

# ЧТО НАМ ИЗВЕСТНО ОБ АСТЕРОИДАХ?

В. В. Бусарев

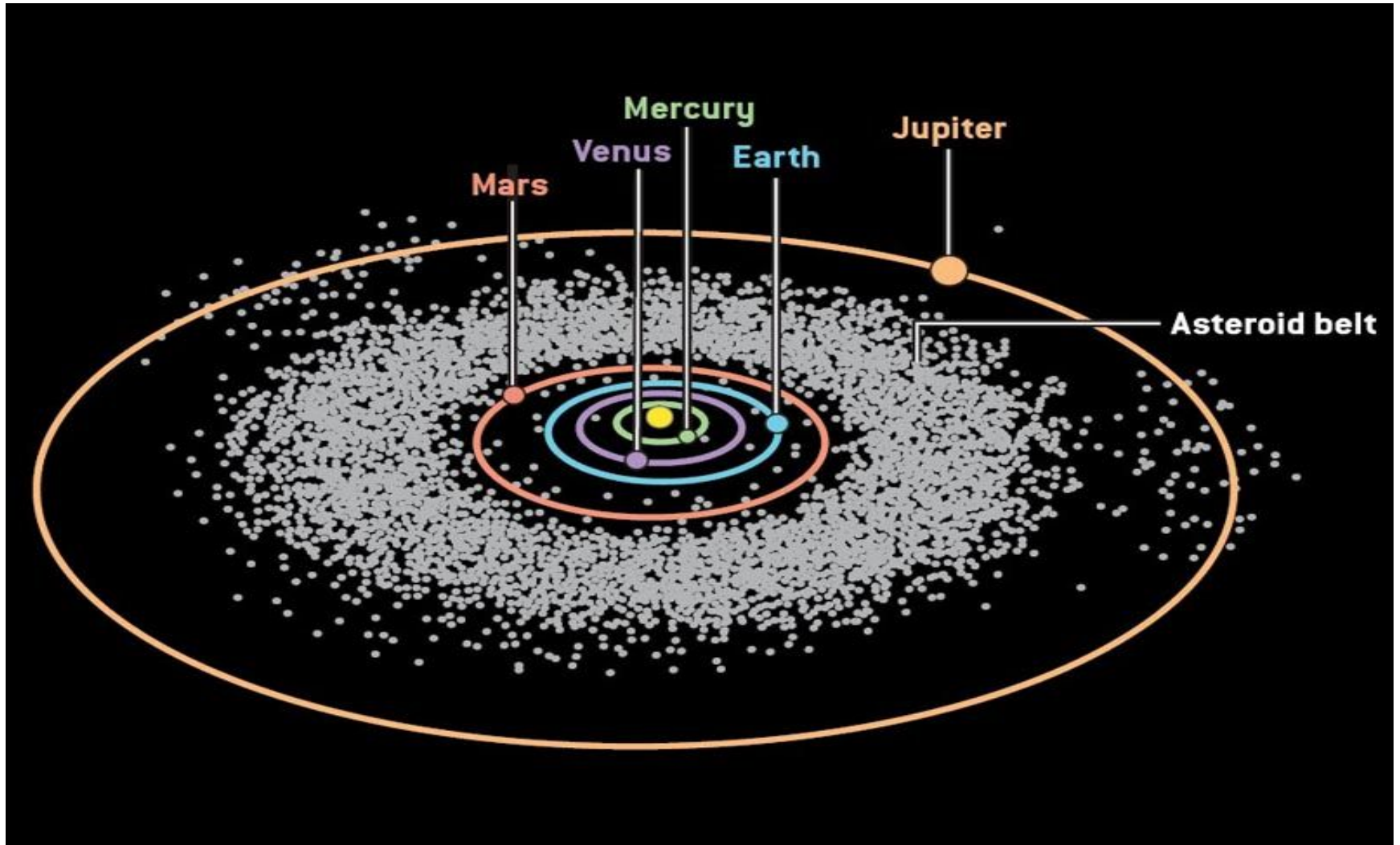
# Крупнейшие группы малых планет в Солнечной системе

- Астероиды ГП – распределены в области ~ 2-4 а. е; уже известно более 450000 таких астероидов;
- Греки и Троянцы (или просто Троянцы) – находятся вблизи лагранжевых точек  $L_4$  и  $L_5$  на орбите Юпитера и, соответственно, опережают его и отстают от него на  $\sim 60^\circ$ : 5,2 а. е;
- Астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ): ~ 1-2 а. е; известно более 8000 (Амурцы, Аполлонцы и Атонцы);
- Имеется также несколько астероидов названные «Кентаврами» (с периодическими проявлениями кометной активности), которые движутся по орбитам, пересекающимся с орбитами планет-гигантов (например, 2060 Хирон или имеющий кометное обозначение 95 P/ Хирон): ~ 5-30 а. е;
- Объекты Эджворта-Койпера (ЕКВОs): ~ 30-55 а. е.

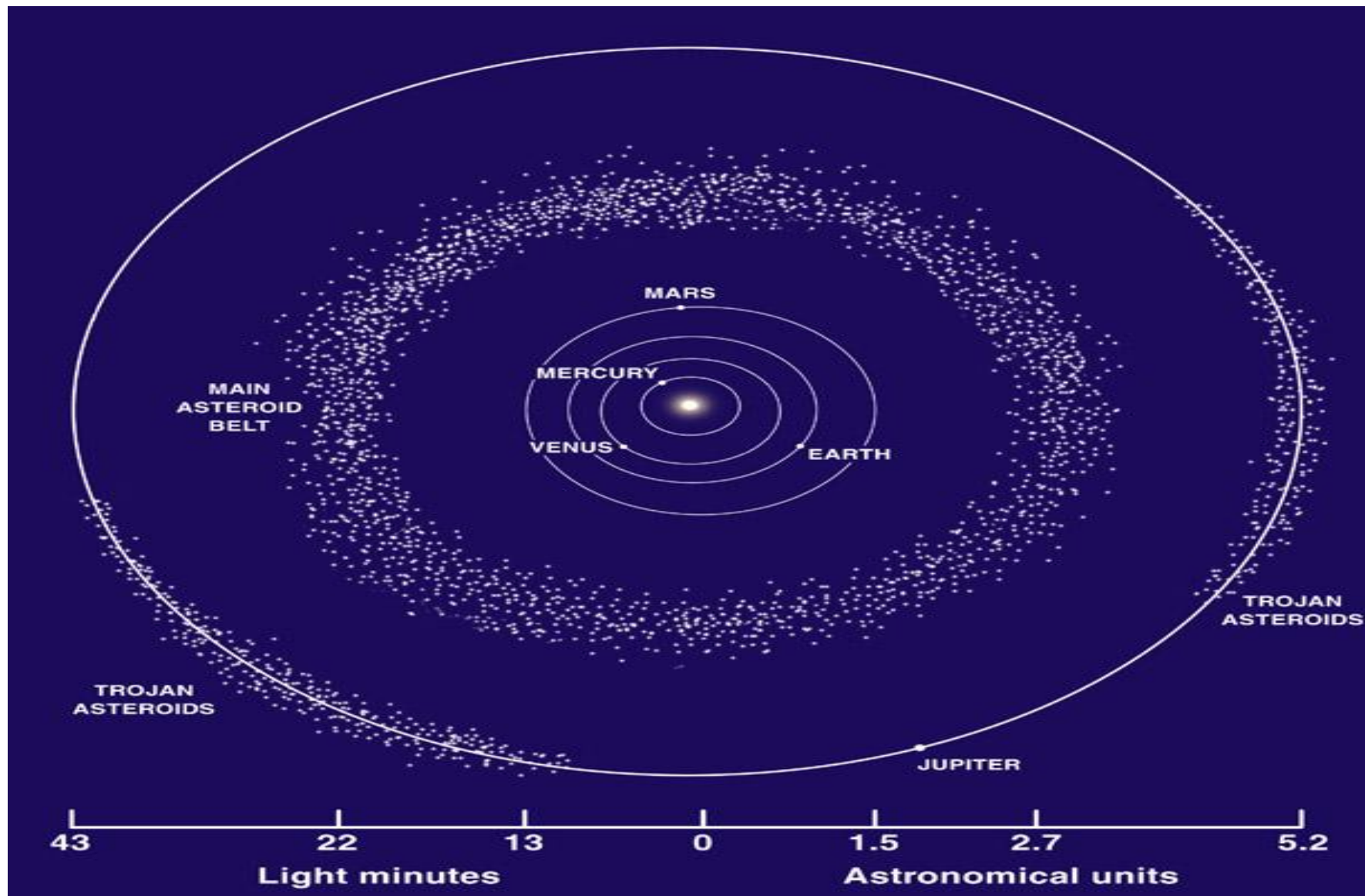
# Распределение и число астероидов ГП

- Астероидами принято считать каменные тела, размеры которых превышают сотню метров. Тела меньших размеров обычно называют метеороидами.
- Астероиды главного пояса (ГП) движутся вокруг Солнца в диапазоне гелиоцентрических расстояний 2-4 а. е., то есть между орбитами Марса и Юпитера.
- Астероидов с диаметрами более 200 км – примерно три десятка. Все они (или почти все) уже открыты. Малых планет с поперечниками от 80 до 200 км около 800. Общее число известных сейчас астероидов ГП - более 200 тысяч.
- Общее число астероидов ГП оценивается около 1-2 миллионов.
- Средняя орбитальная скорость астероидов – около 20 км/с. Наклоны орбит астероидов к плоскости эклиптики ( $i$ ) достигают  $70^\circ$ , но обычно не превышают  $10^\circ$ . На этом основании астероиды ГП делят примерно поровну на плоскую ( $i < 8^\circ$ ) и сферическую подсистемы.

# Астероиды ГП и примыкающих групп



# Астероиды ГП и соседних групп



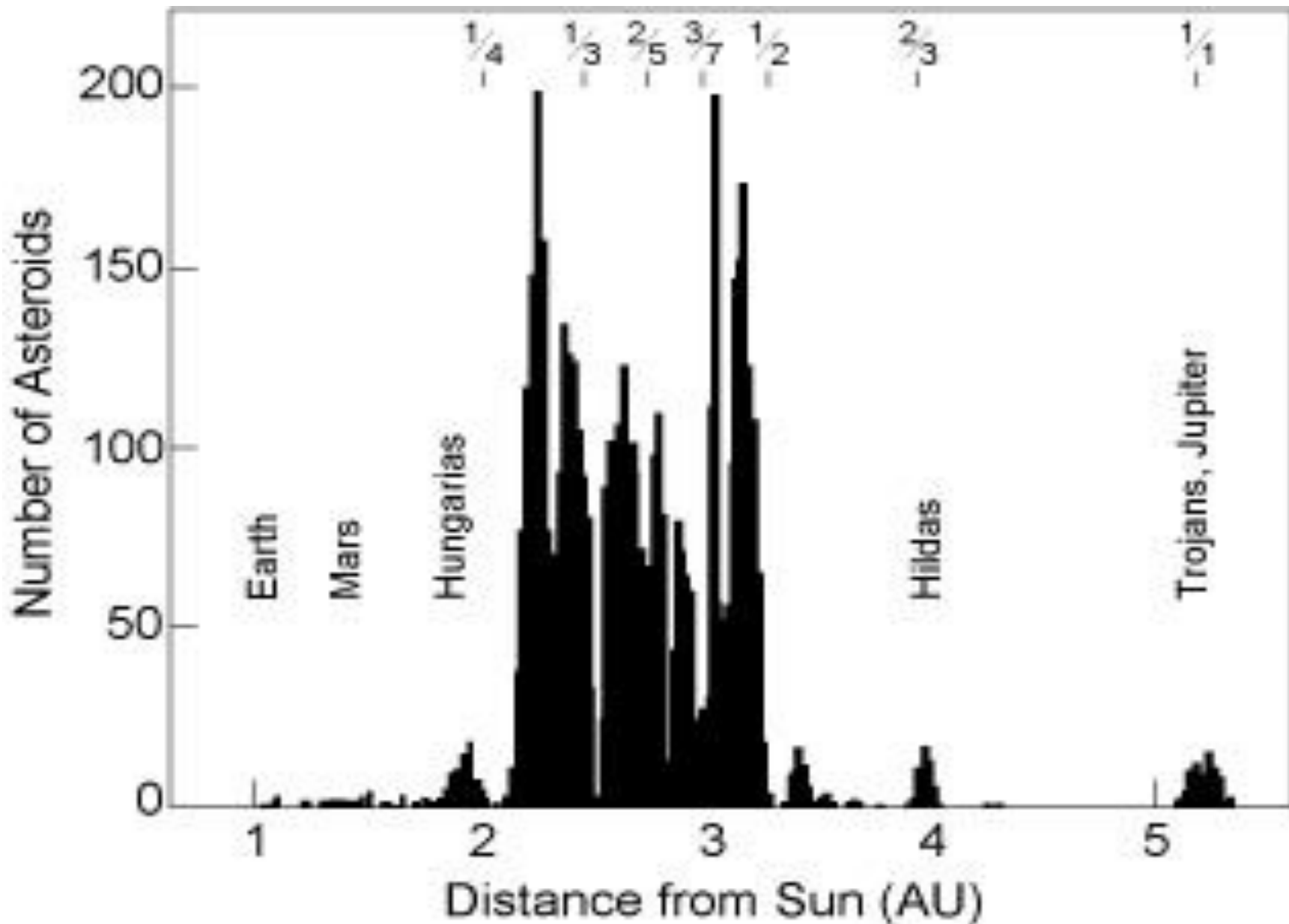
# Параметры некоторых астероидов

№	Название Рус. / Лат.	Раз-р (км)	Масса (10 <sup>15</sup> кг)	Период вр-я (час)		Орб.пер-д (лет)	Сп.класс	Б.п/ось орб. (а.е.)	Эксц-т орб.
1	Церера / Ceres	960 × 932	870000	9,1	4,6	G	2,766	0,078	
2	Паллада / Pallas	570 × 525 × 482	318000	7,8	4,6	B	2,776	0,231	
3	Юнона / Juno	240	20000	7,2	4,4	S	2,669	0,258	
4	Веста / Vesta	530	300000	5,3	3,6	V	2,361	0,090	
8	Флора / Flora	141	13,6	3,3		S	2,201	0,141	
243	Ида / Ida	58 × 23	100	4,6	4,8	S	2,861	0,045	
253	Матильда / Mathilde	66 × 48 × 46	103	417,7		4,3	C	2,646	0,266

# Параметры некоторых астероидов

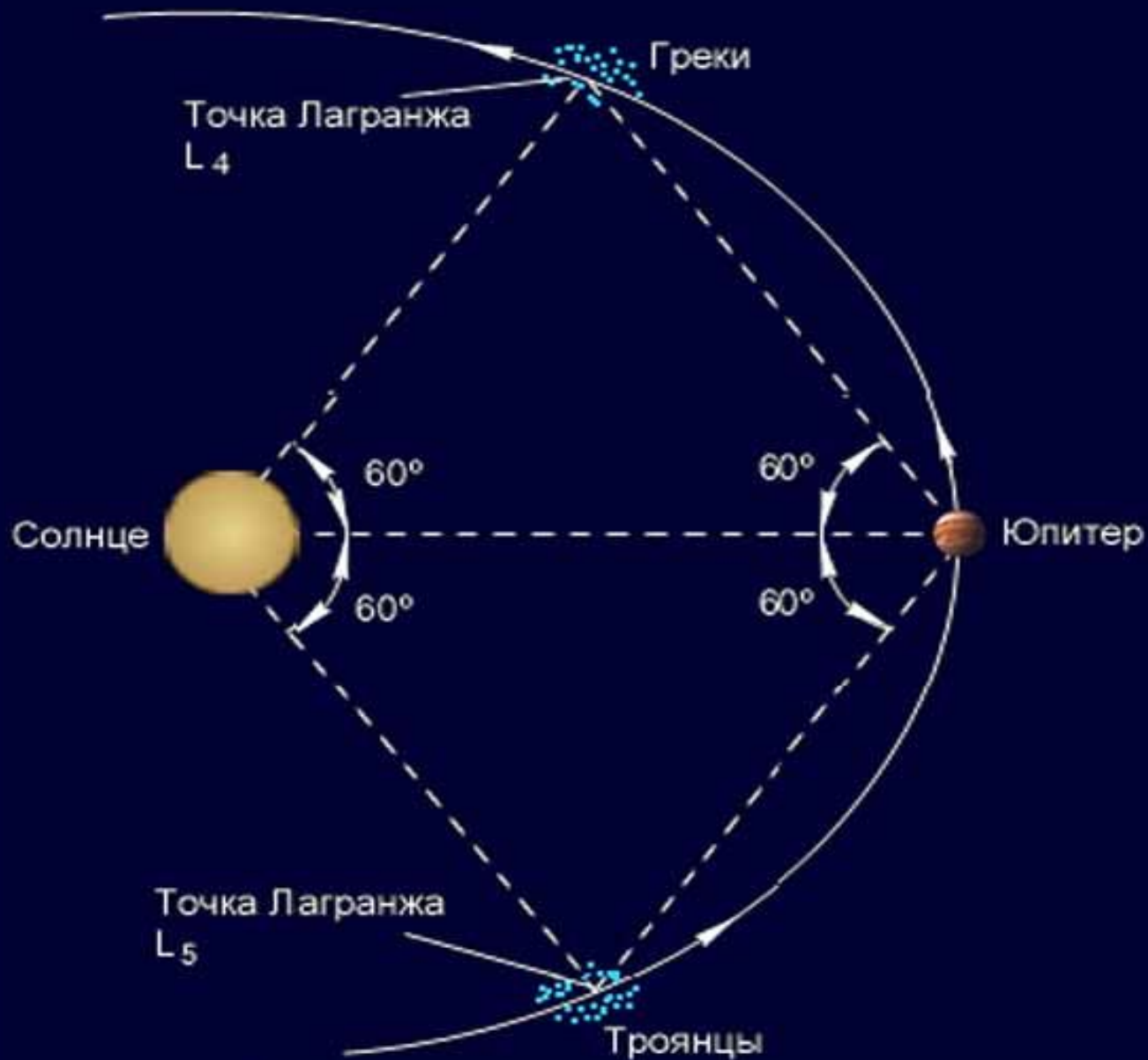
N	Название Рус. / Лат.	Раз-р (км)	Масса ( $10^{15}$ кг)	Период в-р-я (час)		Орб.пер-д (лет)	Сп.класс	Б.п/ось орб. (а.е.)	Эксц-т орб.
433	Эрос / Eros	33 × 13 × 13	7	5,27	1,7	S	1,458	0,223	
951	Гаспра / Gaspra	19 × 12 × 11	10	7,0	3,3	S	2,209	0,174	
1566	Икарус / Icarus	1,4	0,001	2,3	1,1	U	1,078	0,827	
1620	Географ / Geographos	2,0	0,004	5,2	1,4	S	1,246	0,335	
1862	Аполлон / Apollo	1,6	0,002	3,1	1,8	S	1,471	0,560	
2060	Хирон / Chiron	180	4000	5,9	50,7	B	13,633	0,380	
4179	Тутатис / Toutatis	4,6 × 2,4 × 1,9	0,05	130	1,1	S	2,512	0,634	
4769	Касталия / Castalia	1,8 × 0,8	0,0005		0,4		1,063	0,483	

# ПРОБЕЛЫ КИРКВУДА В ГП АСТЕРОИДОВ



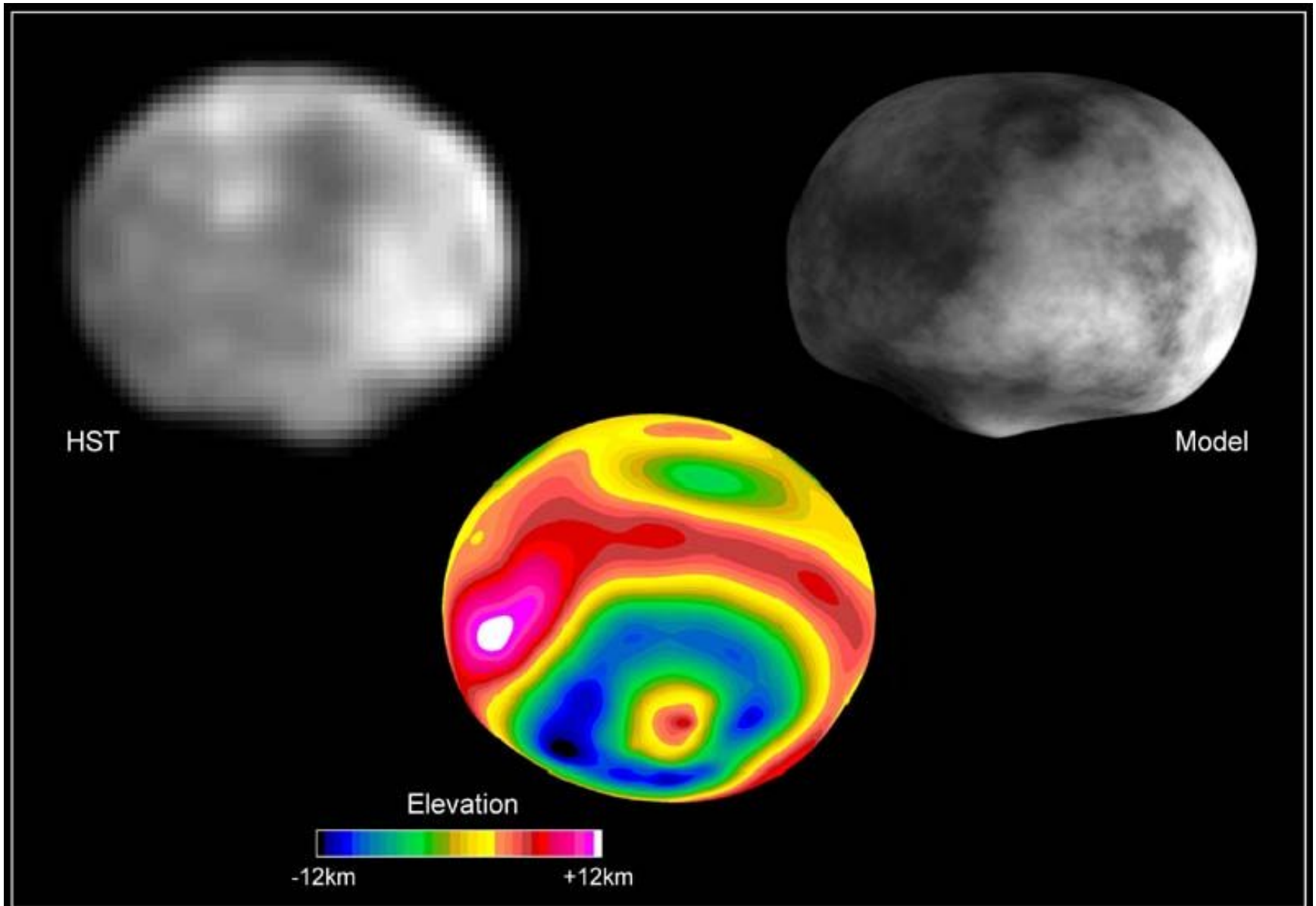


# «Греки» и «Троянцы»

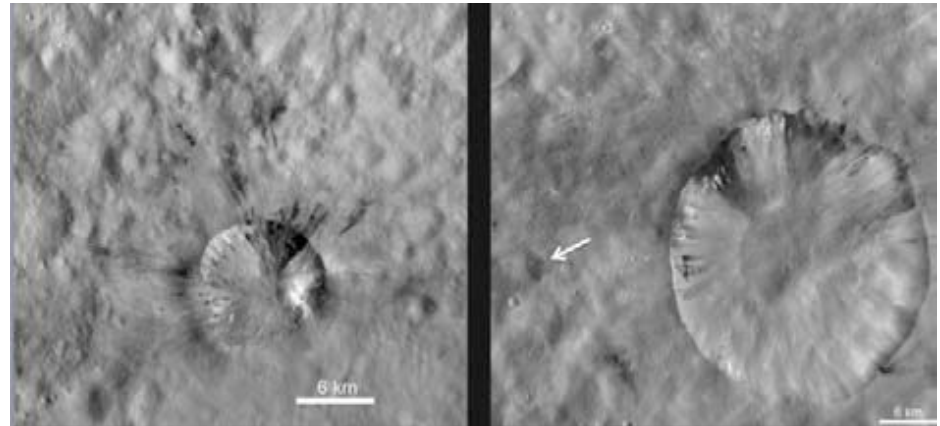
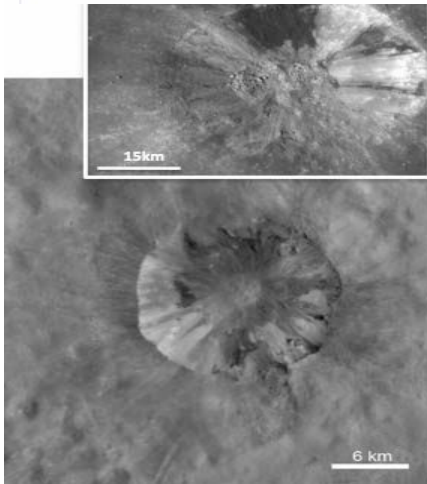
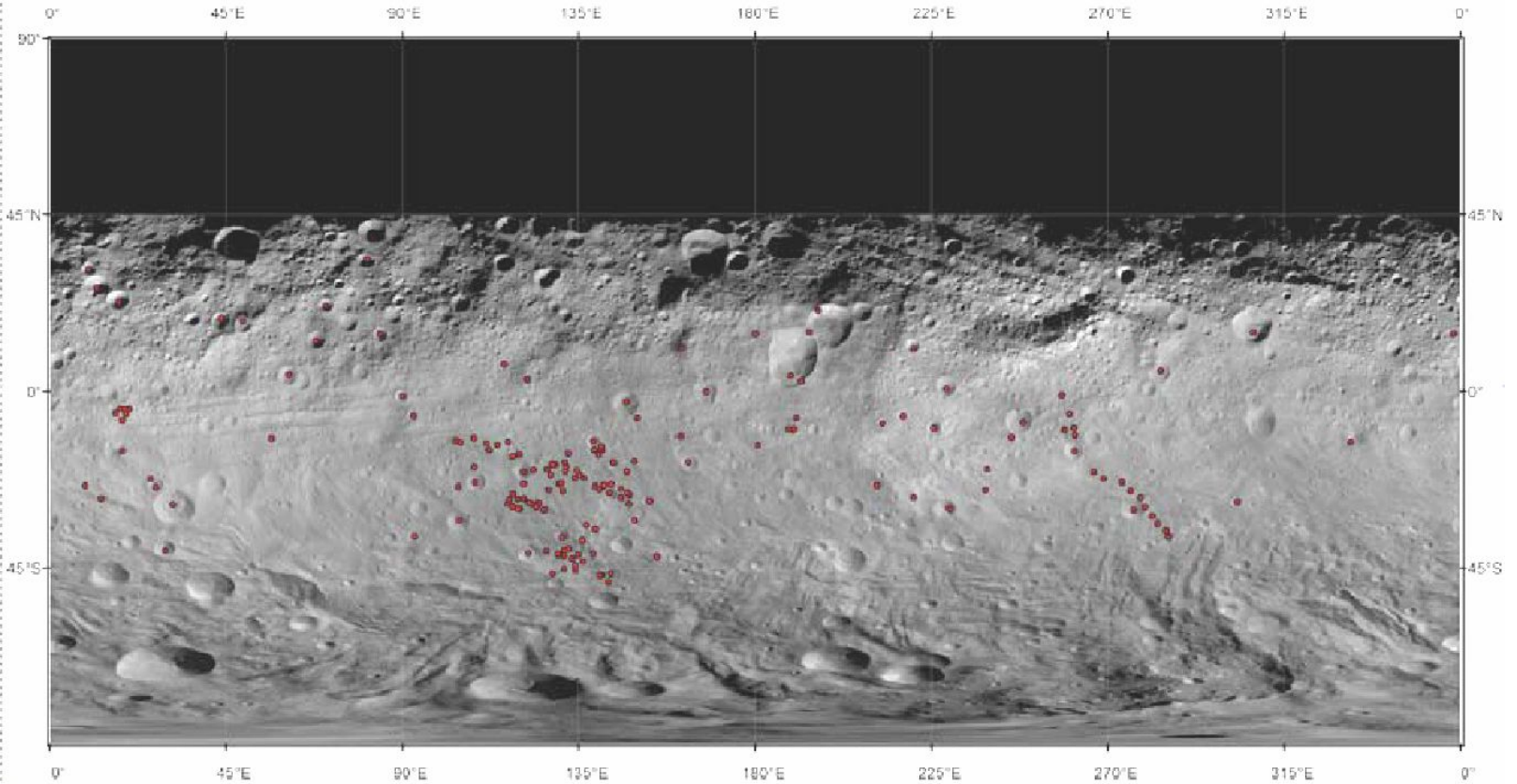


# Астероид 4 Веста

(Телескоп им. Хаббла, май 1996 г.)



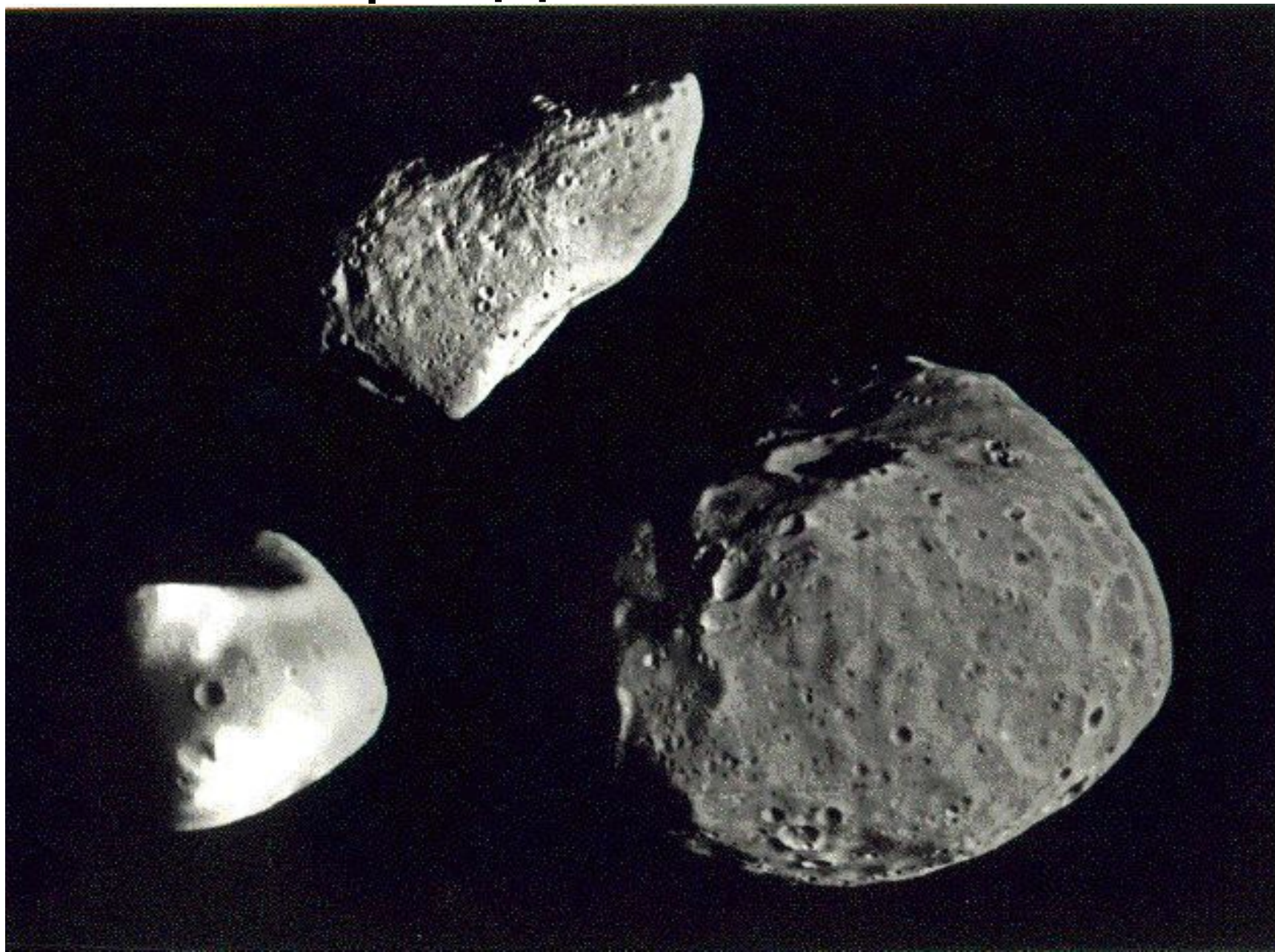
# Астероид 4 Веста КА "Dawn" (NASA) (2011 г.)



# Астероид 951 Гаспра («Галилео», октябрь 1991 г.)



# Гаспра, Дэймос и Фобос



# Астероид 243 Ида и ее спутник Дактил («Галилео», август 1993 г.)

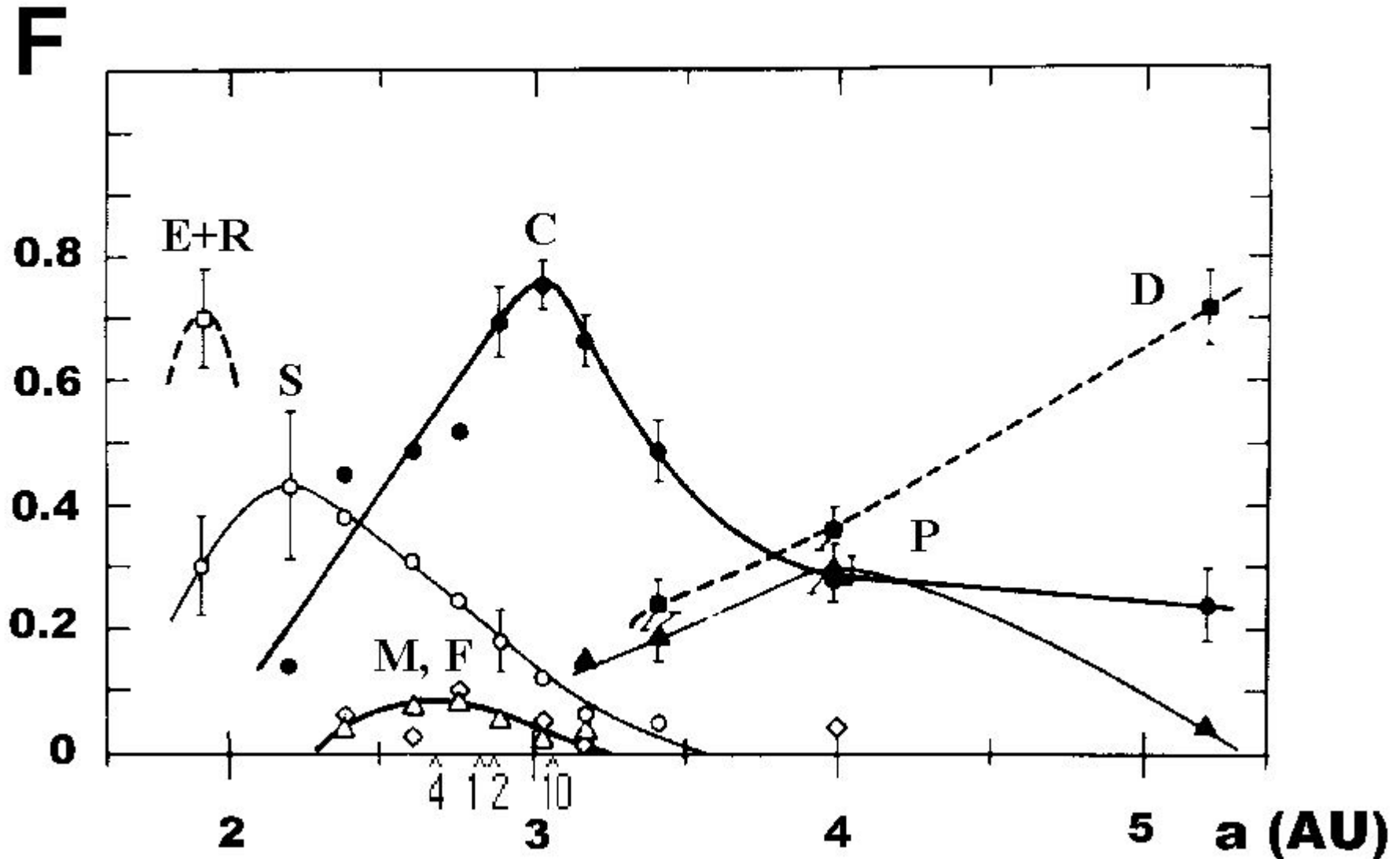


# Спектральные типы астероидов

## Связь спектральных типов астероидов с минералогическим составом их вещества

- Более 75% всех астероидов принадлежат С-типу, преобладающих в периферийной части ГП (очень темные, с альбедо  $\sim 0.03$ , что характерно для метеоритов-углистых хондритов, хим. состав которых идентичен солнечному минус водород, гелий и др. летучие).
- Примерно 17% принадлежат S-типу, преобладающих во внутренней части ГП (достаточно светлые, с альбедо  $\sim 0.10-0.22$ , что свойственно метеоритам - обыкновенным хондритам, состав которых включает магнезиальные силикаты и железо-никелевые окислы).
- Большая часть из оставшихся астероидов относится к M-типу, движущихся основном во внутренней части ГП (достаточно светлые, с альбедо  $\sim 0.10-0.18$ , состоящие в основном из железо-никелевых соединений).

# Распределение спектральных классов (типов) астероидов по гелиоцентрическим расстояниям





# Астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ)

их уже известно более 12745 (июнь 2015 г.)

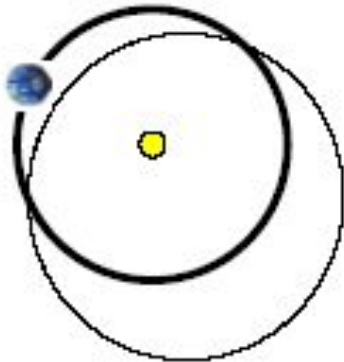
в диапазоне размеров от 1 м до ~32 км

## Apollo

Semimajor Axis  $\geq 1.0$  AU

Perihelion  $\leq 1.02$  AU

Earth Crossing

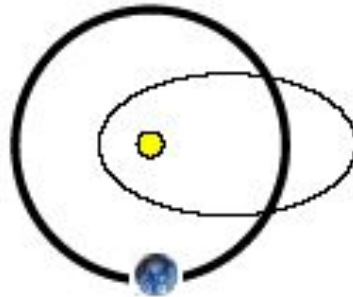


## Aten

Semimajor Axis  $< 1.0$  AU

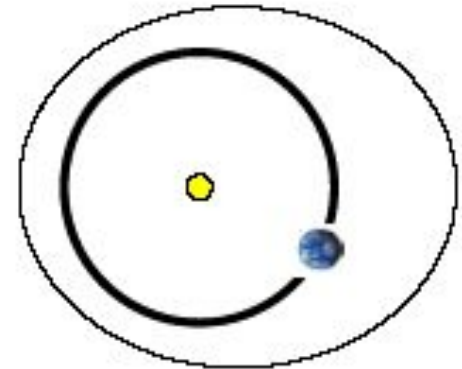
Aphelion  $\leq 1.0167$  AU

Earth Crossing



## Amor

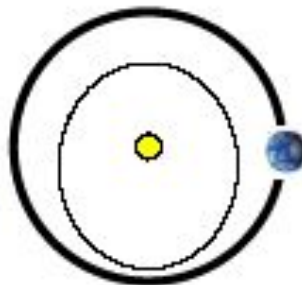
$1.02$  AU  $<$  Perihelion  $\leq 1.3$  AU



## Inner Earth Objects (IEOs)

Aphelion  $< 0.983$  AU

Always inside Earth's orbit  
(aka Apohele)



Type	Near-Earth Population
Apollo	62% of known asteroids
Aten	6% of known asteroids
Amor	32% of known asteroids
IEO	11 known asteroids

### Крупнейшие АСЗ

1036 Ганимед	D=38.5 км
433 Эрос	16.5
3552 Дон Кихот	12÷15
1866 Сизиф	8.9

### Наименьшие из открытых

.....	.....
2000 WL107	D=38 м
2003 QB30	17
2003 SQ222	10
2008 TC3*	4

На февраль 2015 г. обнаружено 867 АСЗ с диаметром более 1 км, из них 153 являются ПОА.

*\*) открыт 6 октября 2008 г., столкнулся с Землей 7 октября 2008 г. и распался на фрагменты в атмосфере над северным Суданом.*

$$N(>D \text{ km}) = k D^{-b}$$

$$b=1.95 \text{ и } k=1090 \text{ (Stuart 2003).}$$

Stuart and Binzel (2004) дают оценку  $1090 \pm 180$  объектов с  $D \geq 1$  км

# NEA bulk densities (g/cm<sup>3</sup>)

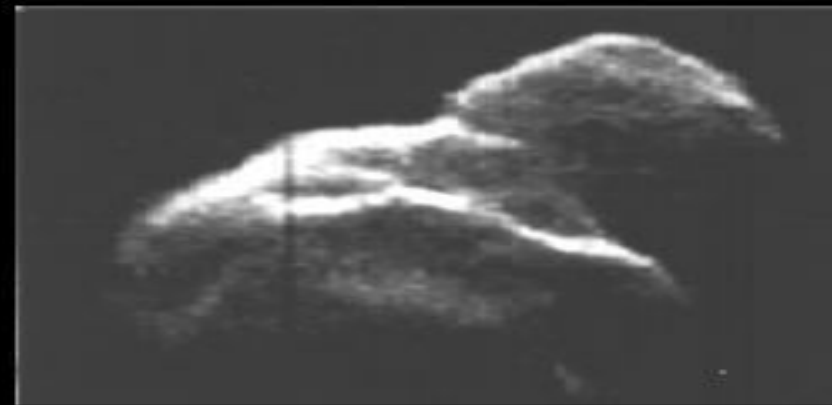
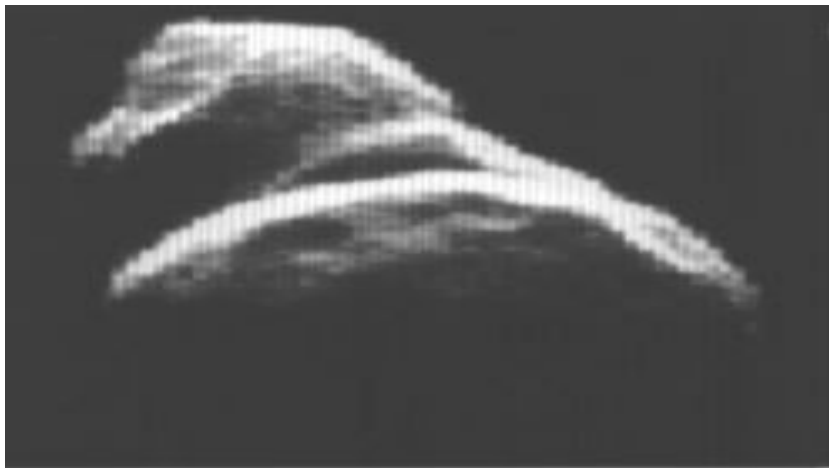
433 Eros <sup>"</sup>	2.67±0.03	S	Yeomans+, 2000
6489 Golevka <sup>*</sup>	2.7 (+0.4, -0.6)	Q	Chesley+, 2003
25143 Itokawa <sup>"</sup>	1.95 ± 0.14	S,Q	Abe+2006
1999 KW4 <sup>*</sup>	1.97±0.24	S	Ostro+, 2006
2100 Ra-Shalom <sup>*</sup>	1.1÷3.3	C	Shepard+, 2000
1996 FG3	1.4±0.3	C	Mottola+, 2000
2000 DP107	1.6 (+1.2, -0.9)		Hilton, 2002
2000 UG11	1.5 (+0.6, -1.3)		Hilton, 2002

*"*) space mission data, *\**) radar data

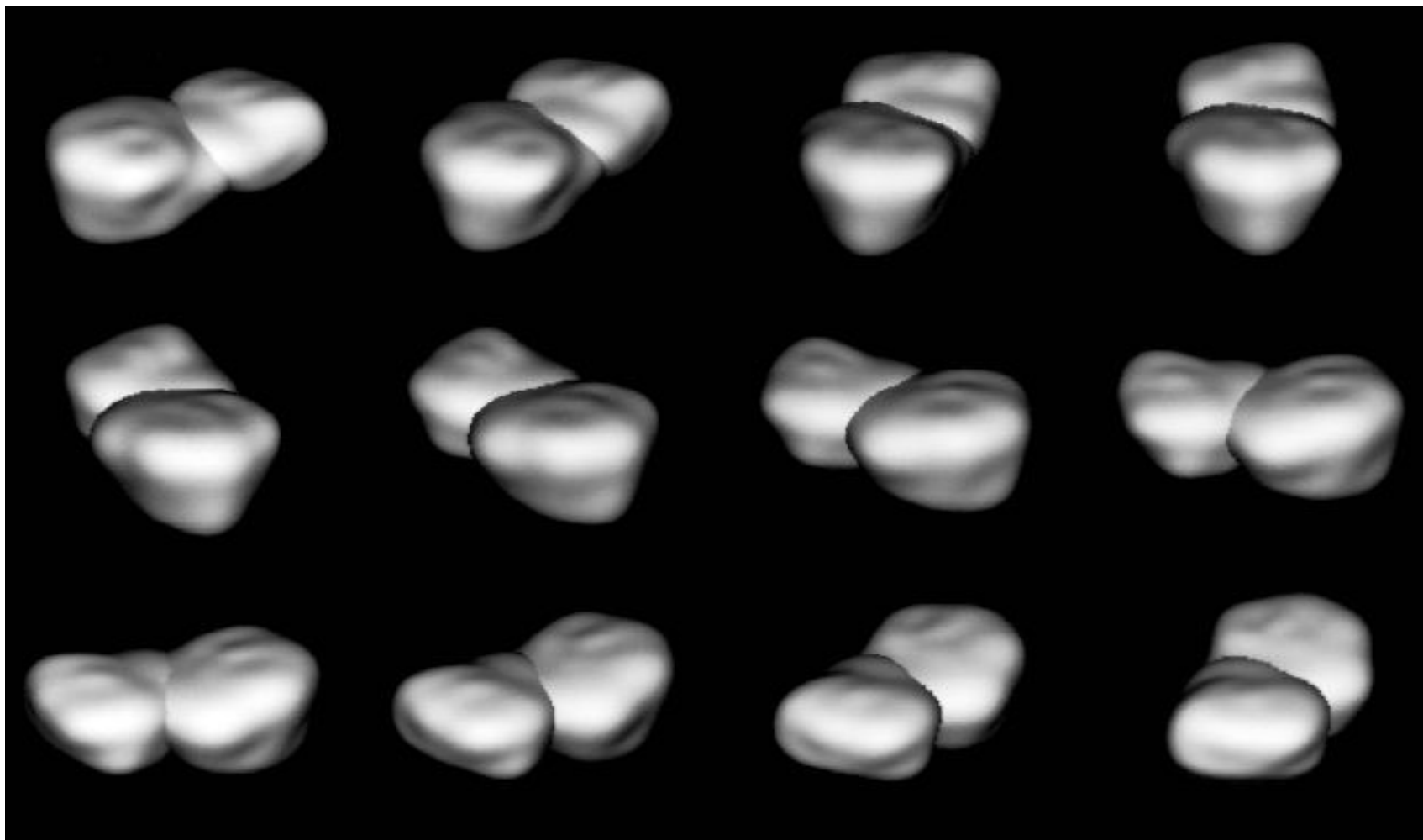
# Источники происхождения АСЗ

- Время жизни АСЗ  $10^6$ – $10^7$  лет (Меничелла и др., 1996; Гладман и др., 1997; Фришли и др., 1999).
- Источники пополнения АСЗ – астероиды главного пояса и ядра комет с перигелийными расстояниями  $q \leq 1.3$  а. е., исчерпавших свою активность.
- Известно несколько астероидно-кометных объектов (comet-asteroid transition objects) – 944 Гидальго, 2060 Хирон, 3200 Фаэтон, 4015 Вильсон-Харрингтон, 5145 Фолус, 1986 TF – комета Паркера-Хартли, 1996 PW, 2001 YB5, и др.
- Объекты главного пояса с двойным обозначением (как астероид и как комета). Временами проявляют кометную активность, но динамически не отличаются от АГП (астероид 7968 - комета 133P/Elst-Pizarro и др., 4 объекта)

**Астероид 4179 Тютатис** (радиолокационное изображение, расстояние от Земли – 4 млн. км, декабрь 1992 г.)



Компьютерная 3D-модель сближающегося с Землей астероида 4769 Касталия на основе его радиоизображений на РТ в Аресибо (Пуэрто Рико, 1989 г.)



# Астероид 433 Эрос

(NEAR, февраль 2000 г.)



**Астероид 25143 Итокава  
(«Хаябуса», сентябрь 2005 г.)**





# 25143 Итокава



# 2008 TC3, D = 4 m



Обнаружен 6 окт. 2008 г., столкнулся с Землей 7 окт. (распался на фрагменты в атмосфере над северным Суданом на высоте 37 км). Общий вес ~ 80 т (до падения), собрано 280 кусков. Редкий F-тип (уреилит).

***Dr. Peter Jenniskens, USA***

# Изучение астероидов и других твердых безатмосферных тел (ТБТ) с помощью спектров отражения

## Основные этапы:

1)

$$\rho(\alpha, \lambda) = k E_*(\lambda) I(\lambda) \rho(\lambda) \quad / \quad E_0(\lambda) I_*(\lambda),$$

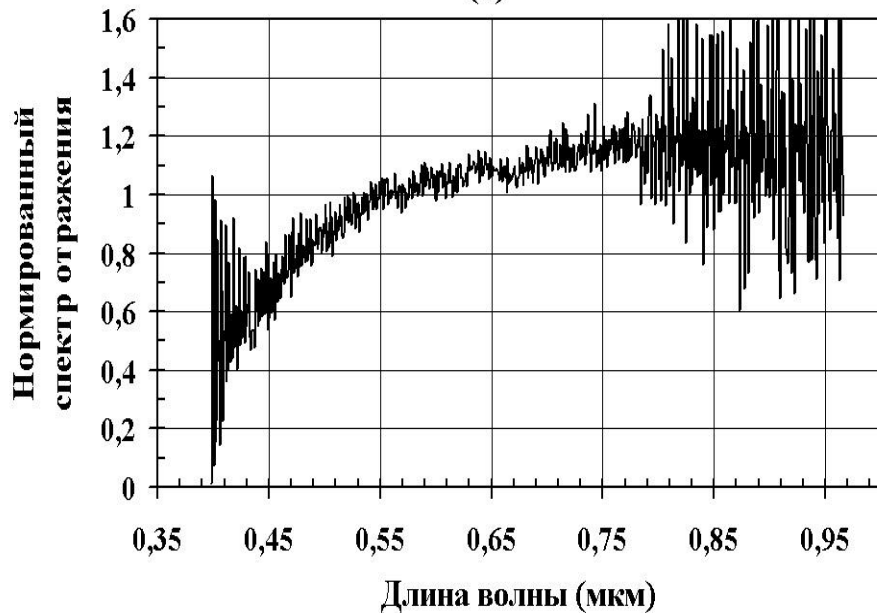
→ Получение спектров отражения ТБТ

2) База спектральных данных об образцах-аналогах (метеориты, лунные образцы, земные породы, минералы и др.)

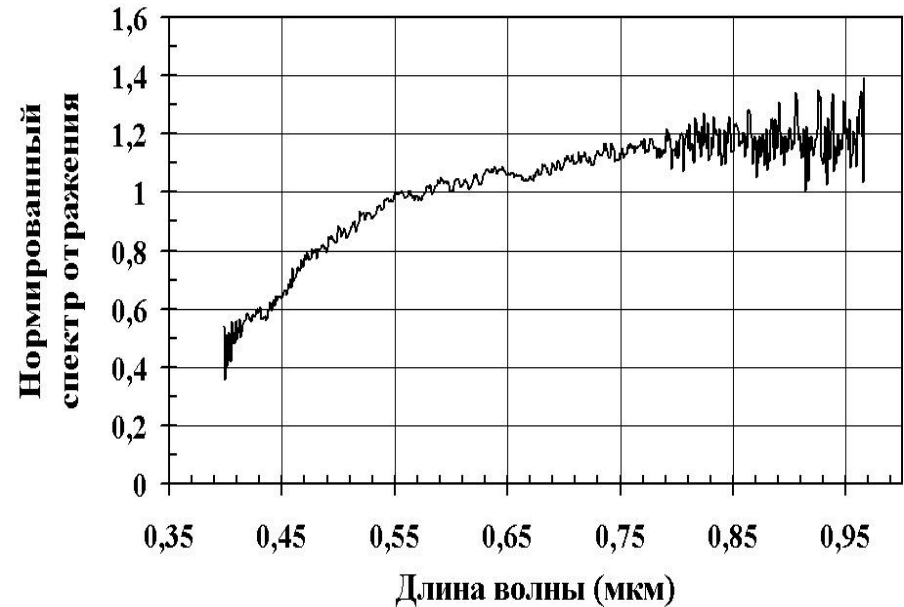
→ Качественное сравнение или количественное моделирование

# Примеры спектров отражения астероидов

21 Лютеция  
(а)



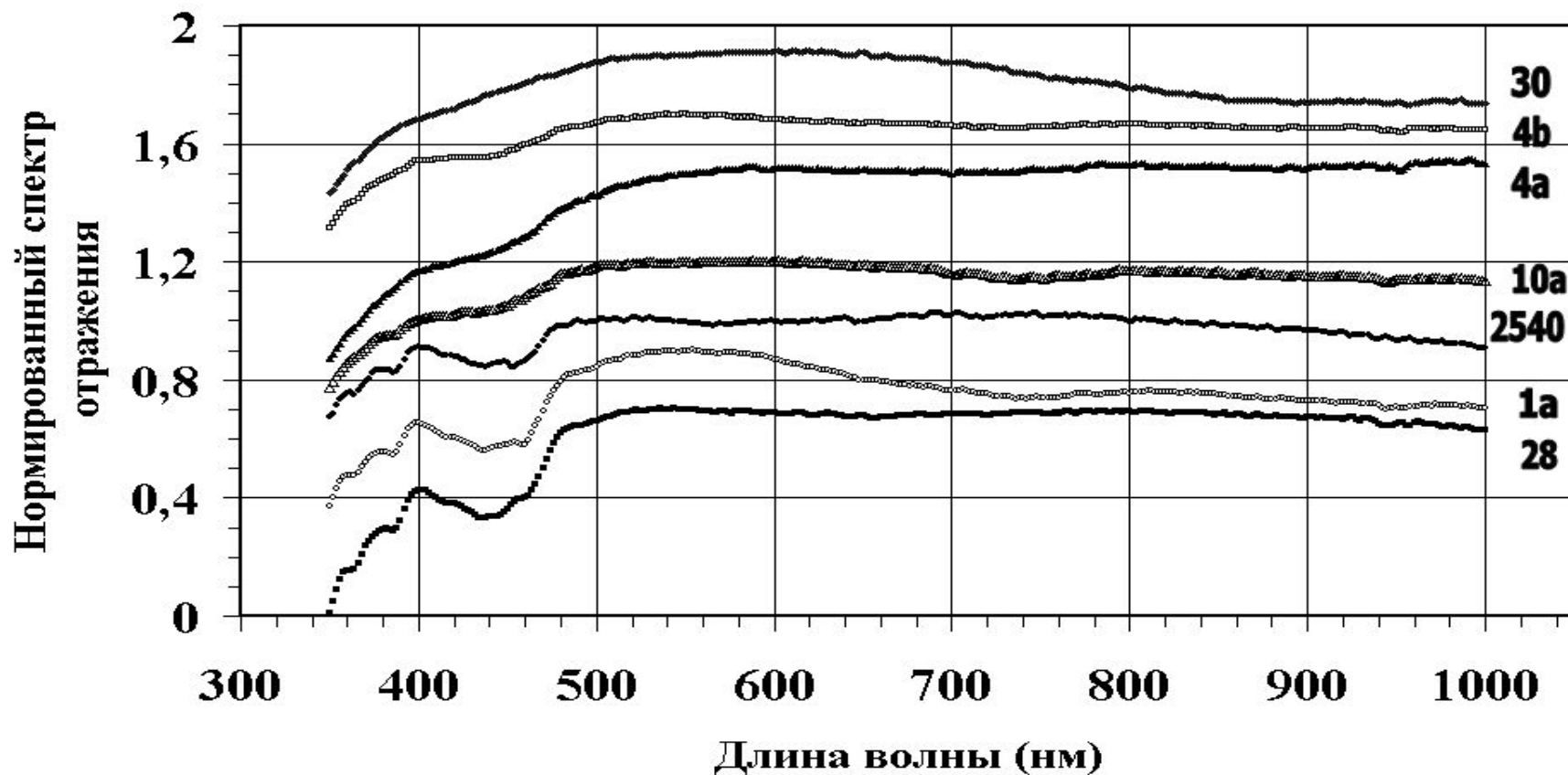
21 Лютеция  
(б)



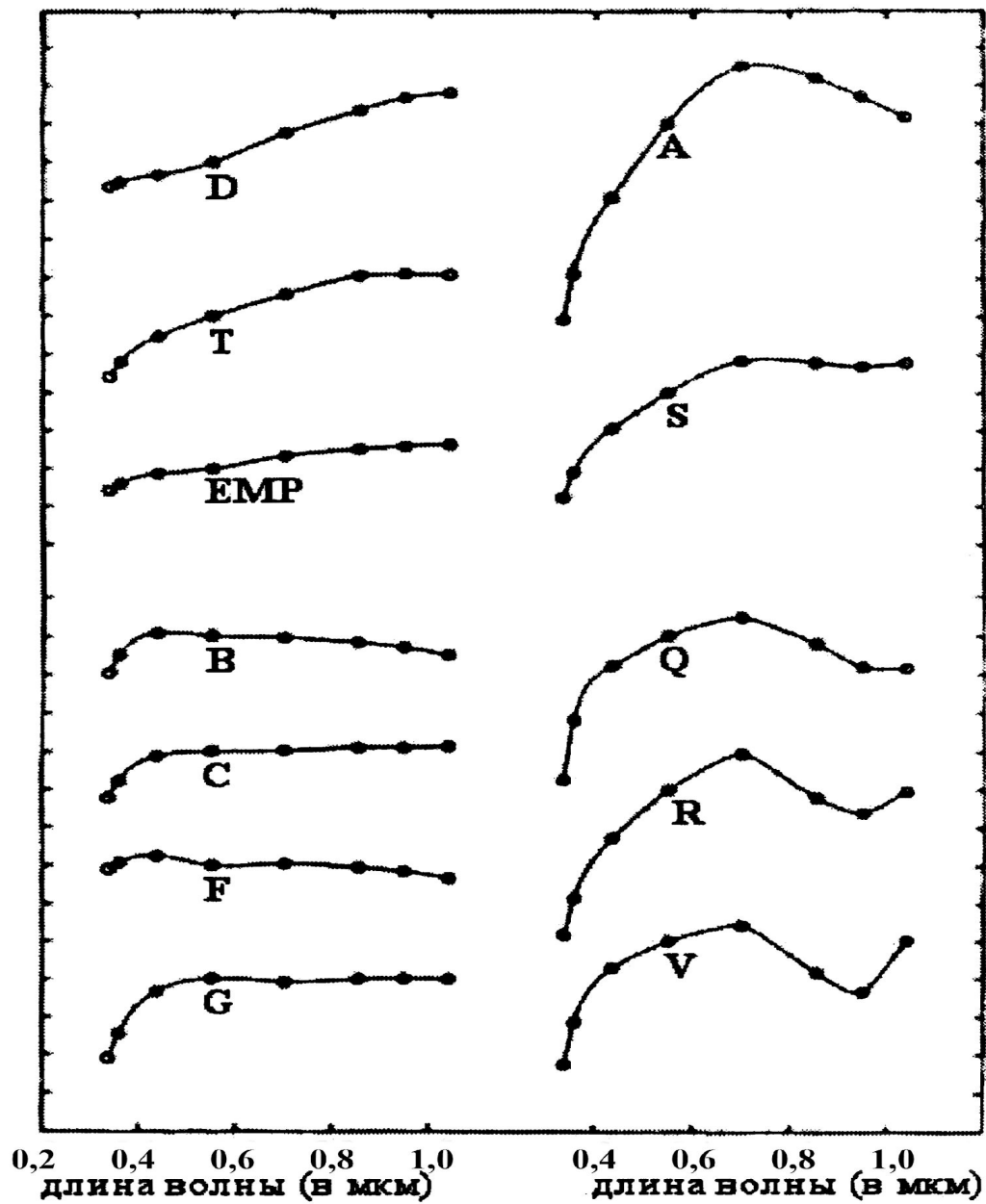
(а) Пример «зашумленного» спектра отражения 21 Лютеции, полученного при условиях тонкой облачности в виде «цирусов». (б) Тот же спектр, но сглаженный методом «бегущего среднего» по 5 точкам.

# Использование данных об образцах-аналогах при интерпретации спектров отражения астероидов

Земные серпентины



# Спектральная классификация астероидов



# Основные гипотезы о происхождении астероидов

