867 Šteins
25143 Itokawa

Mars
Mercury
Earth's Moon
Ceres
Vesta

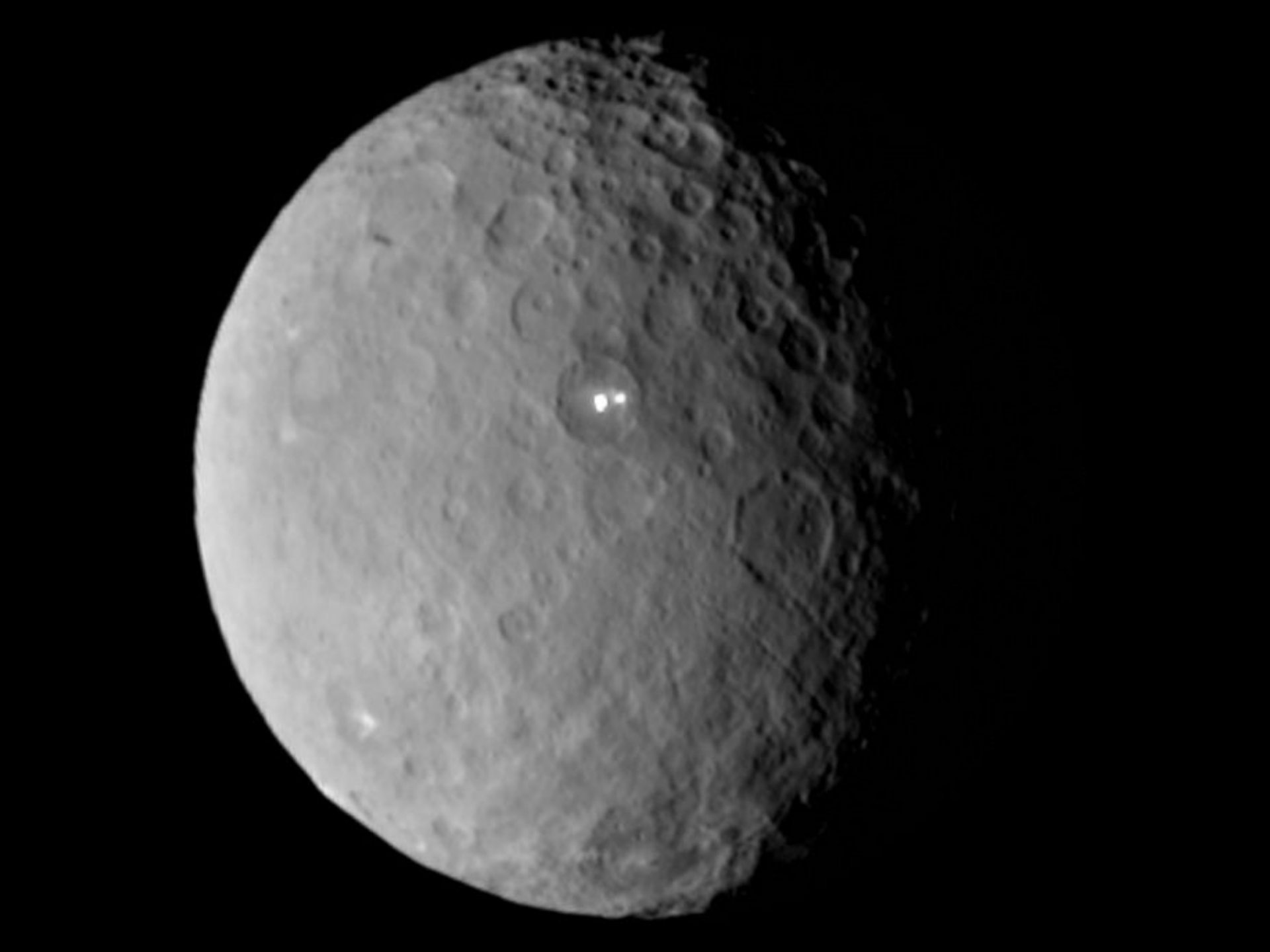




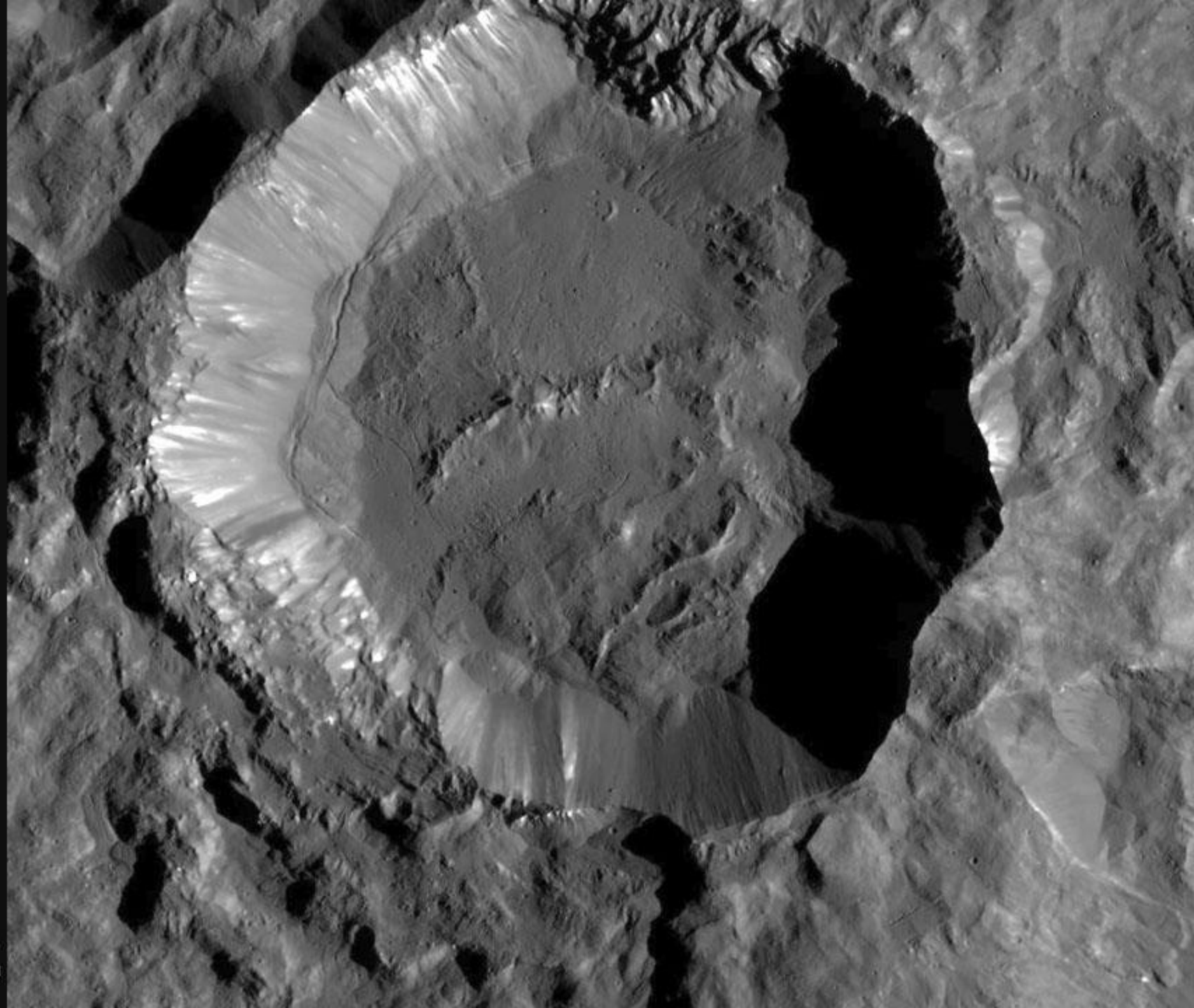




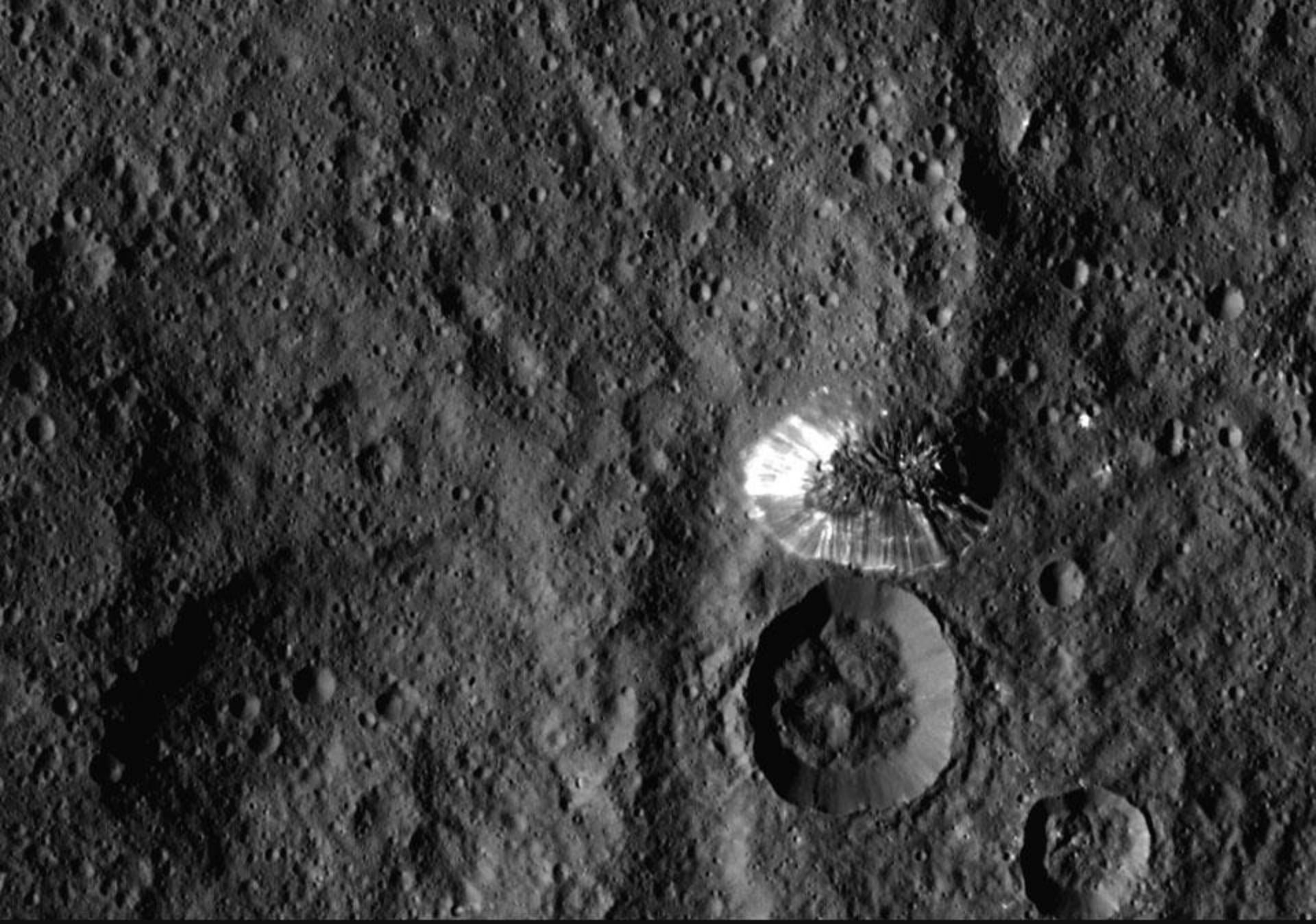
Церера
Dawn (NASA)
19 Feb 2015



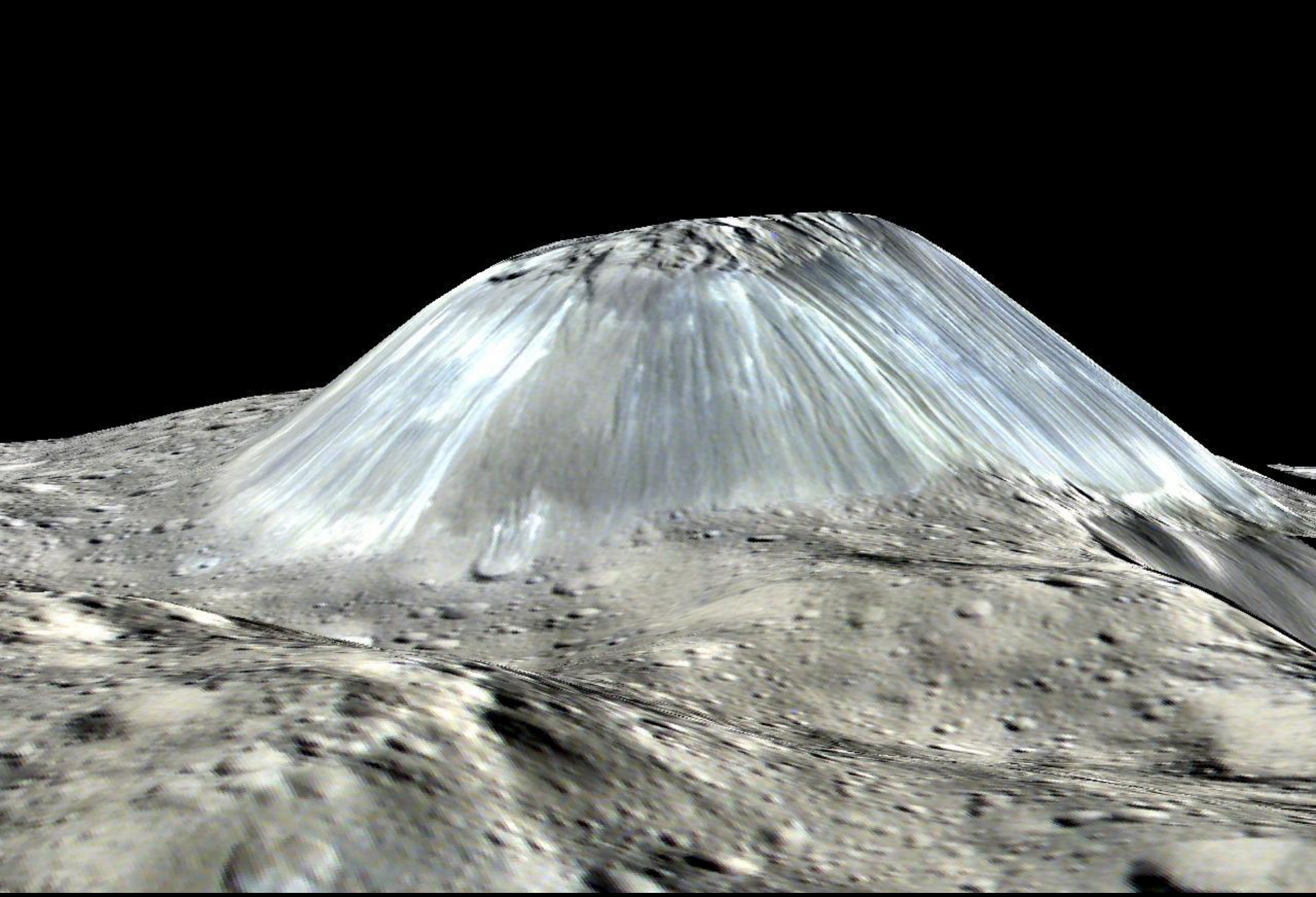
Церера



NASA «Dawn»
19-23 дек 2015
Кратер Kupalo
с высоты 385 км

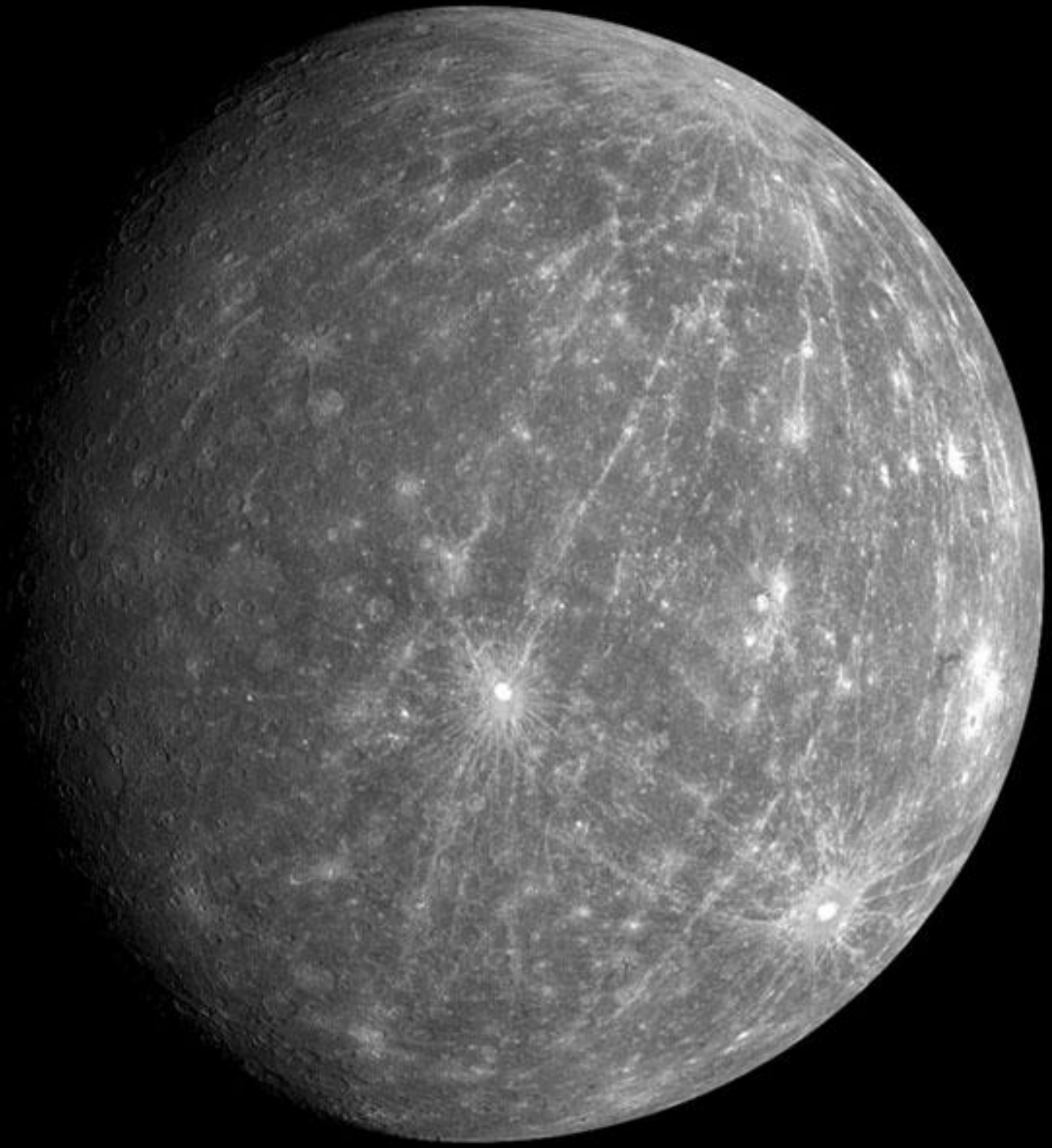


Церера Гора высотой 6 км Dawn (NASA) 2015



Церера. Ледяная гора Ahuna. Средняя высота ок. 4 км. Вертикальный масштаб = 2x

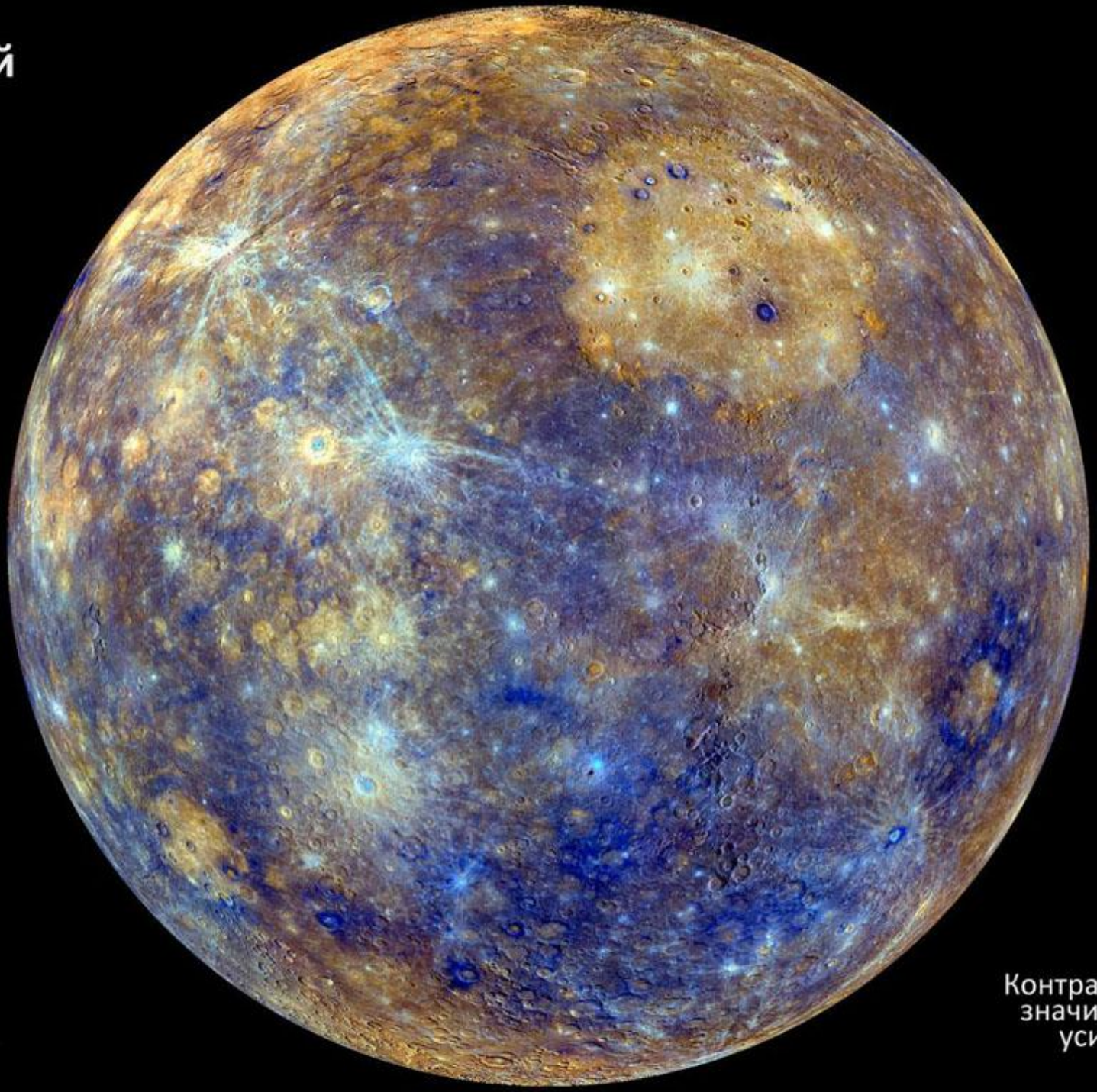
Меркурий



Messenger (NASA)

Oct 2008

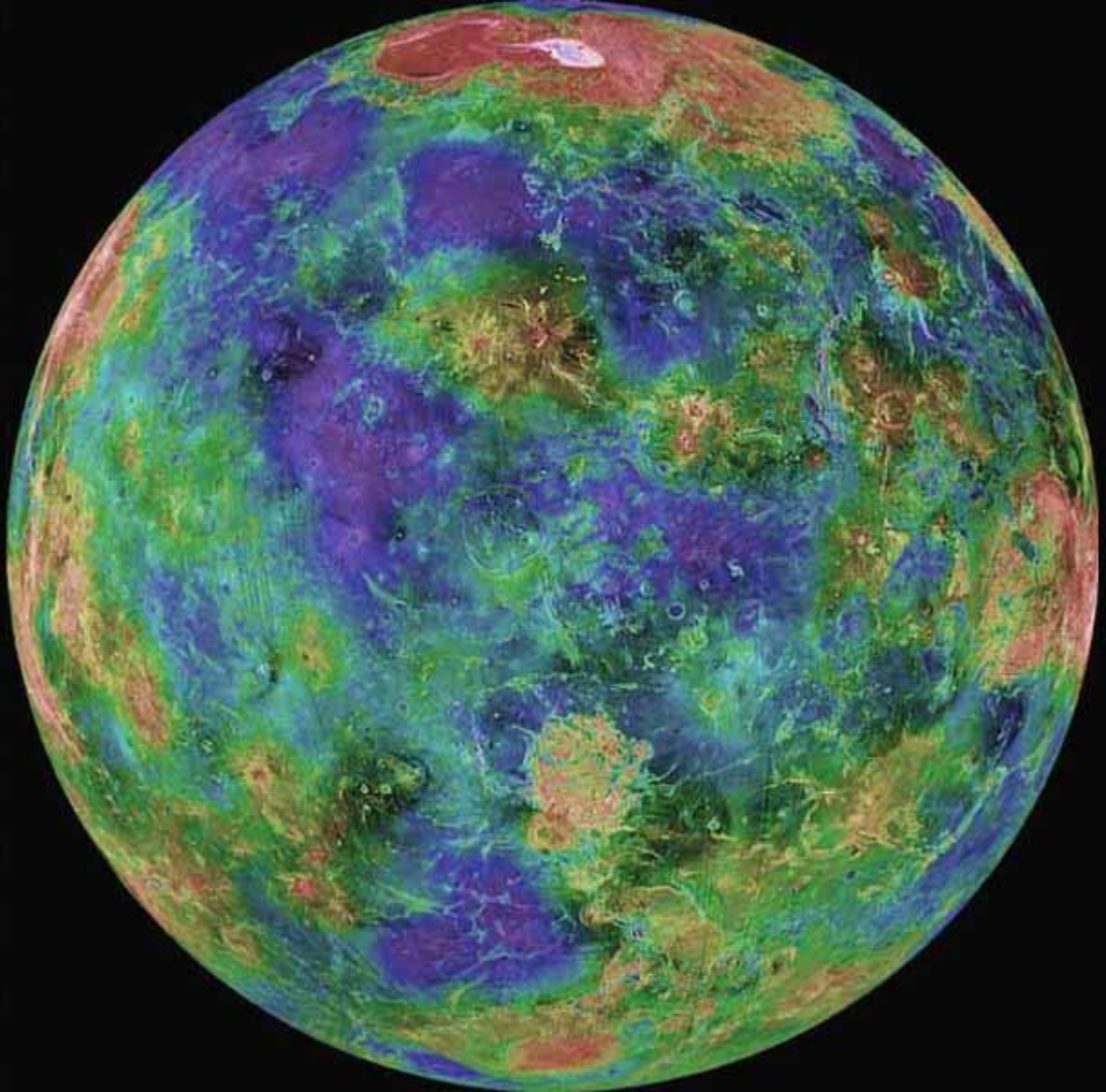
Меркурий



Messenger
NASA, 2011

Контраст цвета
значительно
усилен

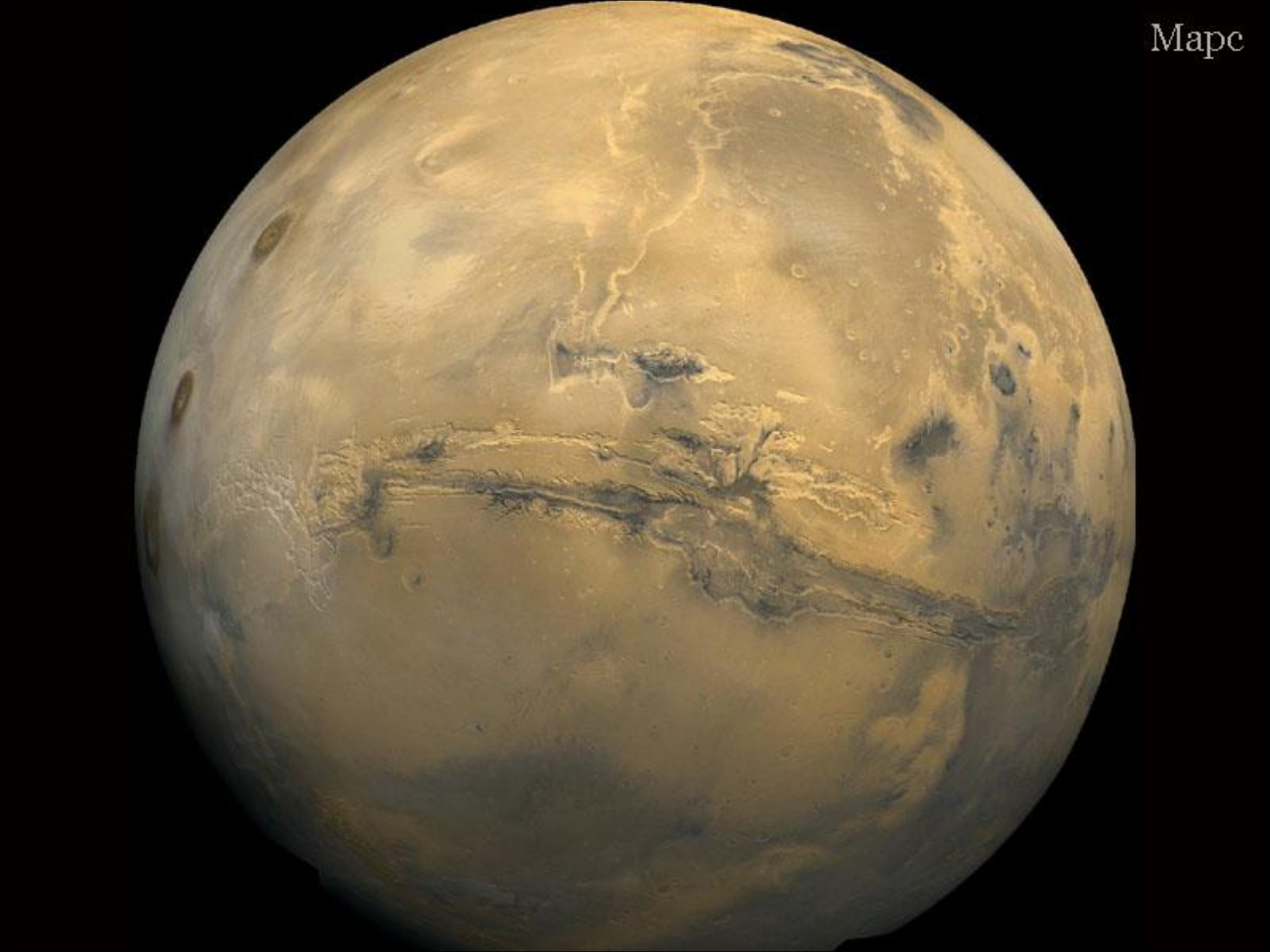
Венера



Don P. Mitchell

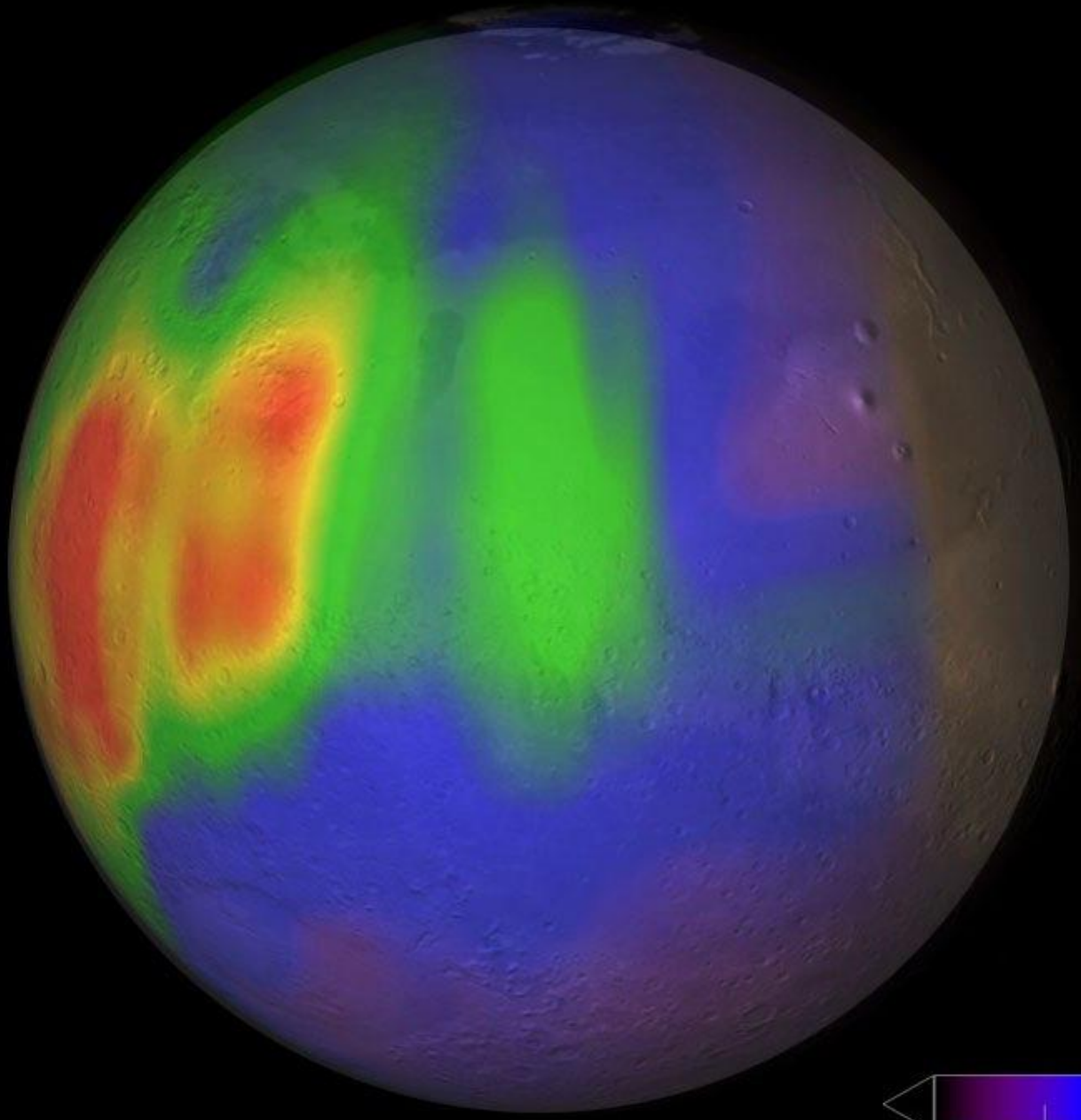
Эволюция атмосферы

Mapc
Feb 1995 HST


Марс

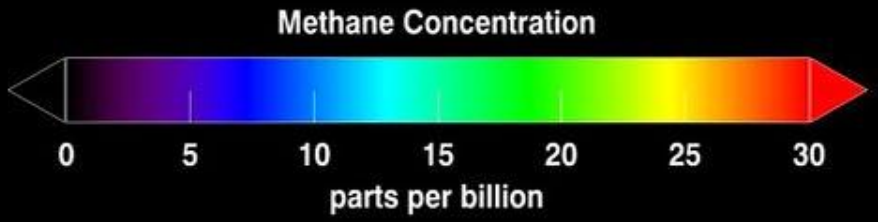
Mars

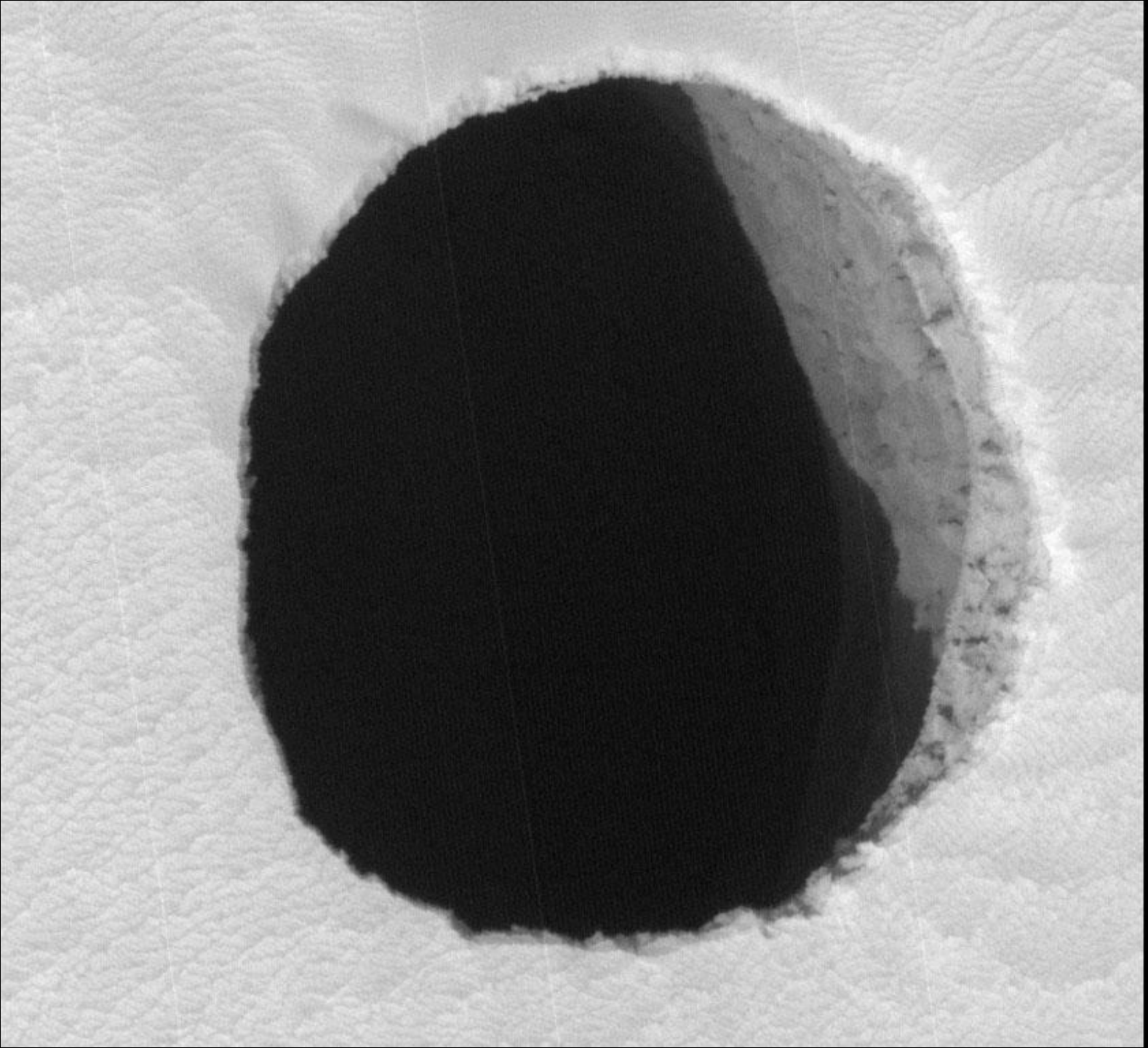
Methane release: Northern summer



NASA 2009

Large ground-based telescopes



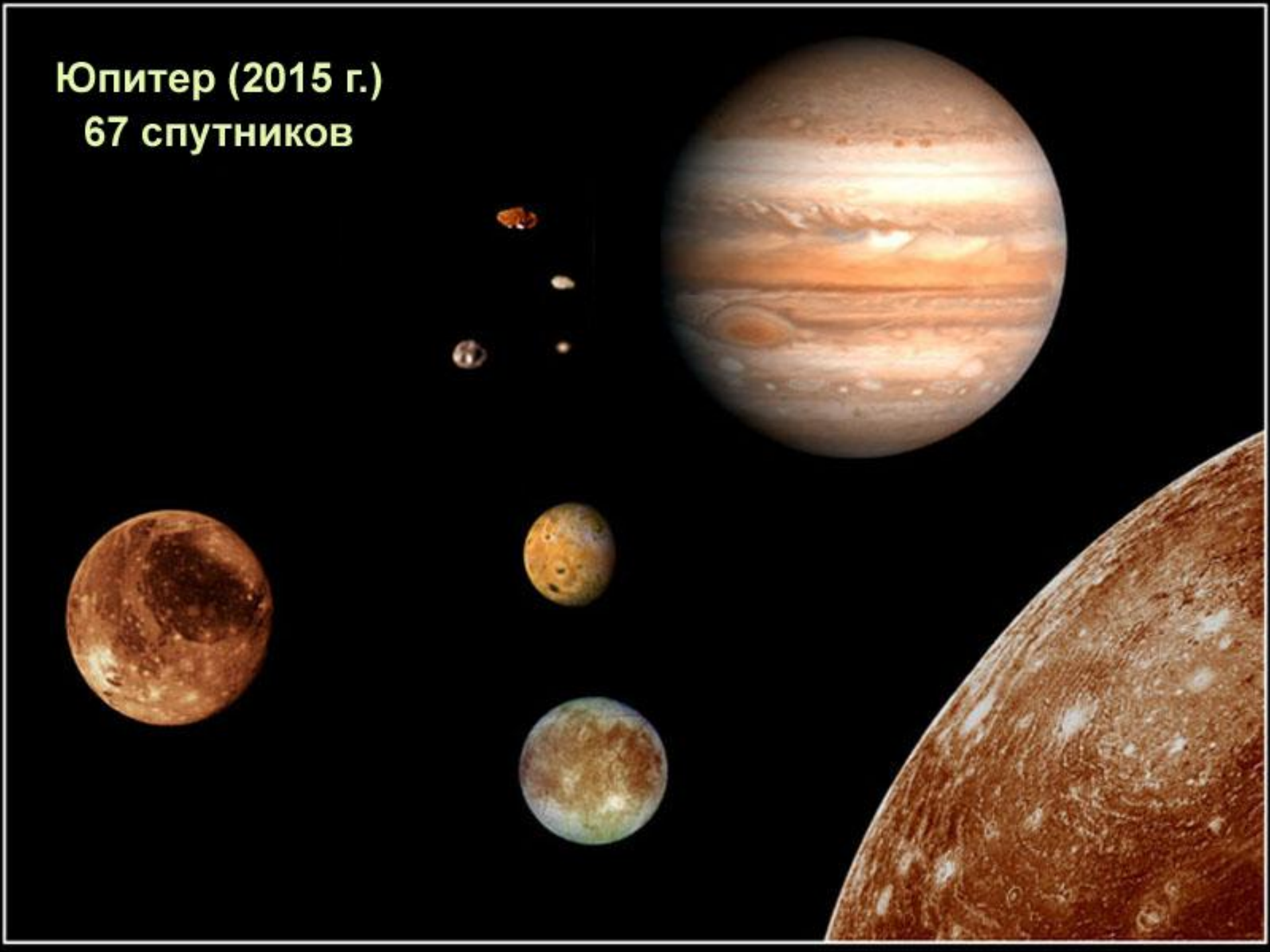


Дыра диаметром 150 метров на северном склоне вуклана Arsia Mons

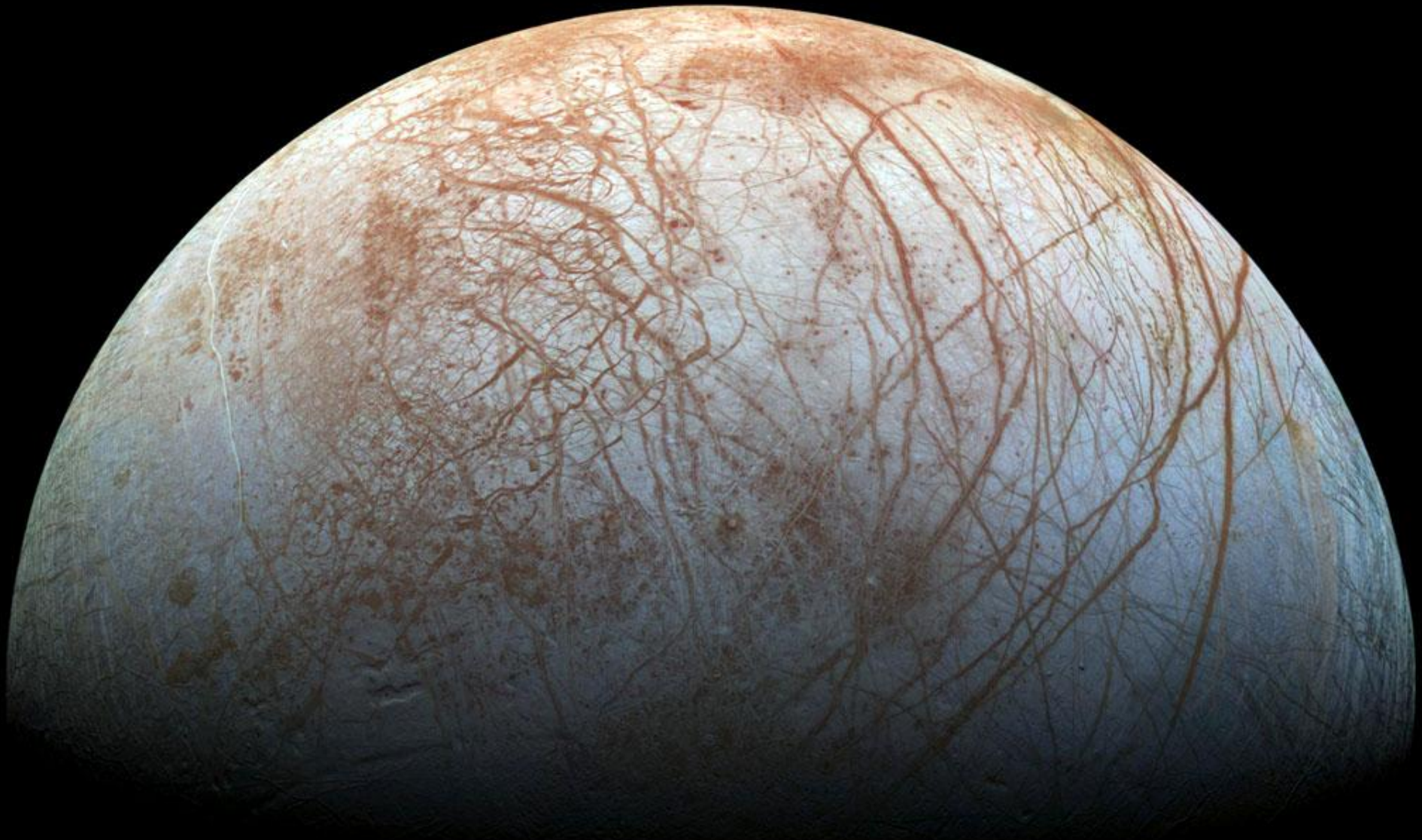
Вертикальная стенка освещена на глубину 78 метров, но дна не видно

Mars Recon.Orb. NASA, 2007

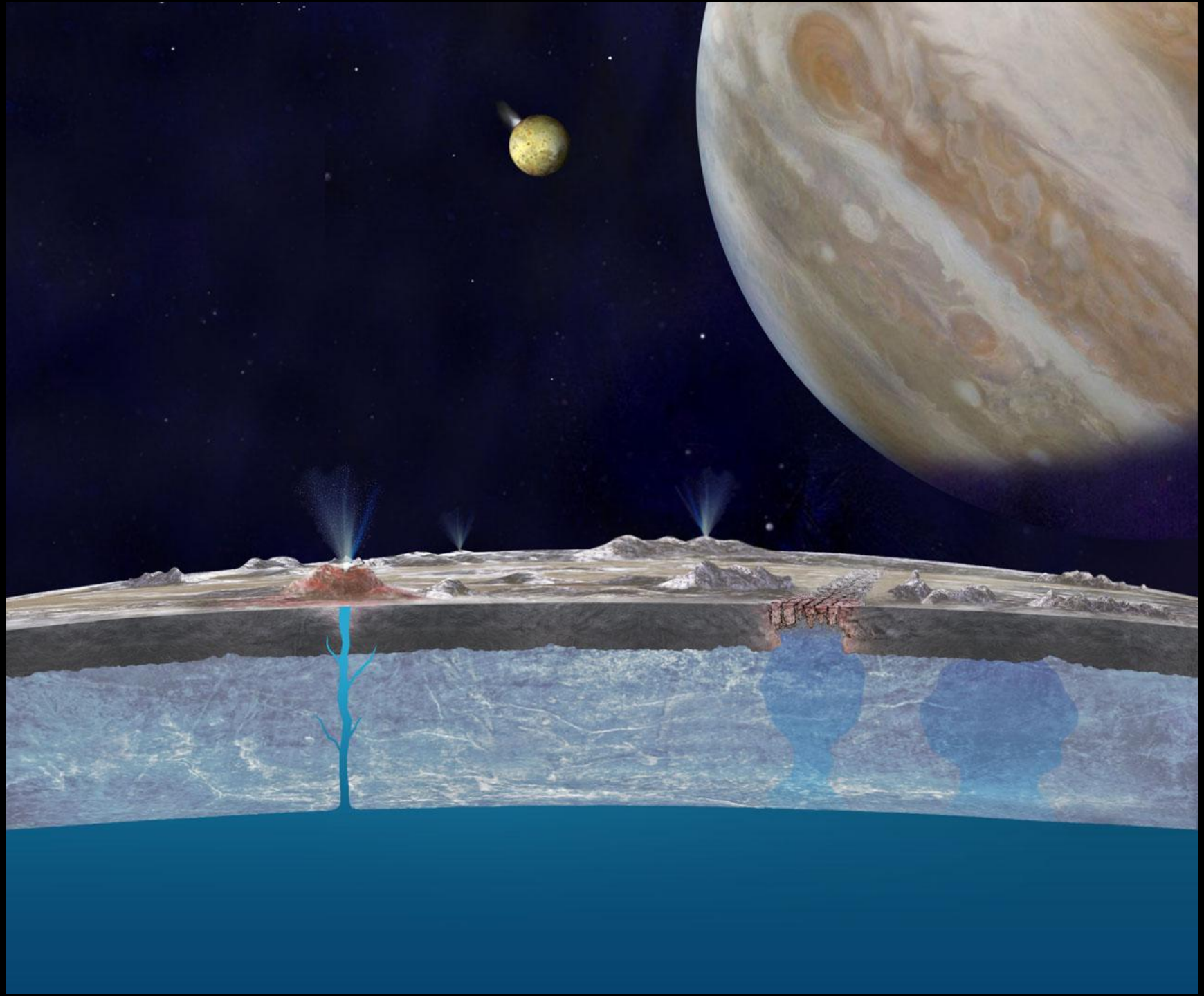
Юпитер (2015 г.)
67 спутников



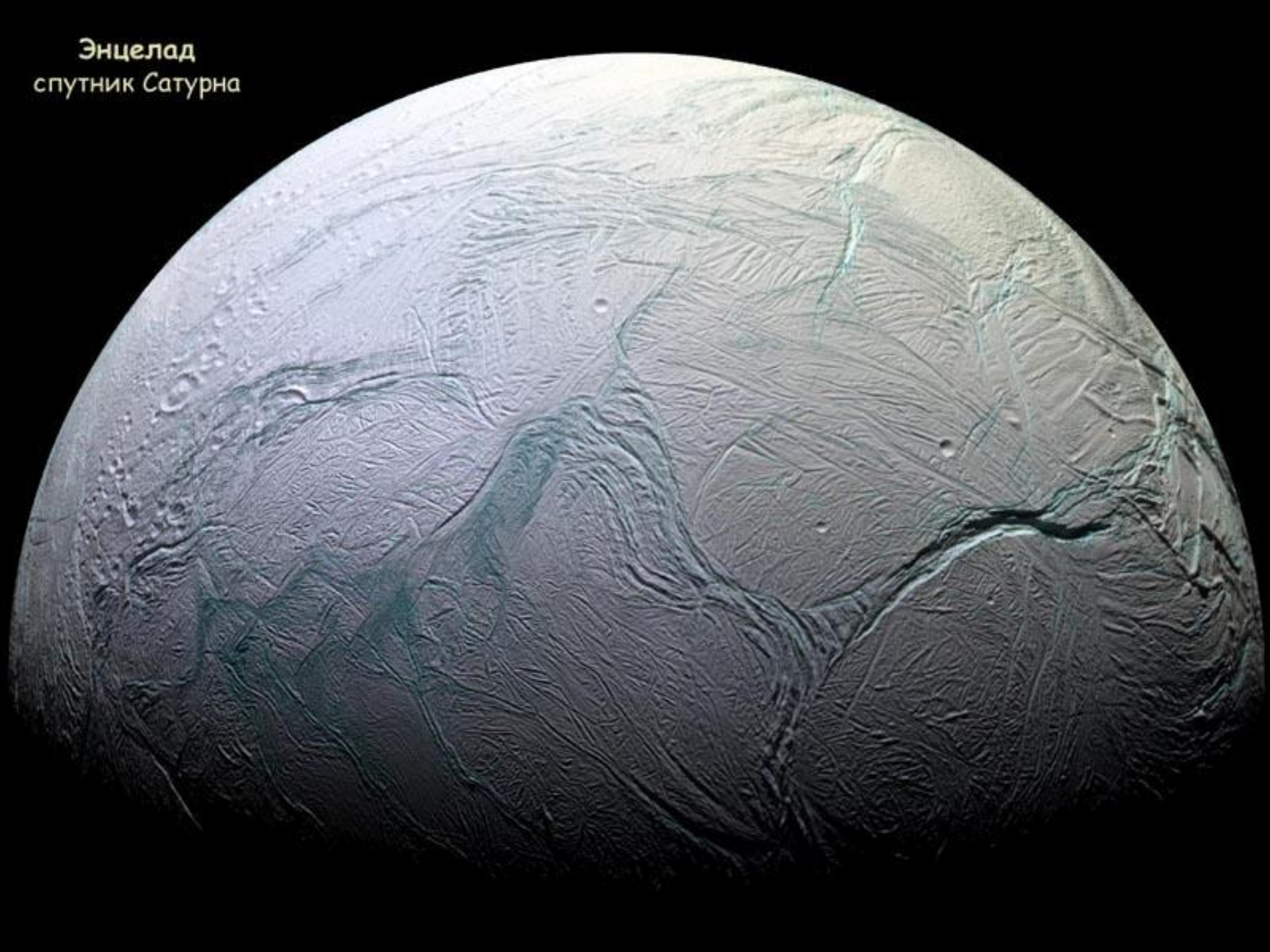
Сатурн (2015 г.)
62+ спутника

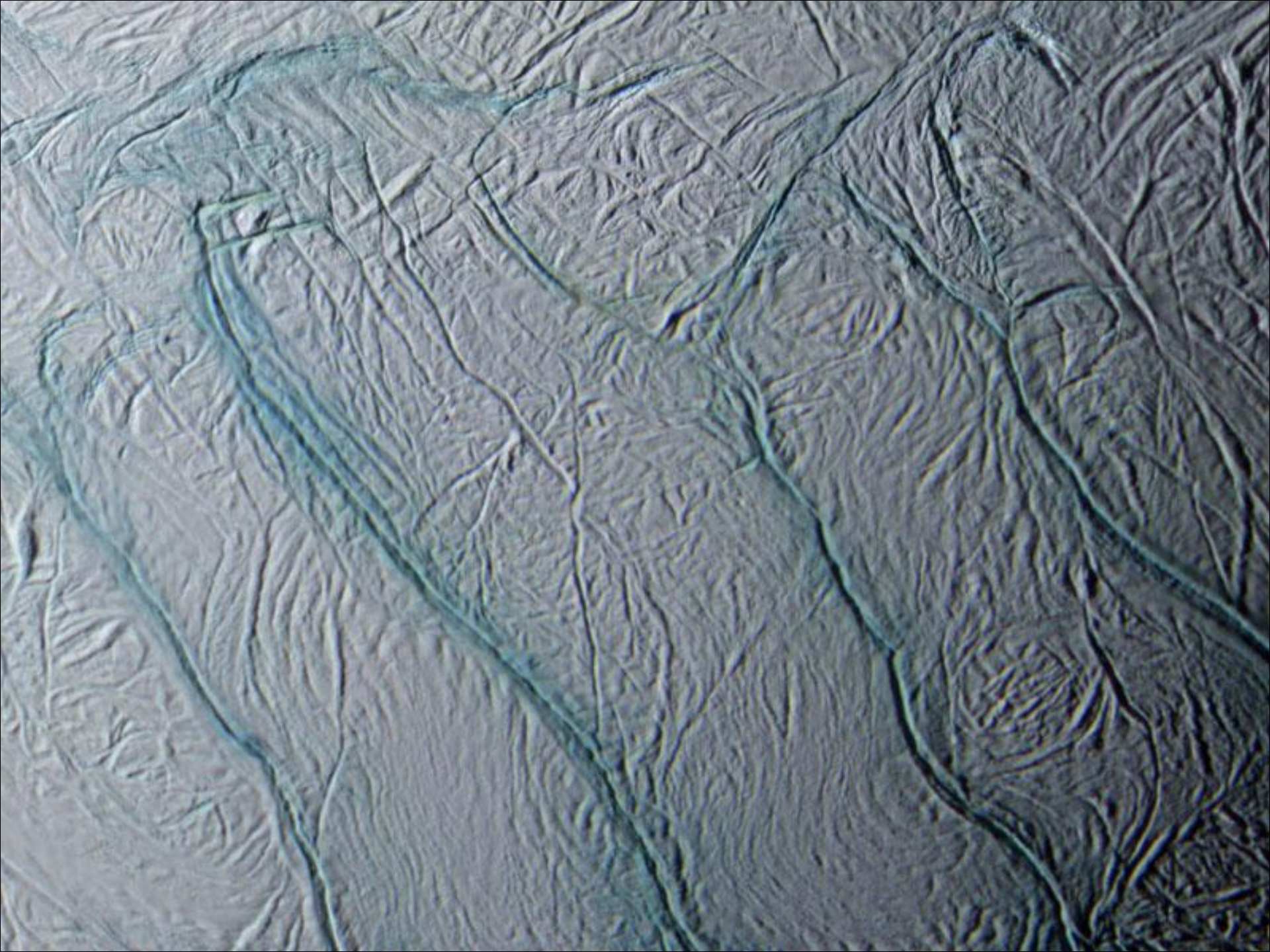


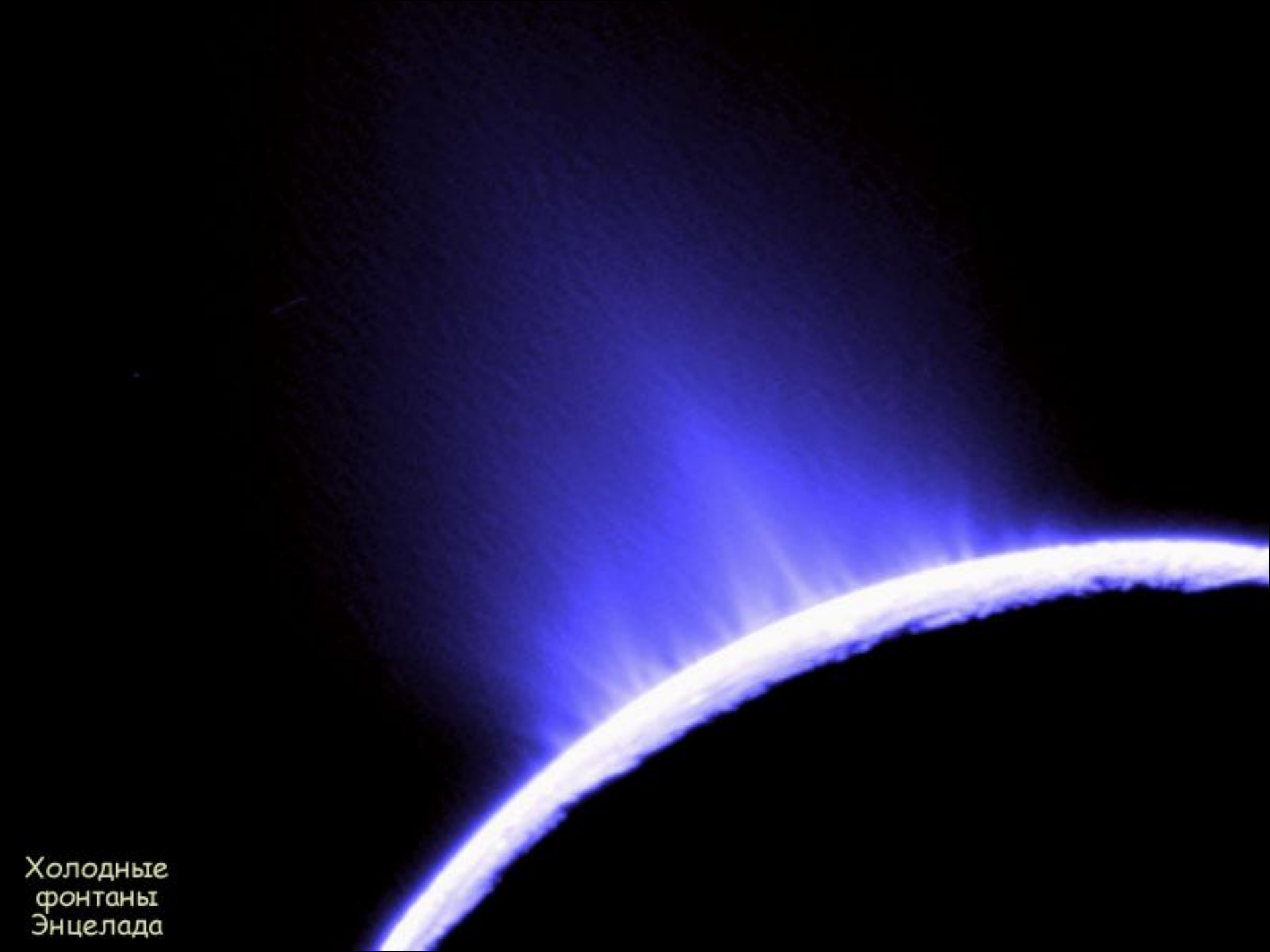
Европа

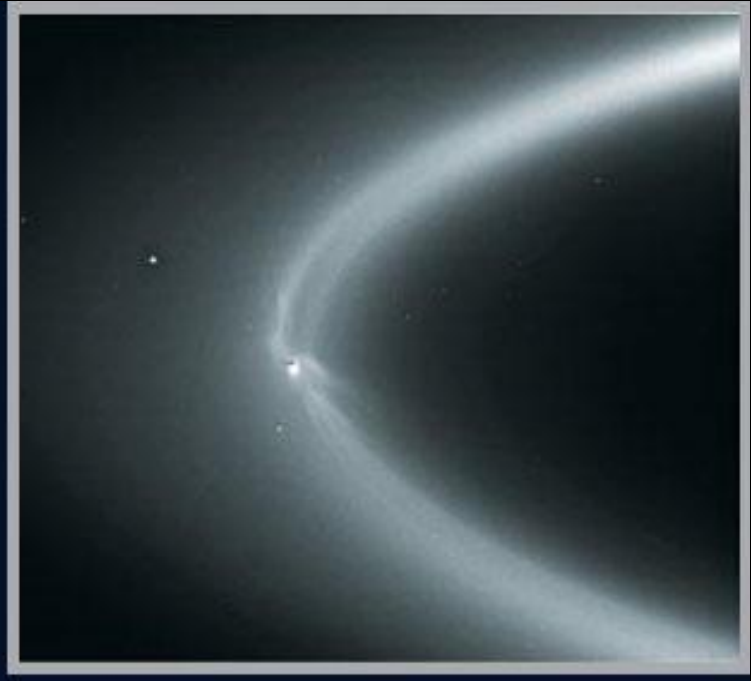


Энцелад
спутник Сатурна





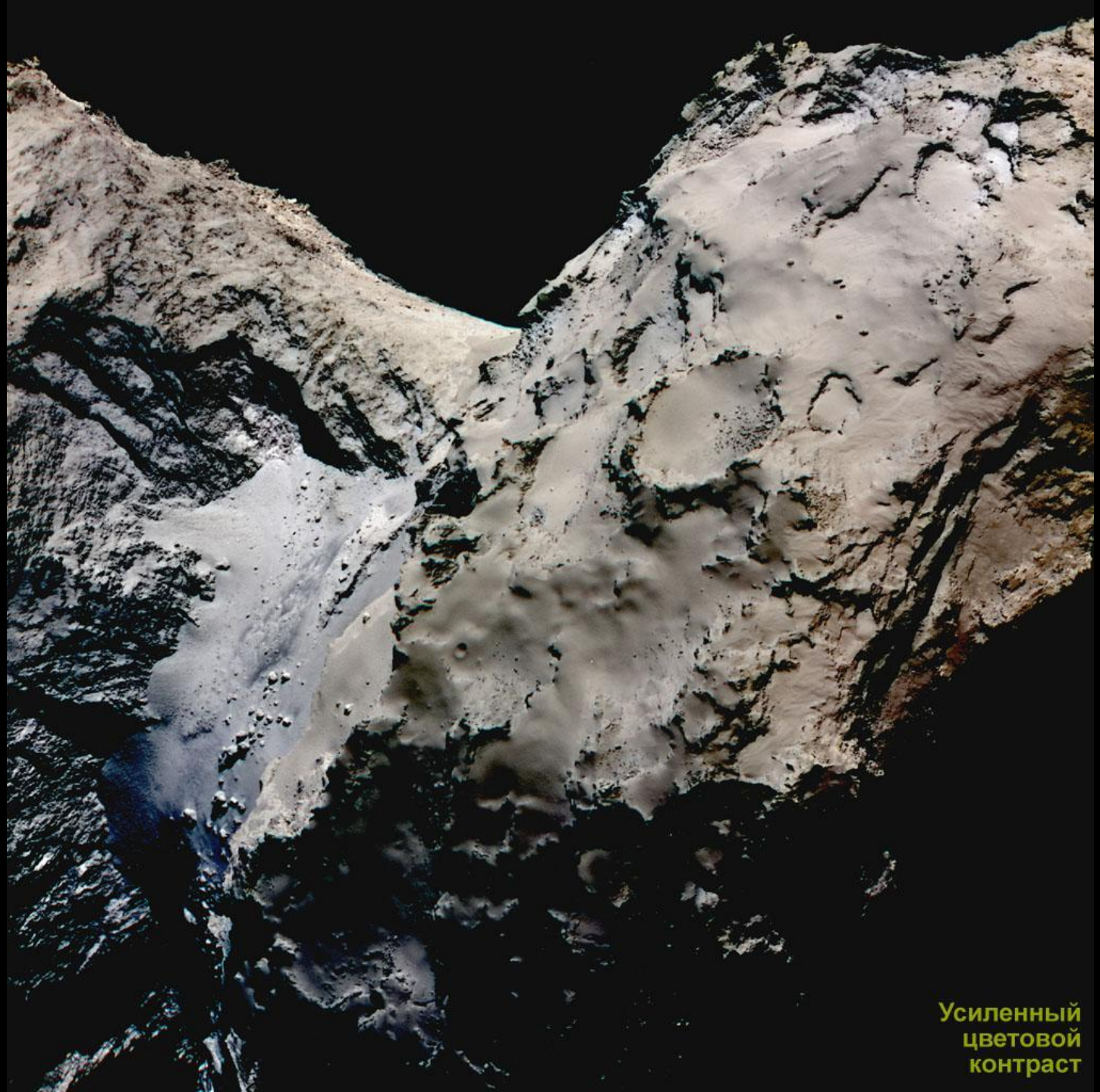

Холодные
фонтаны
Энцелада



Орбита Энцелада
(кольцо E Сатурна)

Фонтаны Энцелада

искусственными цветами
передана градация яркости


Усиленный
цветовой
контраст

40 m

Нам нужна запасная планета

В. Г. Сурдин, ГАИШ МГУ