

# ***Эволюция***

## **Солнца и Солнечной системы**

В. Г. Сурдин (ГАИШ МГУ)





*Наш Космический Дом*

Меркурий

Венера

Земля

Марс

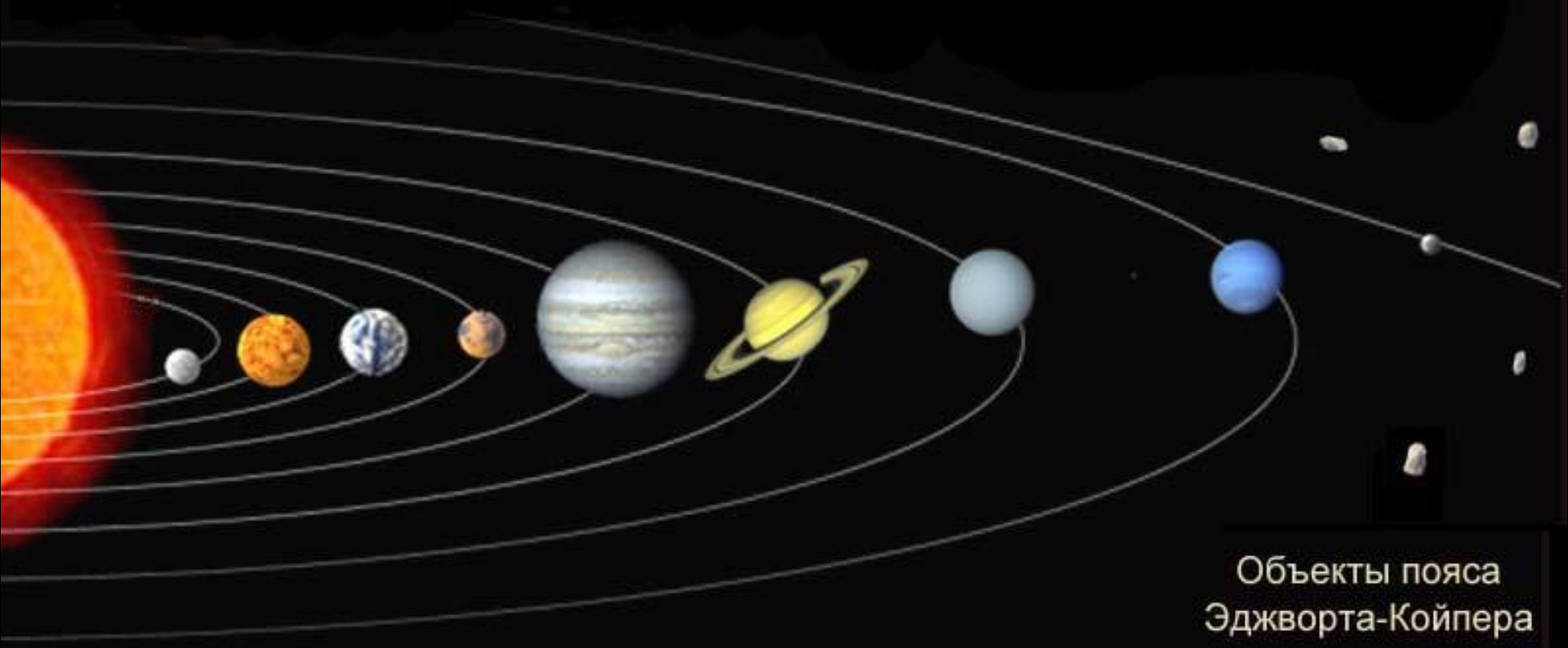
Юпитер

Сатурн

Уран

Нептун

Плутон



Объекты пояса  
Эдворта-Койпера

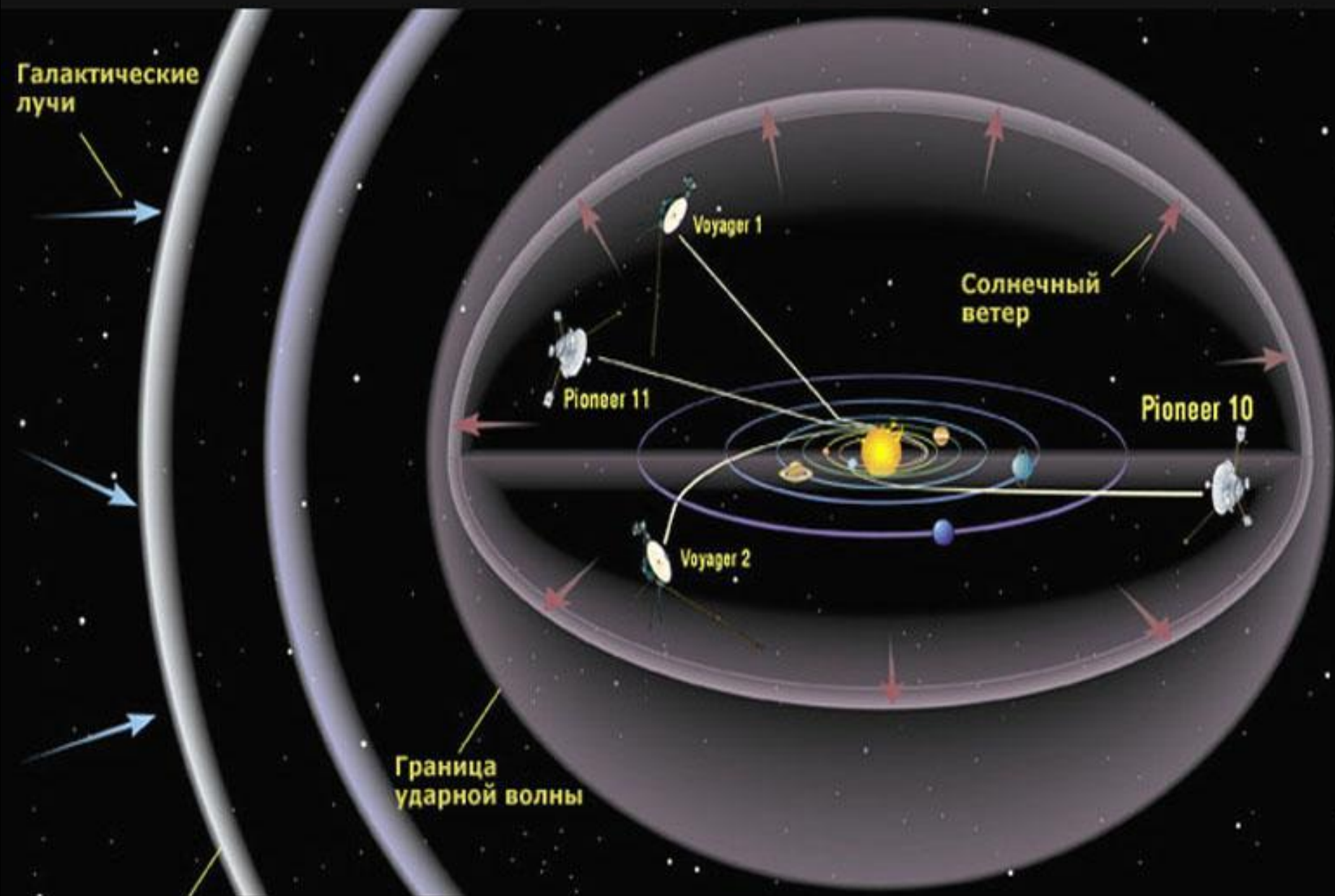


Кометы

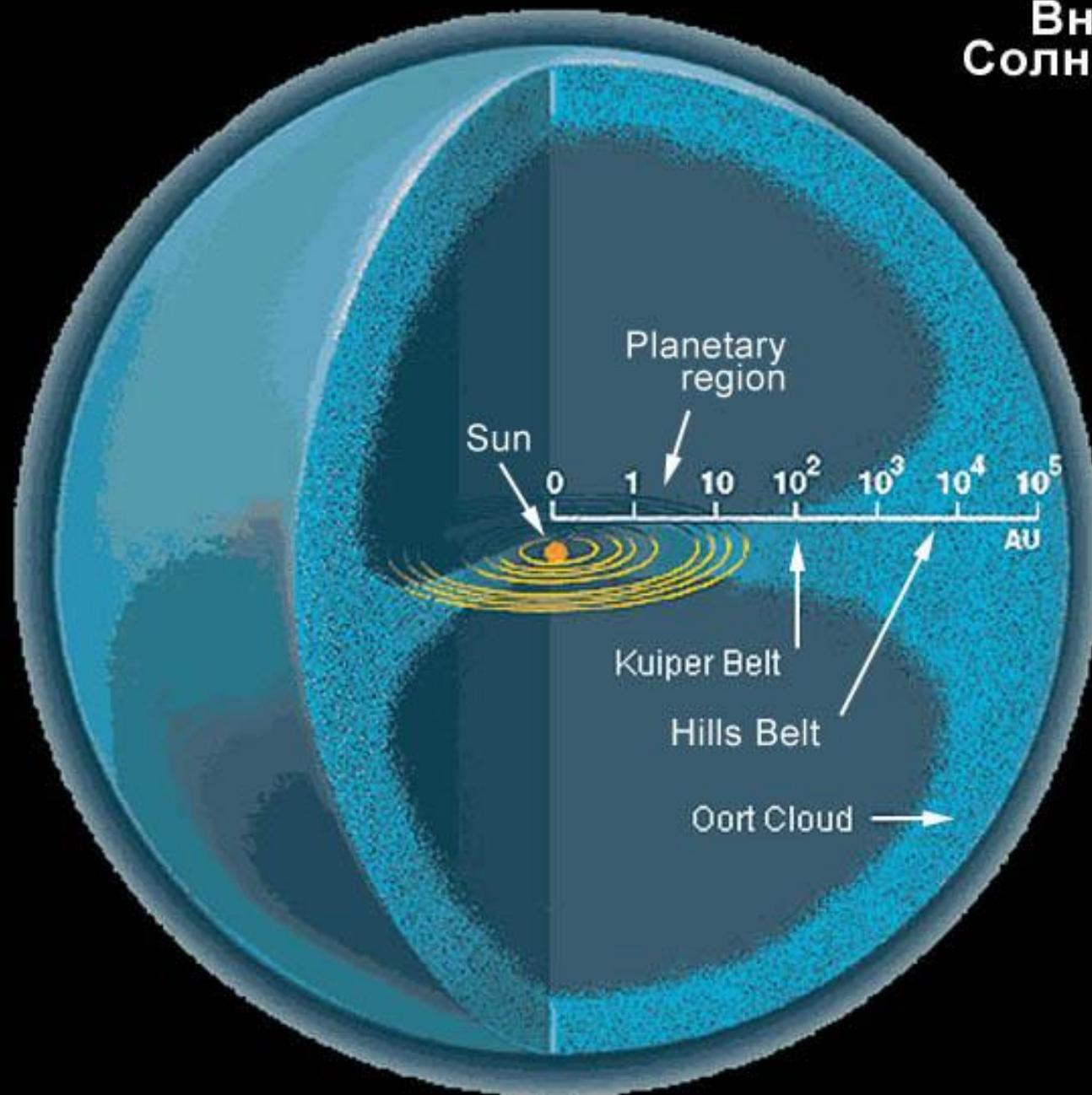
Астероиды



# Большая Солнечная система



# Внешние области Солнечной системы

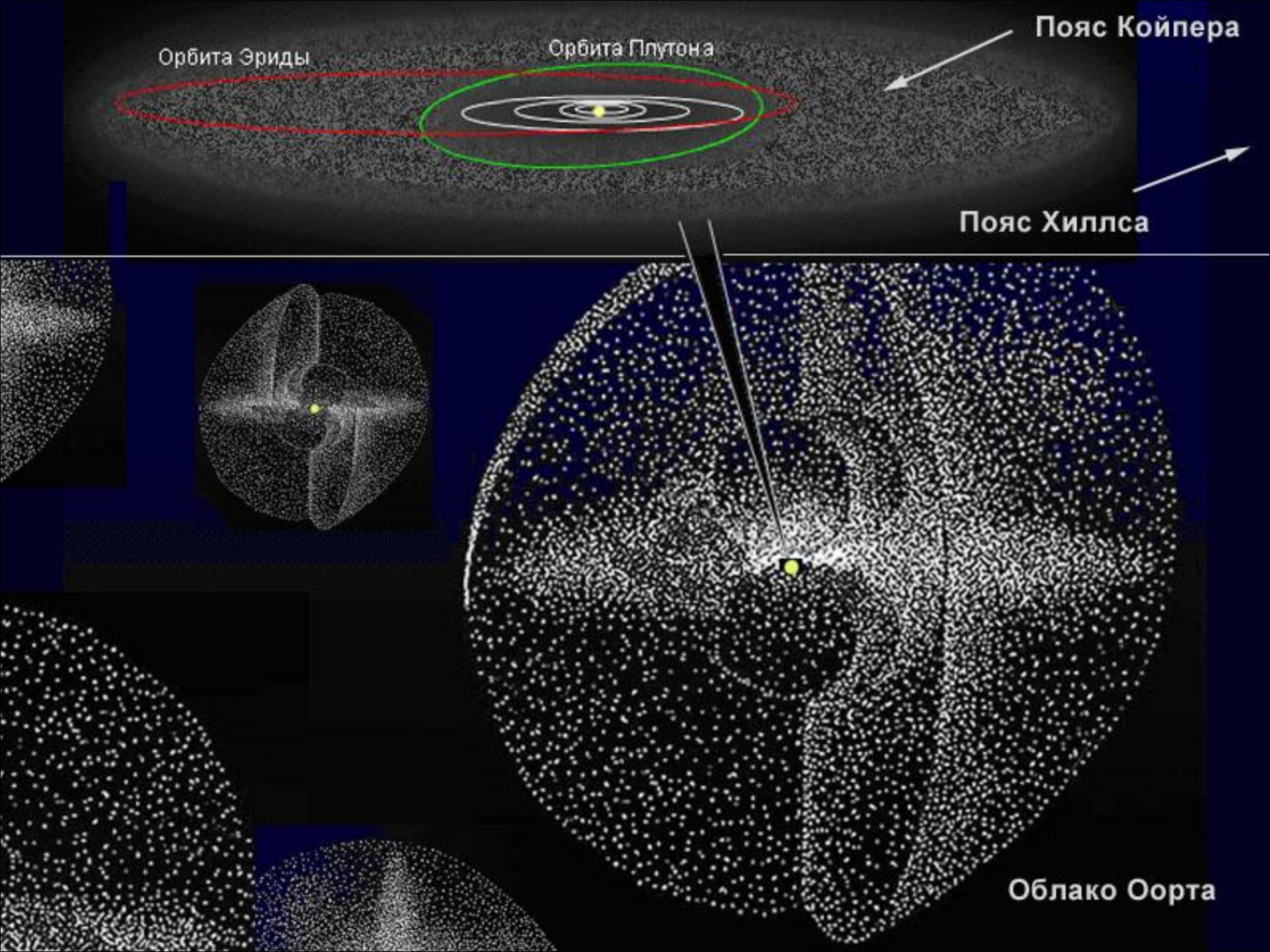


Область  
больших  
планет

Пояс Койпера

Пояс Хиллса

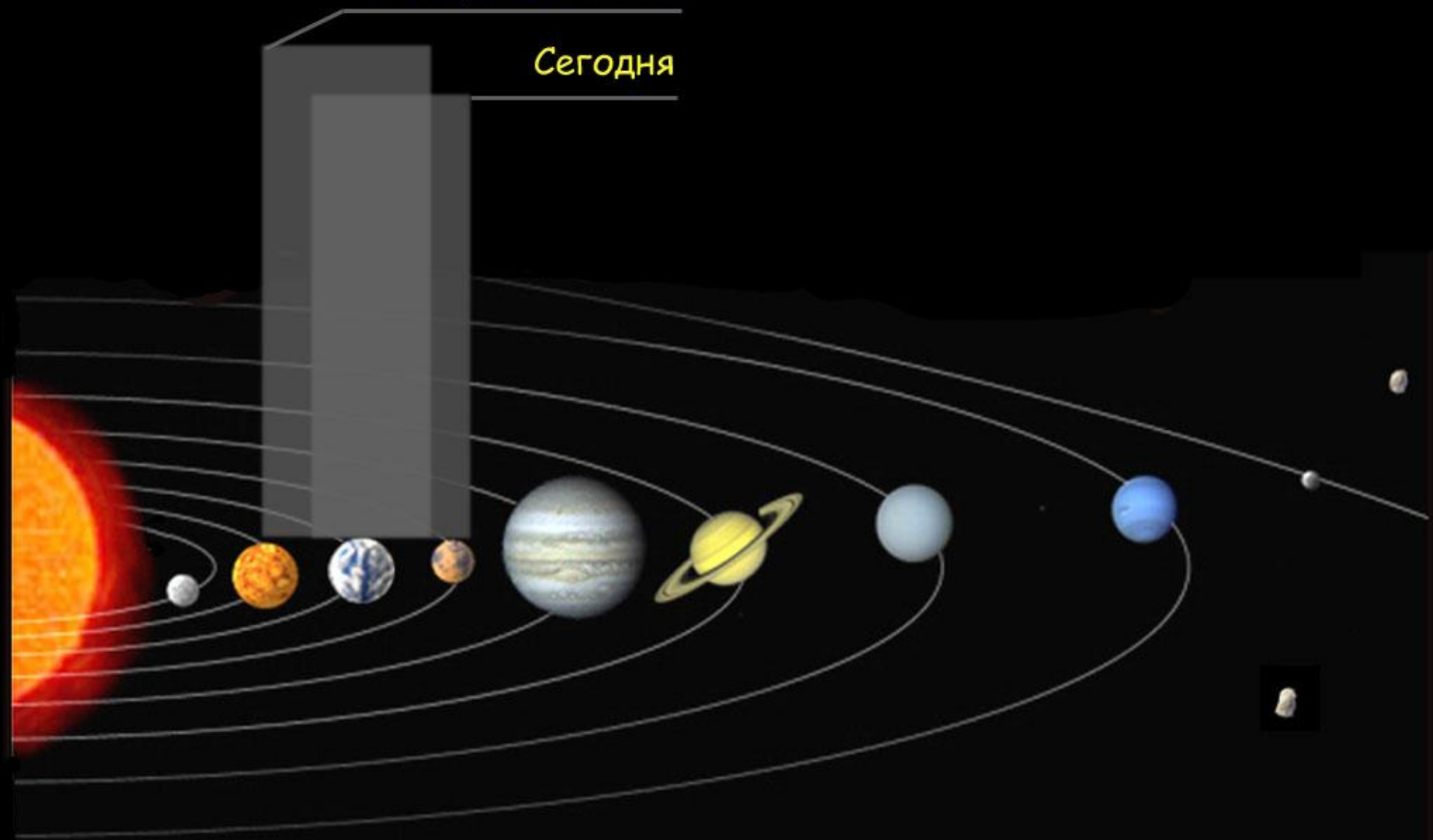
Облако Оорта



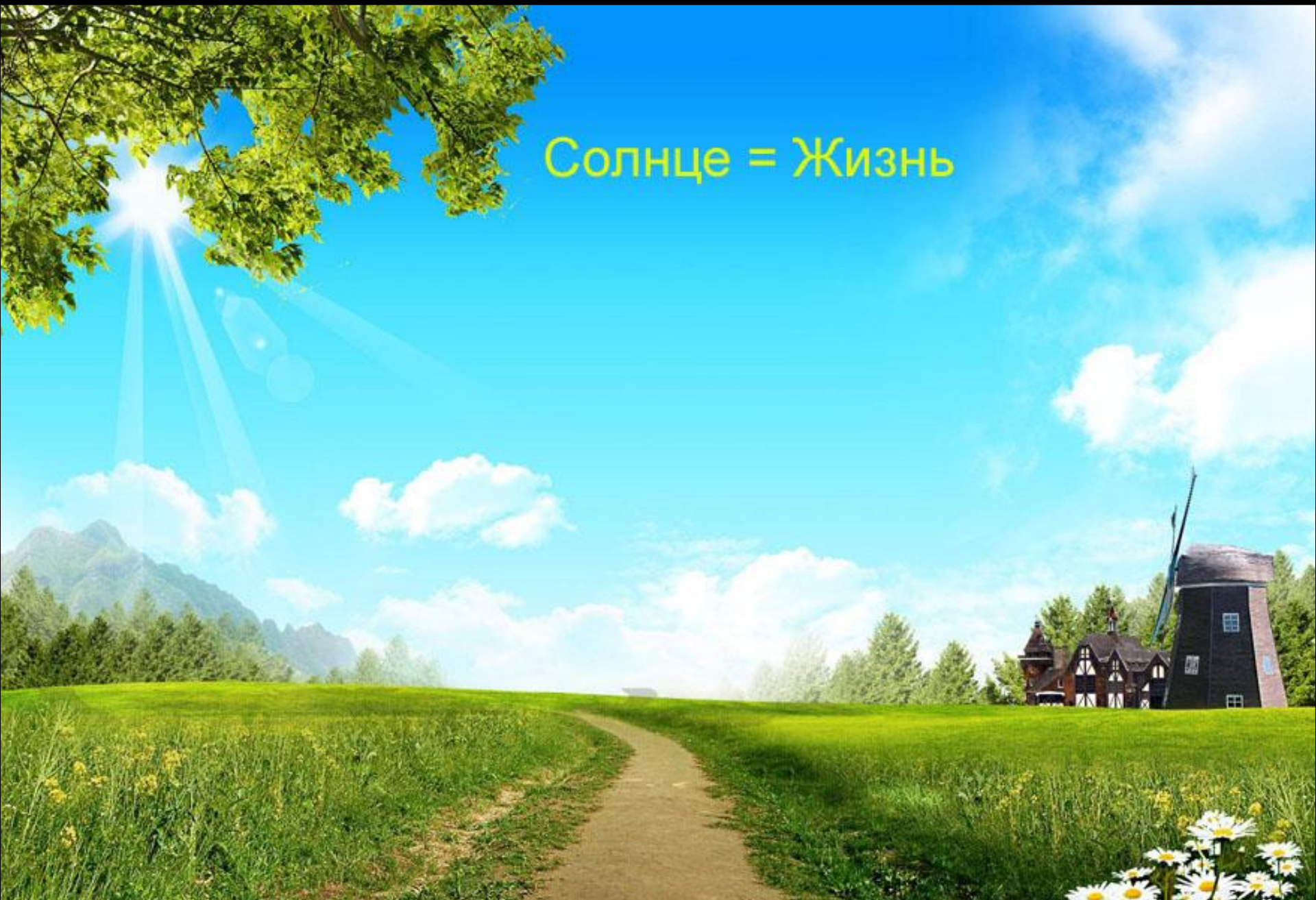
# Зона жизни

4,5 млрд лет назад

Сегодня



Солнце = Жизнь





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

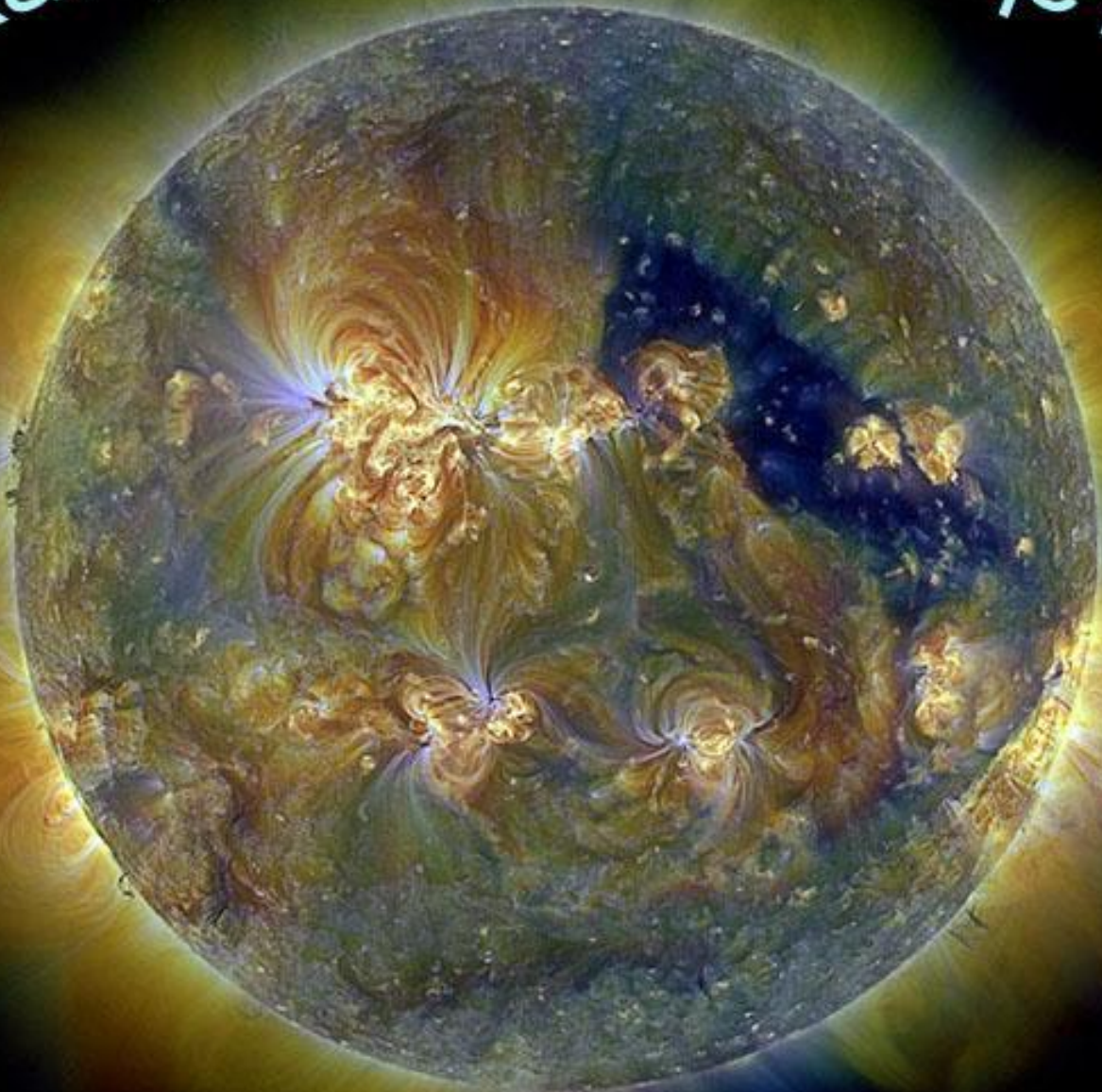
Мировой океан  
испарится в космос  
за **4 минуты**

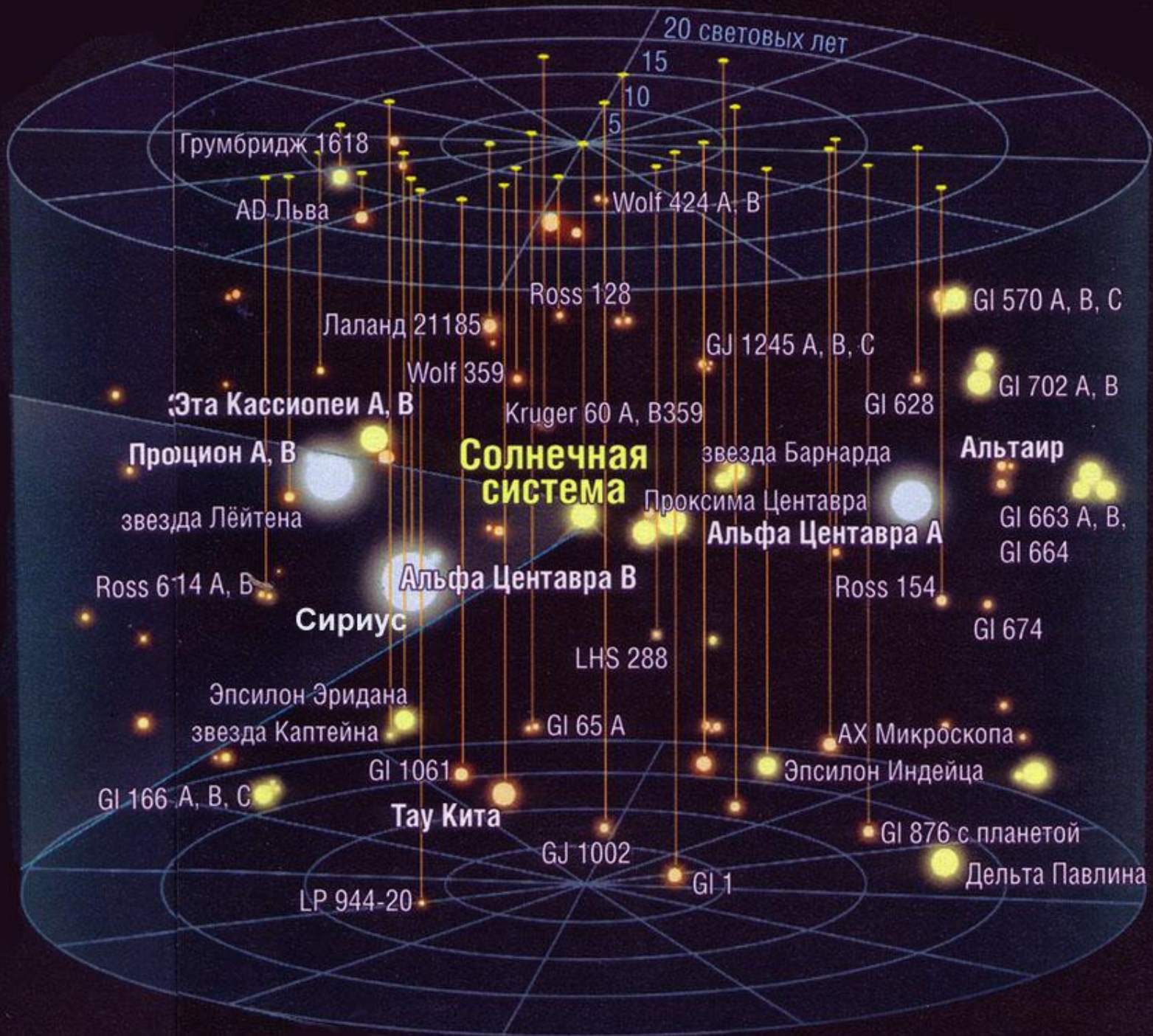


Планета  
полностью  
разрушится  
за **10 суток**



Как родилось Солнце?



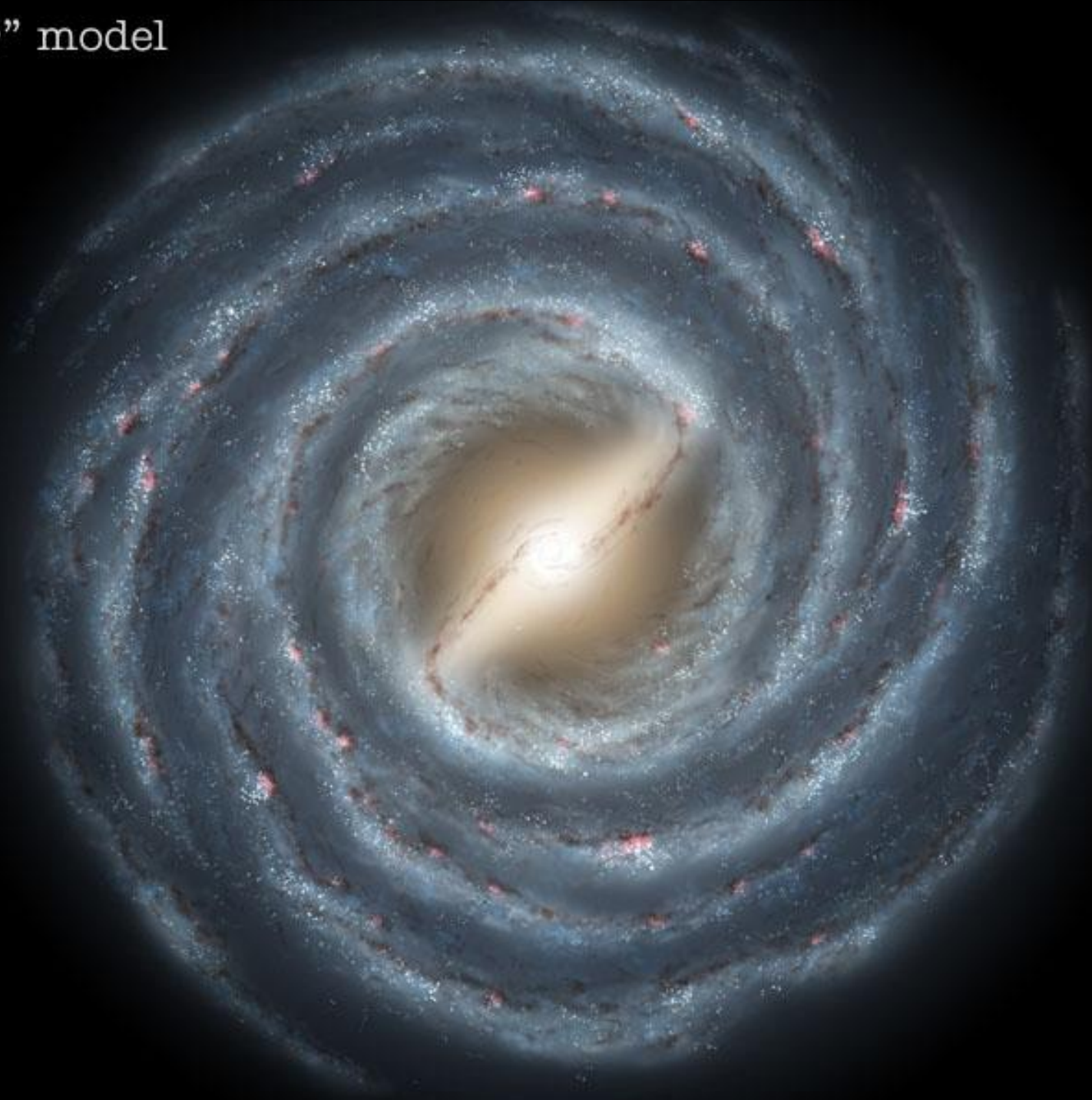


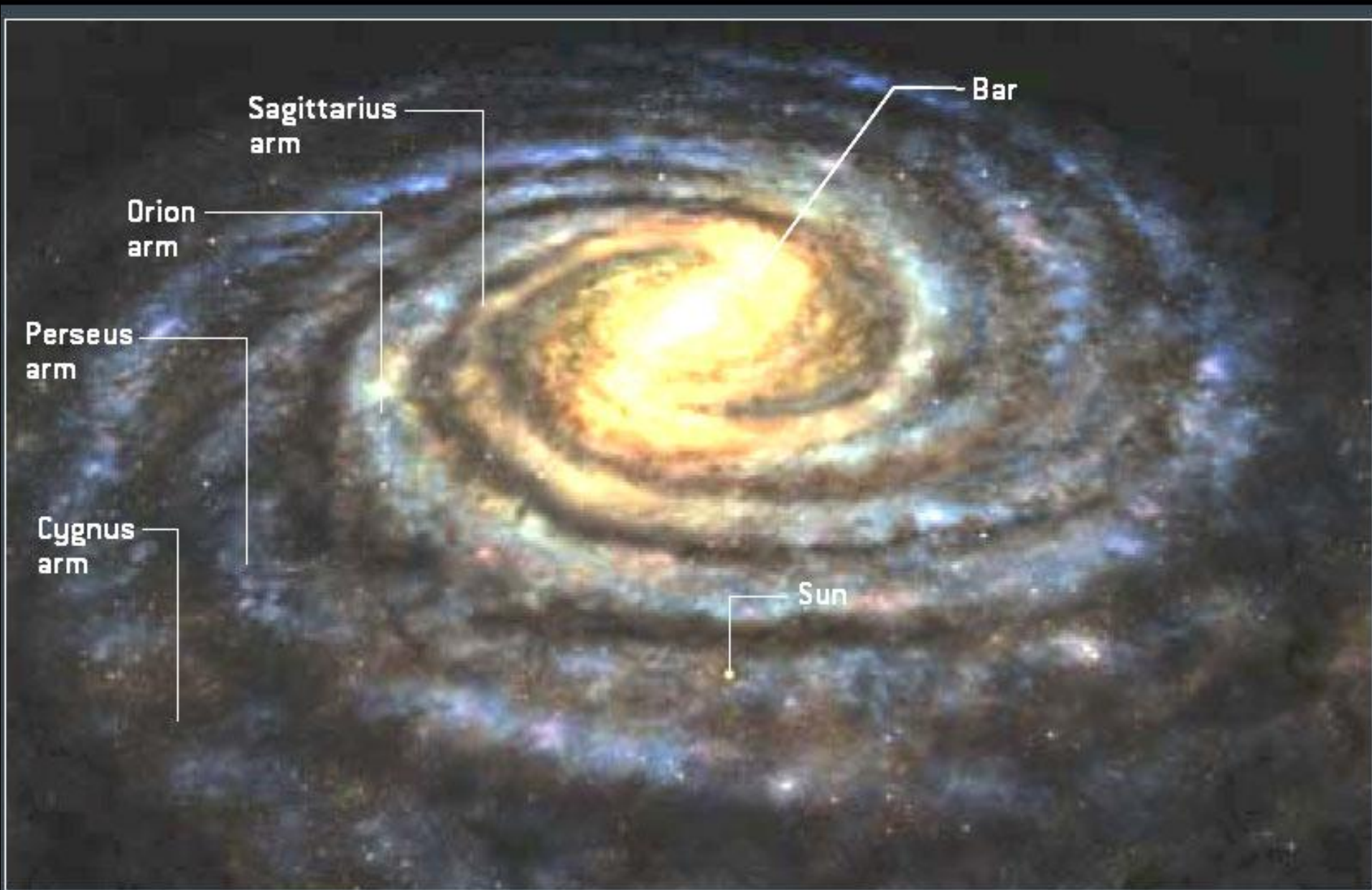


NGC 3370 HST

“Spitzer” model

2006





Sagittarius  
arm

Orion  
arm

Perseus  
arm

Cygnus  
arm

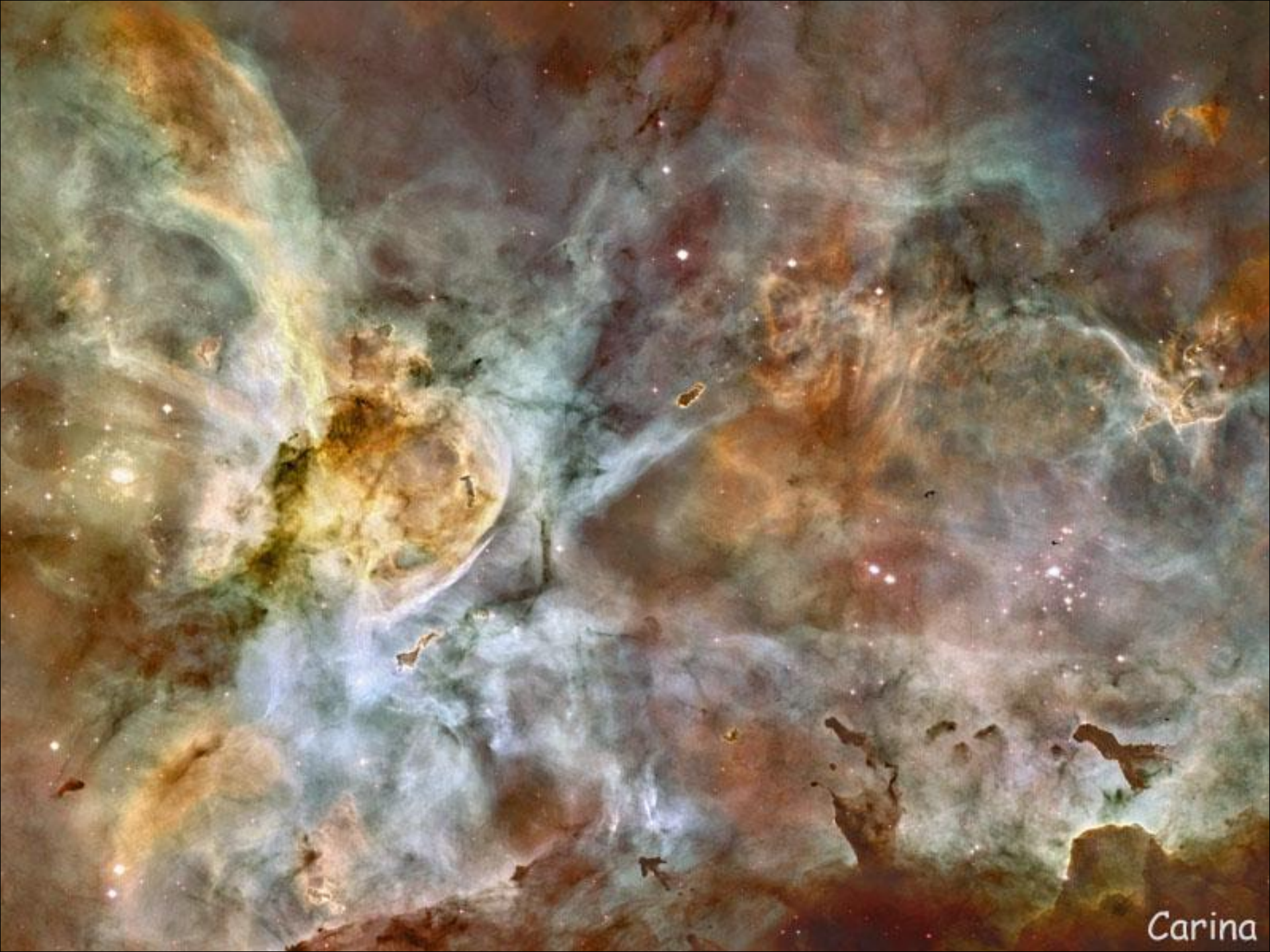
Bar

Sun





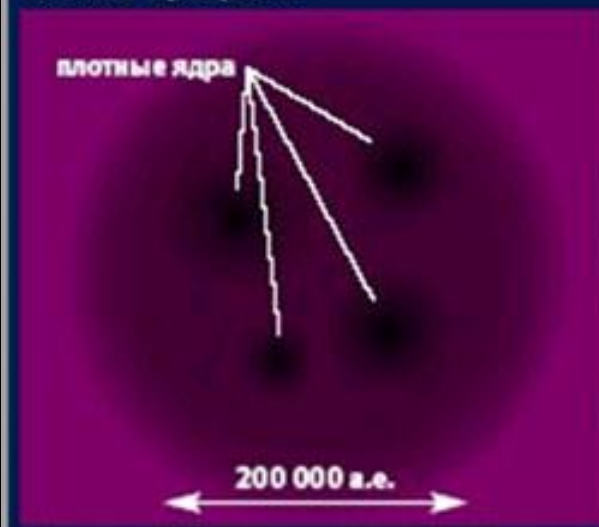




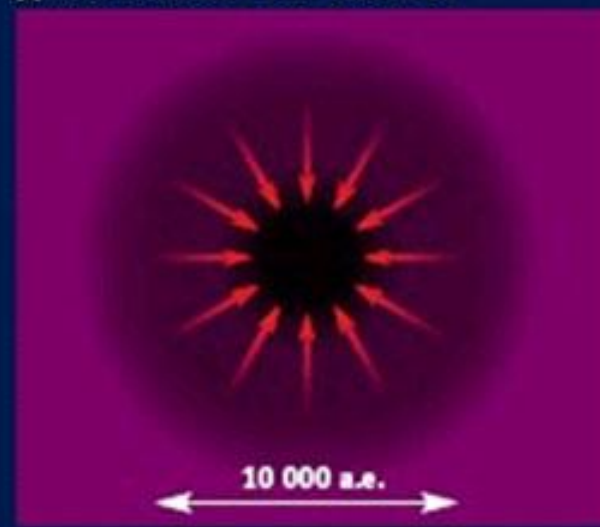
Carina



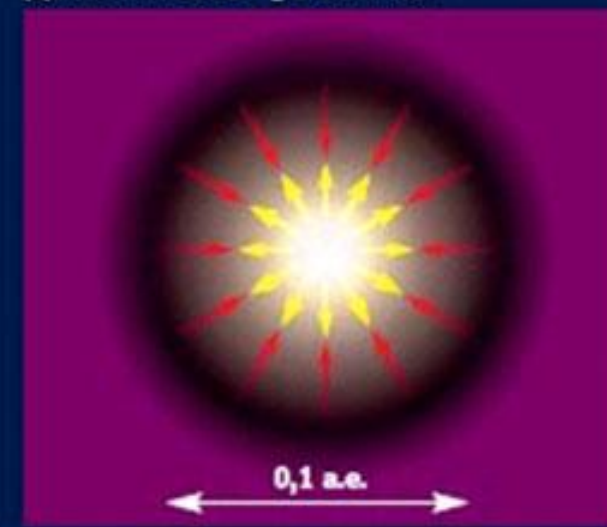
**Темное межзвездное облако**  
Начало процесса



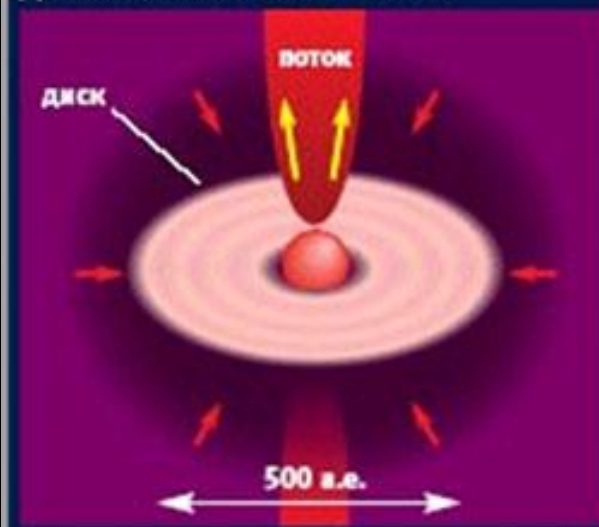
**Быстрое сжатие плотного ядра**  
Длительность ~100 тыс. лет



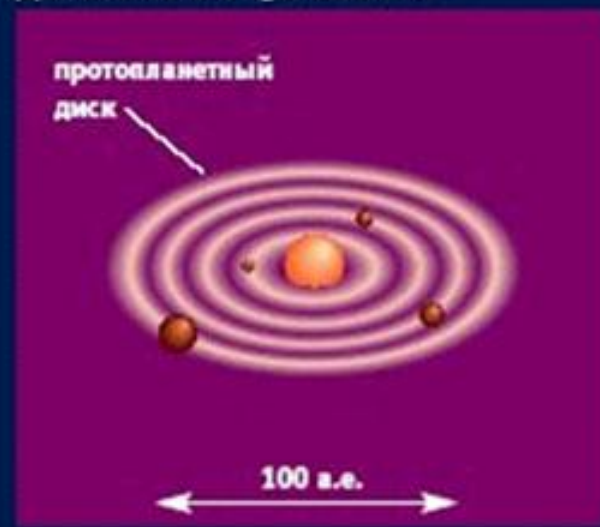
**Медленное сжатие**  
Длительность ~50 млн лет



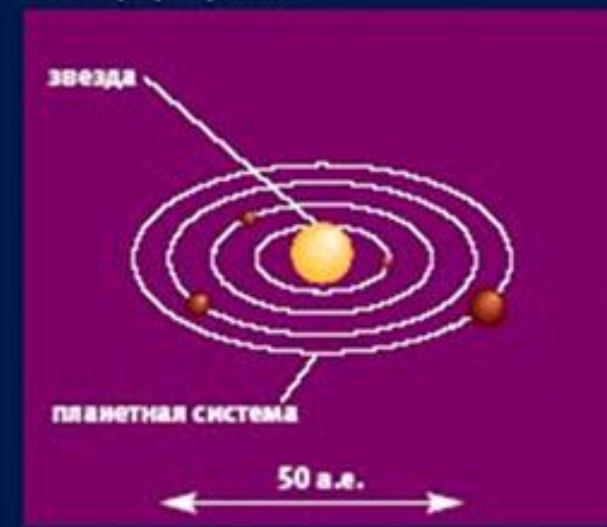
**Протозвезда**  
Длительность ~100 тыс. лет



**Очень молодая звезда**  
Длительность ~50 млн лет

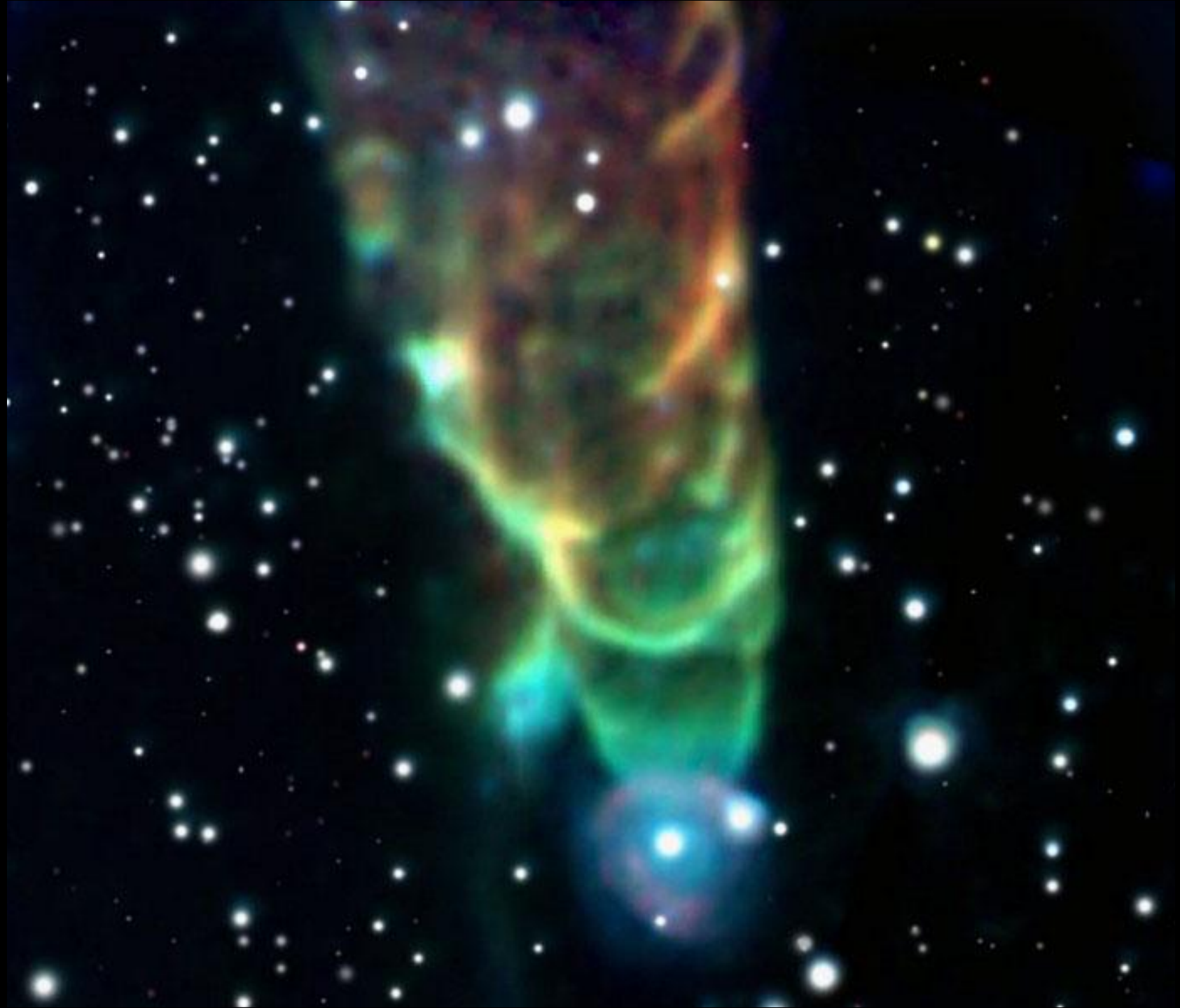


**Молодая звезда**  
Конец процесса



**Этапы формирования звезды**















NGC 2237-9  
(Monoceros)

Rosette  
nebula



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

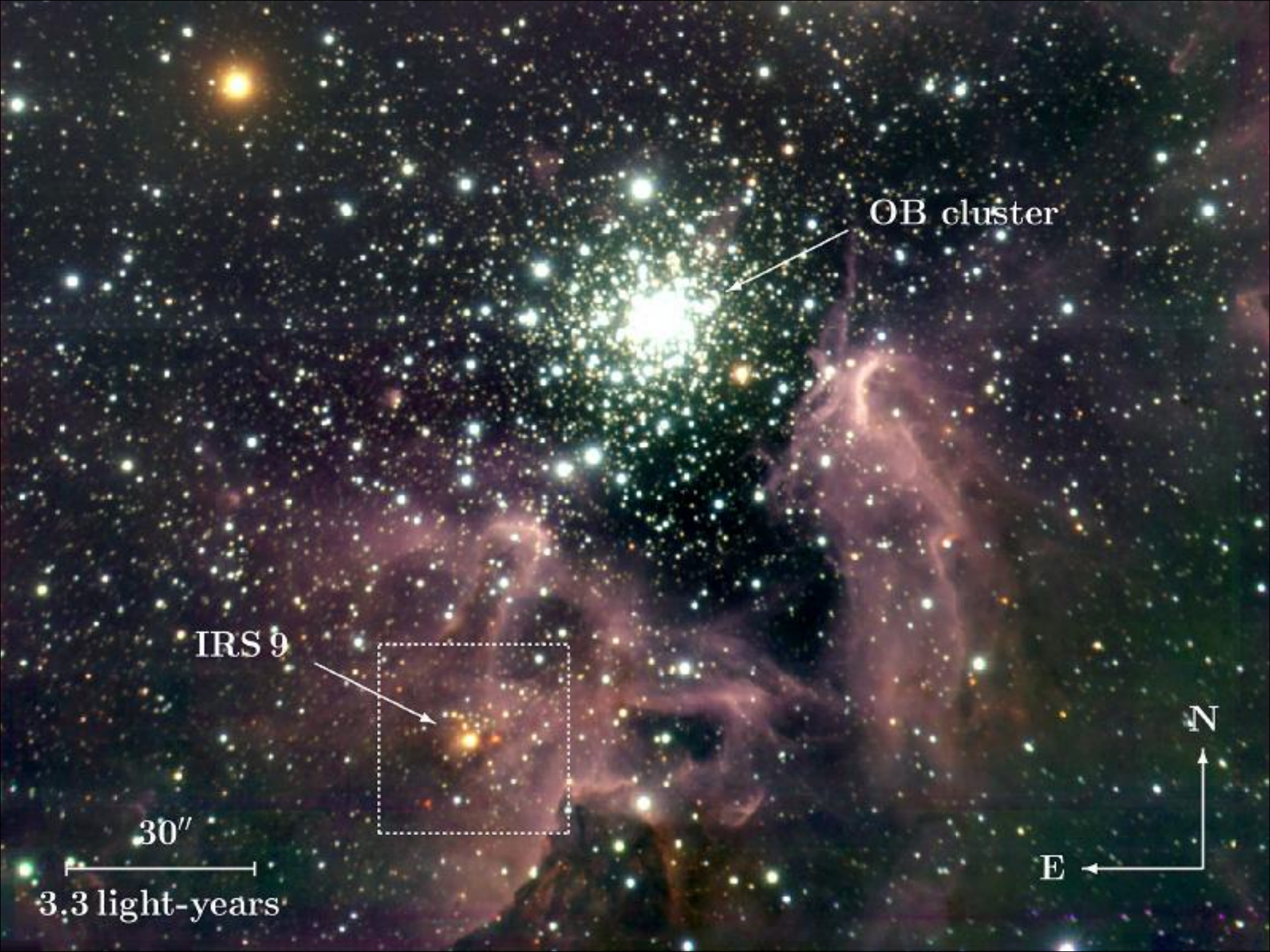
*Не исключено,  
что в них  
формируется  
следующее  
поколение  
звезд*

**Star-Forming "Bubble" RCW 79**

**Spitzer Space Telescope • IRAC**

NASA / JPL-Caltech /

E. Churchwell (University of Wisconsin-Madison)



OB cluster

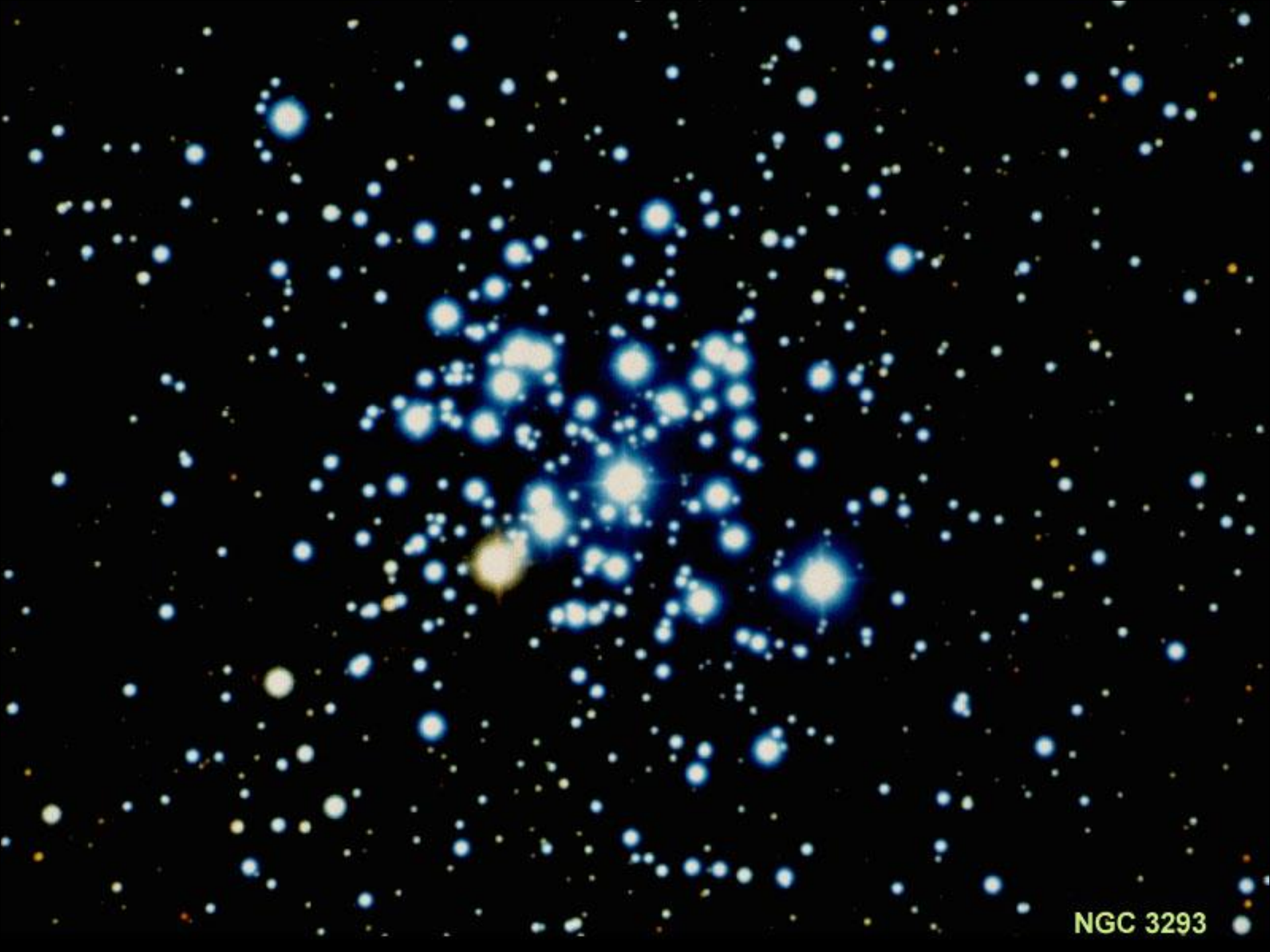
IRS 9

30''

3.3 light-years

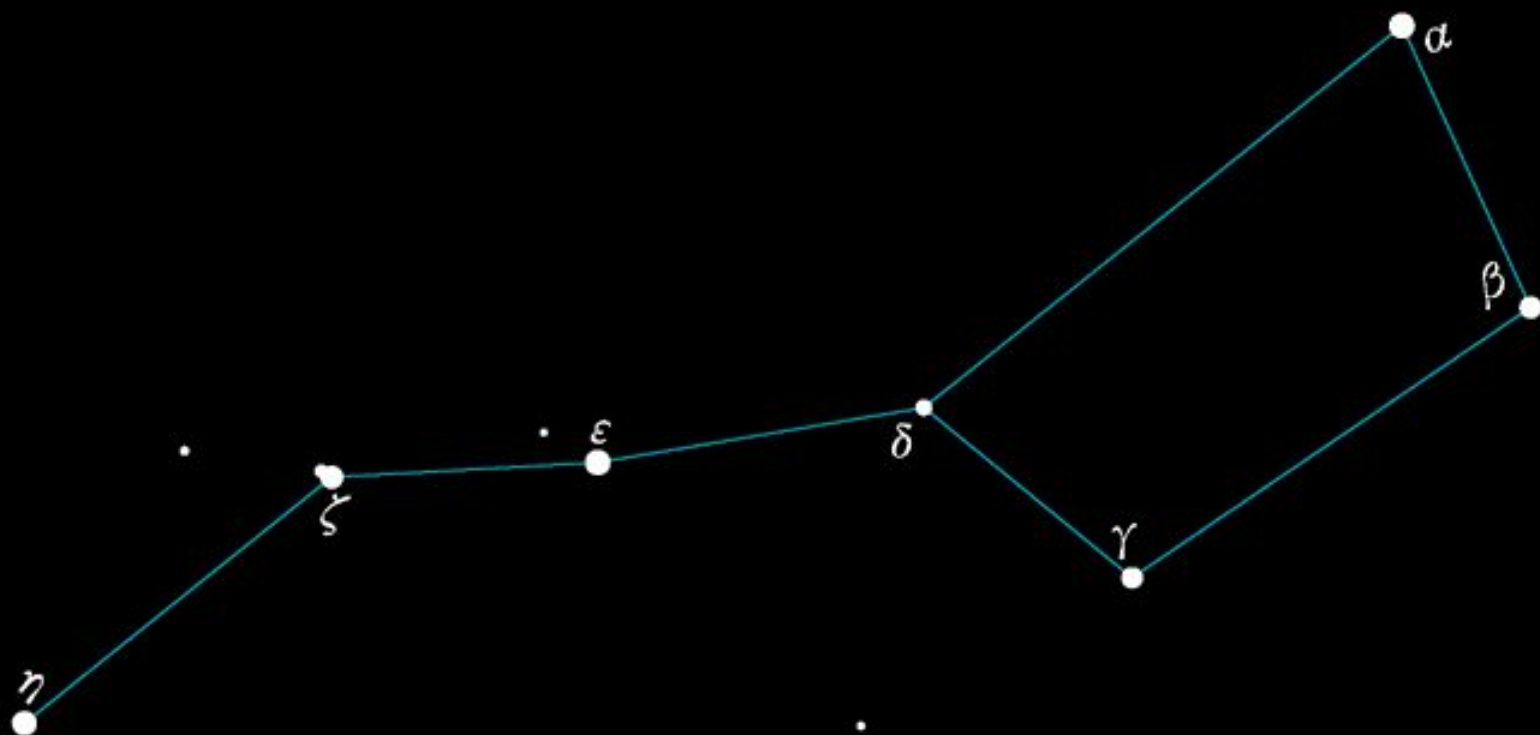
N

E

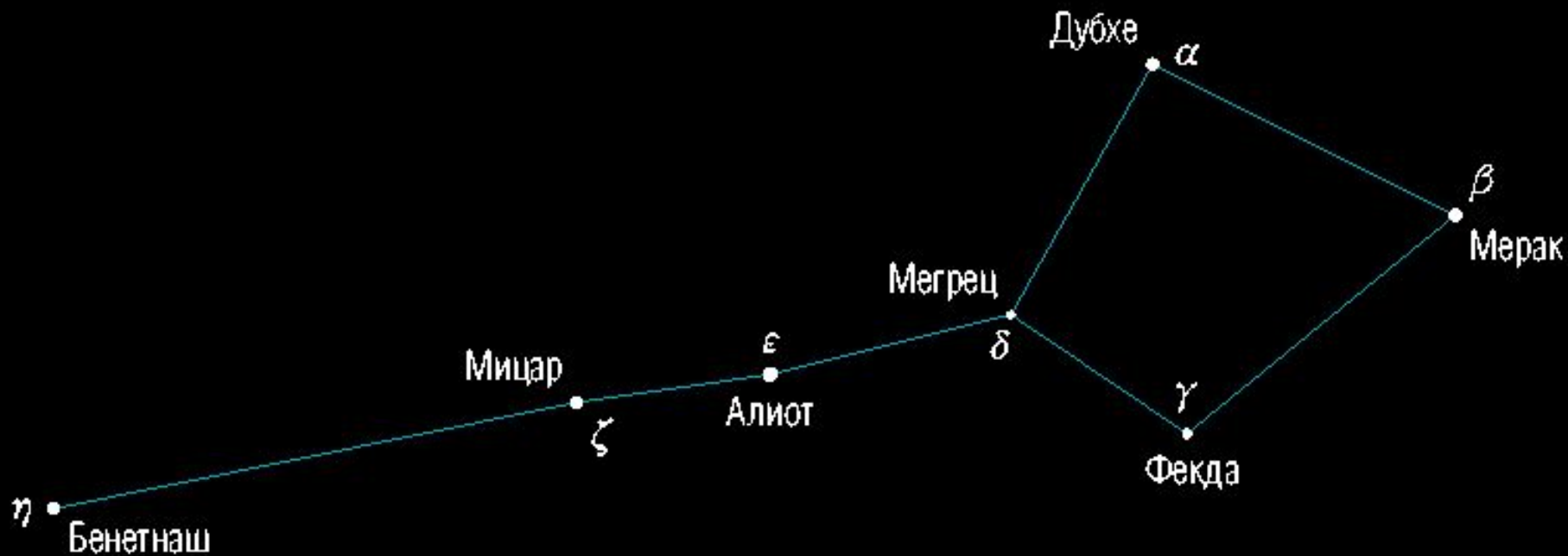


NGC 3293

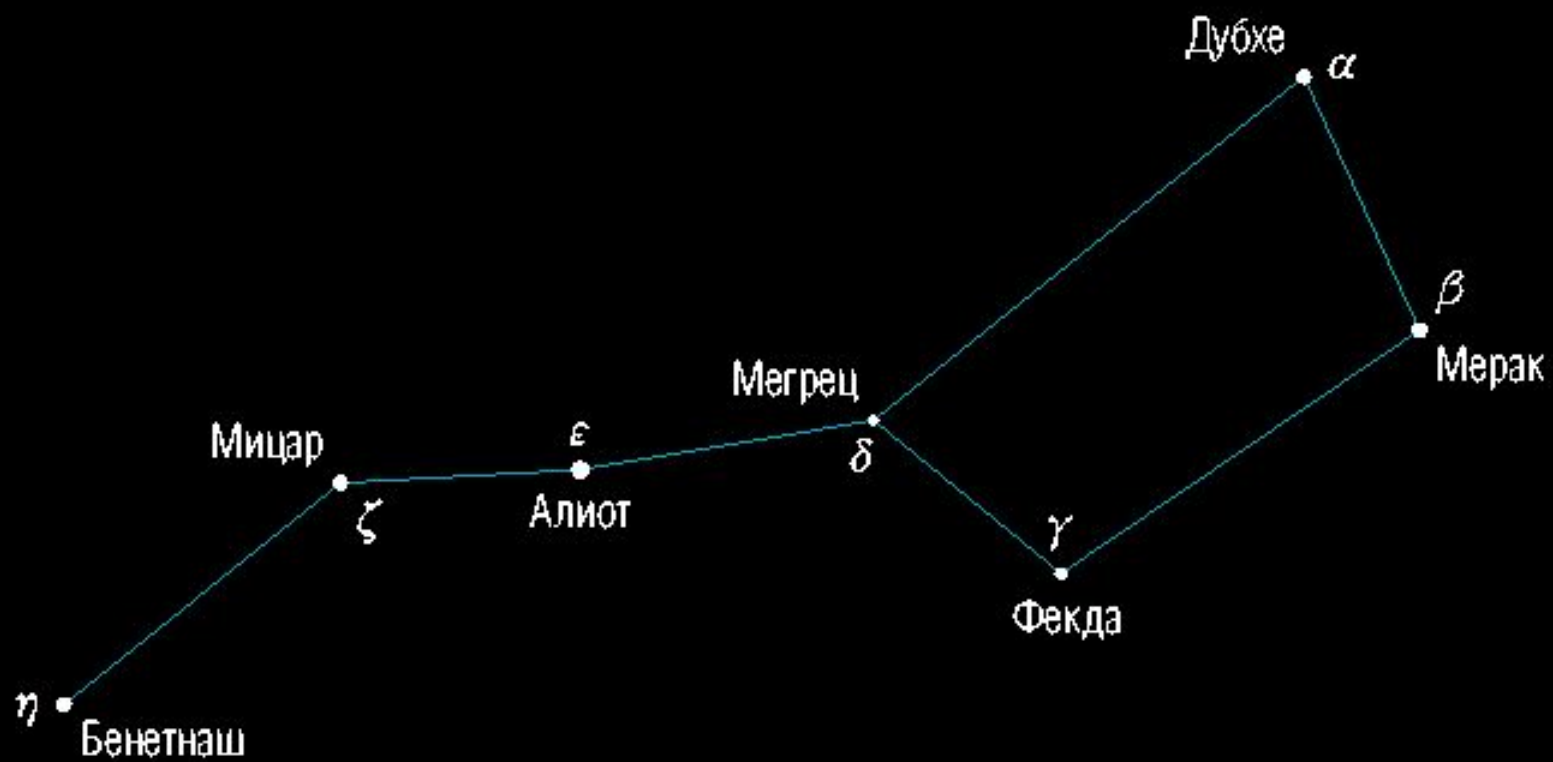
# Ковш (астеризм)



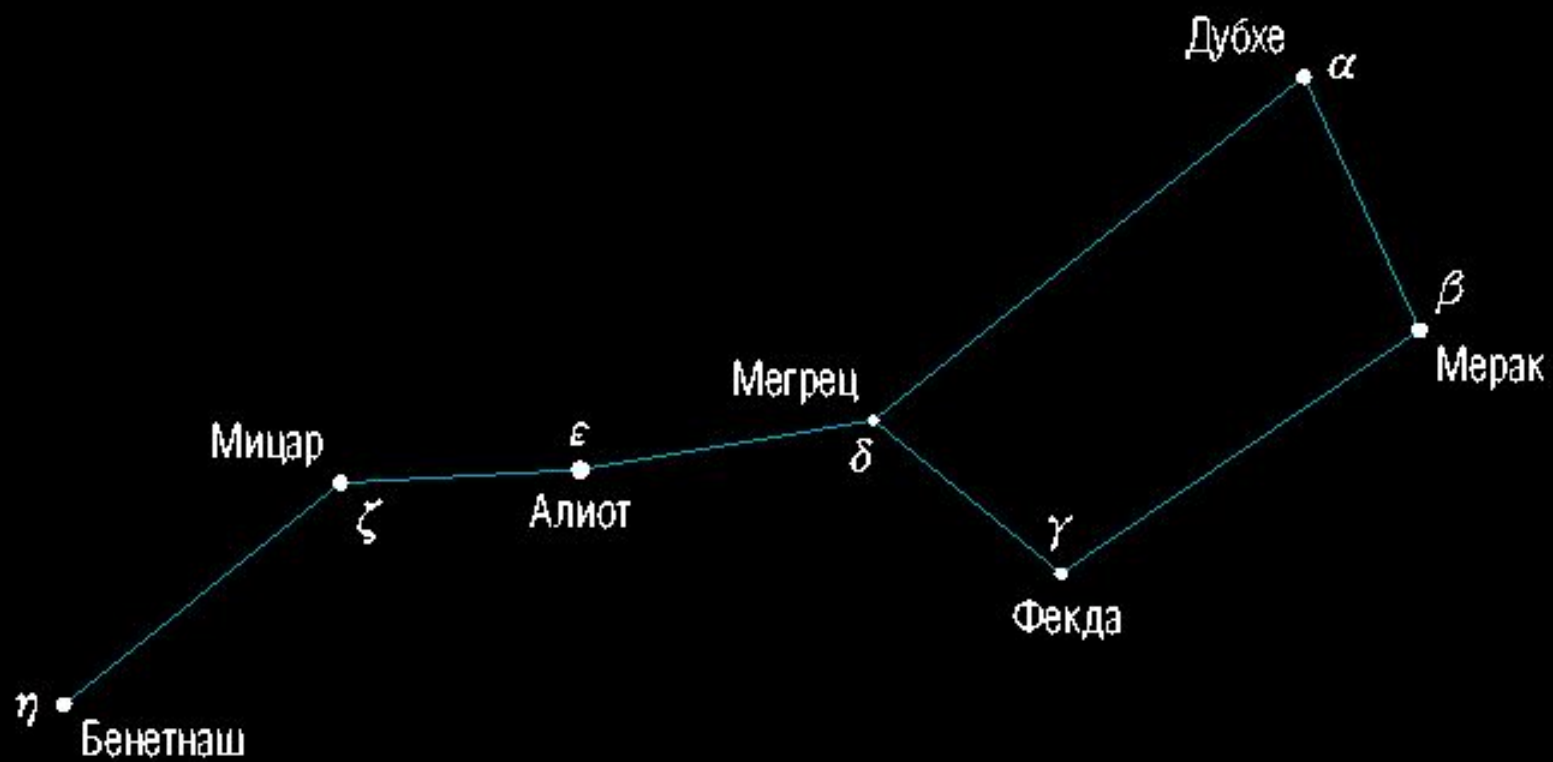
100 000 лет тому назад



В настоящее время

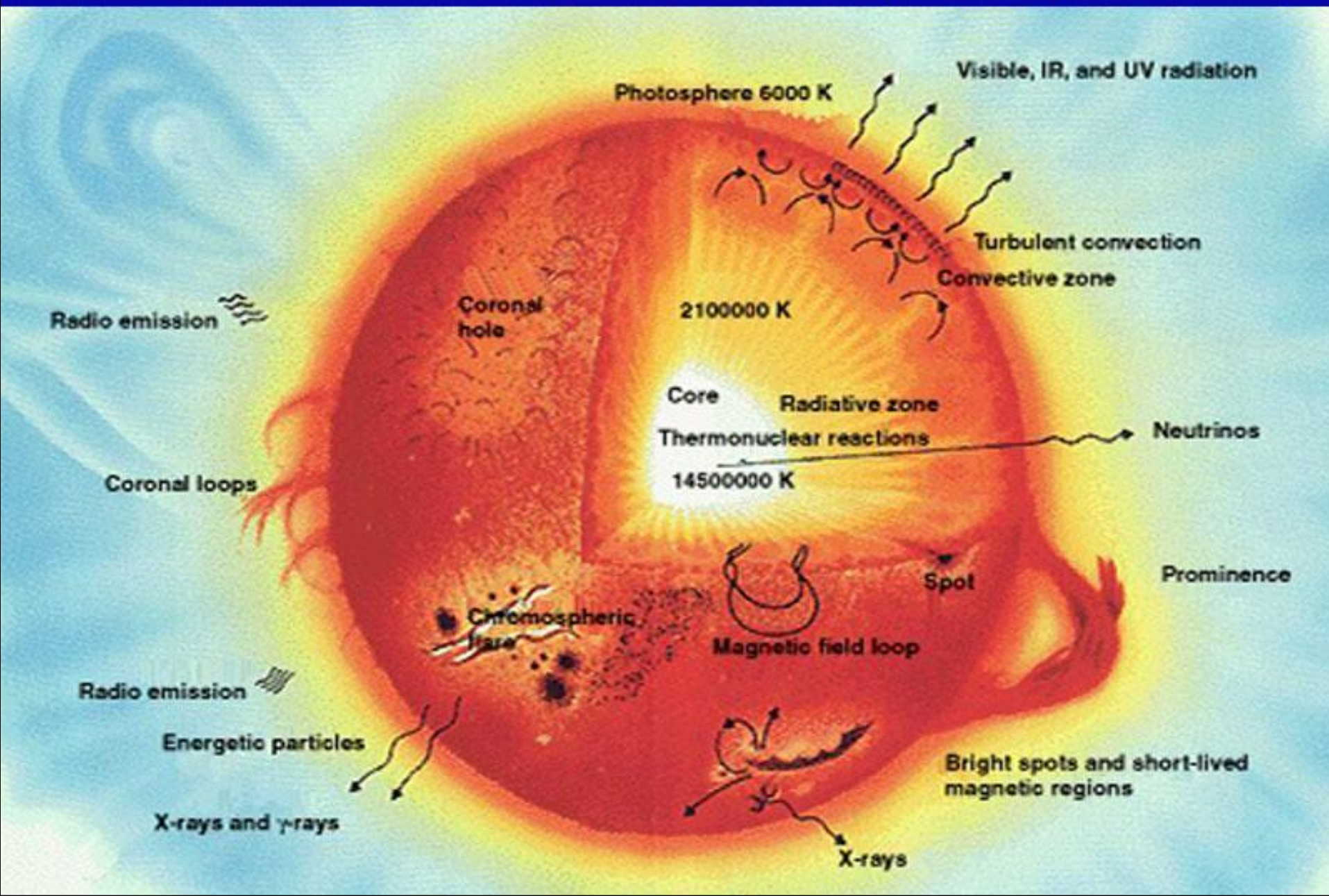


В настоящее время





# С возрастом мощность Солнца возрастает



# Воздушный шарик — модель красного гиганта

НАДУВАЕМ!



Чем больше размер оболочки, тем она прозрачнее

Антарес



Бетельгейзе



Наше Солнце →

Сириус

Арктур

Поллукс



Ригель



Альдебаран

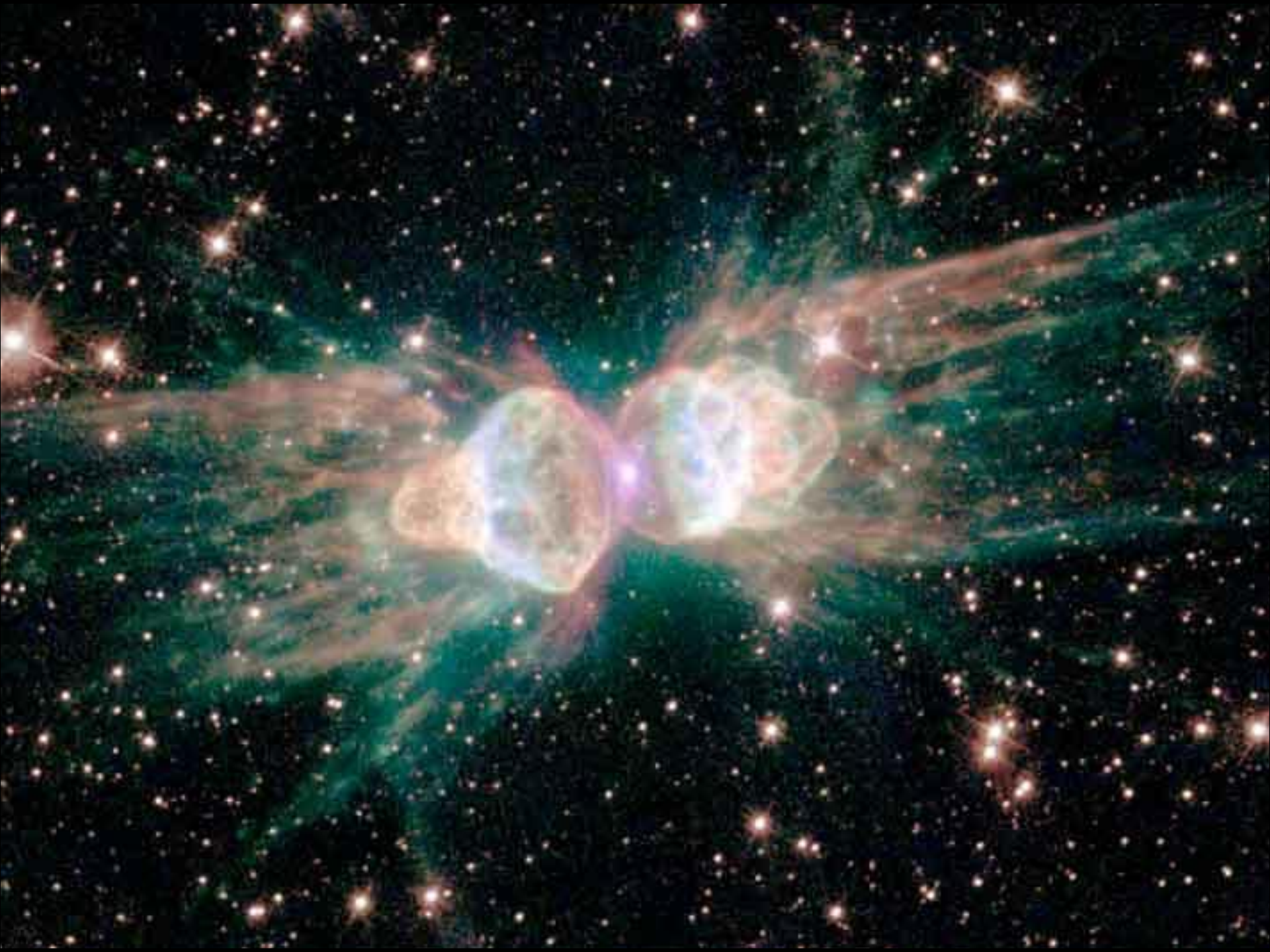


# Эволюция Солнца



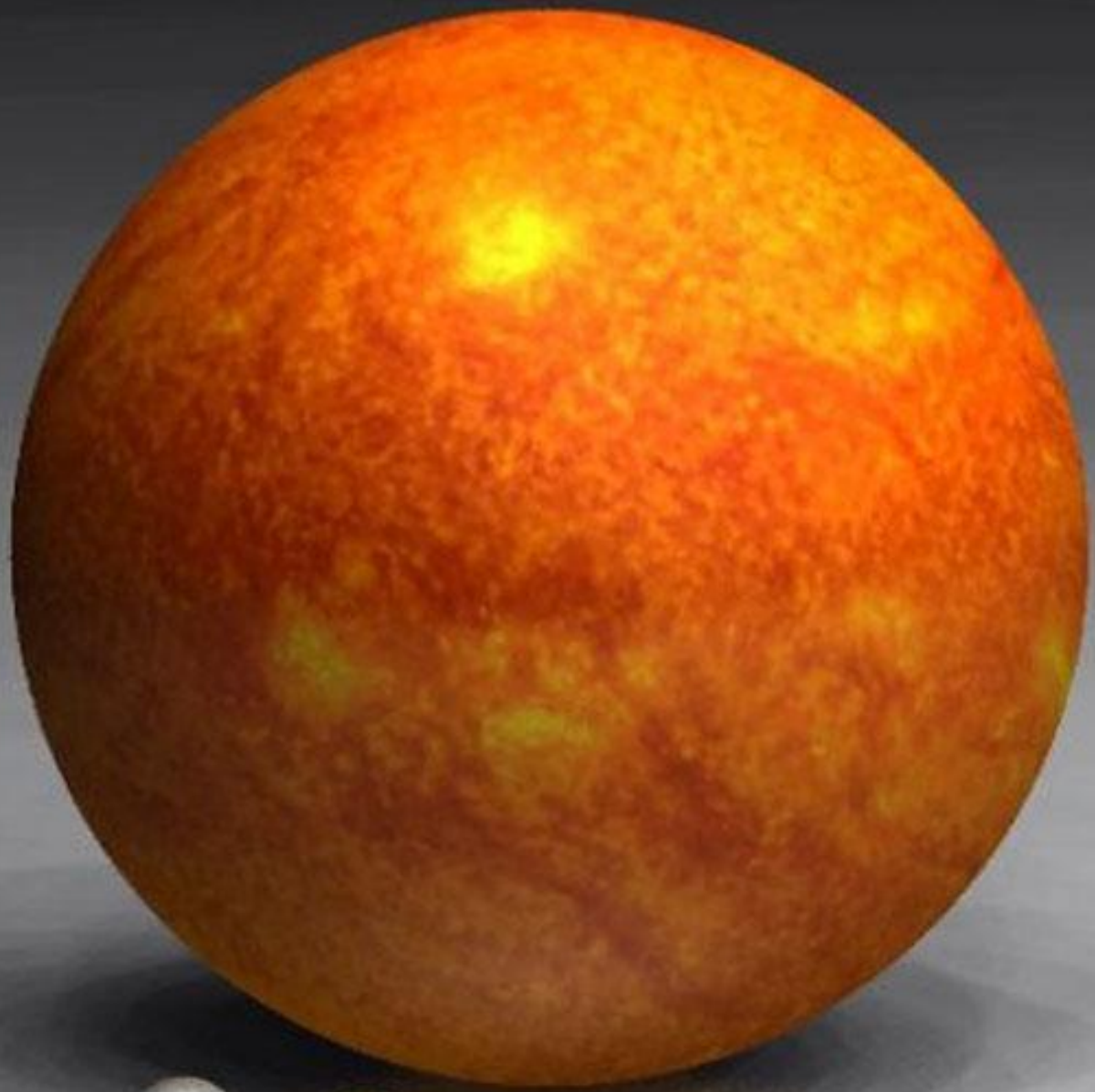


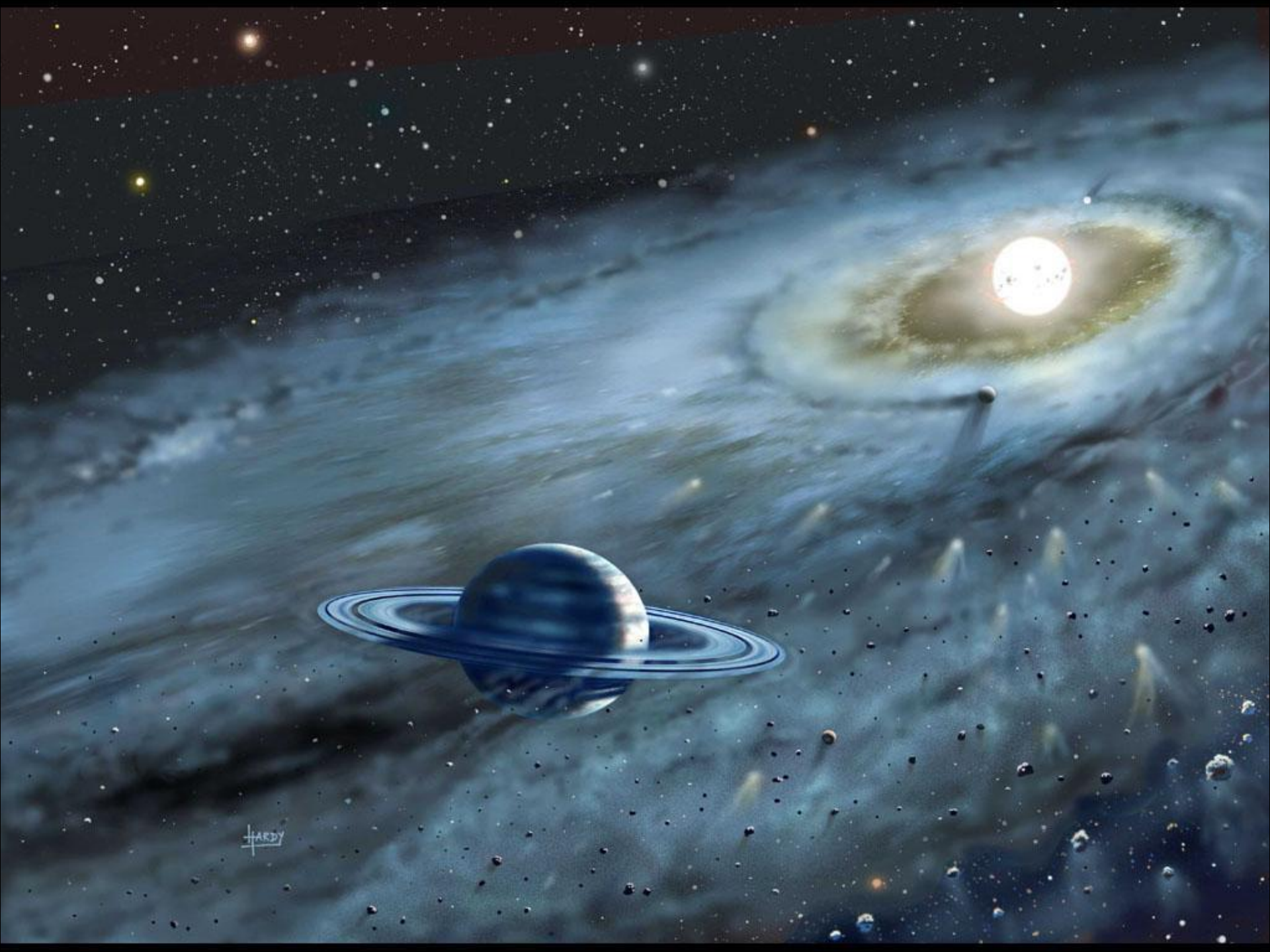




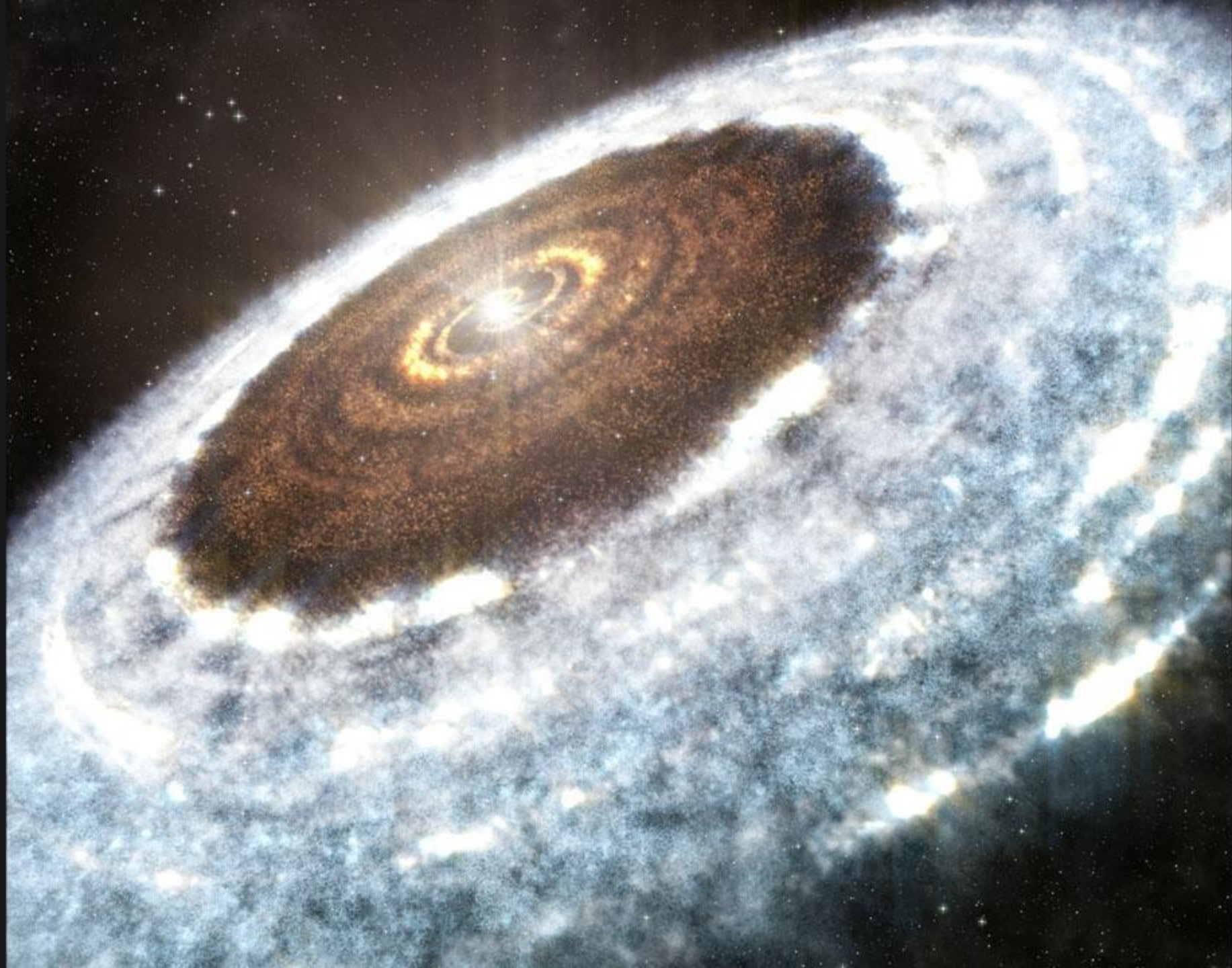








HARDY

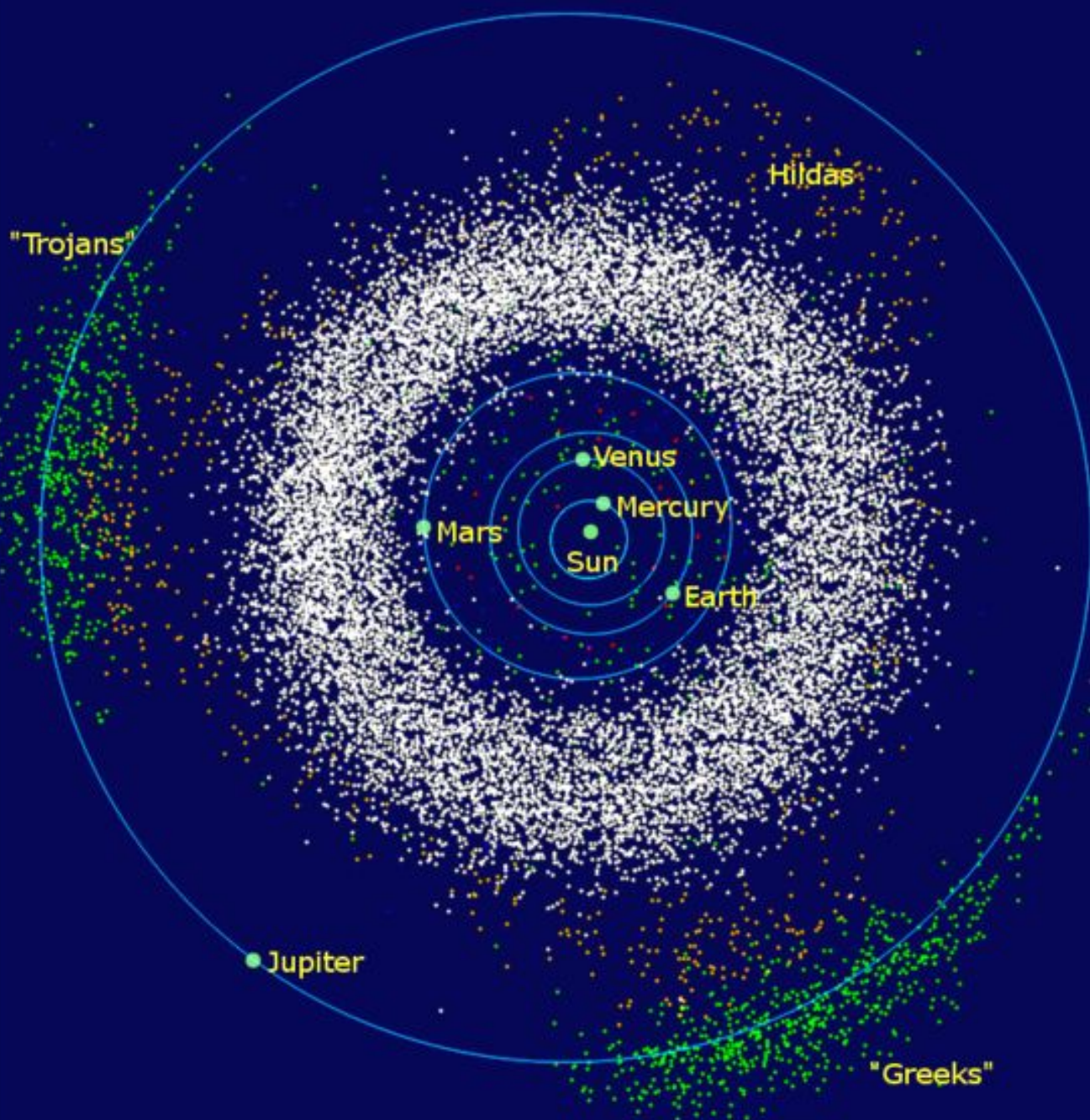


Группа  
Гильды

орбитальный  
резонанс  
с Юпитером

2:3

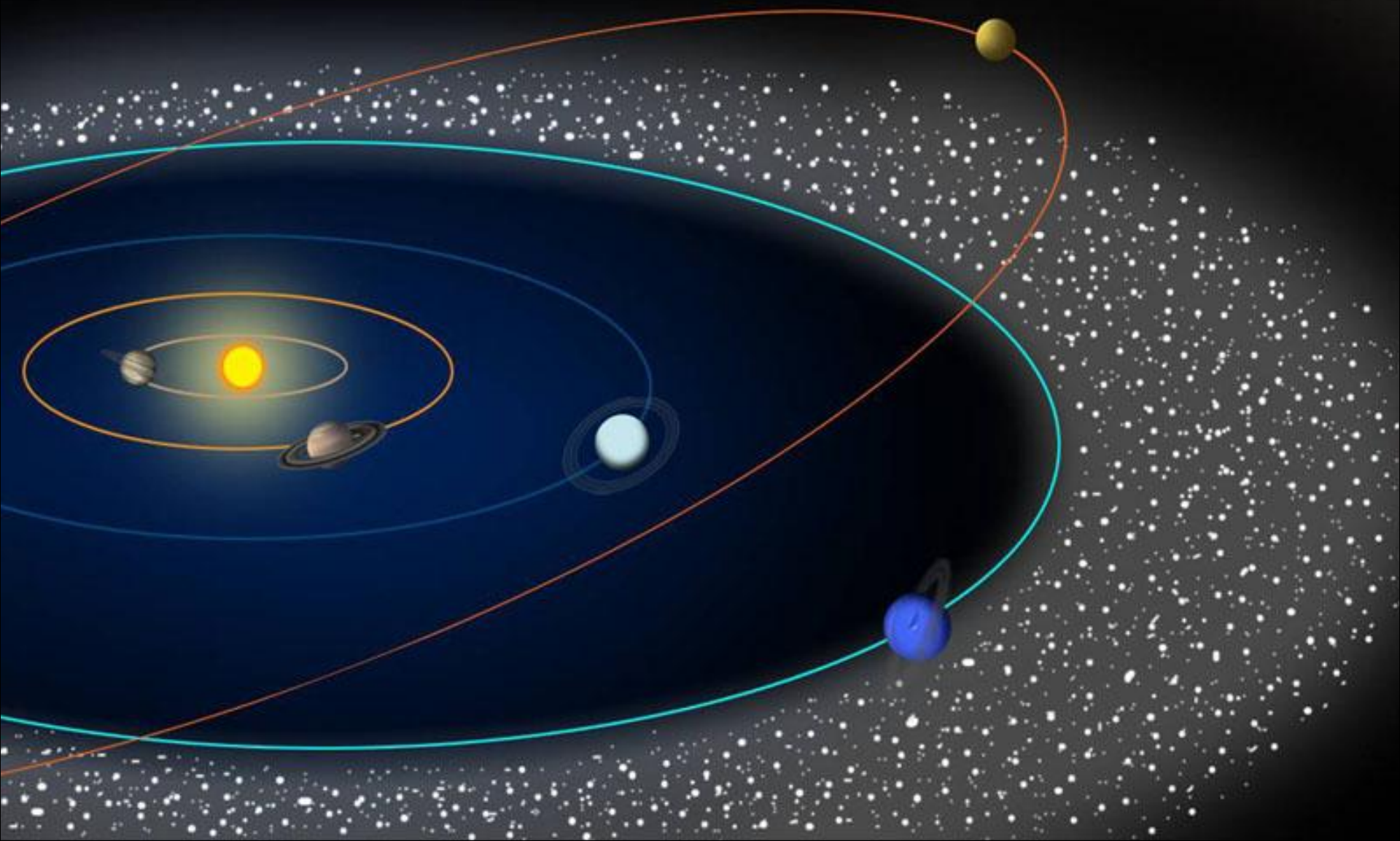
Троянцы



Юпитер

Греки

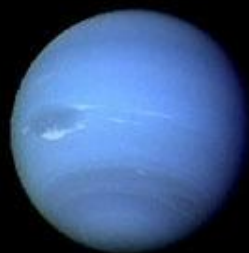
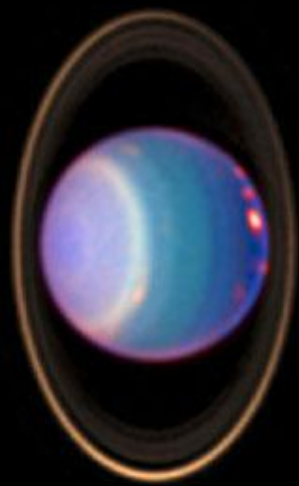
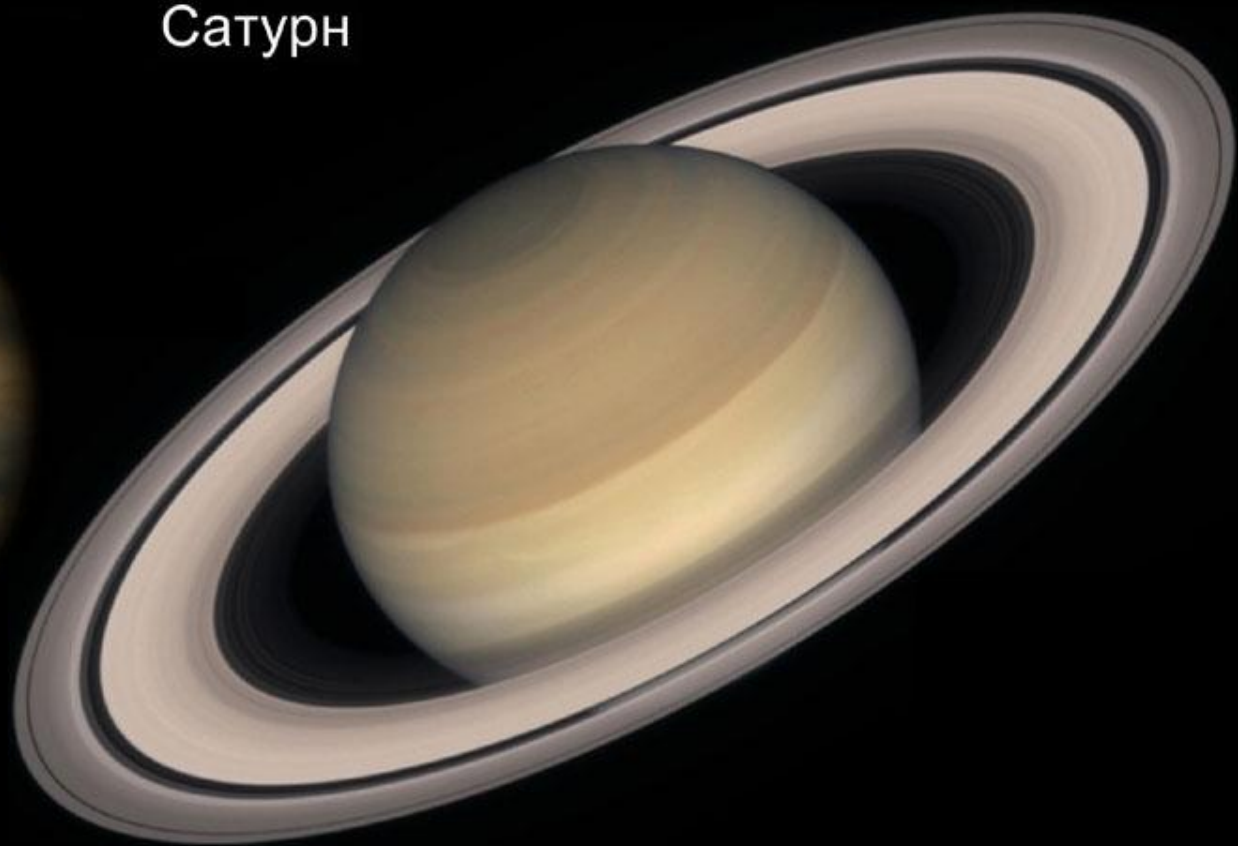
# Пояс Койпера



Юпитер



Сатурн



Уран

Нептун

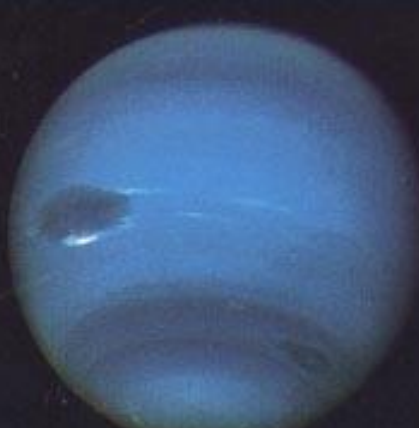
Земля

Венера

Марс

Меркурий

Плутон







Sun



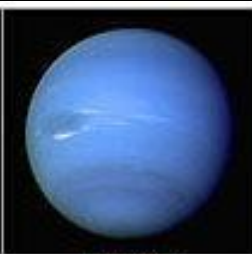
Jupiter



Saturn



Uranus



Neptune



Earth



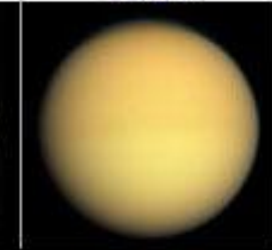
Venus



Mars



Ganymede



Titan



Mercury



Callisto



Io



Moon



Europa



Triton



Titania



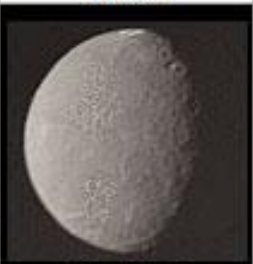
Rhea



Oberon



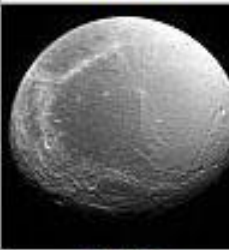
Iapetus



Umbriel



Ariel



Dione



Tethys



Vesta



Enceladus



Miranda



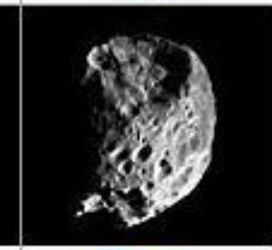
Proteus



Mimas



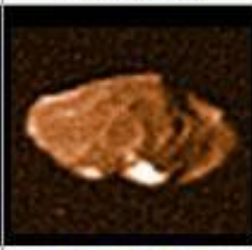
Hyperion



Phoebe



Janus



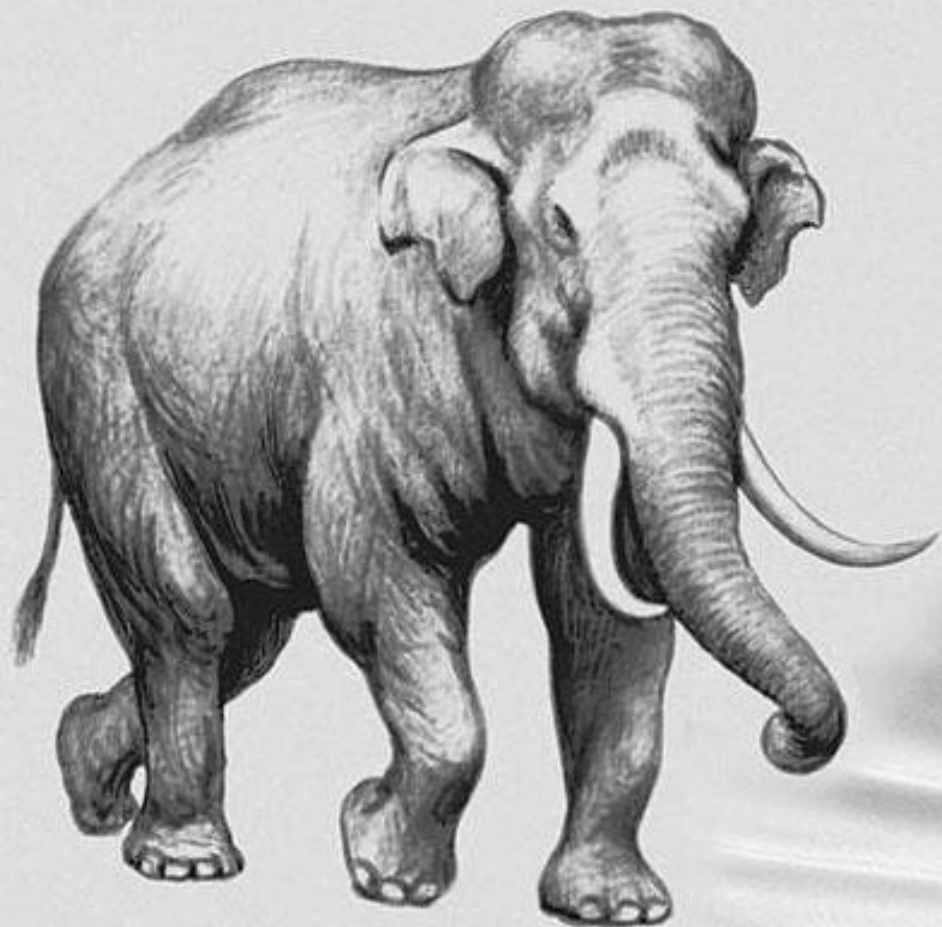
Amalthea



Epimetheus



Prometheus



Отсутствие единого масштаба  
затрудняет адекватное  
восприятие



Слон: 3 метра, 5 тонн

Водомерка: 1 см, 50 мг

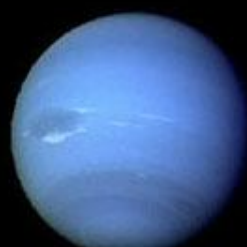
Размер 1:300

Масса 1: 100 млн

Луна - Солнце

Юпитер 0,41 сут

Сатурн 0,44 сут



0,72

0,67

1,0

-243

1,03

59 сут

Уран

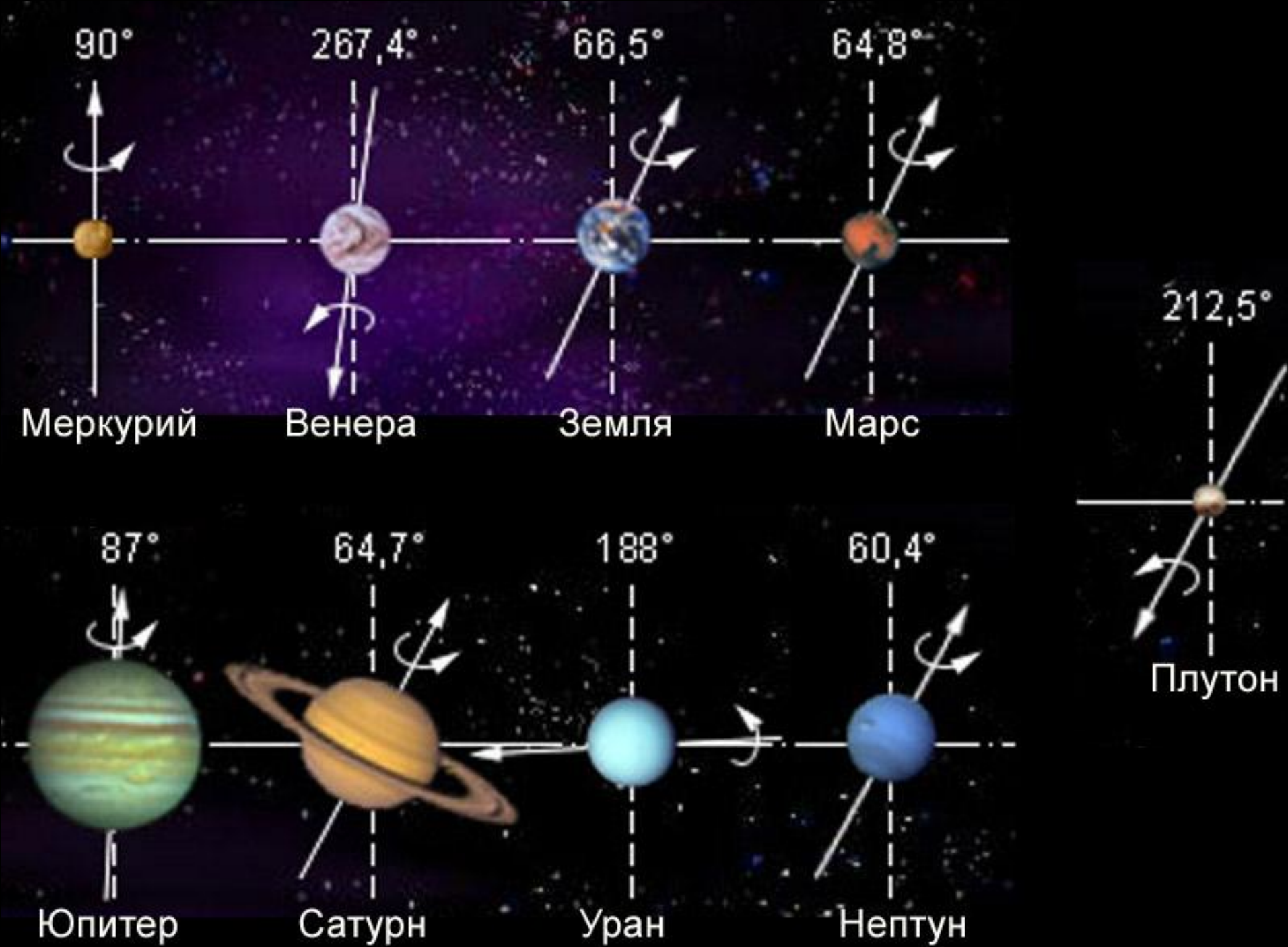
Нептун

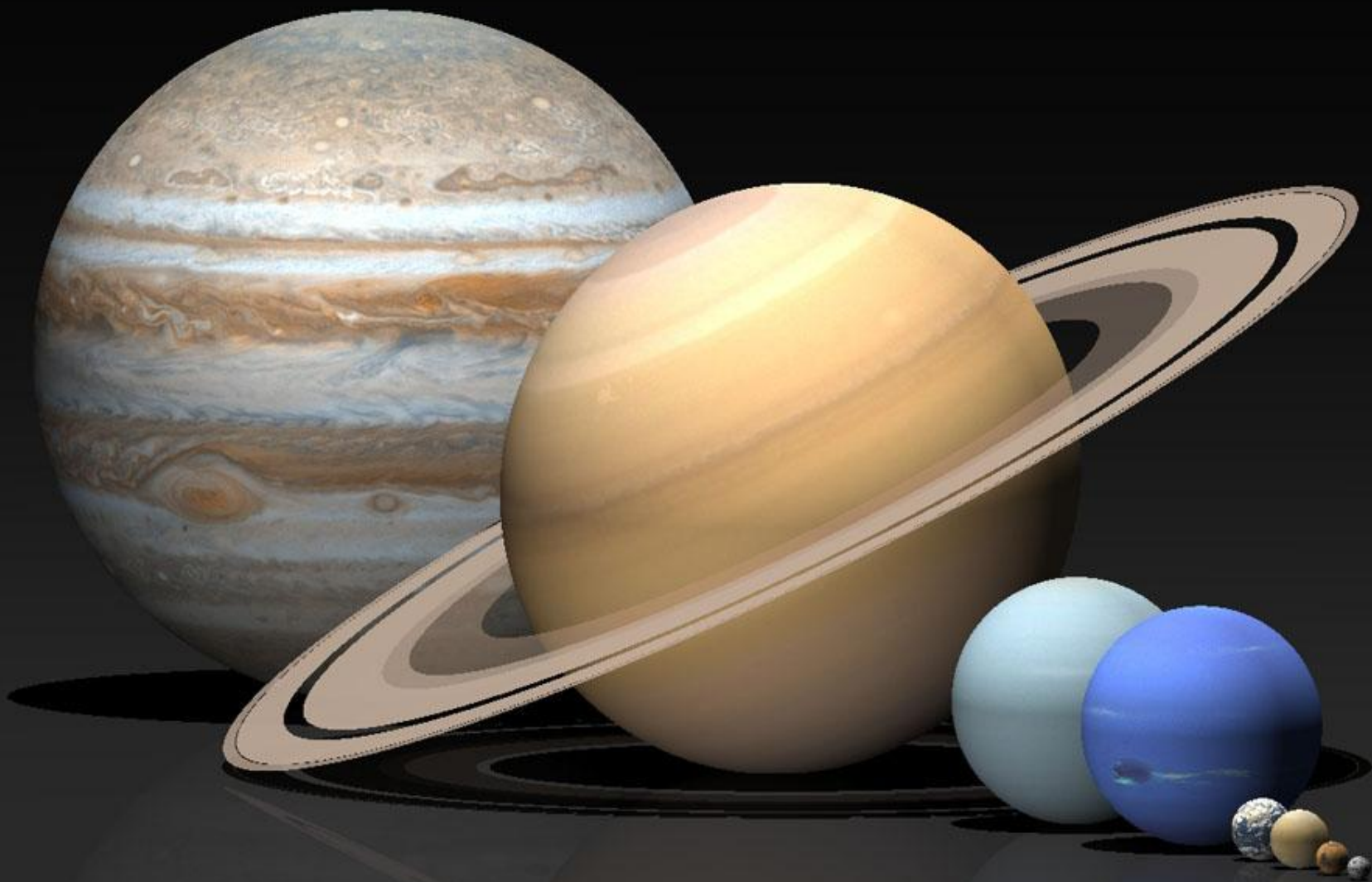
Земля

Венера

Марс

Меркурий



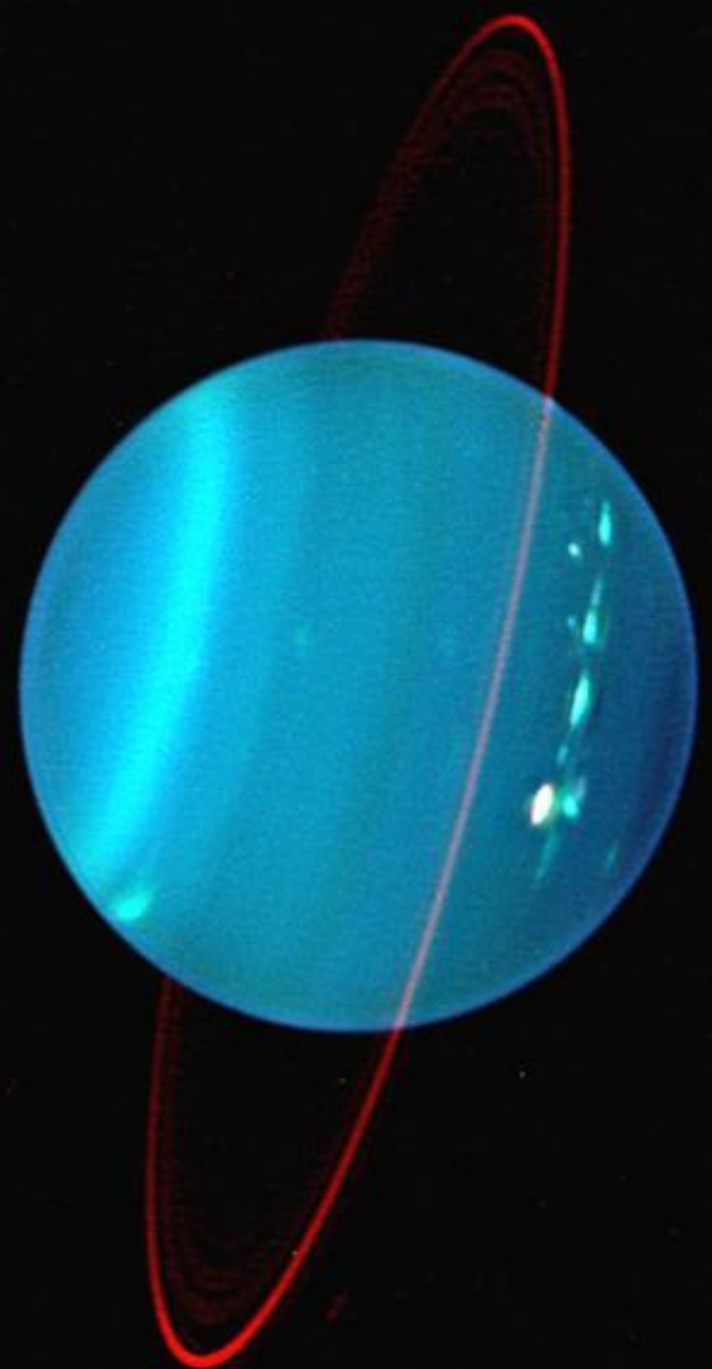
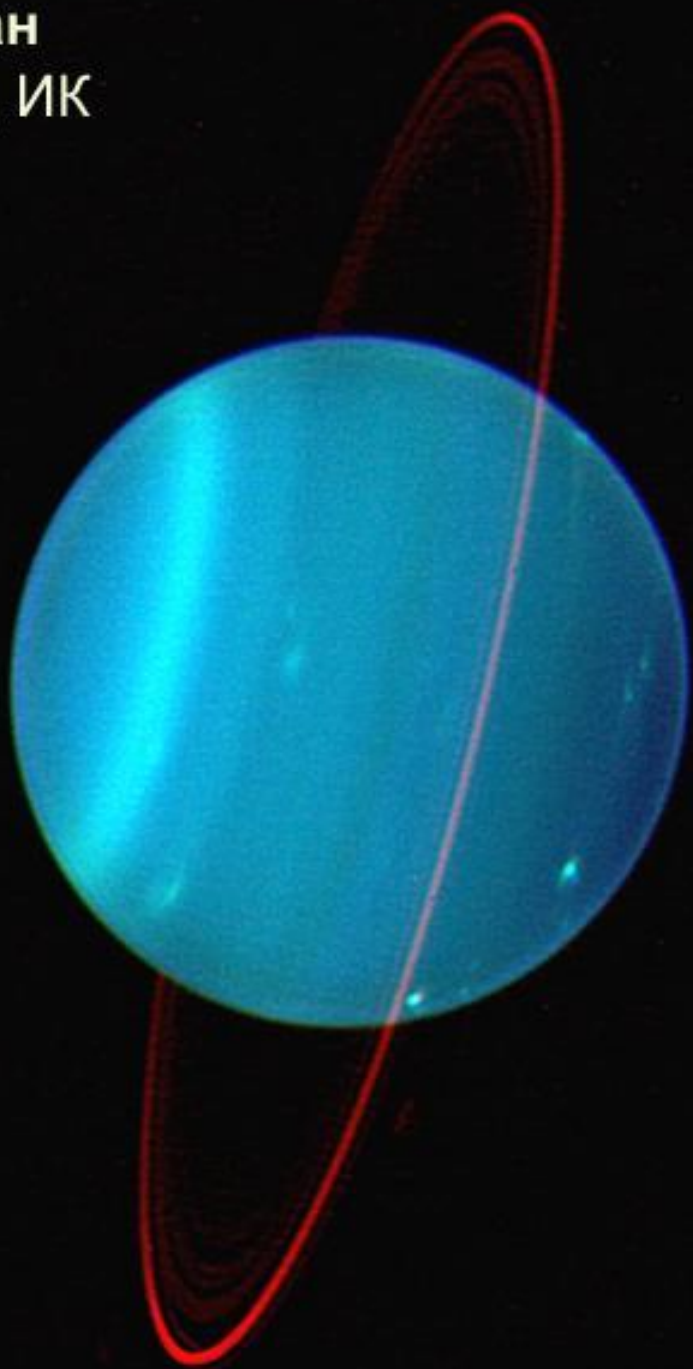


Сатурн - уникальная “окольцованная” планета?

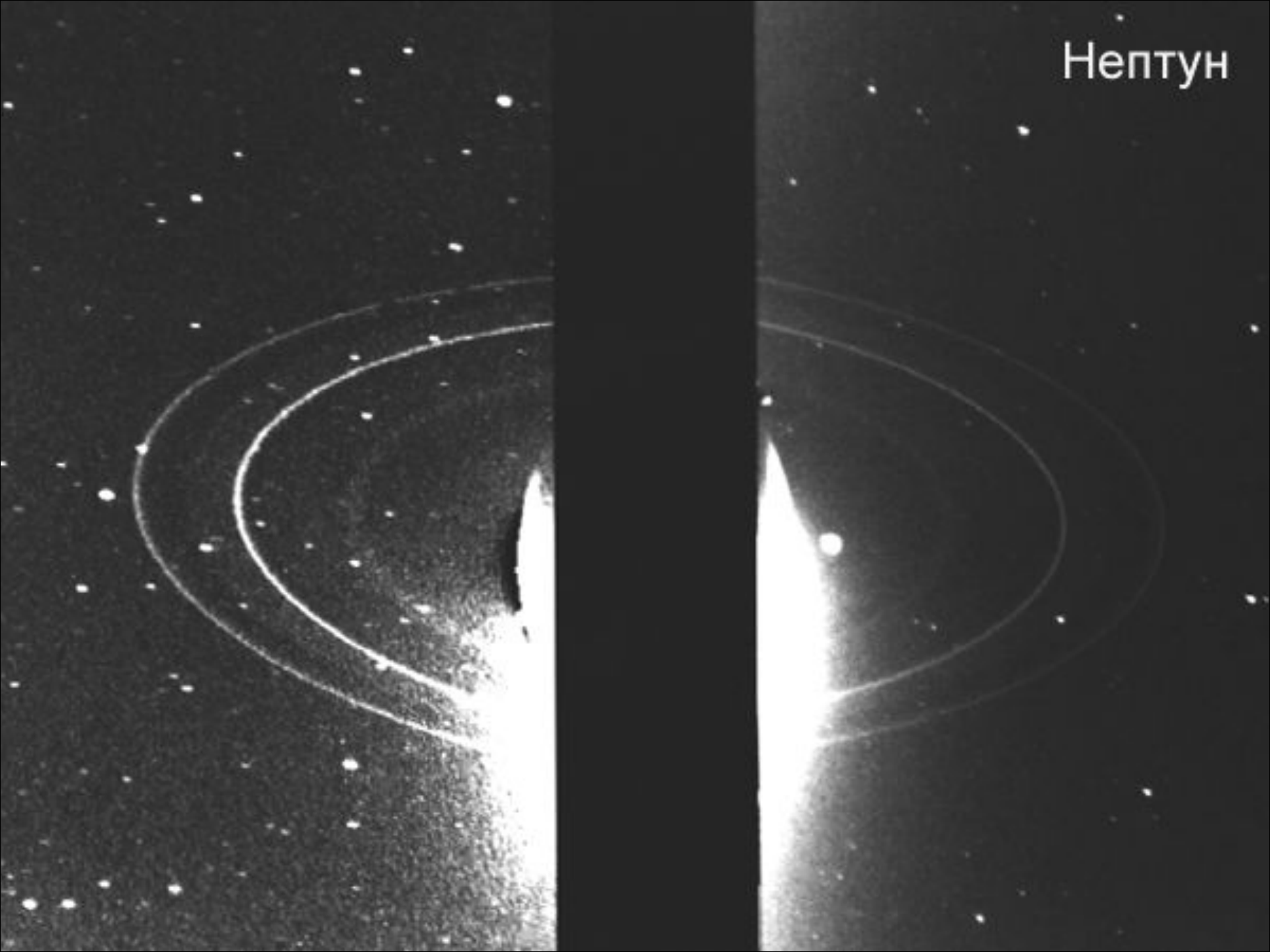
Юпитер  
"Галилео" (NASA)



Уран  
"Кек", ИК



Нептун





Saturn



Phoebe



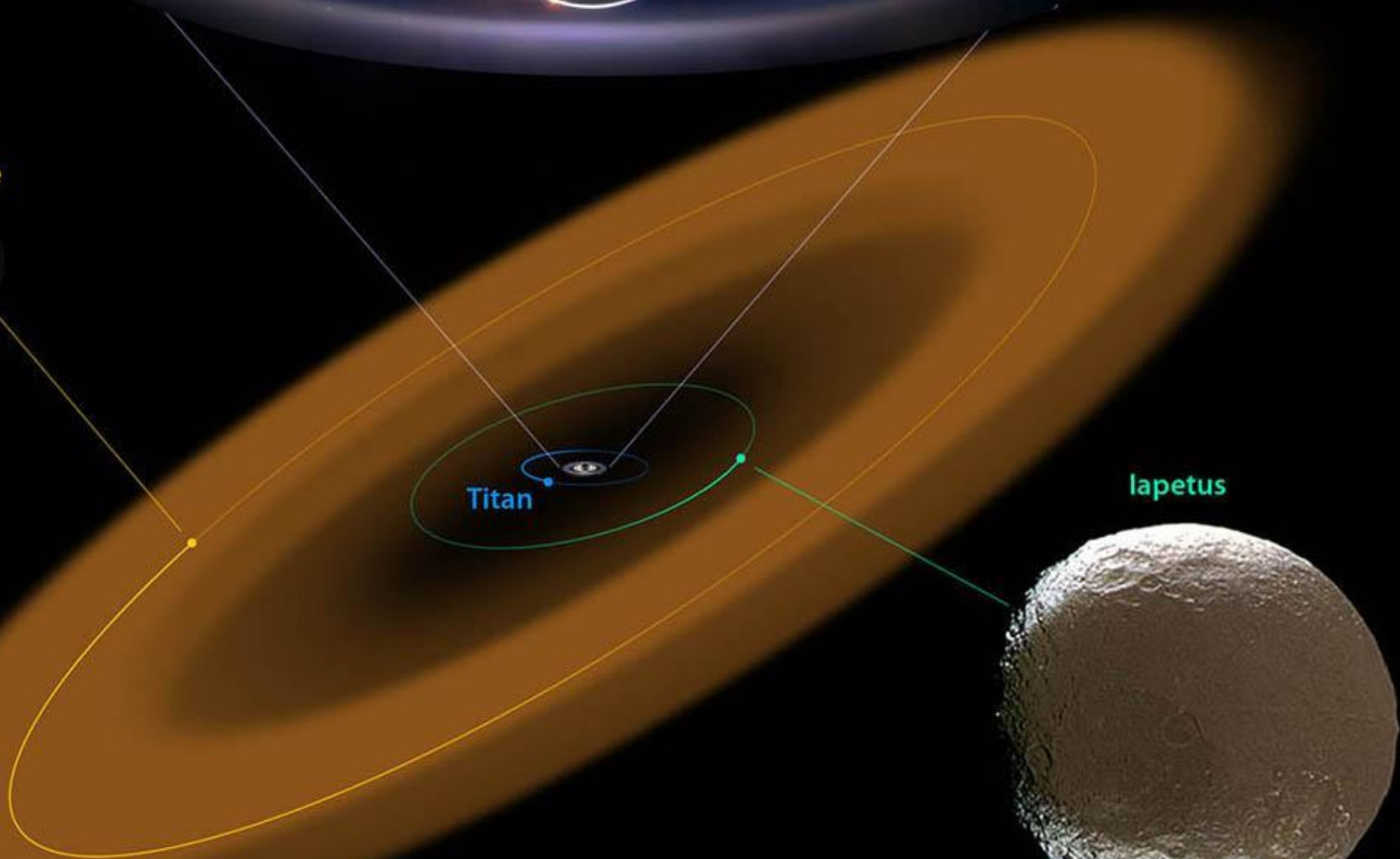
Titan



Iapetus



Saturn's Largest Ring

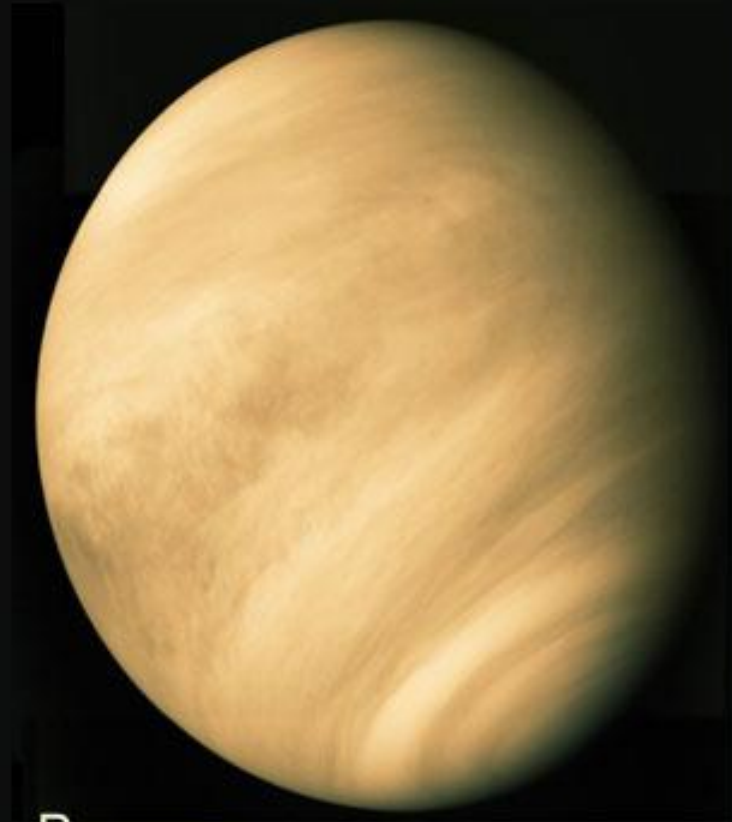
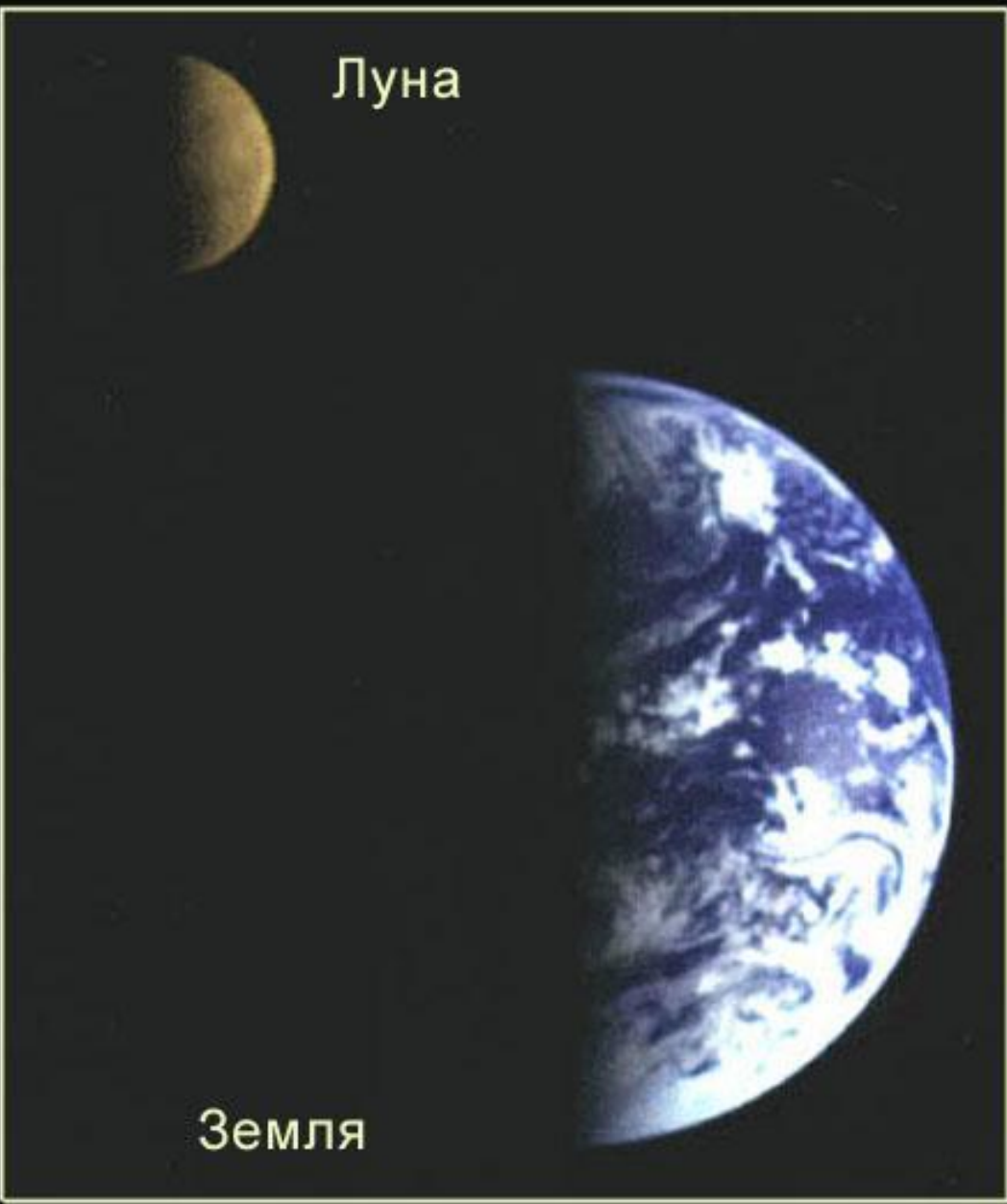


Яркость поверхности планеты  
зависит от наличия и свойств  
атмосферы

Луна

Земля

Венера

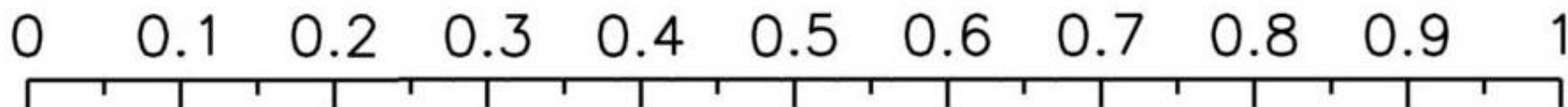
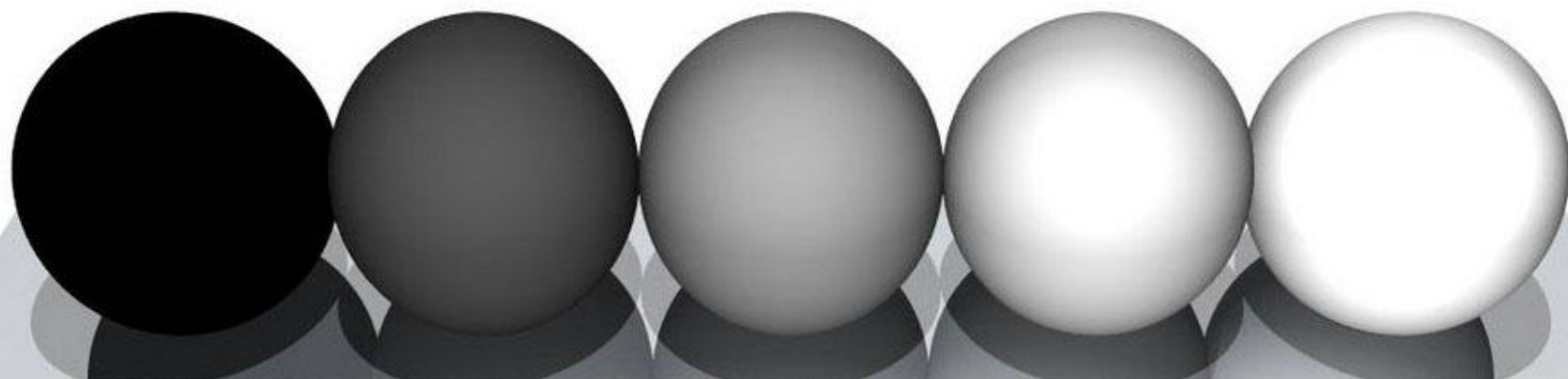


Яркость поверхности  
безатмосферного тела  
зависит от ее состава  
и структуры



Луна

Альбе́до: доля солнечного света, отраженная поверхность



Вода

Лёд

Снег

Лес

Пустыня

Облака

Скалы



Матильда  
(астероид)

Луна

Веста  
(астероид)

Земля

Венера

Тритон

Энцелад

$A = 0.99$



$A = 0.31$



$A = 0.11$

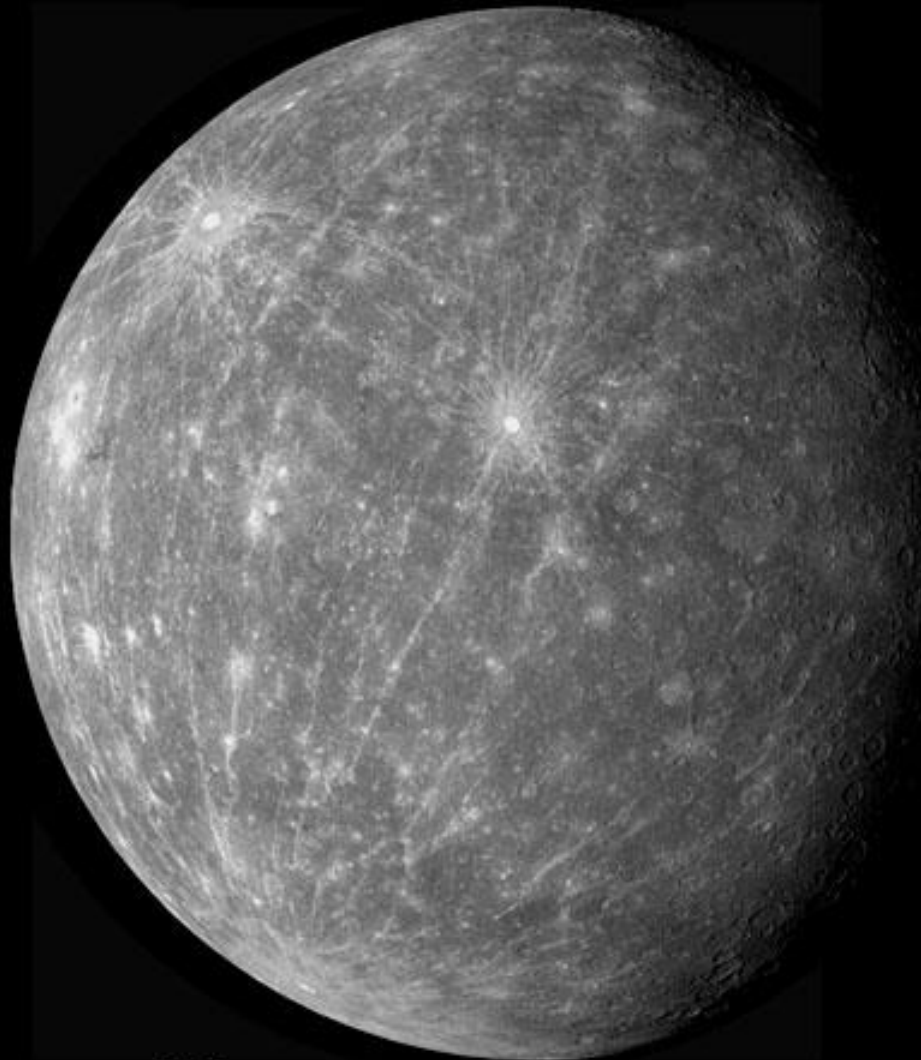


$A = 0.05$



Меркурий

$$\rho = 5,4 \text{ г/см}^3$$



Железо и камень

Энцелад

$$\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$$



Лёд и камень

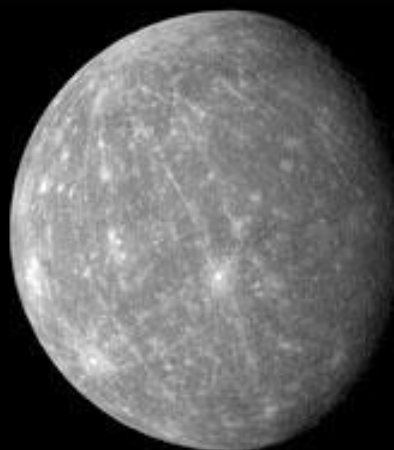
Расстояние  
от Солнца

Альbedo  
(по Бонду)

Средняя температура  
поверхности

0,39 а.е.

0,07



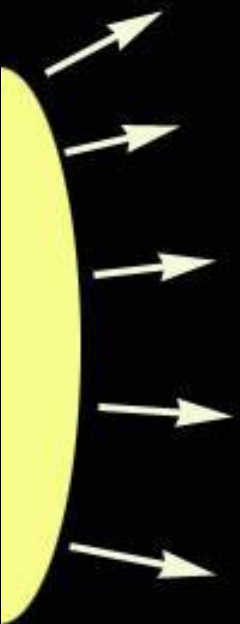
-75 °C у полюсов  
+67 °C на экваторе

0,72 а.е.

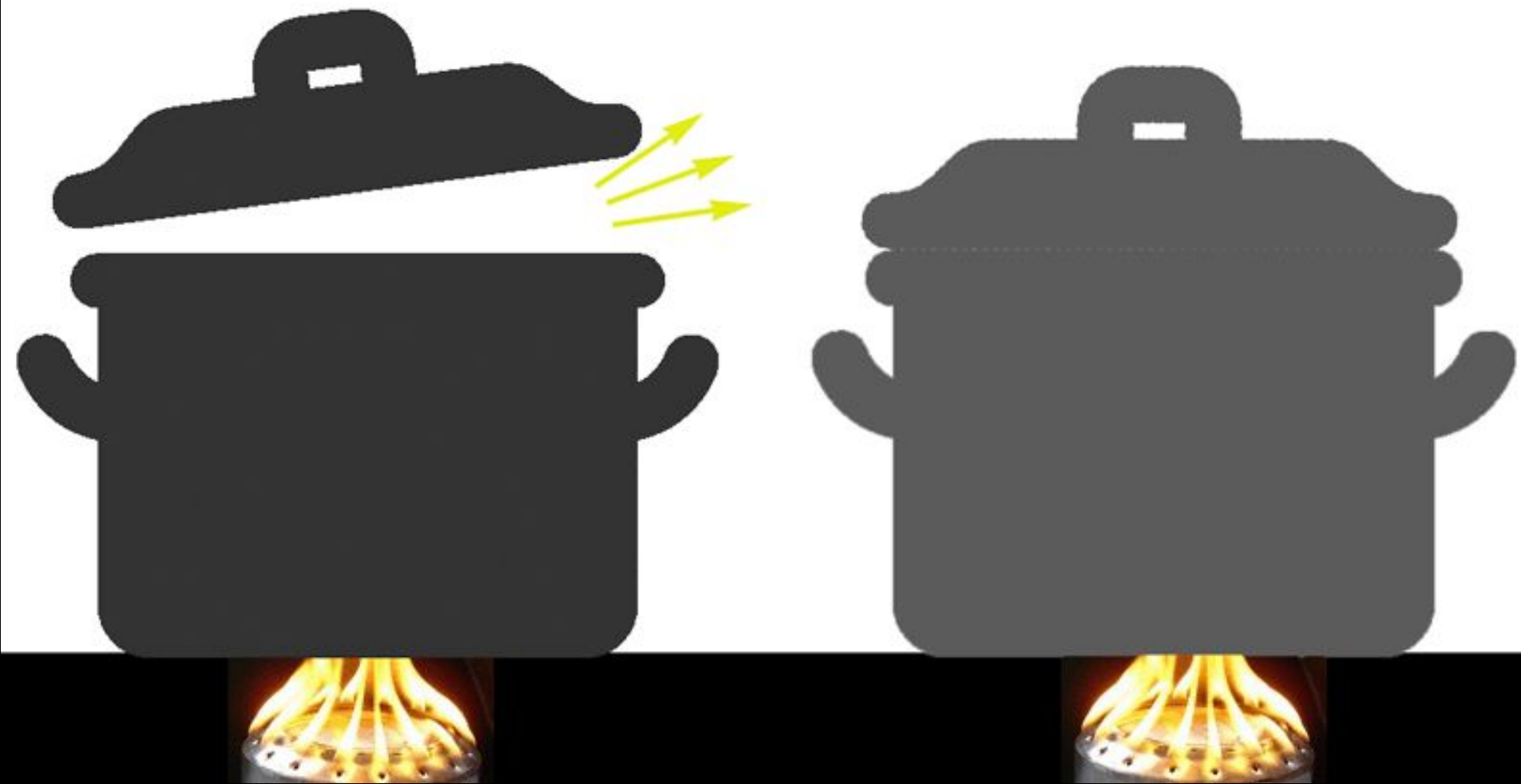
0,90



+462 °C  
на всей  
поверхности



## Парниковый эффект





# ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

## А Т М О С Ф Е Р А

Солнечная радиация  
проникает сквозь  
чистую атмосферу  
Приходящая радиация равна  
343 Ватт на кв. Метр

Часть солнечной радиации  
отражается атмосферой  
и земной поверхностью  
Отраженная радиация  
103 Ватт на кв. Метр

Часть инфракрасной радиации  
проходит сквозь  
атмосферу и теряется в космосе  
Нетто уходящей радиации  
240 Ватт на кв. Метр

## ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Нетто приходящей  
солнечной радиации  
составляет 240 Ватт  
на кв. Метр

Часть инфракрасного излучения  
поглощается и отражается назад  
молекулами парниковых газов.  
Прямым эффектом этого становится нагревание  
поверхности земли и тропосферы

Поверхность получает  
больше тепла и инфракрасная  
радиация выбрасывается снова

Солнечная энергия  
поглощается земной  
поверхностью и нагревает ее  
168 Ватт на кв. метр

... и она конвертируется в  
тепло вызывая эмиссию  
длинноволновой (инфракрасной)  
радиации в атмосферу

## З Е М Л Я



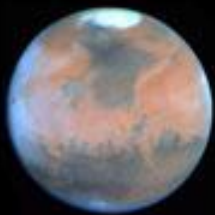


# Влияние парникового эффекта, $\Delta T$ (К)



Луна и  
Меркурий

**0**



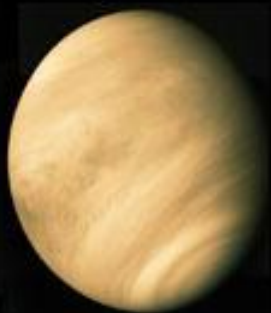
Марс

**8**



Земля

**39**



Венера

**504**

# Планеты-карлики

2015 г.



Хаумеа



Макемаке



Церера



Эрида



Плутон



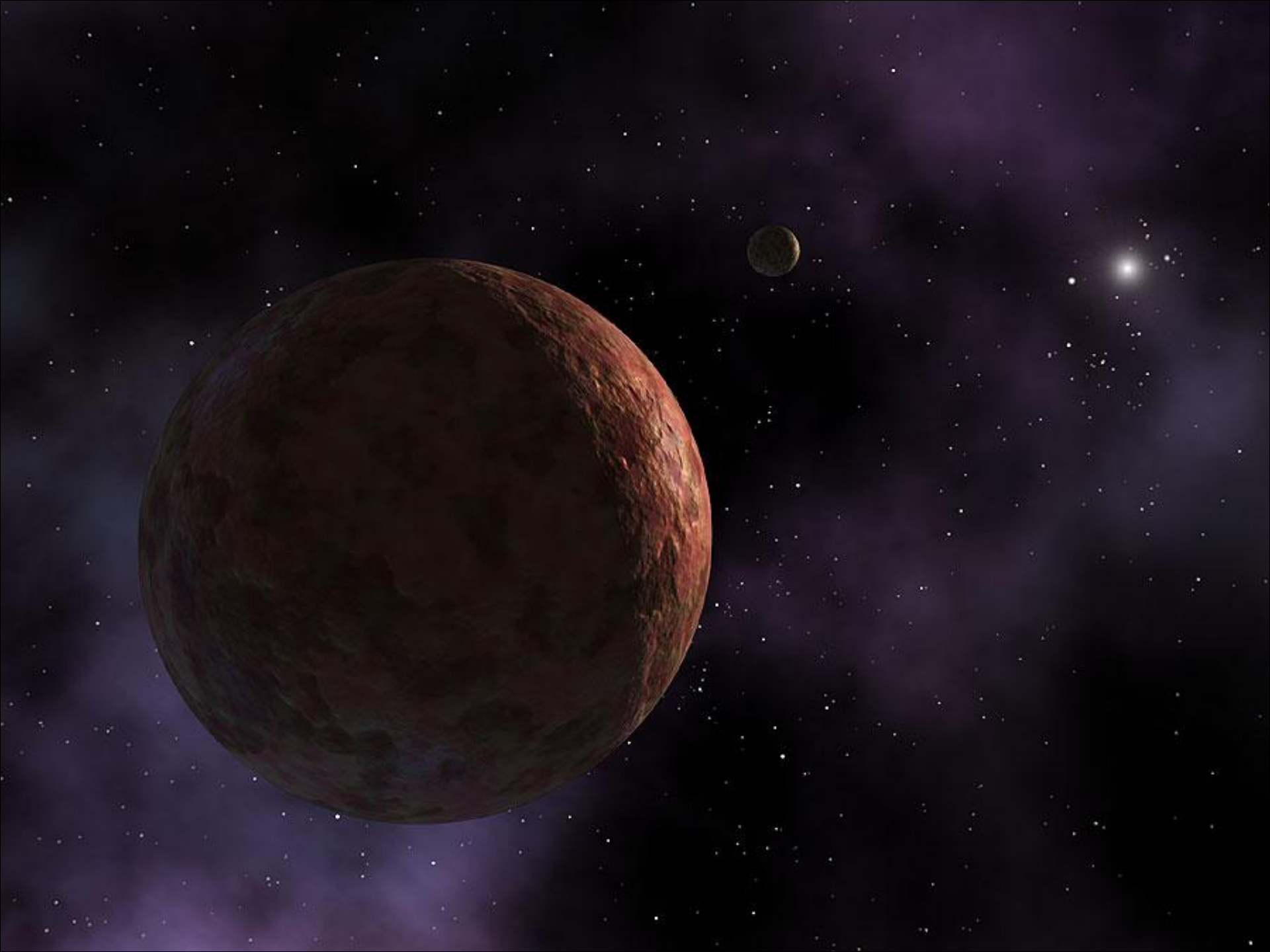
Луна



Плутон



New Horizons, NASA, 2015





## Атмосфера Плутона



Азот



Монооксид  
углерода



Метан

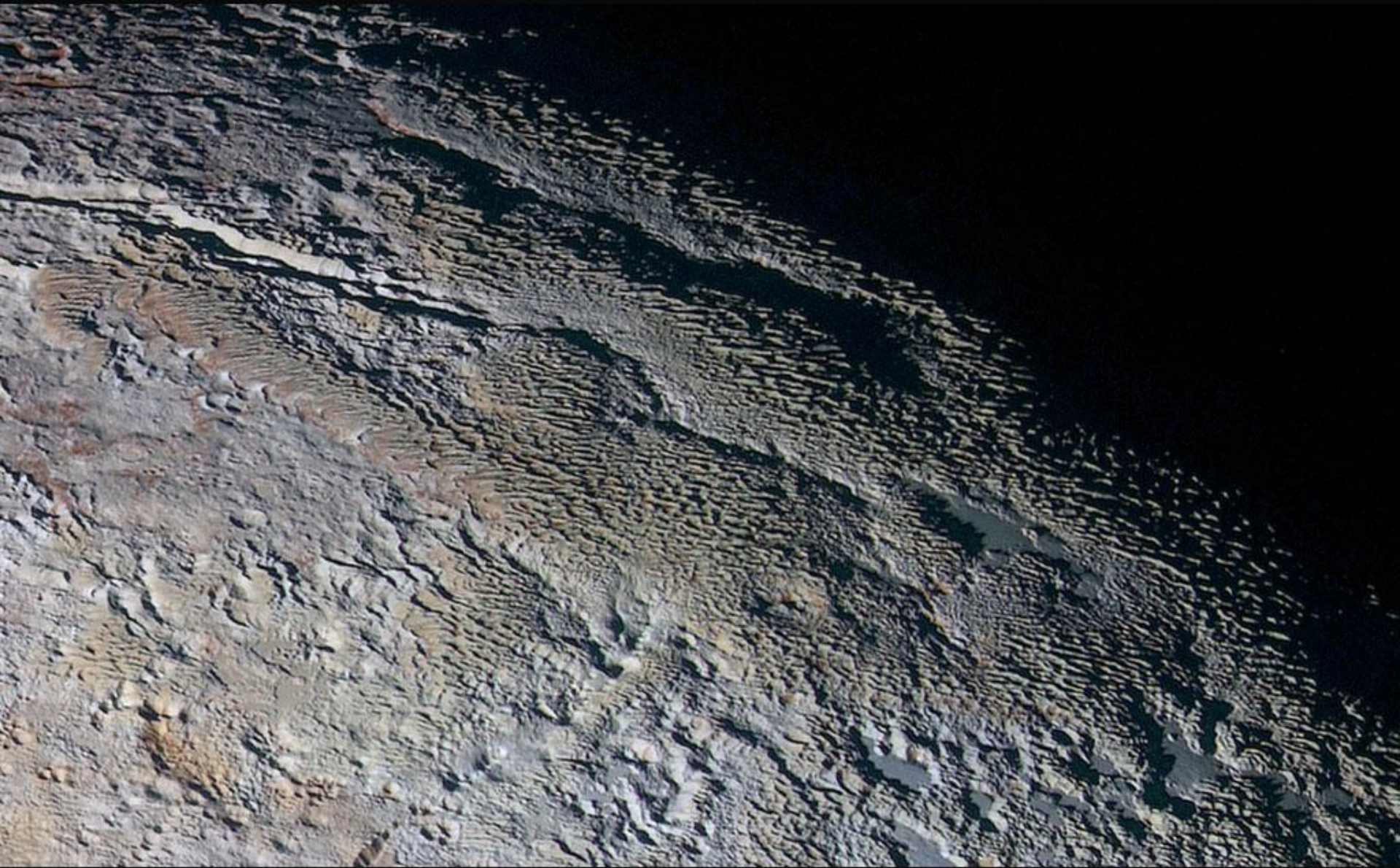
$$P = (0,65 - 2,4) \text{ Pa}$$

$$\sim 10^{-5} \text{ атм}$$

**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

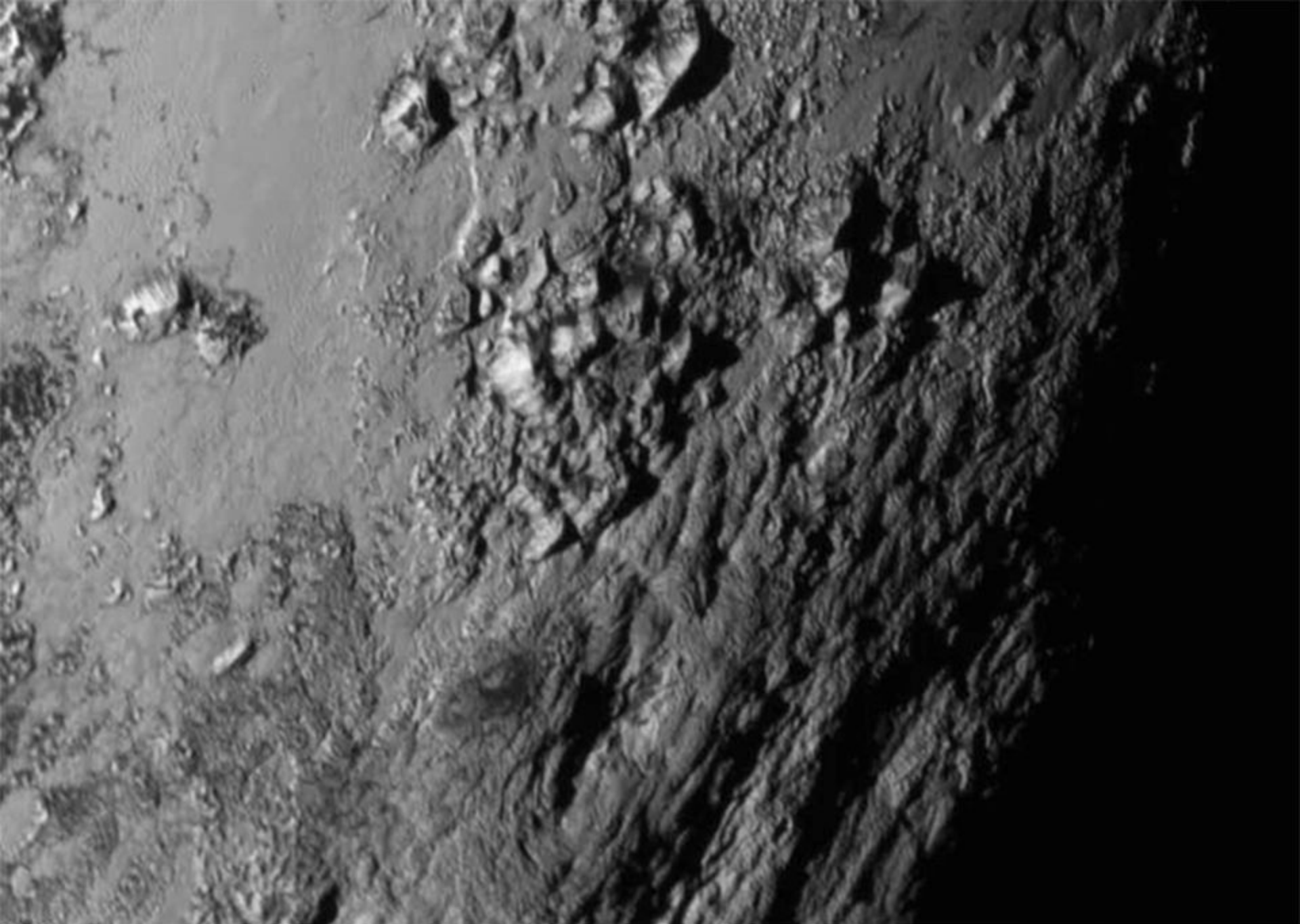
В атмосфере присутствуют толины (греч. толос - мутный), полимерные соединения  $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z$  массой до 8000 а. е. м., придающие рассеянному свету оранжевый оттенок (Титан), а проходящему - голубой. Фото: New Horizons, NASA, 2015



Дюны на Плуtone? Признак динамики атмосферы.

New Horizons, NASA, 2015

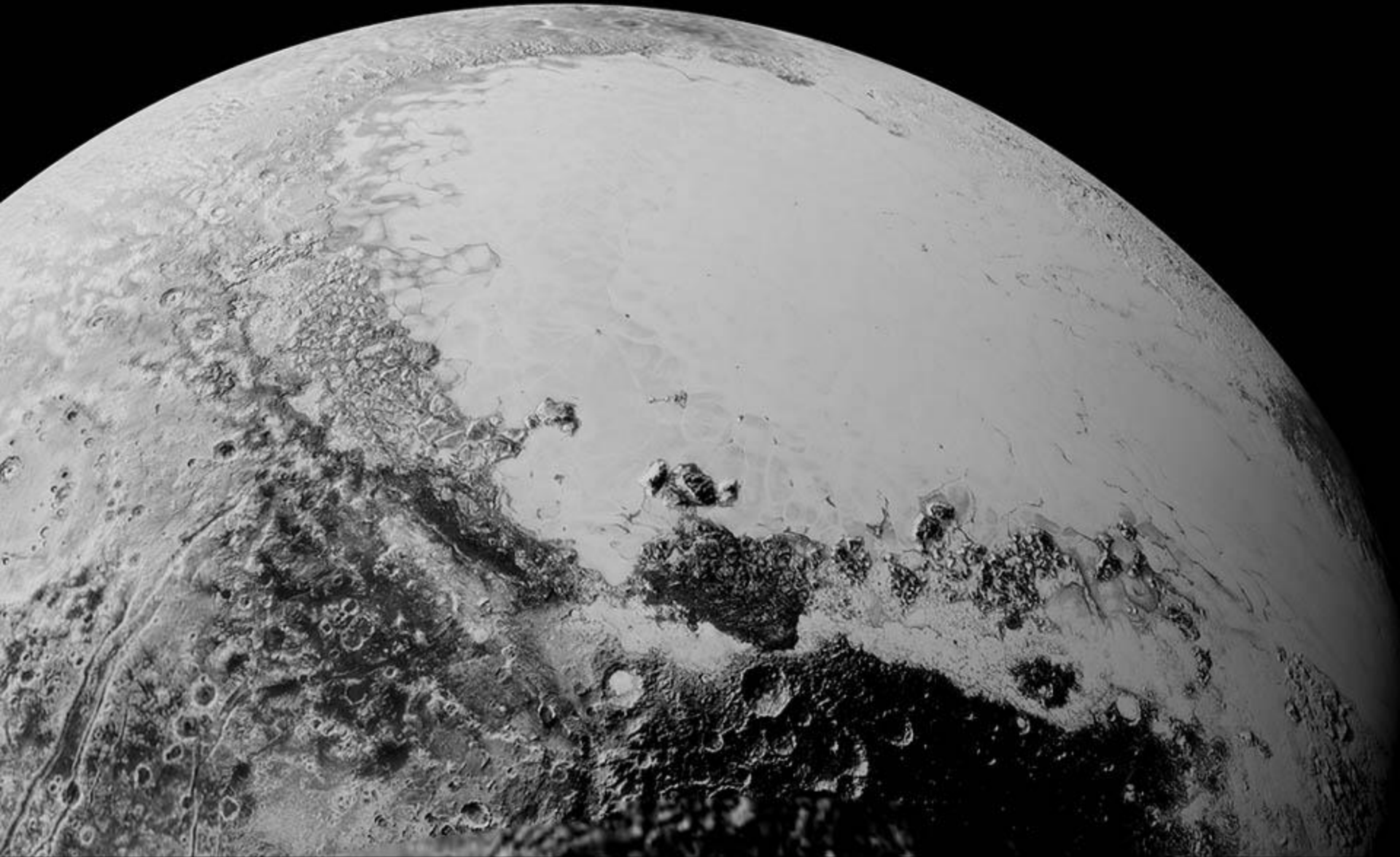




Ледяные горы на Плутоне достигают в высоту 3,5 км.

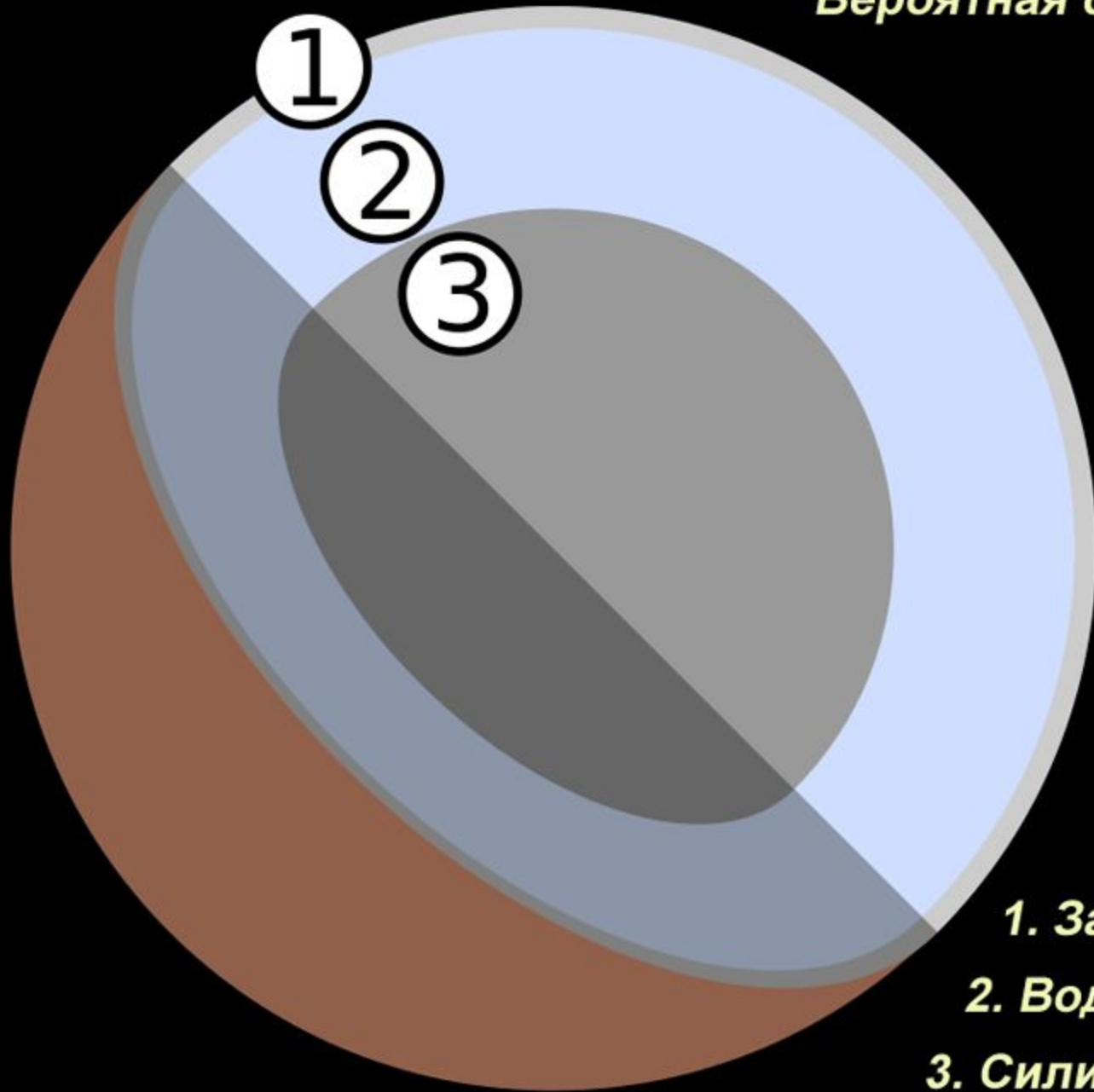
New Horizons, NASA, 2015

Плутон



New Horizons, NASA, 2015

## Вероятная структура Плутона

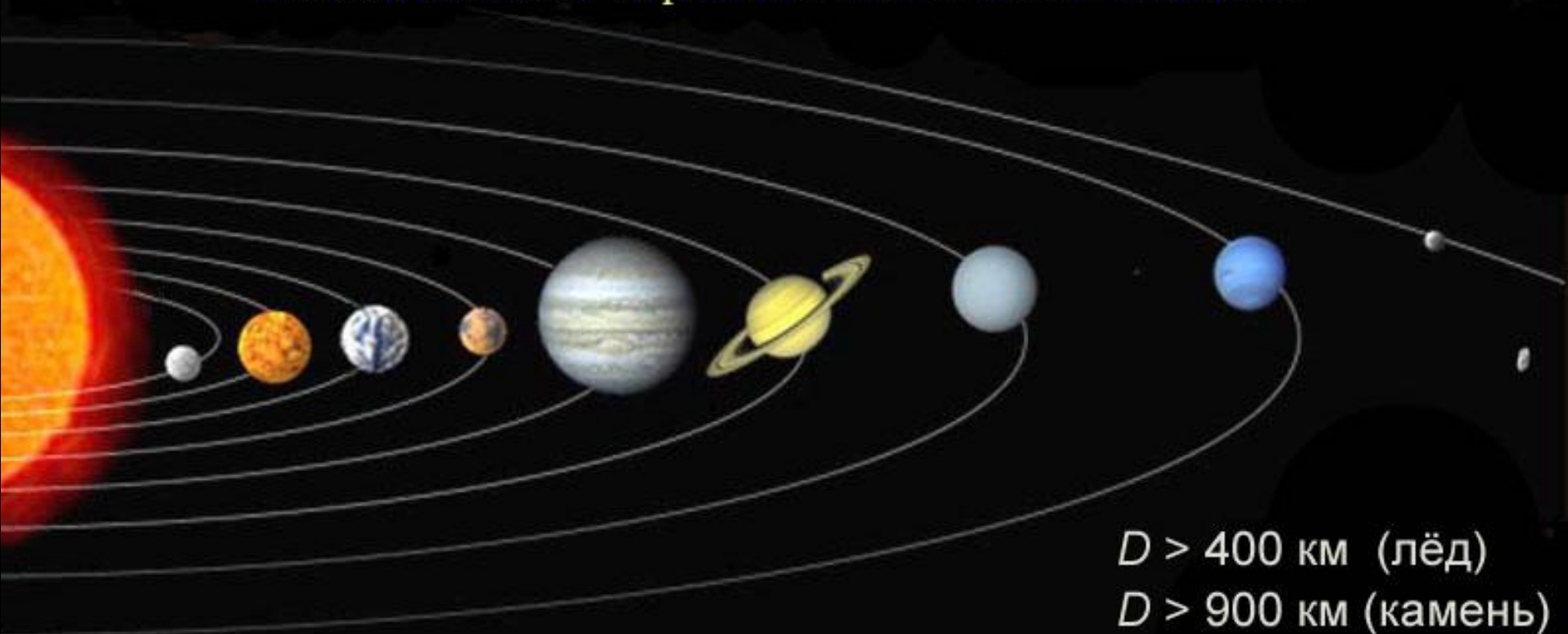


1. Замёрзший азот

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 )



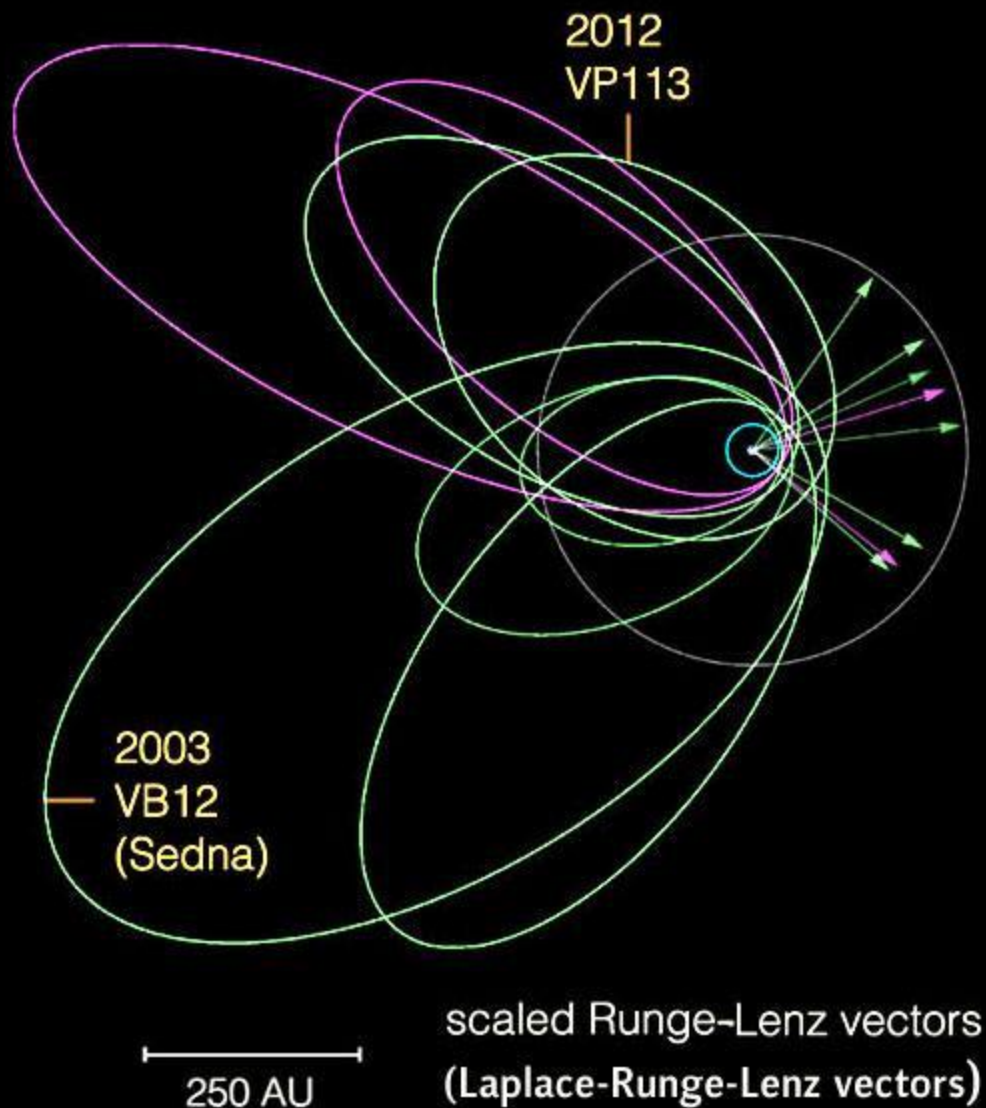
**Mike Brown and Konstantin Batygin**

CalTech, 2016, Jan 20

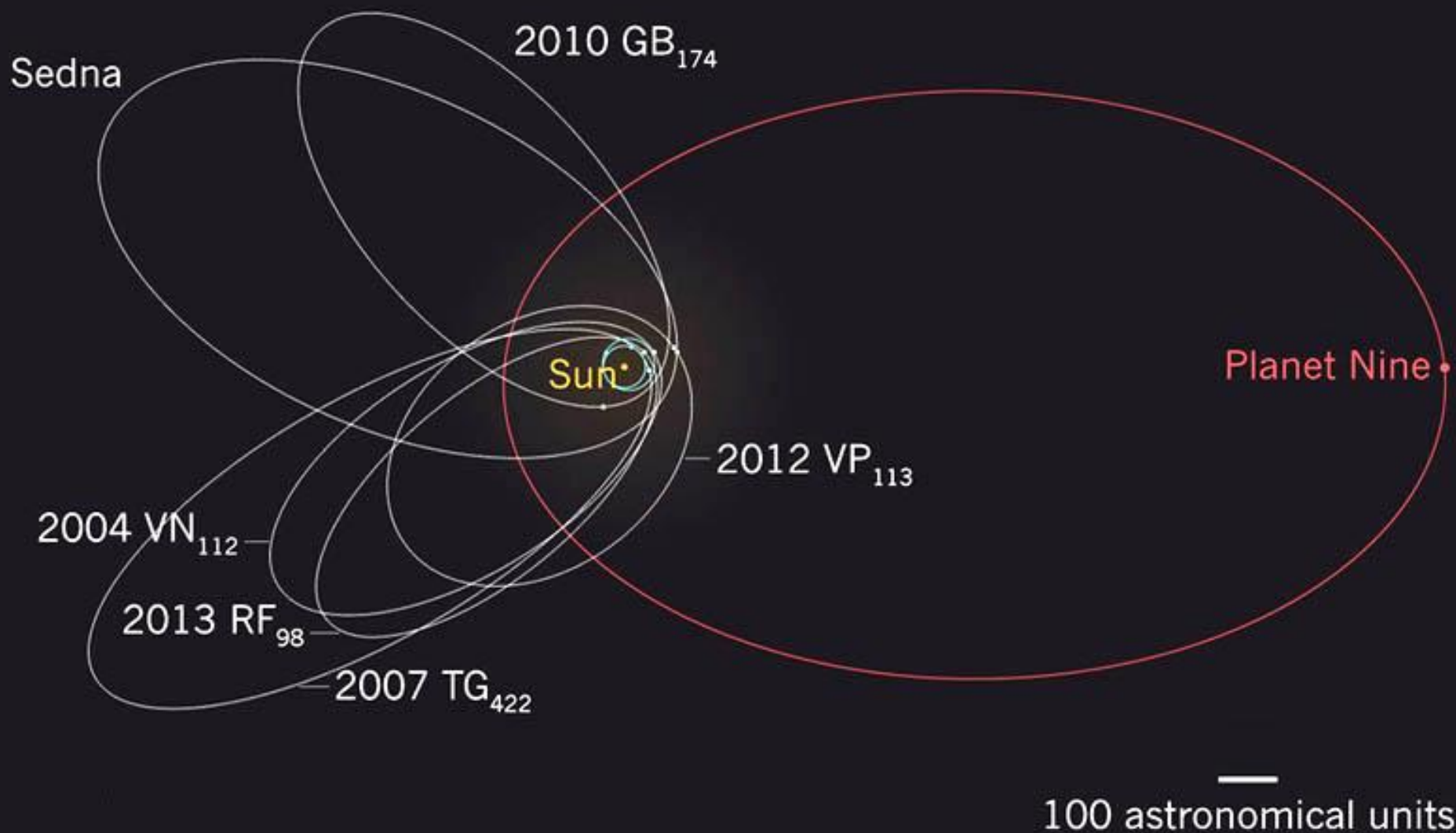
EVIDENCE FOR A DISTANT GIANT PLANET  
IN THE SOLAR SYSTEM

*Astronomical Journal*

Volume 151, Number 2

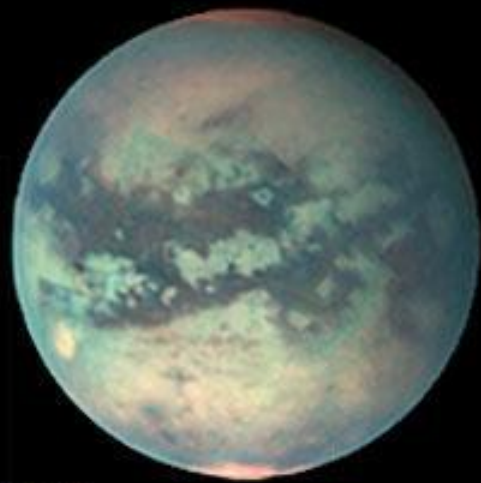


The existence of an unseen 'Planet Nine' could explain the strange orbits of several objects (whose orbits are shown in white) in the Kuiper belt beyond Neptune.





Луна



Титан

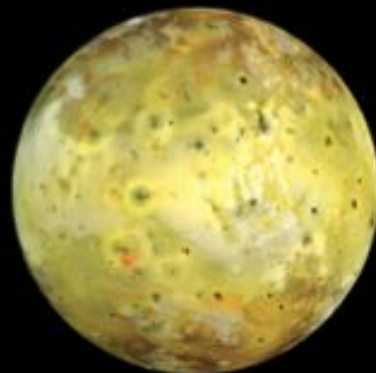


Земля

# Планеты-спутники



ЕВРОПА



ИО



КАЛЛИСТО



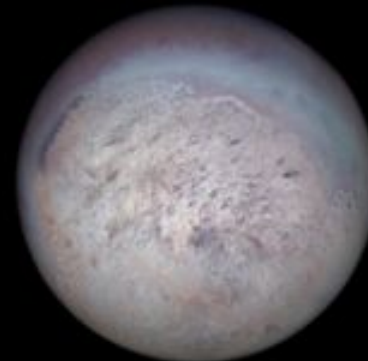
ГАНИМЕД



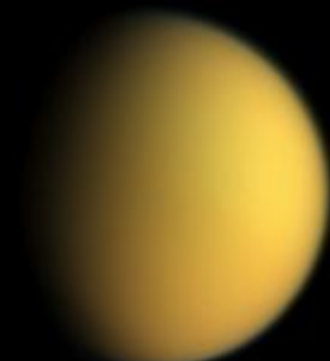
ТЕФИЯ



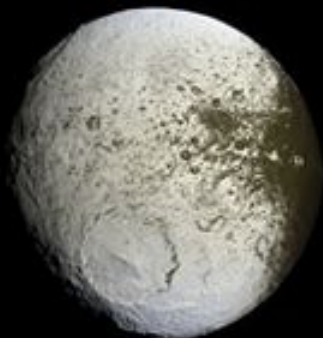
ДИОНА



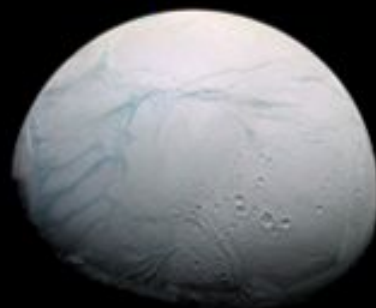
ТРИТОН



ТИТАН



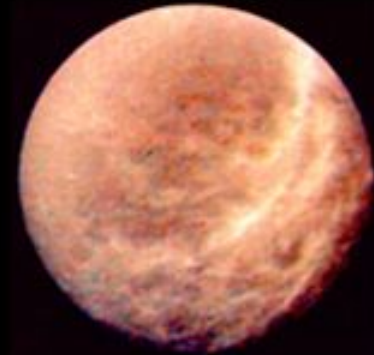
ЯПЕТ



ЭНЦЕЛАД



ЛУНА

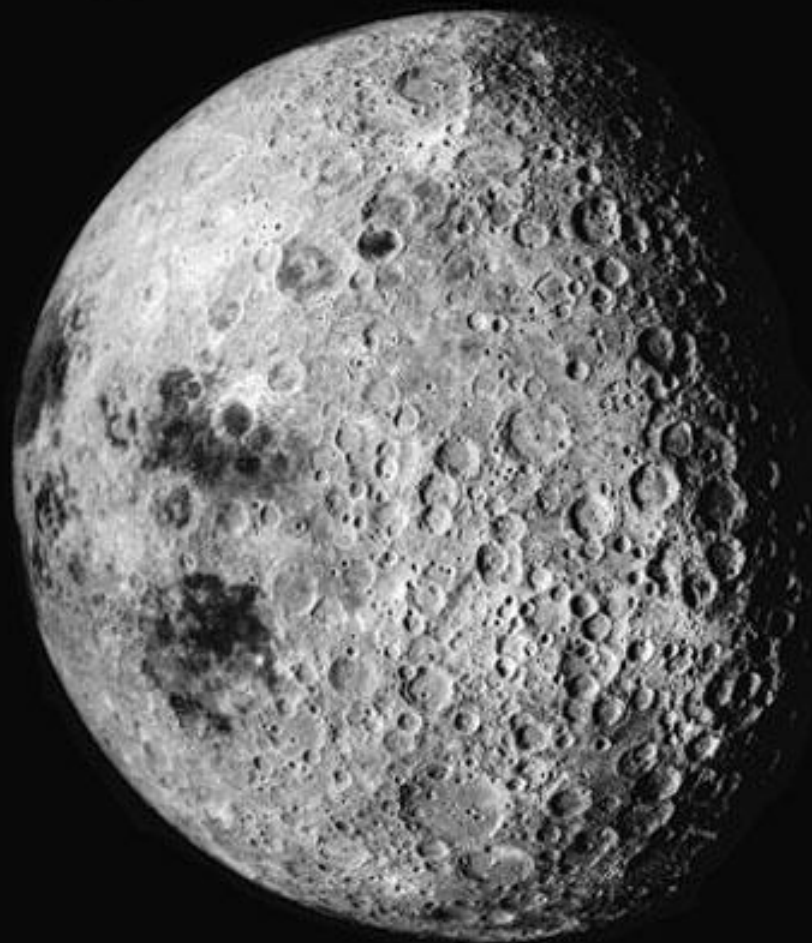


РЕЯ



# Эволюция поверхности планет

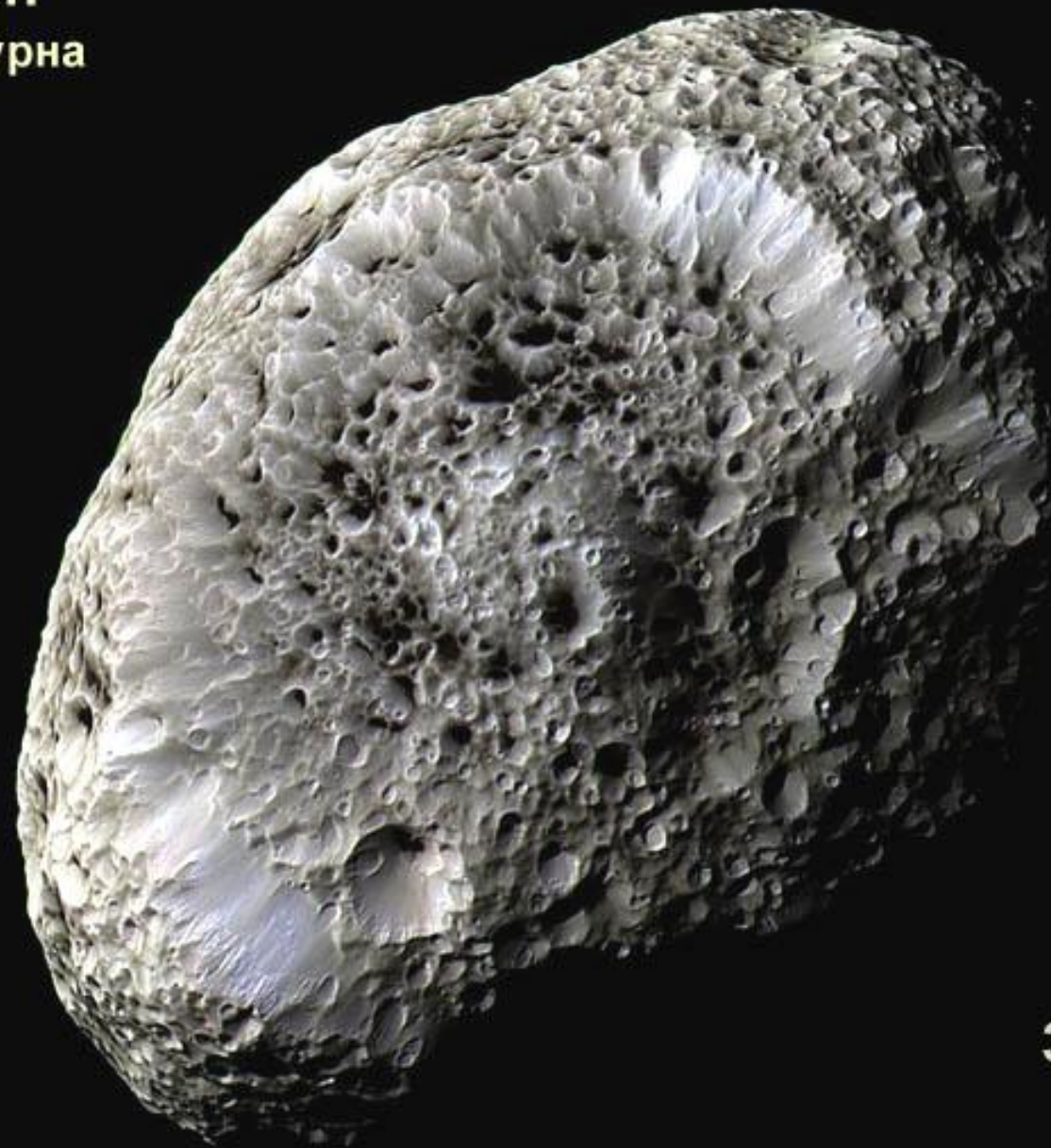
*4,5 млрд лет  
непрерывной бомбардировки*



Луна

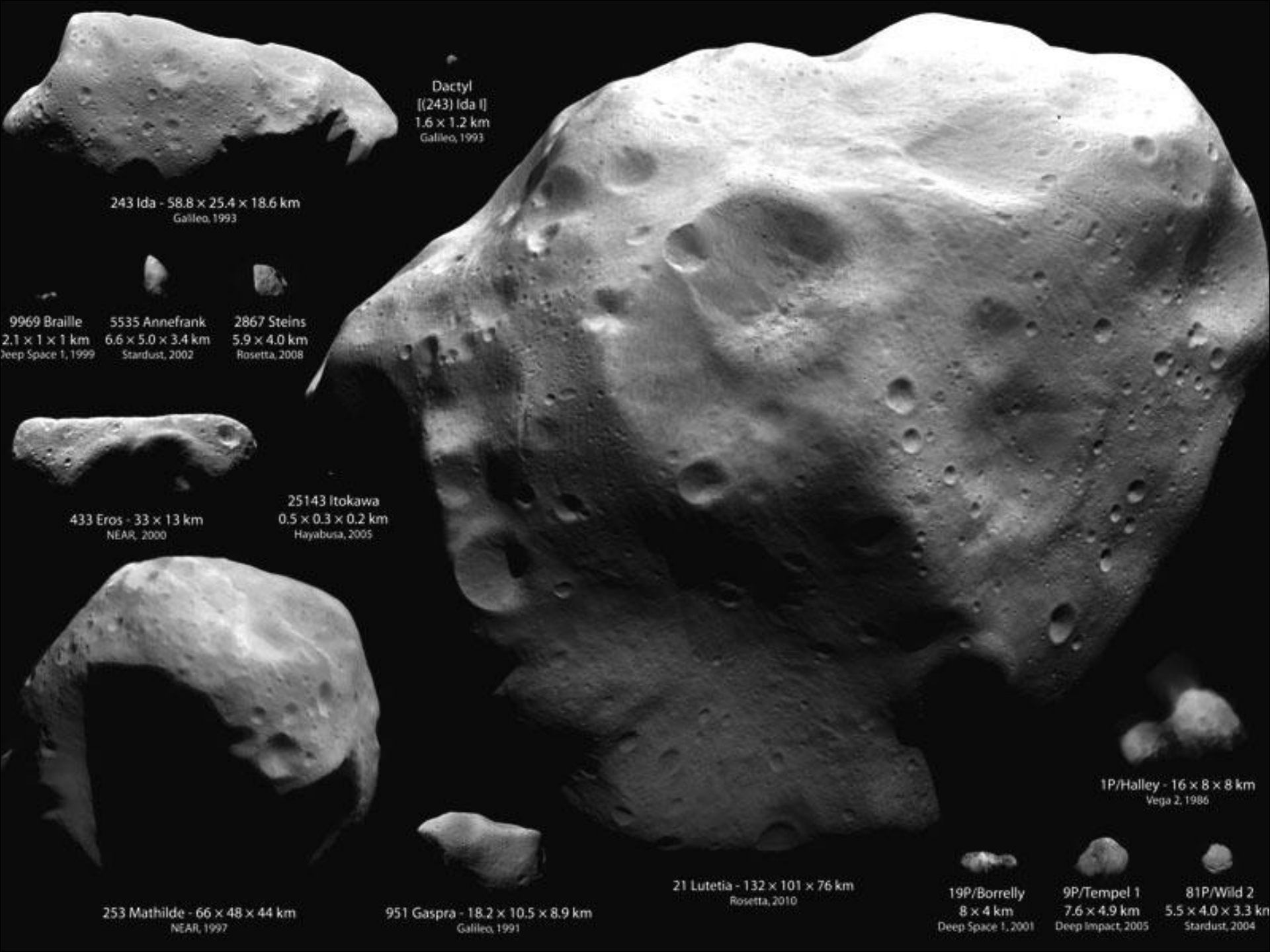


**Гиперион**  
спутник Сатурна



**370 x 226 км**

**0,57 г/см<sup>3</sup>**



Dactyl  
[[243] Ida I]  
1.6 x 1.2 km  
Galileo, 1993

243 Ida - 58.8 x 25.4 x 18.6 km  
Galileo, 1993

9969 Braille  
2.1 x 1 x 1 km  
Deep Space 1, 1999

5535 Annefrank  
6.6 x 5.0 x 3.4 km  
Stardust, 2002

2867 Steins  
5.9 x 4.0 km  
Rosetta, 2008

433 Eros - 33 x 13 km  
NEAR, 2000

25143 Itokawa  
0.5 x 0.3 x 0.2 km  
Hayabusa, 2005

253 Mathilde - 66 x 48 x 44 km  
NEAR, 1997

951 Gaspra - 18.2 x 10.5 x 8.9 km  
Galileo, 1991

21 Lutetia - 132 x 101 x 76 km  
Rosetta, 2010

19P/Borrelly  
8 x 4 km  
Deep Space 1, 2001

9P/Tempel 1  
7.6 x 4.9 km  
Deep Impact, 2005

81P/Wild 2  
5.5 x 4.0 x 3.3 km  
Stardust, 2004

1P/Halley - 16 x 8 x 8 km  
Vega 2, 1986

# 4 Vesta



578 × 560 × 458 KM



21 Lutetia



253 Mathilde



243 Ida

243 Ida 1 Dactyl



433 Eros



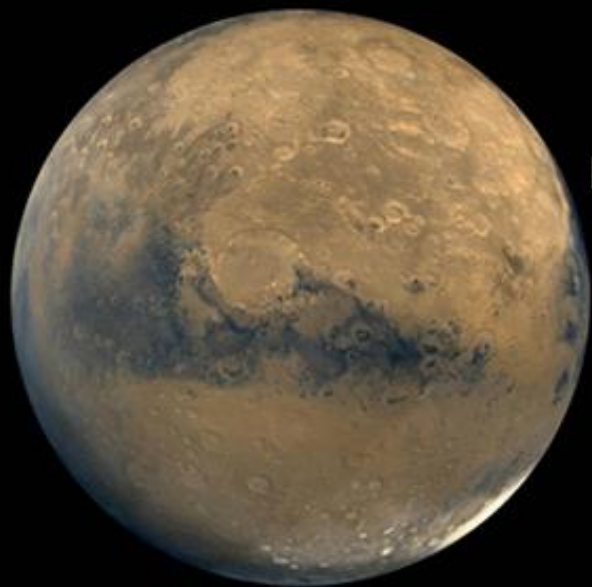
951 Gaspra



2867 Šteins



25143 Itokawa



Mars



Mercury



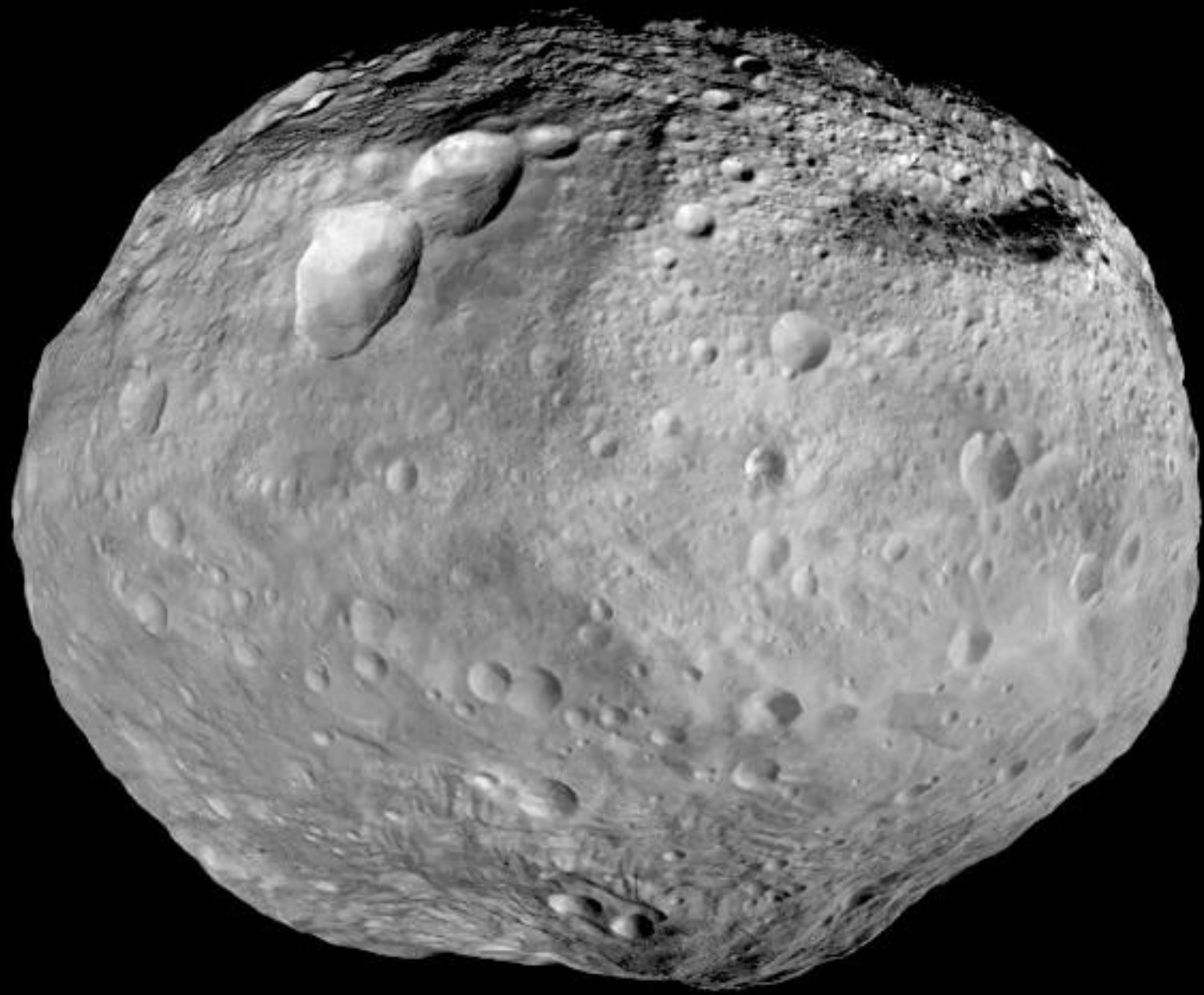
Earth's Moon



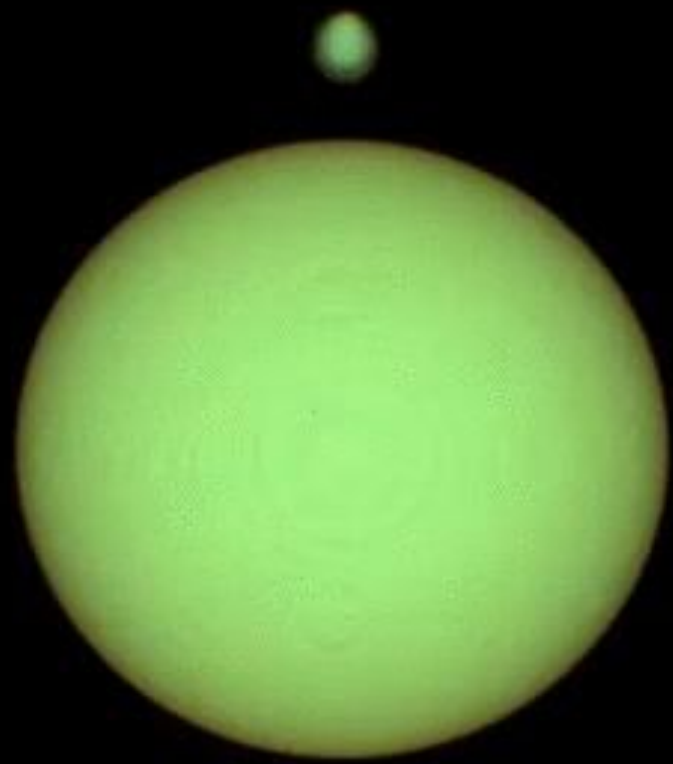
Ceres



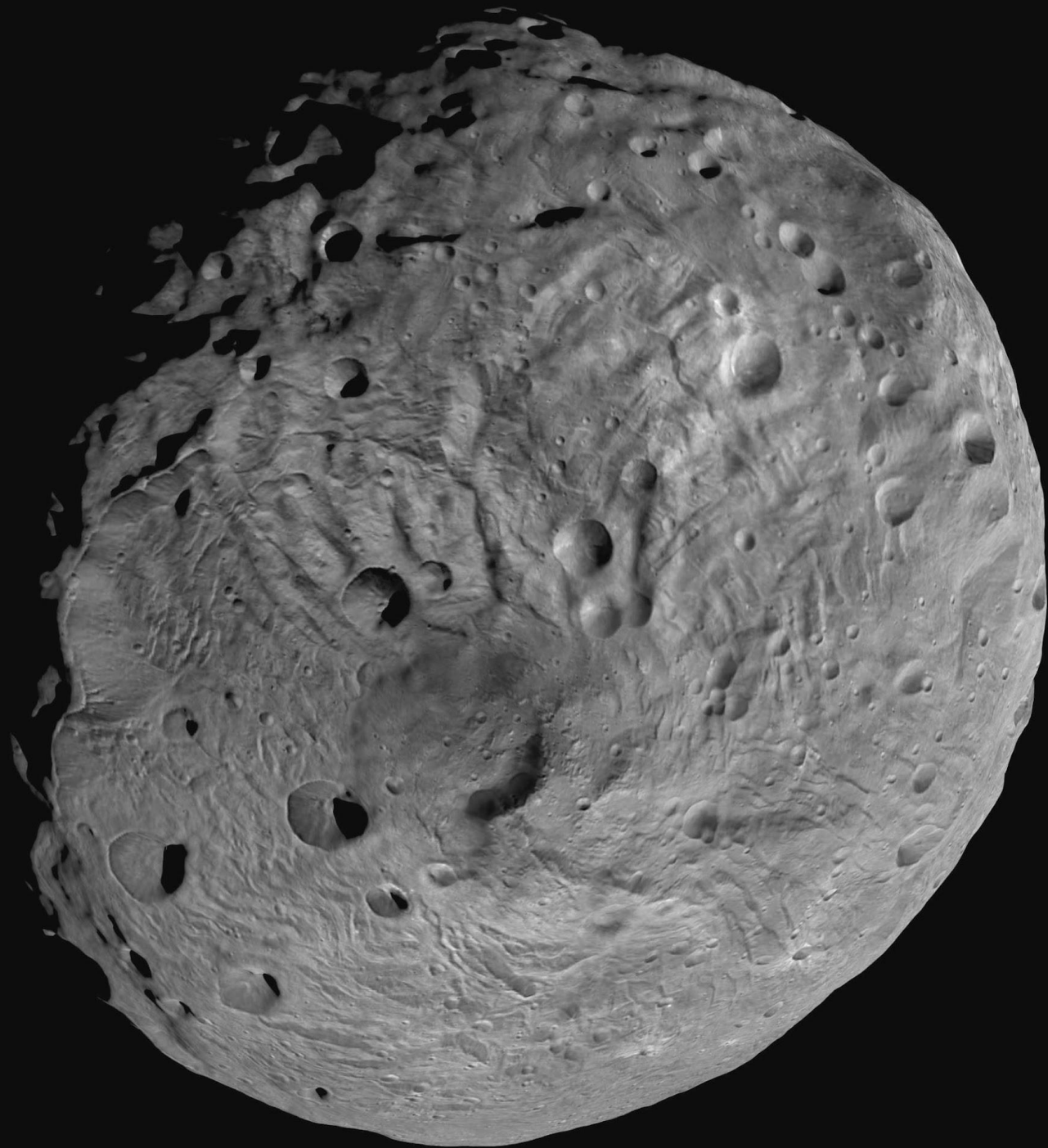
Vesta



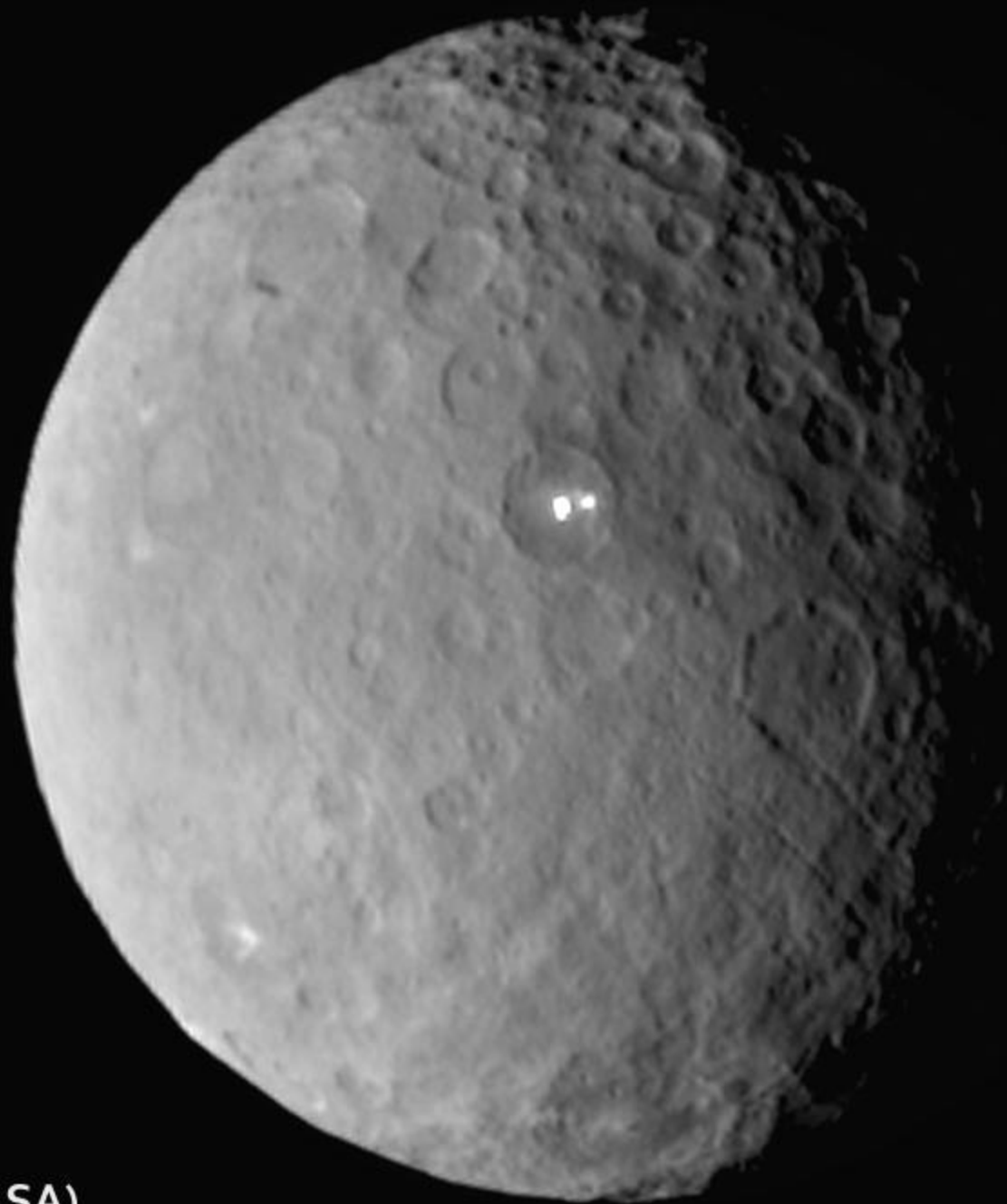






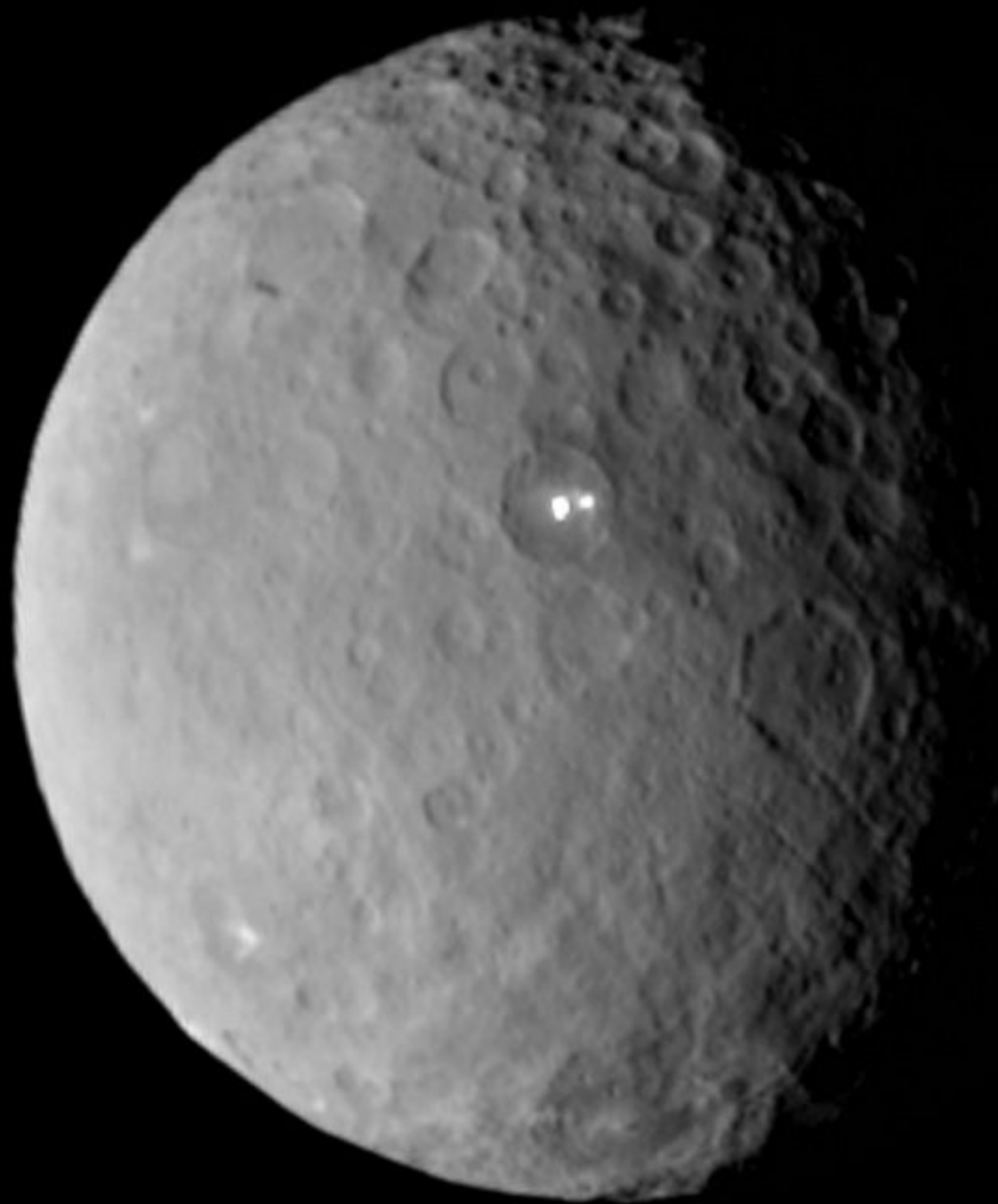


Церера

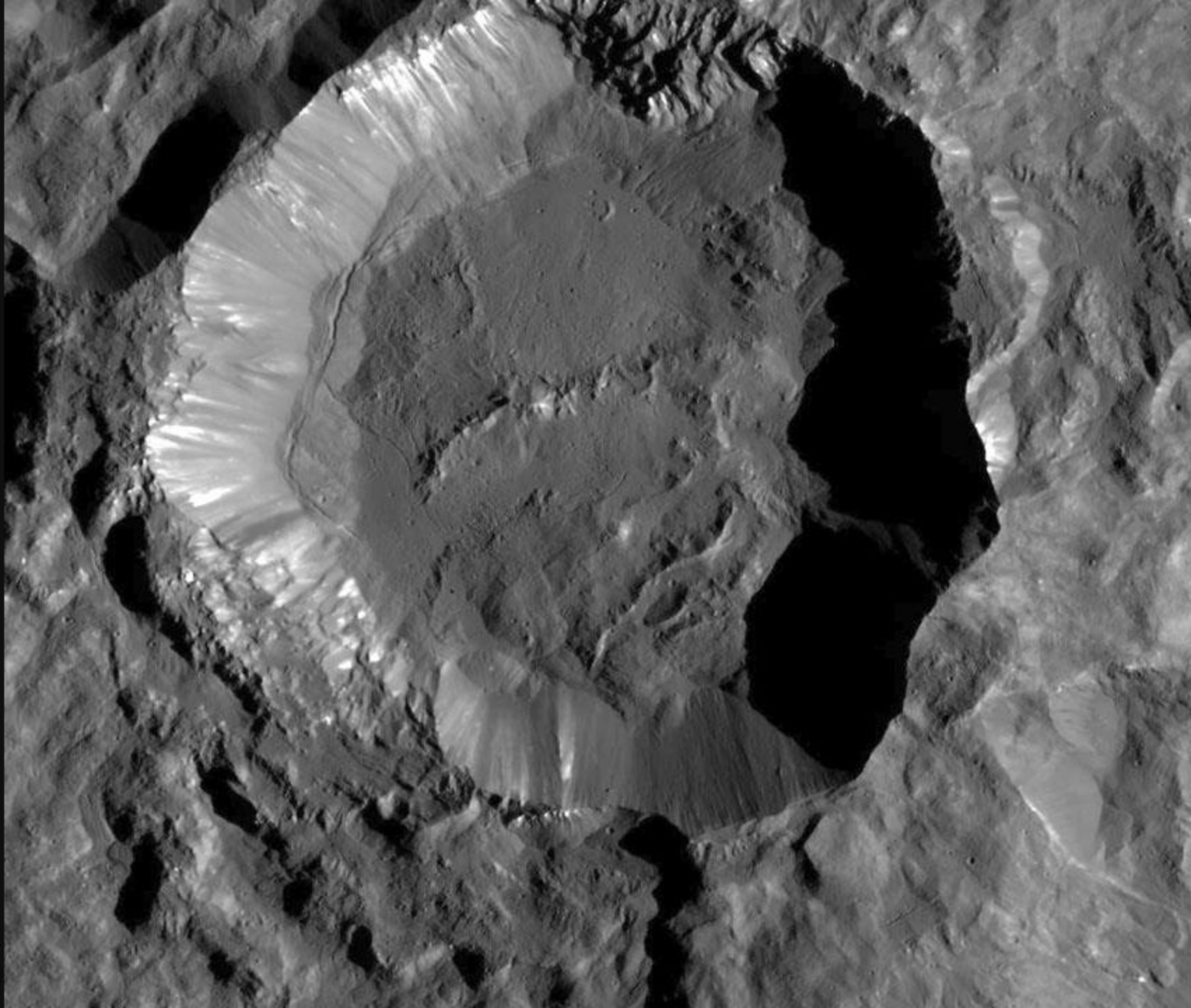


Dawn (NASA)

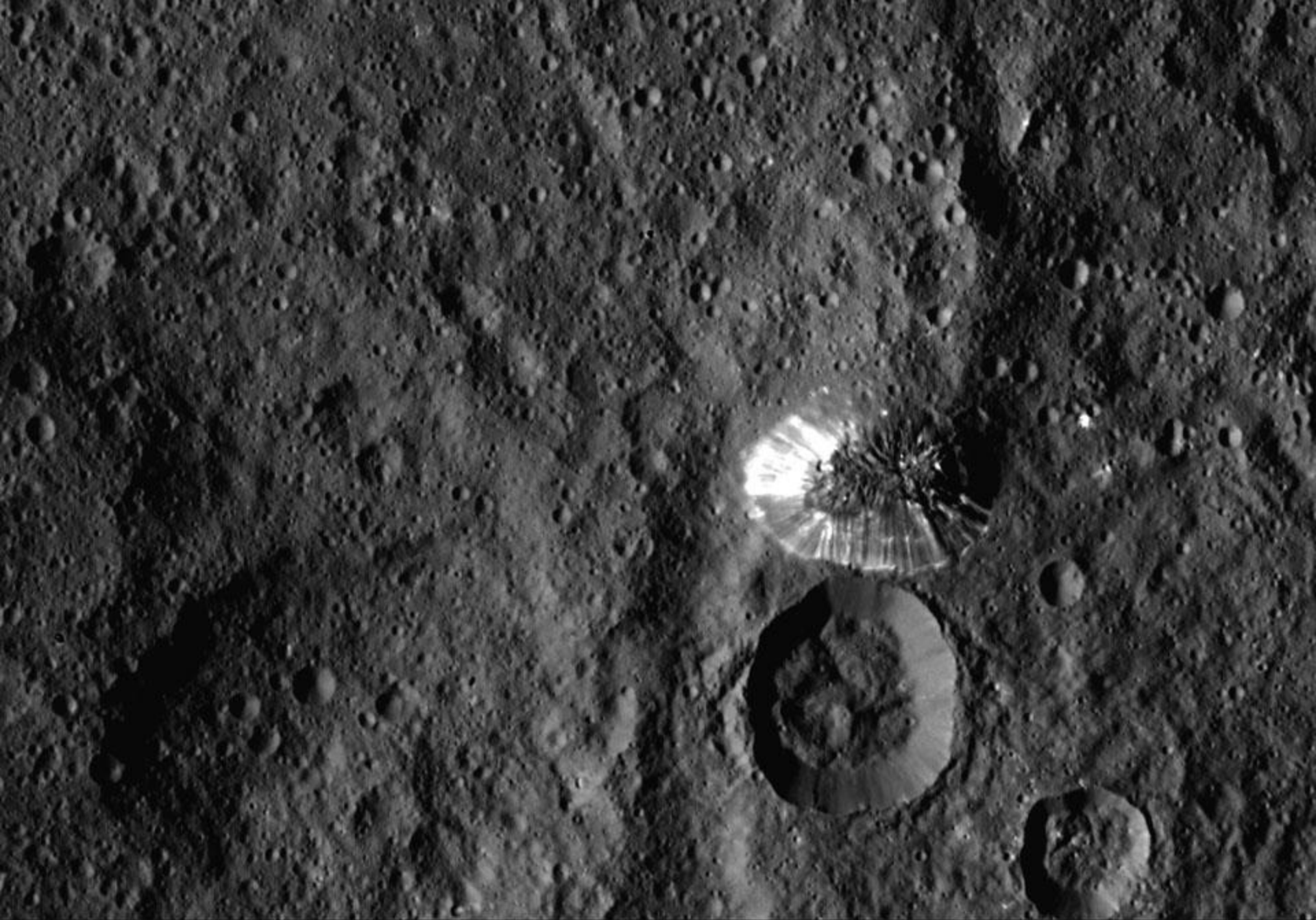
19 Feb 2015



Церера



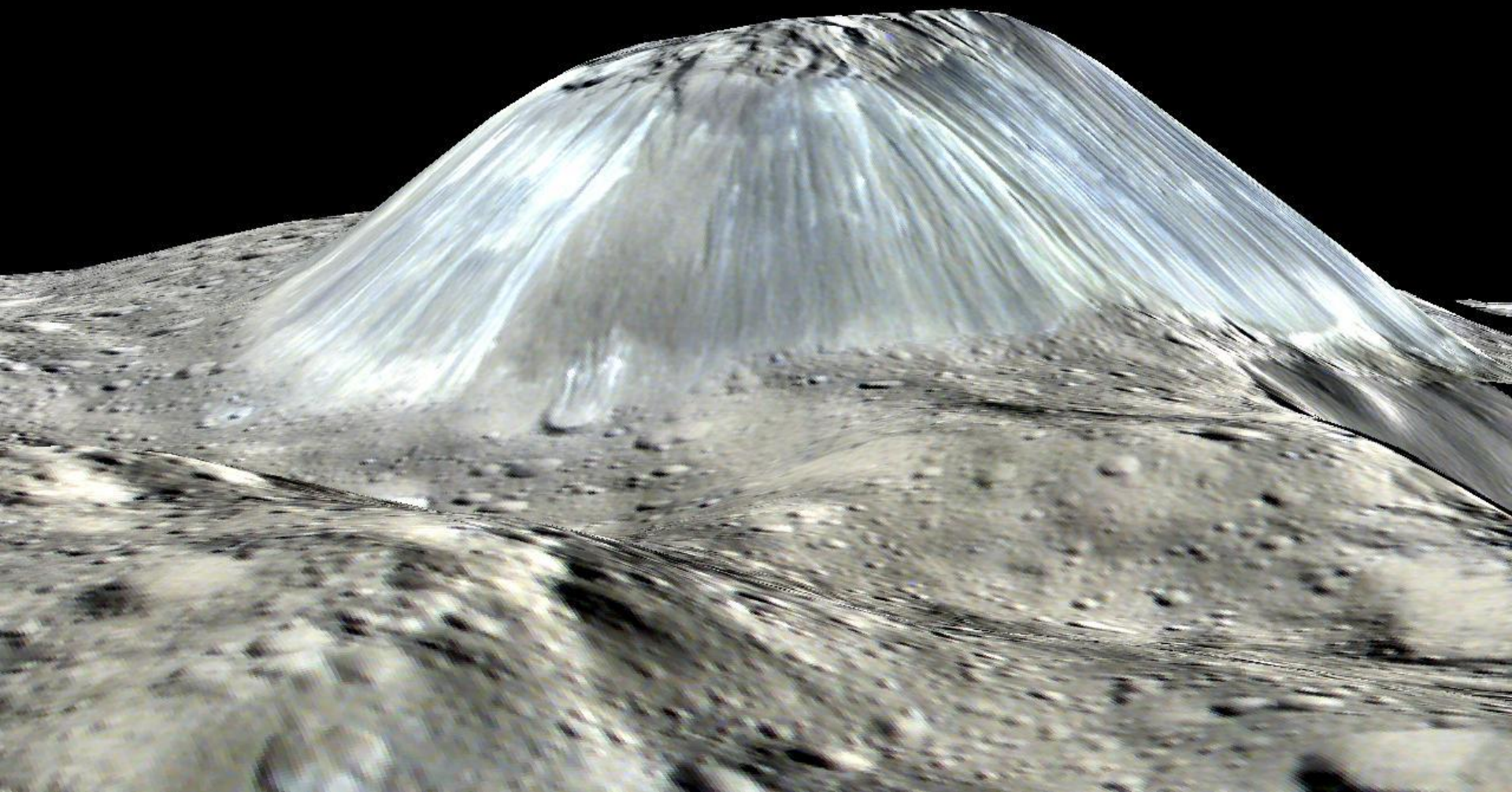
NASA «Dawn»  
19-23 дек 2015  
Кратер Кирало  
с высоты 385 км



Церера

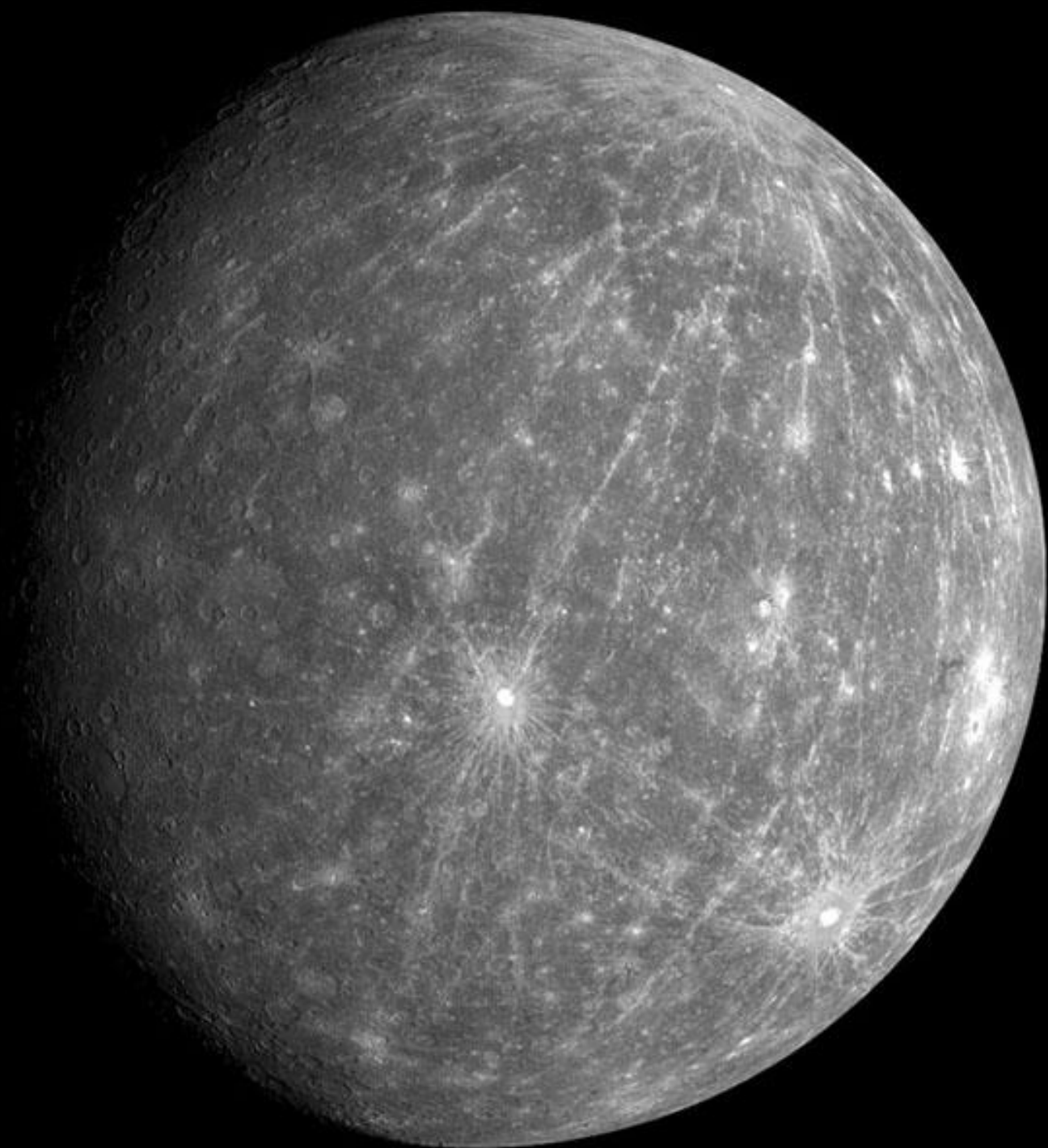
Гора высотой 6 км

Dawn (NASA) 2015



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

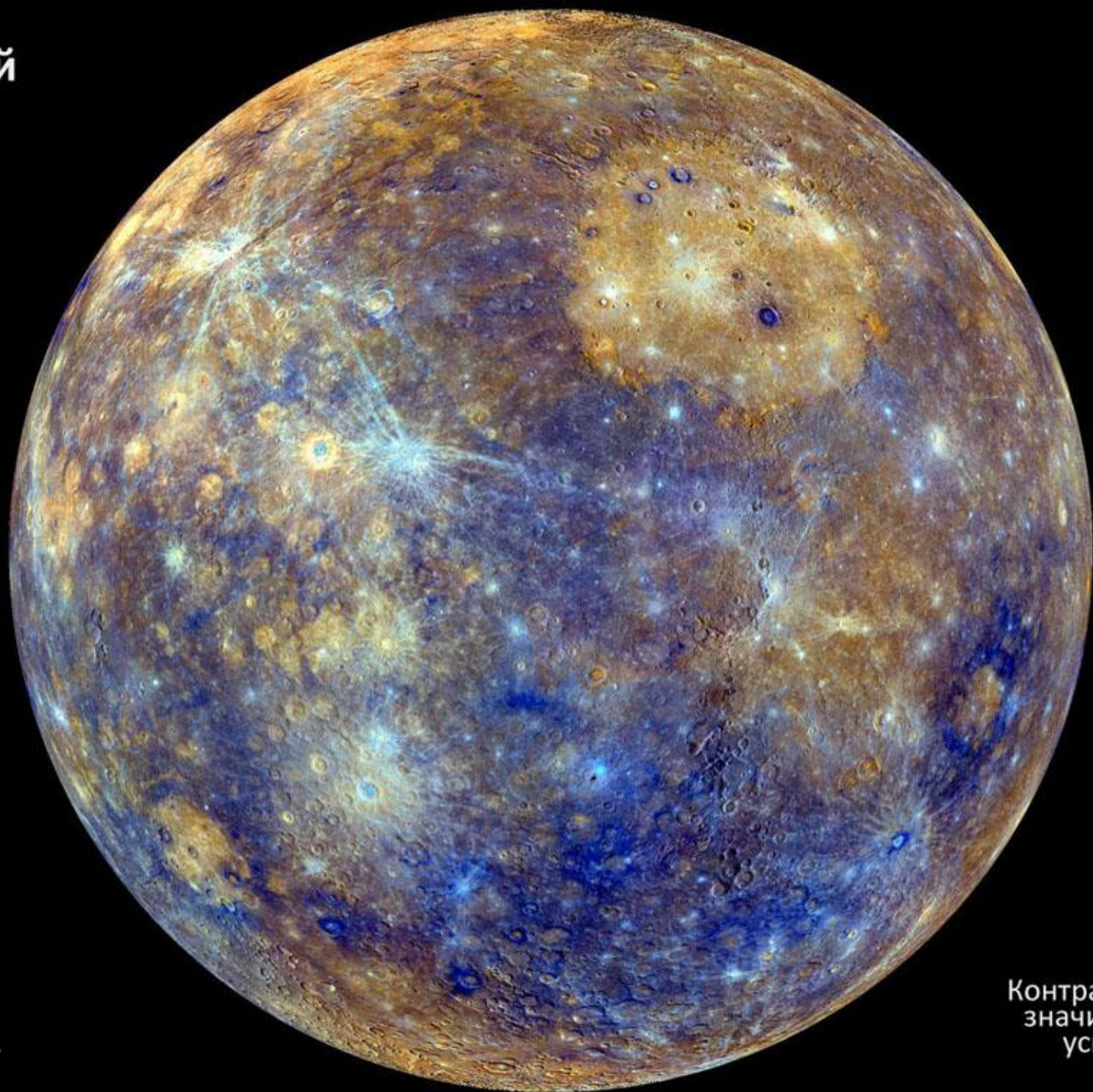
Меркурий



Messenger (NASA)

Oct 2008

Меркурий



Messenger  
NASA, 2011

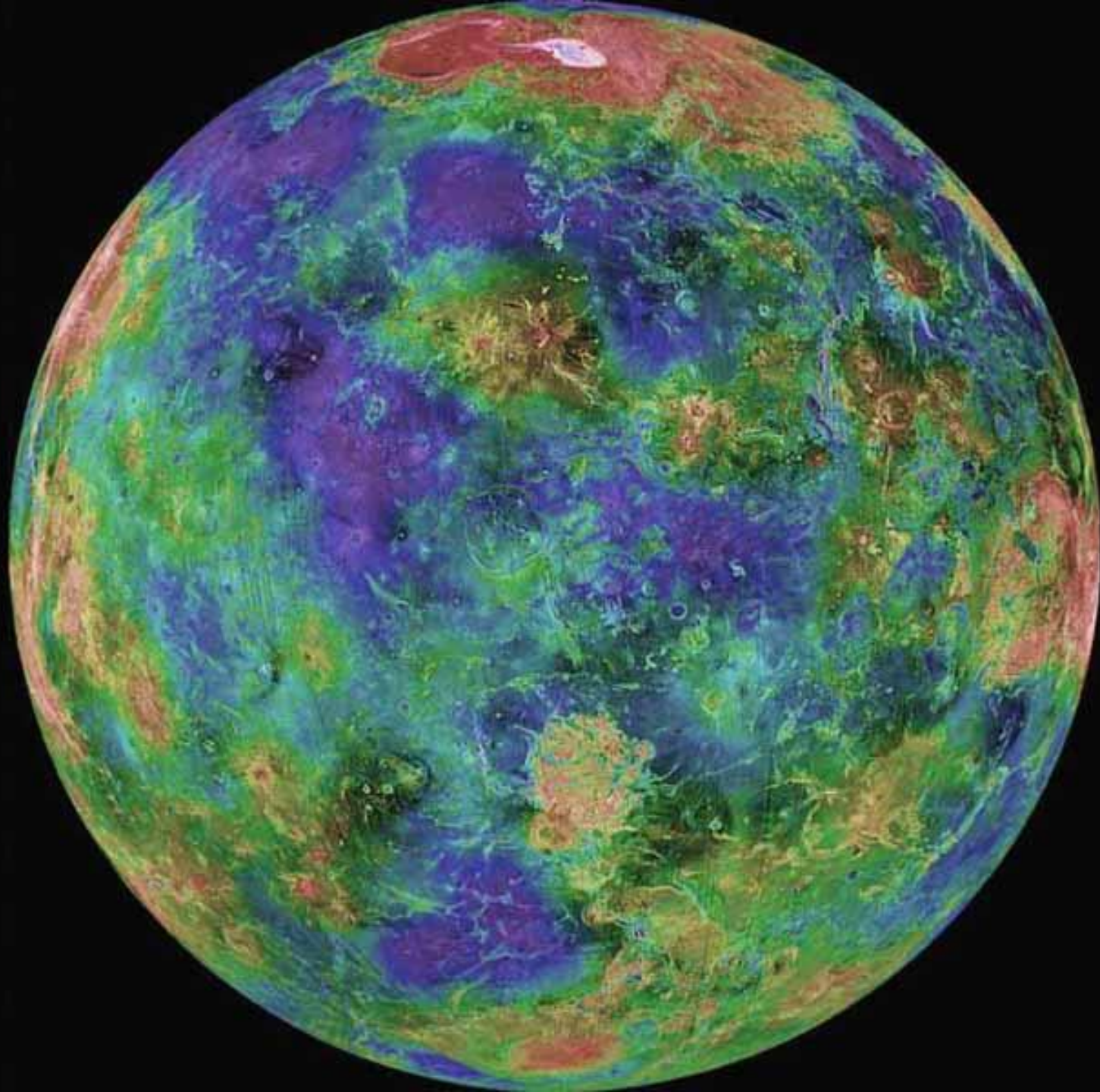
Контраст цвета  
значительно  
усилен





Венера







Don P. Mitchell

# Эволюция атмосферы

# ЗЕМЛЯ

**В прошлом**  
**3 млрд лет**

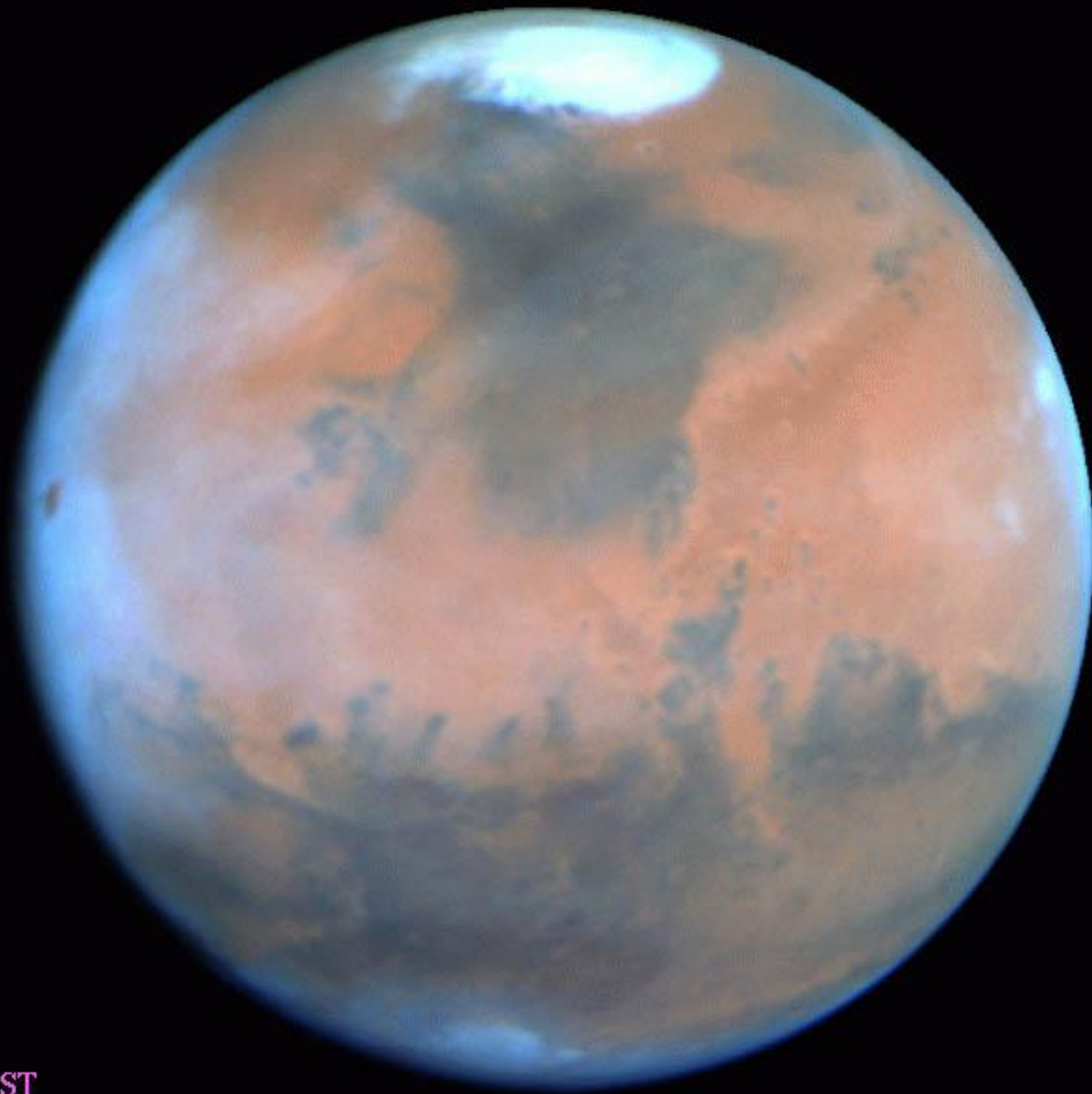
**СЕГОДНЯ**

Утечка газа:  
Водород 3 кг/с  
Гелий 50 г/с

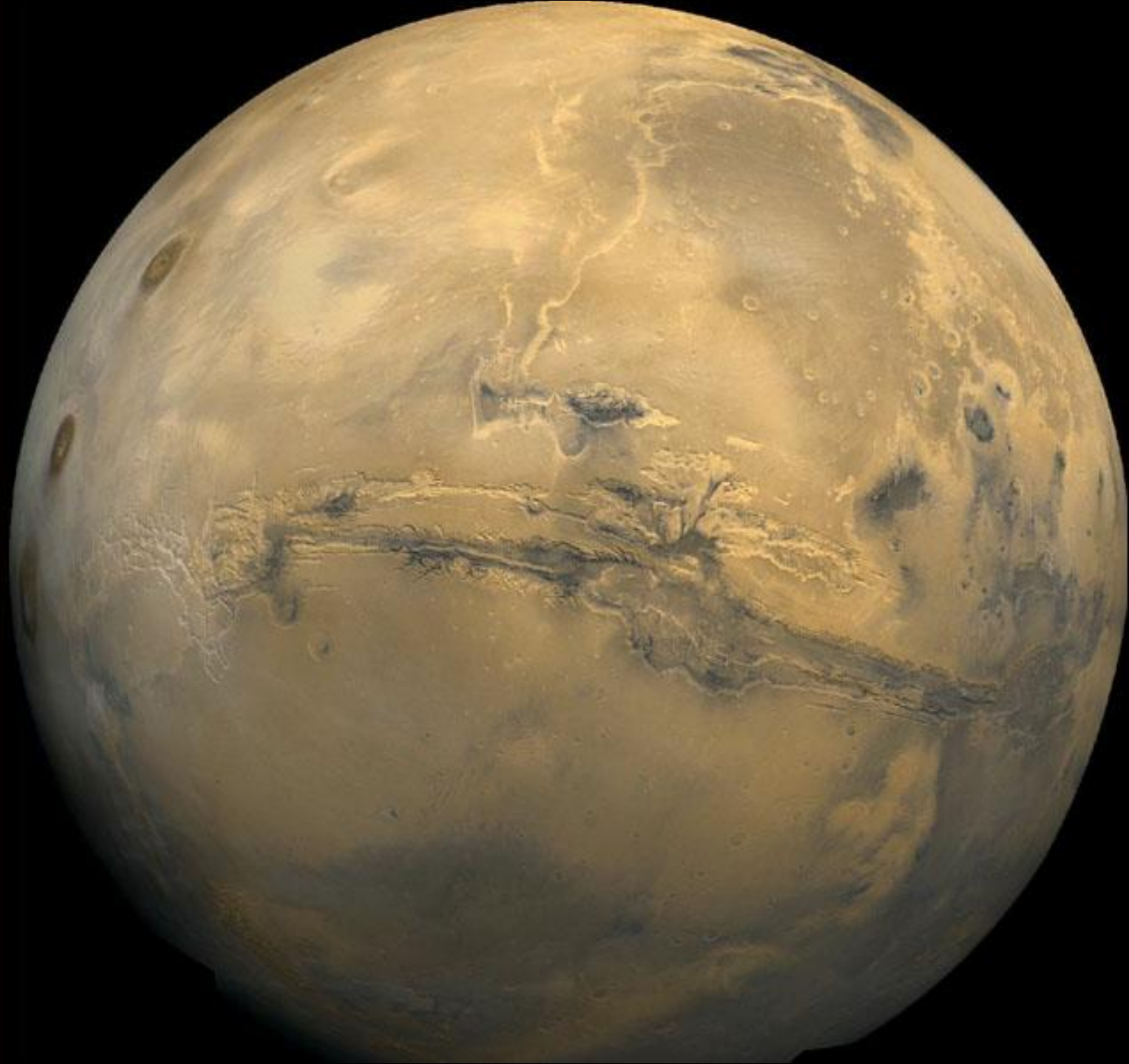
**В будущем**  
**3 млрд лет**

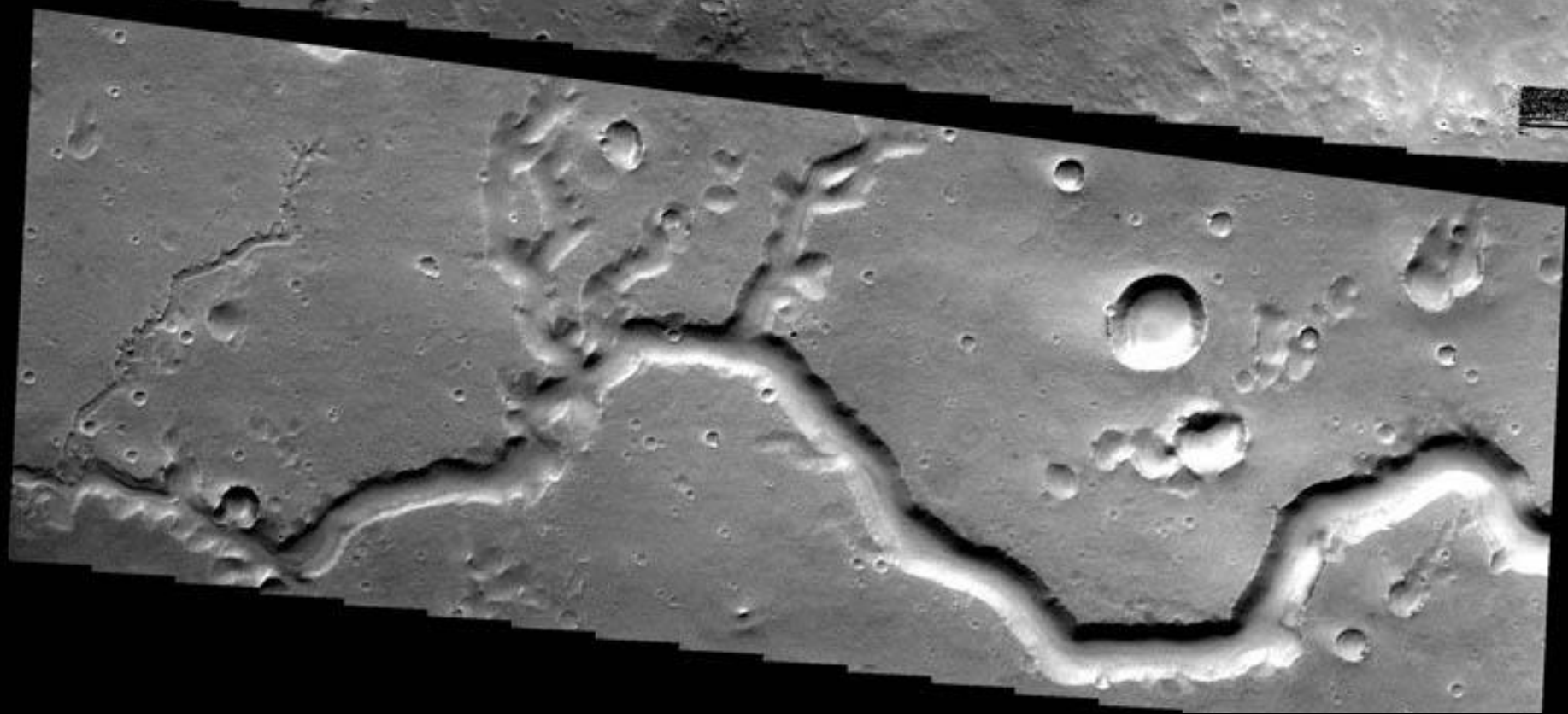
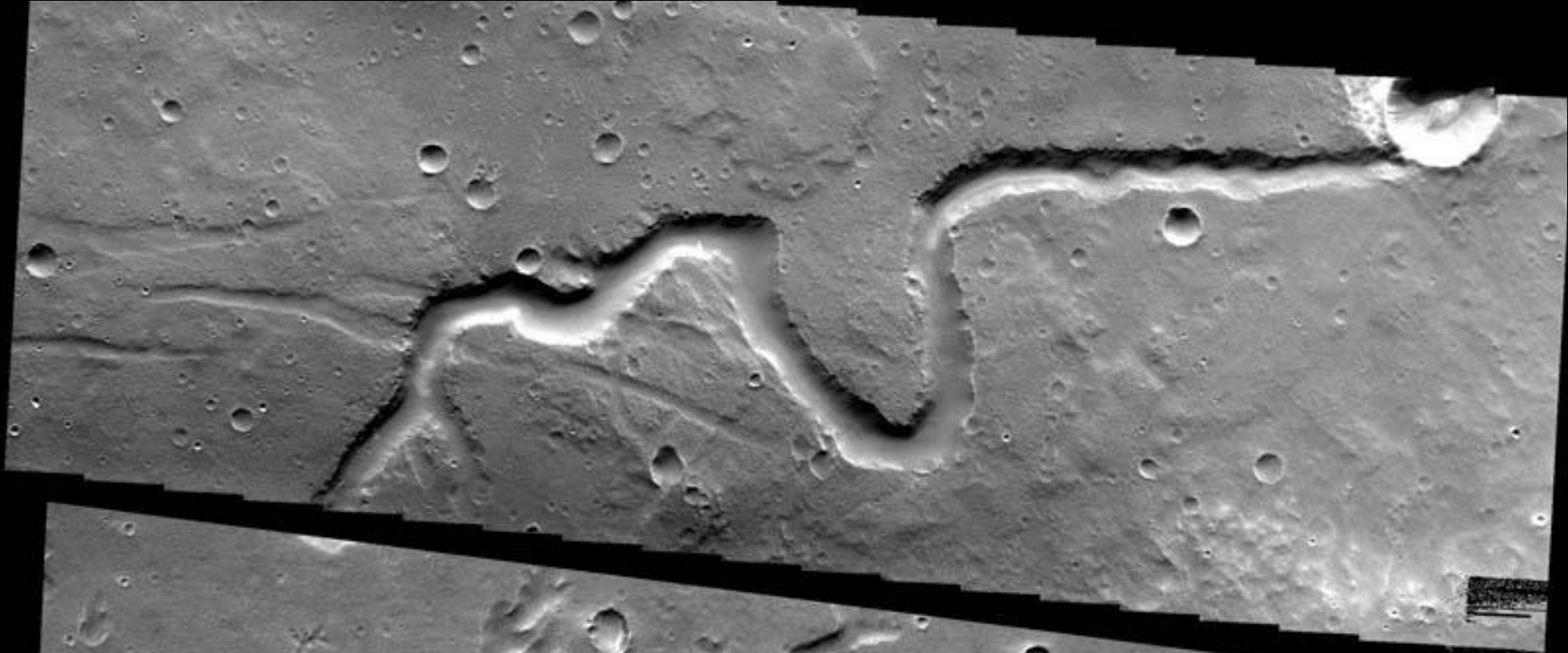


Mapc



Feb 1995 HST





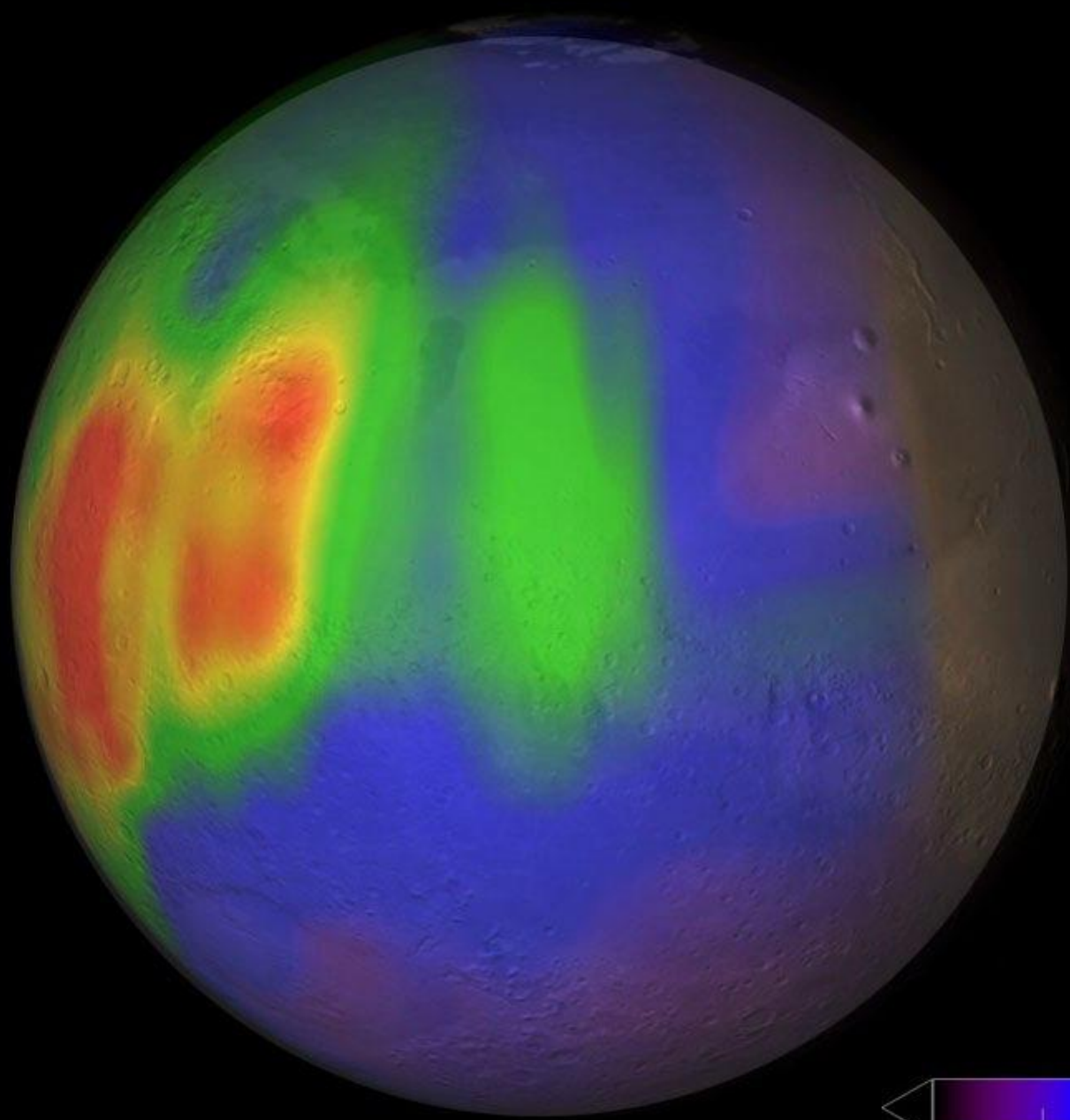


# Mars

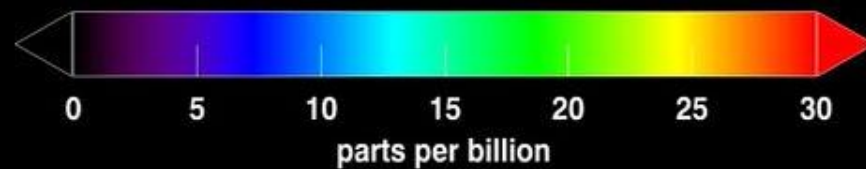
Methane release:  
Northern summer

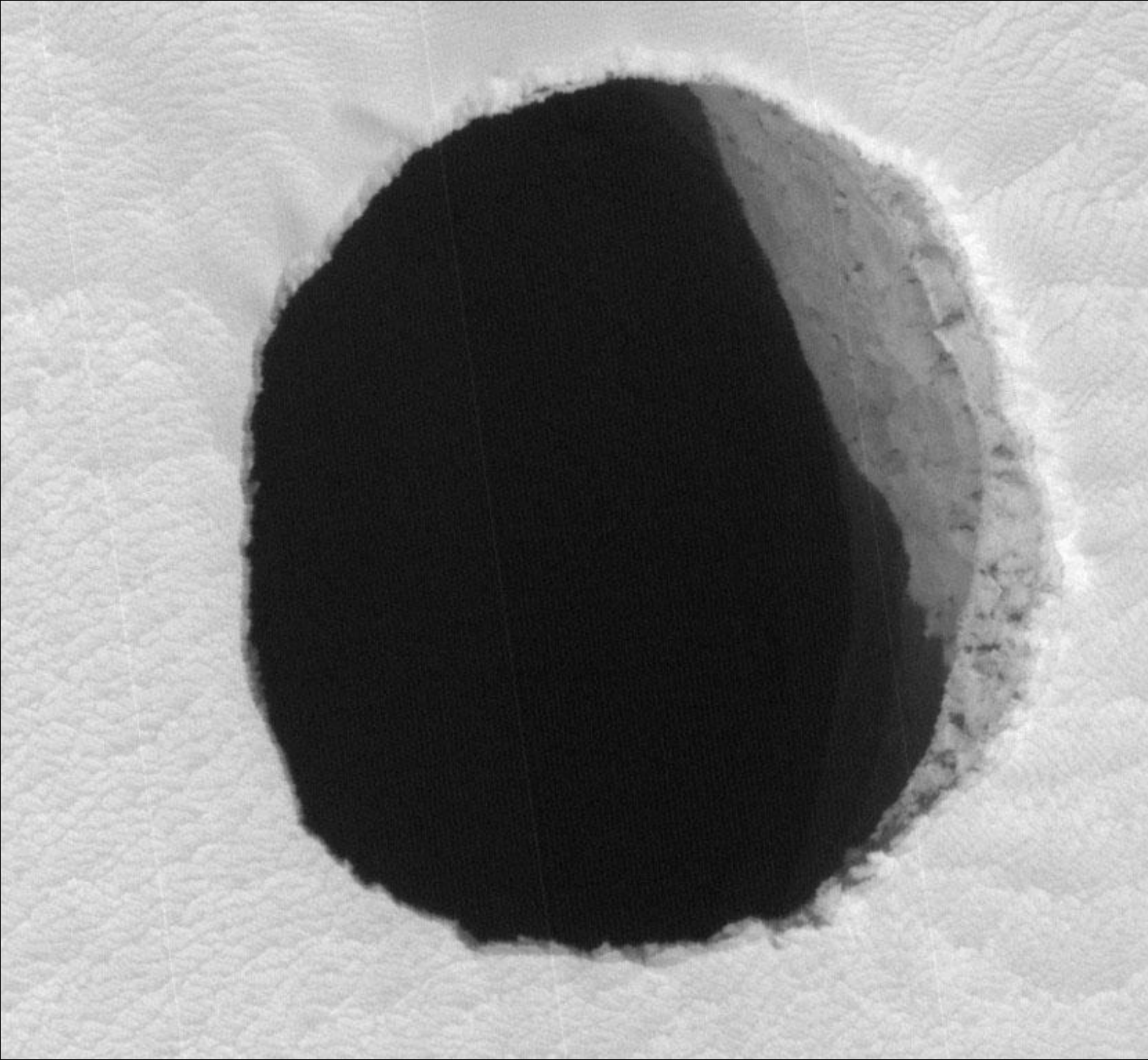
NASA 2009

Large ground-based telescopes



Methane Concentration



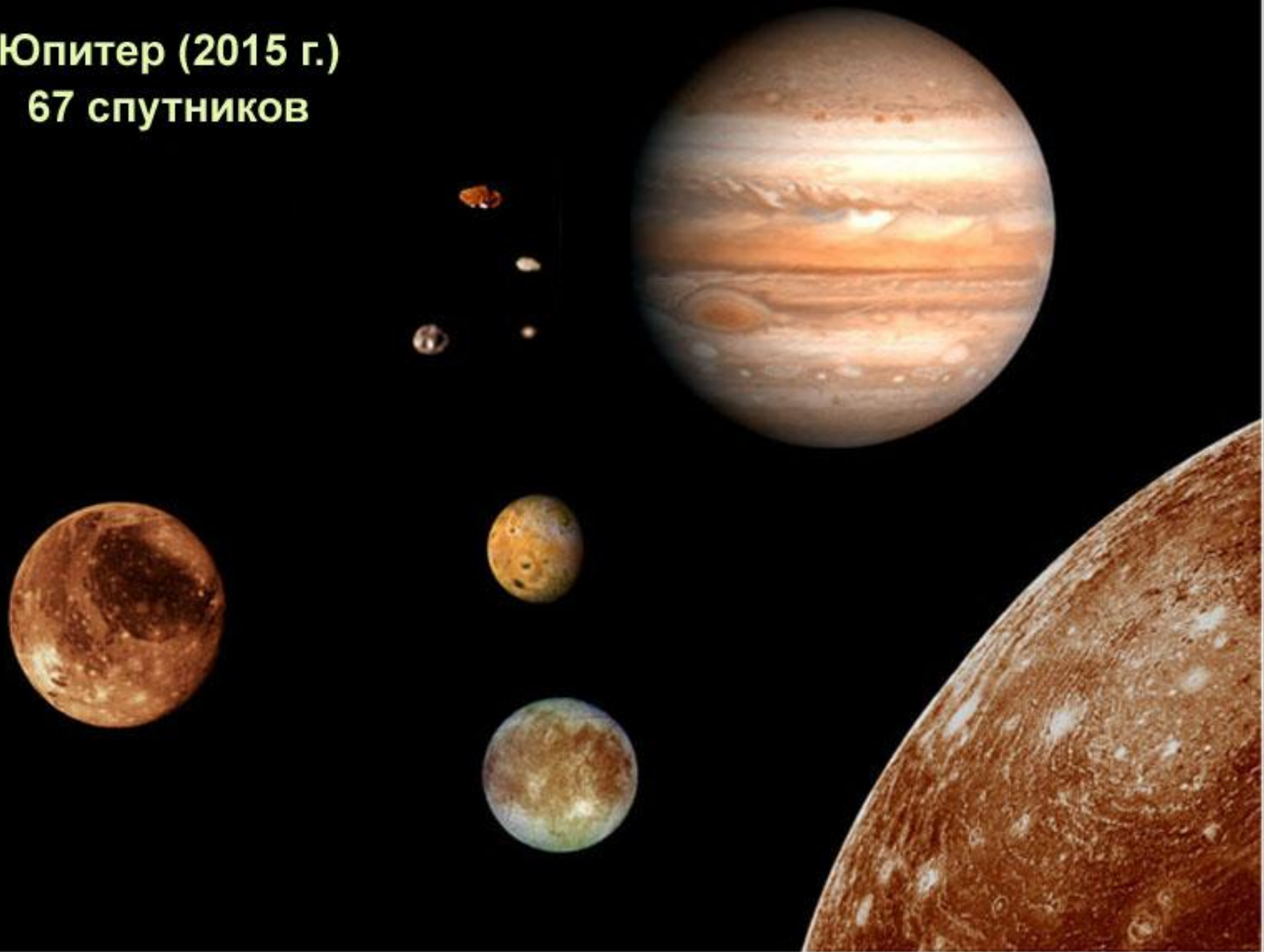


Дыра  
диаметром  
150 метров  
на северном  
склоне  
вулкана  
Arsia Mons

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

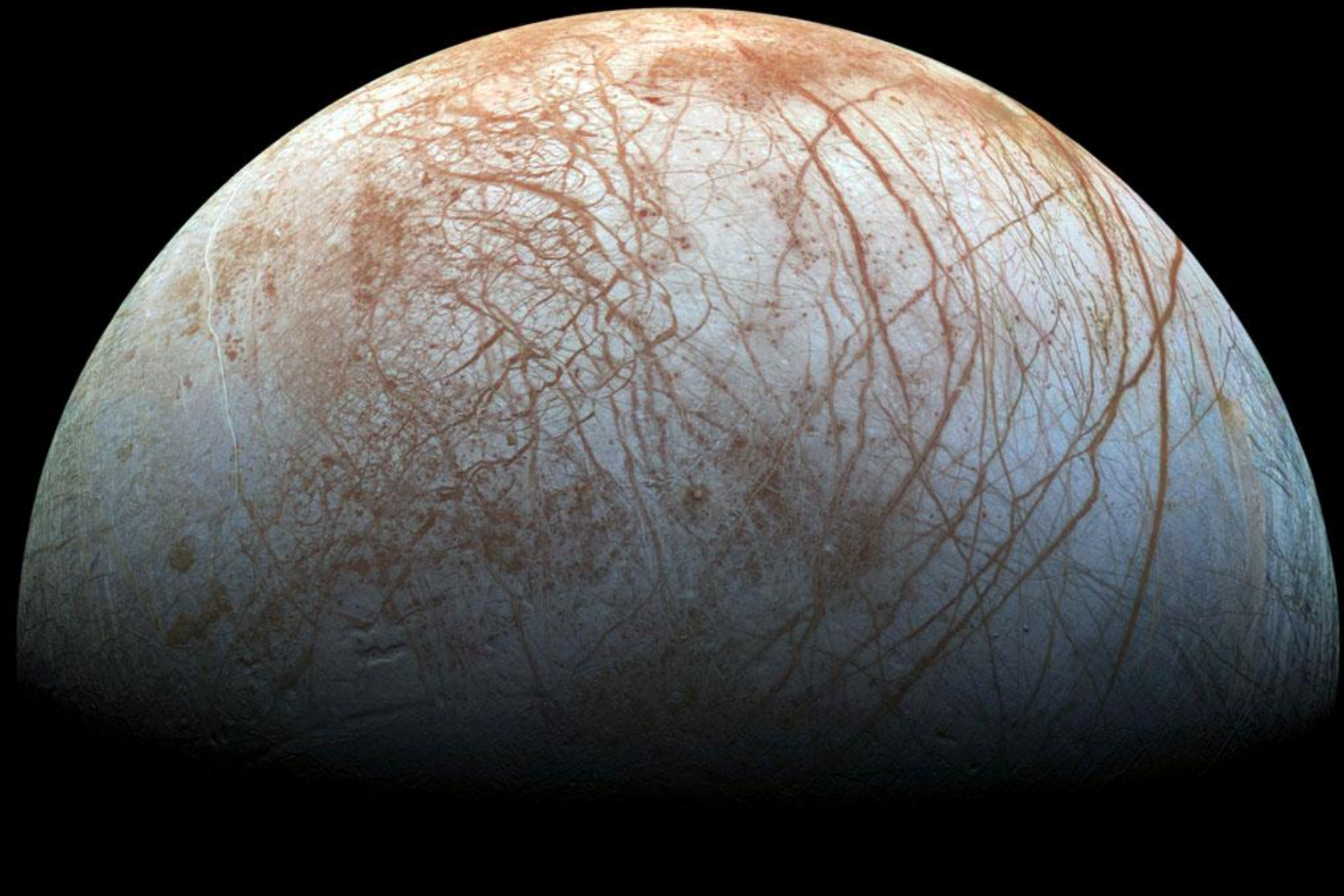
Mars Recon.Orb.  
NASA, 2007

Юпитер (2015 г.)  
67 спутников

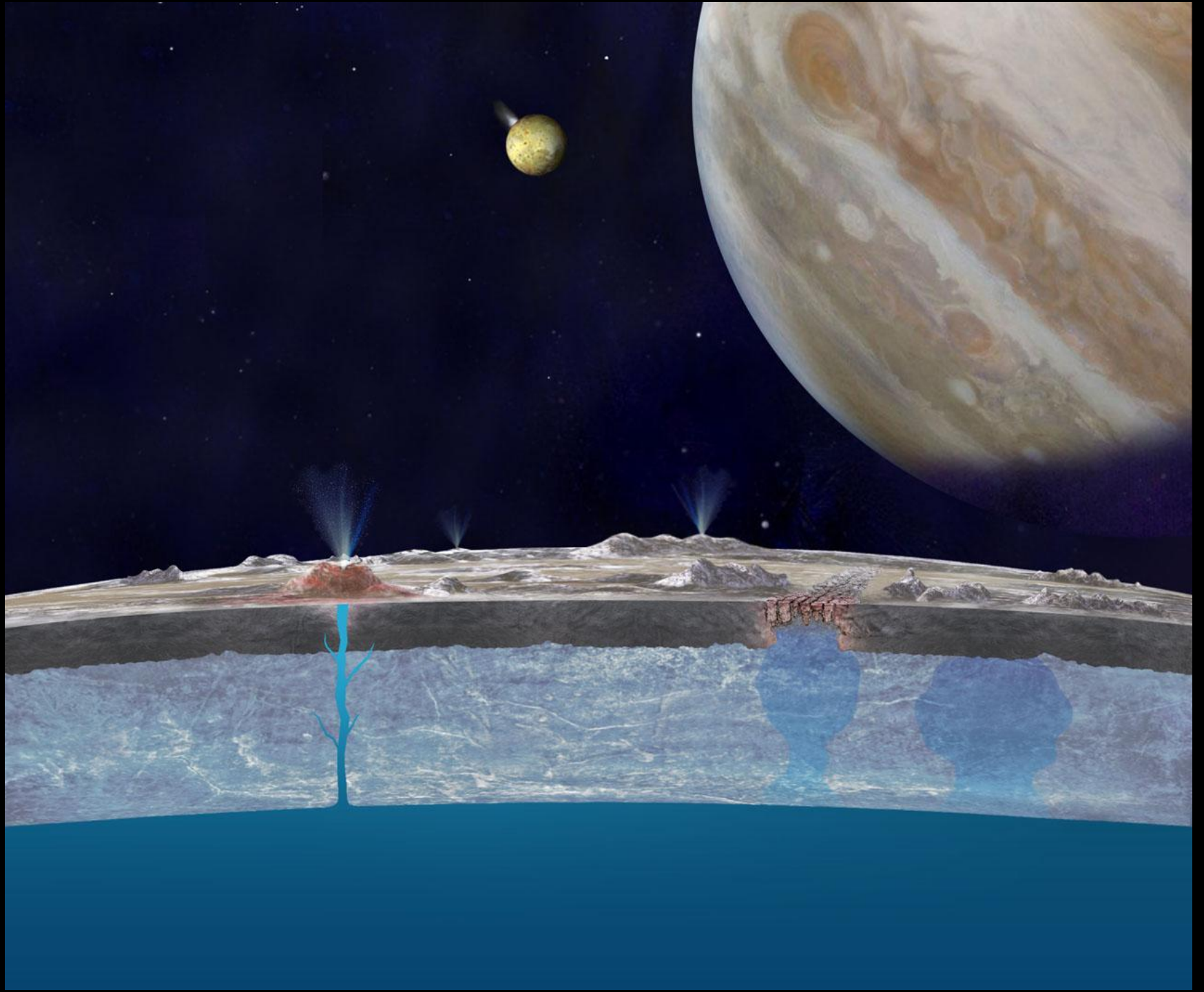


Сатурн (2015 г.)  
62+ спутника

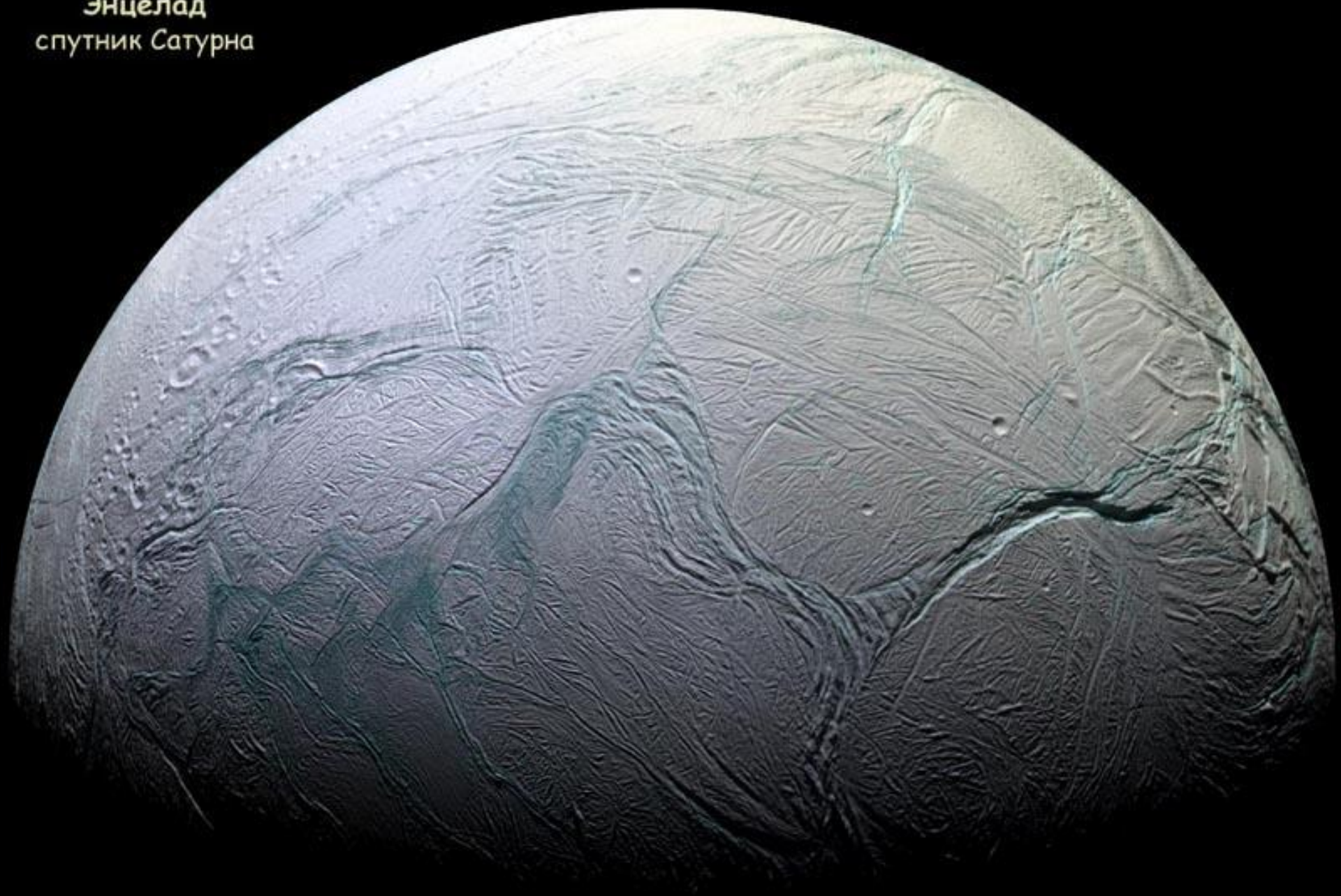


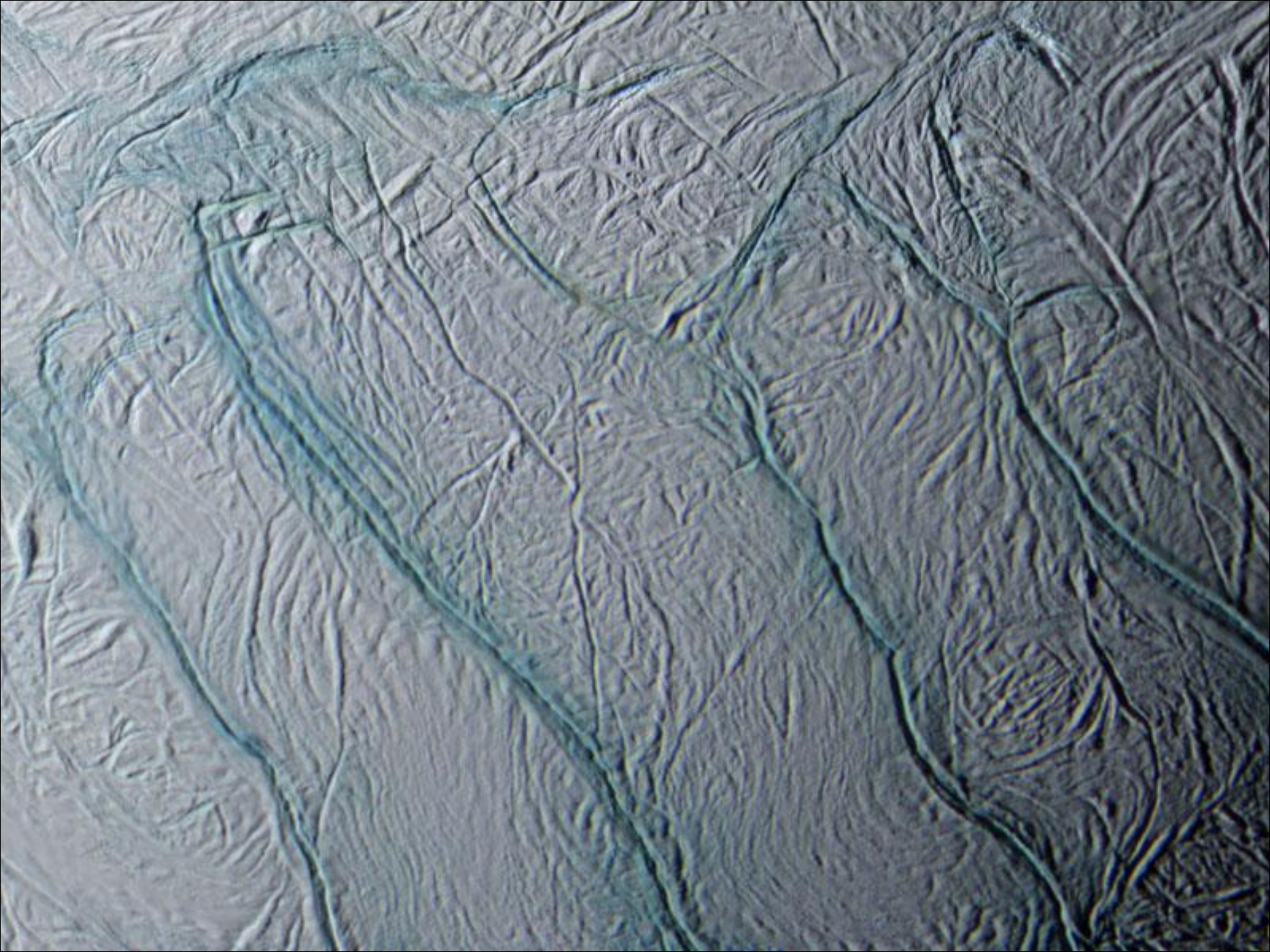


Европа

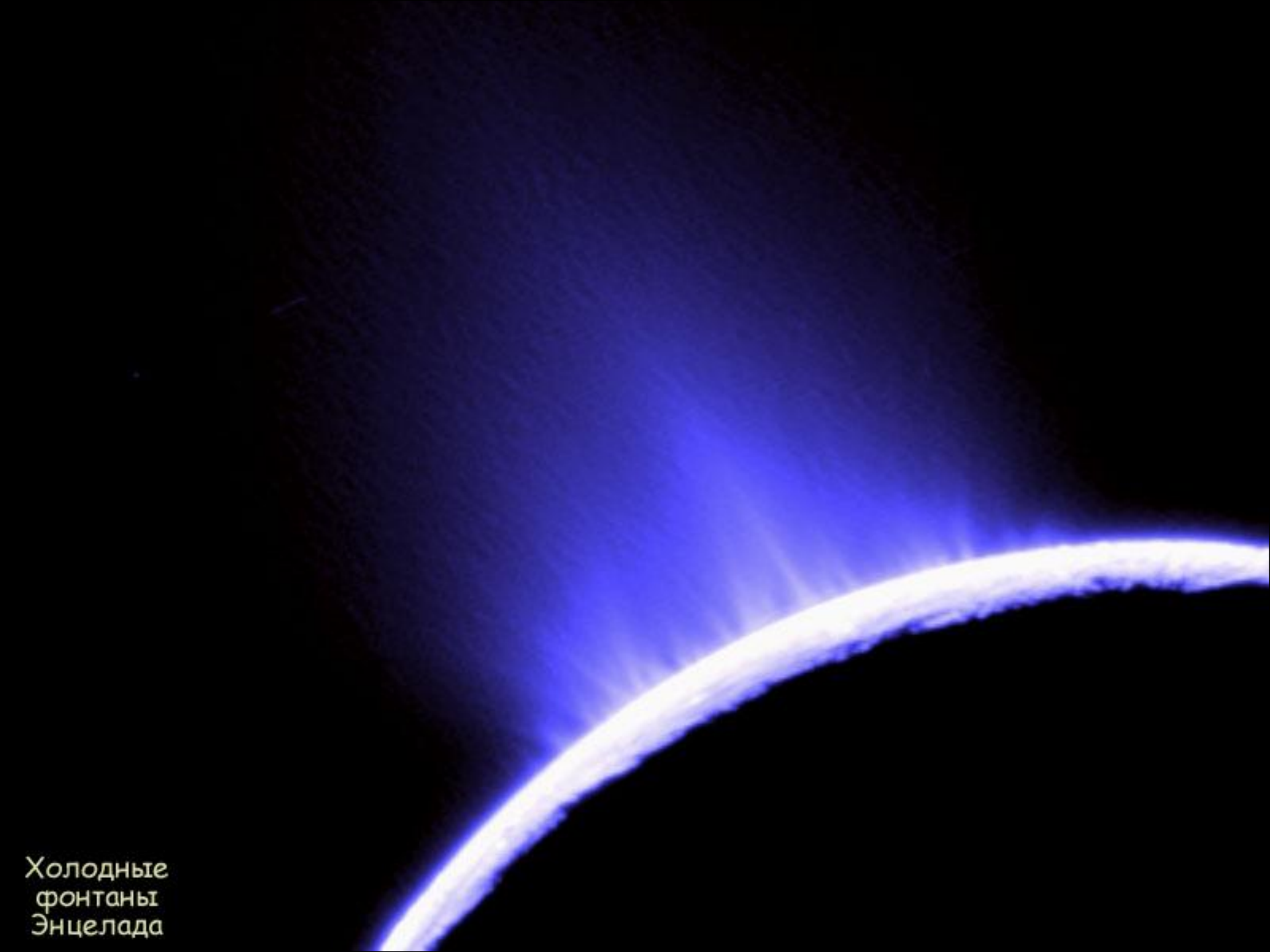


Энцелад  
спутник Сатурна

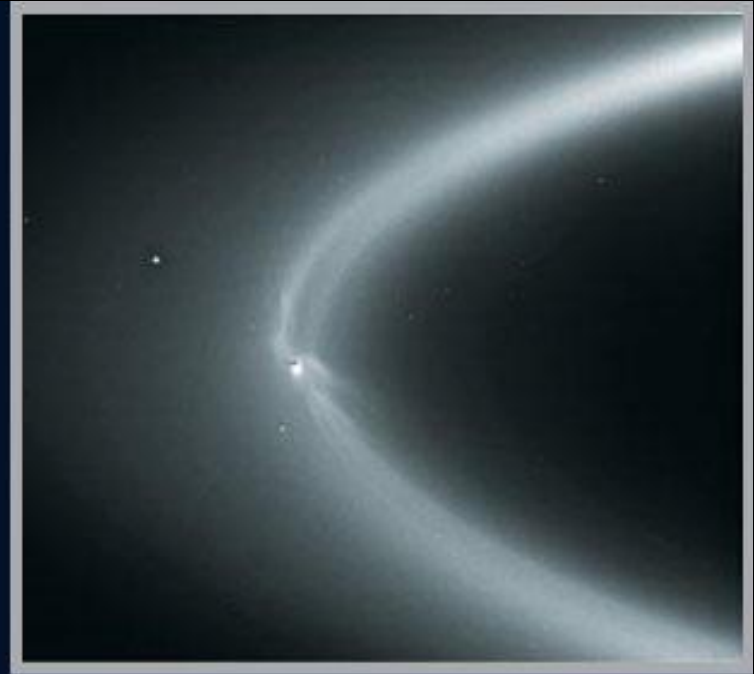








Холодные  
фонтаны  
Энцелада

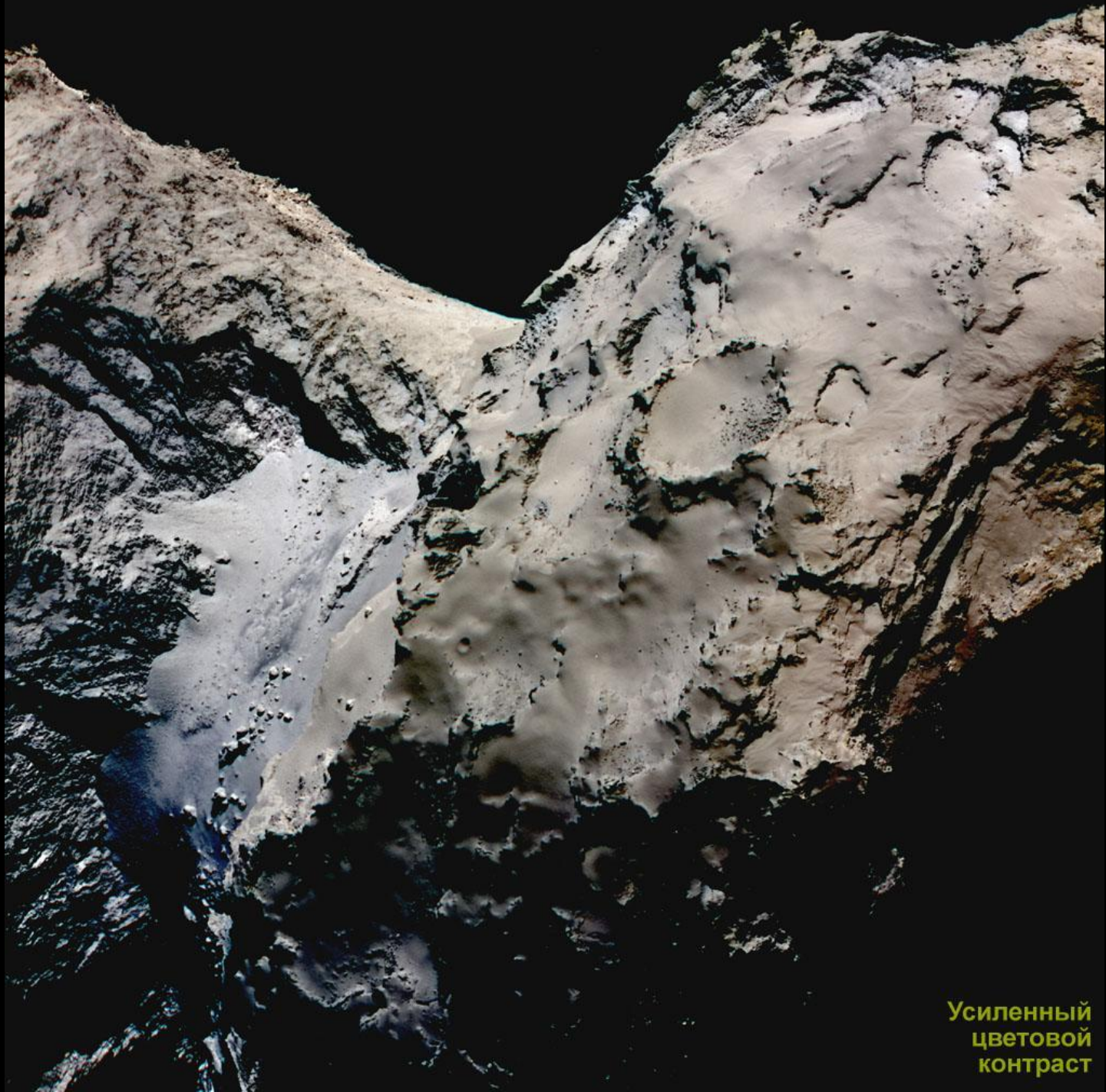


Орбита Энцелада  
(кольцо E Сатурна)

## Фонтаны Энцелада

искусственными цветами  
передана градация яркости





Усиленный  
цветовой  
контраст



40 m

# *Нам* **запасная** *нужна* **планета**

В. Г. Сурдин, ГАИШ МГУ

