

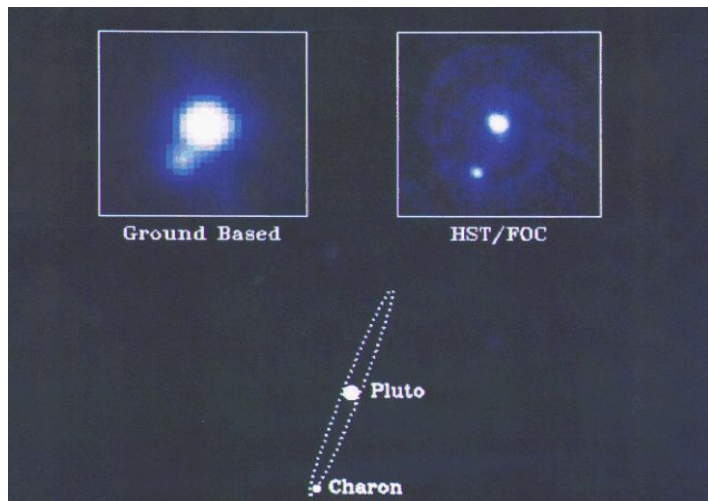
**Плутон,
другие карликовые планеты
и тела Эджворта-Койпера**

Бусарев В.В.

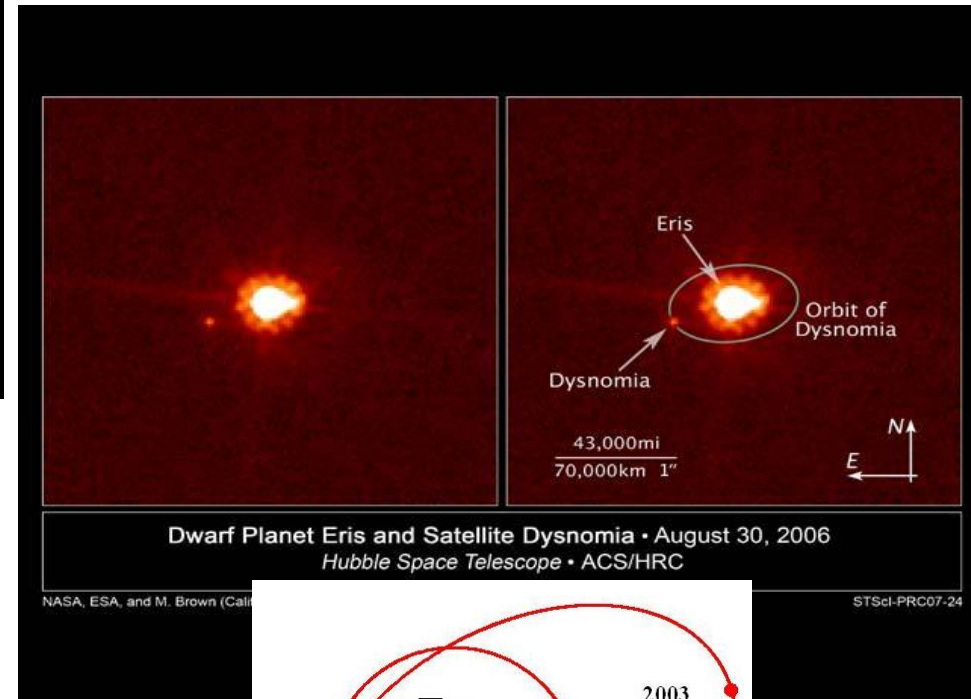
В 2006 г. МАС ввел подкласс карликовых планет, в который вошли Плуто́н, Церера и Эрида



Плуто́н



Эрида



Что такое планета?

Это небесное тело,

- вращающееся по орбите вокруг звезды или ее остатков,
- достаточно массивное, чтобы стать округлым под действием собственной гравитации,
- но недостаточно массивное для начала термоядерной реакции
- и сумевшее очистить окрестности своей орбиты от планетезималей.

Что такое карликовая планета?

Карликовая планета, согласно определению МАС (2006 г.), – это небесное тело, которое:

- обращается по орбите вокруг Солнца;
- имеет достаточную массу для того, чтобы под действием сил гравитации поддерживать гидростатическое равновесие и иметь близкую к сферической форму;
- не является спутником планеты;
- не может расчистить район своей орбиты от других объектов.

Некоторые параметры карликовых планет

	a (а.е.)	D (км)	$T_{\text{обр}}$ (зем. лет)	M (зем. масс)
• Церера	2,82	975x909	4,6	0,00016
• Плутон	39,231	2302	245,73	0,0025
• Эрида	67,5	2400x3000?	556,7	0,0032

Орбитальные и динамические параметры Плутона

	Плуон	Земля	Плутон/Земля
Большая п/о орб. ($\times 10^6$ км)	5906,38	149,60	39,482
Сидер. орб. период (дни)	90465	365,256	247,68
Тропич. орб. период (дни)	90588	365,242	248,02
Перигелий (10^6 км)	4436,82	147,09	30,164
Афелий (10^6 км)	7375,93	152,10	48,494
Синод. период (дни)	366,73	-	-
Ср. орбит. скорость (км/с)	4,72	29,78	0,158
Наклонение орбиты (град,)	17,16	0,000	—
Эксцентр. орбиты	0,2488	0,0167	14,899
Сидерич. период вращения (часы)	-153,2928	23,9345	6,405
Длит. суток (часы)	153,2820	24,0000	6,387
Наклон оси вращ. (град)	122,53	23,45	

Плутон

	Плутон	Луна	Земля	Плутон/Земля)
Масса (10^{24} кг)	0,0125	0,0735	5,9736	0,0021
Объем (10^{10} км ³)	0,715	2,1958	108,321	0,0066
Экваторю радиус (км)	1195	1738,1	6378,1	0,187
Полярный радиус (км)	1195	1736,0	6356,8	0,188
Ср. плот-ть (г/см ³)	1,750	3,350	5,515	0,317
Ускорение своб. пад (у поверхности, м/с ²)	0,58	1,62	9,78	0,059
Скор, убегания (км/с)	1,2	2,38	11,19	0,107
Альbedo Бонда	0,4 - 0,6	0,11	0,306	1,3 - 2,0
Виз. геометр. альbedo	0,5 - 0,7	0,12	0,367	1,4 - 1,9
Виз. зв. вел. V(1,0)	-1,0	+0,21	-3,86	—
Солнеч. освещ-ть (вт/м ²)	0,89	1367,6	1367,6	0,0007
Чернотельная тем-ра (К)	37,5	270,7	254,3	0,147
Шкала высот	?	16	20	
Мом. инерции (I/MR^2)	?	0,394	0,3308	
Число естеств. спут-в	5	-	1	
Кольцевая система	No	-	No	

Недавно открытые 4 спутника Плутона были названы Никта, Гидра, Стикс и Керберос

Плутон и Харон

- **Плутон имеет небольшие размеры (2/3 диаметра Луны), а его наибольший спутник, Харон, всего вдвое меньше Плутона и находится на малом расстоянии к нему (почти в 20 раз ближе, чем Луна к Земле или на угловом расстоянии не более 0,9"), поэтому их можно называть двойной карликовой планетой.**

Харон (P1)

Ср. расстояние от Плутона (км)	19,600
Сидер. орб. период (дни)	6,38725
Сидерич. период вращения (дни)	6,38725
Наклонен. орбиты (относит. Плутона, град,)	0,0
Эксцентр. орбиты	0,0
Экваториальный радиус (км)	593
Масса (10^{21} кг)	1,62
Ср. плот-ть (г/см^3)	1,850
Ускорение своб, пад (у поверхности. м/с^2)	0,31
Скор, убегания (км/с)	0,60
Виз. геометр. альбедро	0,38
Видимая зв. величина	16,8

Все спутники Плутона

Charon and the Small Moons of Pluto

Styx

Nix

Kerberos

Hydra

10 miles
10 km

Charon



Атмосфера Плутона

- Давление у поверхности может достигать ~3 микробар
- Ср, температура ~50 К (-223° С).
- Шкала высот ~60 км.
- Ср, молекулярный вес – ~16-25 г/моль Состав атмосферы: азот (N_2), метан (CH_4), примесь CO. Давление атмосферы меняется в зависимости от расстояния Плутона до Солнца. Атм. П. может переходить в полностью конденсированное (ледяное) состояние при его максимальном удалении от Солнца.

Атмосфера и поверхность Плутона

- Атм. вокруг Плутона обнаружили сравнительно недавно — в 1988 году, к. планета в процессе своего движения закрыла одну из далеких звезд и заслонила собой идущий от нее свет. Атм. давление на Плуtone ничтожно — 0,3 паскаля, что в 300 раз меньше, чем на Земле. Но даже в такой разреженной атм. м. дуть ветры, возникать дымки и происходить хим. реакции. Не исключено, что есть и ионосфера — слой электрически заряженных частиц в верхней части атм-ры. Атм. Плутона м. состоять из азота с примесью метана и угарного газа, т. к. льды этих веществ обнаружены на его поверхности при спектроскопических наблюдениях. Слабое грав. поле П. не в состоянии удерживать атмосферу, и она постоянно улетучивается в космос, а на место улетевших молекул приходят новые, испаряющиеся с ледяной поверхности П., как с ядра кометы.
- На пов-ти П. заметны большие вариации альбедо. Темные и красноватые области могут быть покрыты орг. в-вом типа толина (орг. в-во, образующееся из метана или этана при его УФ-облучении). Даже при низкой темп-ре пов-ти П. (~50 K) темные области м. б. более нагреты солн. светом и конденсация метана на них оказывается невозможной. А б. светлые области д. б. более холодными и поэтому м. б. холодными ловушками для метана. Это д. усиливать альбедный контраст.

Характеристика поверхности Плутона:

- на его поверхности постоянно чрезвычайно низкая температура: от -220 до -240°C ;
- Солнце выглядит на небе как большая звезда с еле заметным диском, здесь днем в 900 раз темнее, чем на Земле в ясный полдень, но в 600 раз светлее, чем в полнолуние ночью, поэтому в полдень на Плуtone намного темнее, чем в облачные дождливые сумерки на Земле;
- вся поверхность планеты покрыта льдом, но не привычным нам водным льдом, а замороженным азотом, который образует крупные прозрачные кристаллы, имеющие несколько сантиметров в поперечнике; внутри этих кристаллов м. б. заморожено в виде «твердого раствора» небольшое количество метана (обычно его называют природным газом — это тот газ, который вместе с пропаном и бутаном горит у нас на кухне) и немного льда монооксида углерода (угарного газа);
- в целом поверхность планеты имеет желтовато-розоватый оттенок, который придают ей оседающие из атмосферы частички сложных органических соединений, образующиеся из атомов углерода, азота, водорода и кислорода под воздействием солнечного света;
- на Плуtone встречаются большие перепады яркости; здесь можно встретить районы темнее, чем уголь, и районы белее снега.

Предполагаемое внутреннее строение Плутона

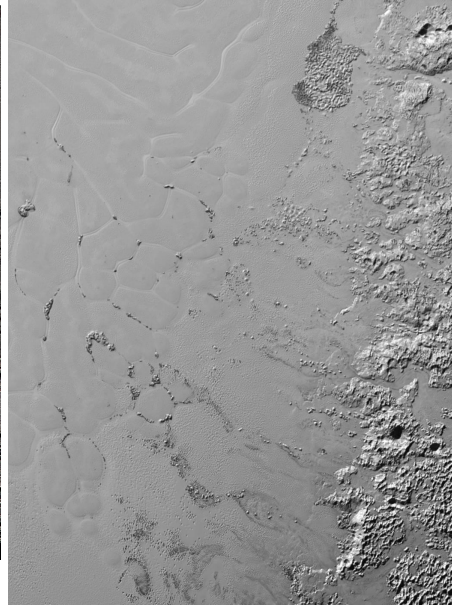
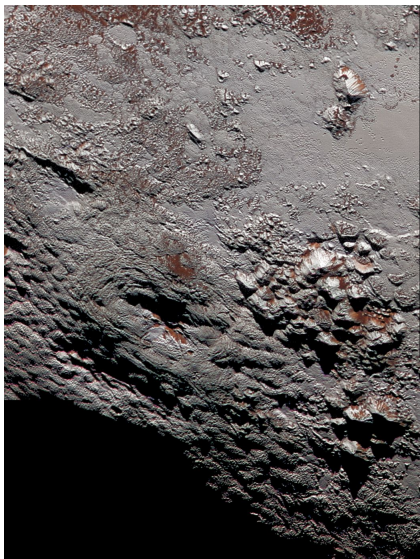
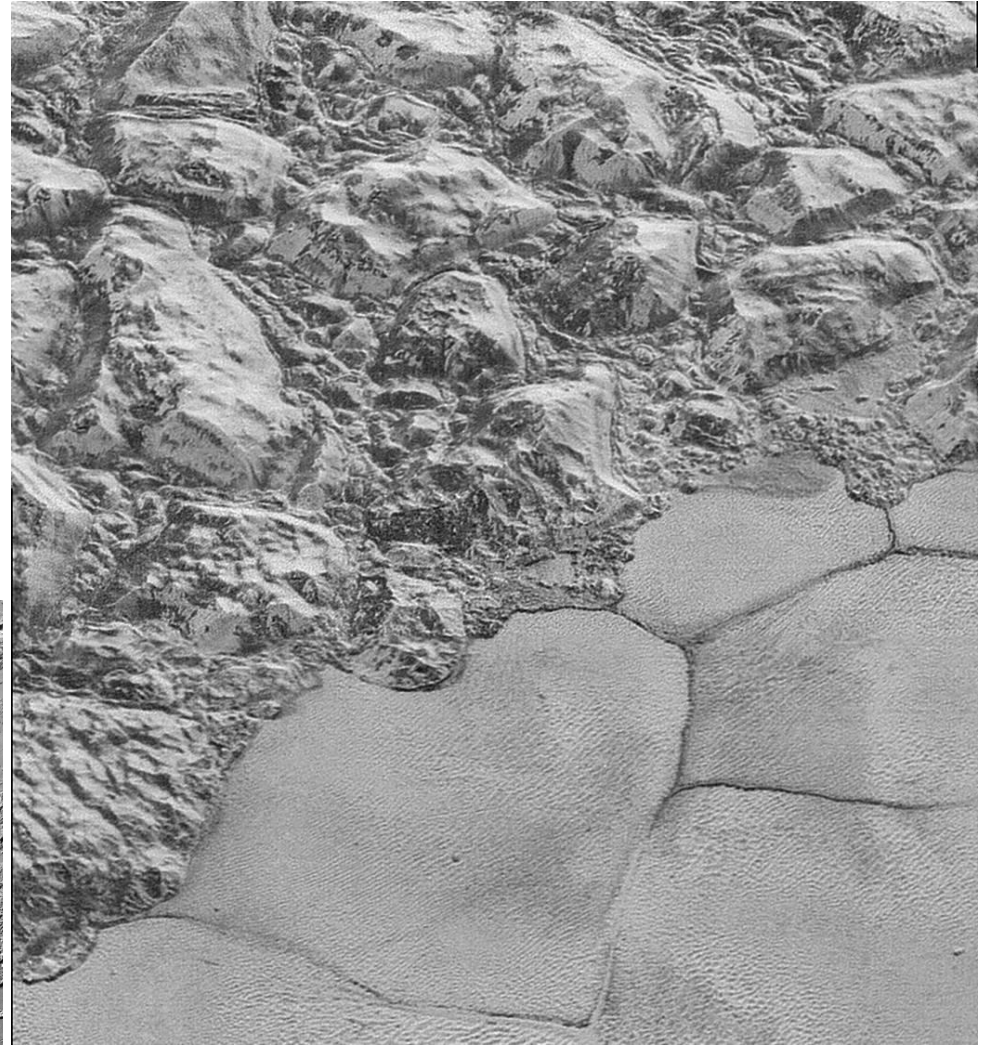
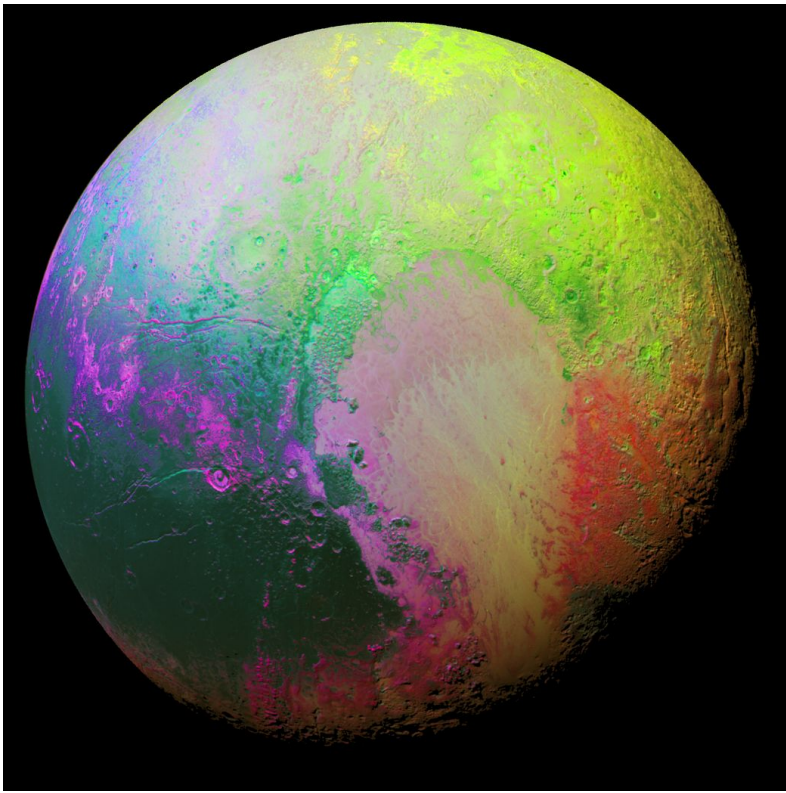
- О нем пока можно судить только по величине средней плотности Плутона, которая составляет $1,75 \text{ г/см}^3$, что вдвое меньше, чем у Луны, и втрое, чем у Земли. Такая плотность указывает, что Плутон состоит на $1/3$ из каменных горных пород и на $2/3$ из водяного льда. Если материал разделен на оболочки (что наиболее вероятно), то у Плутона должно быть большое каменное ядро диаметром $1\ 600 \text{ км}$, окруженное слоем водяного льда толщиной 400 км . На поверхности планеты — кора из льдов различного химического состава, главная роль в которой отведена азотному льду. Не исключено, что между каменным ядром и его ледяной оболочкой существует слой жидкой воды — глубинный океан, подобный тем, которые вероятнее всего имеются на трех больших спутниках Юпитера — Европе, Ганимеде и Каллисто.

Миссия New Horizons (NASA)

- Запуск осуществлён 19 января 2006 г., с пролётом у Юпитера в 2007 г. и прибытием к Плутону в 2015 г. Пролетев мимо Плутона, аппарат, возможно, изучит ещё какой-нибудь ТН объект. Полная миссия New Horizons рассчитана на 15-17 лет.



Миссия New Horizons

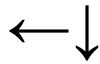


6 miles

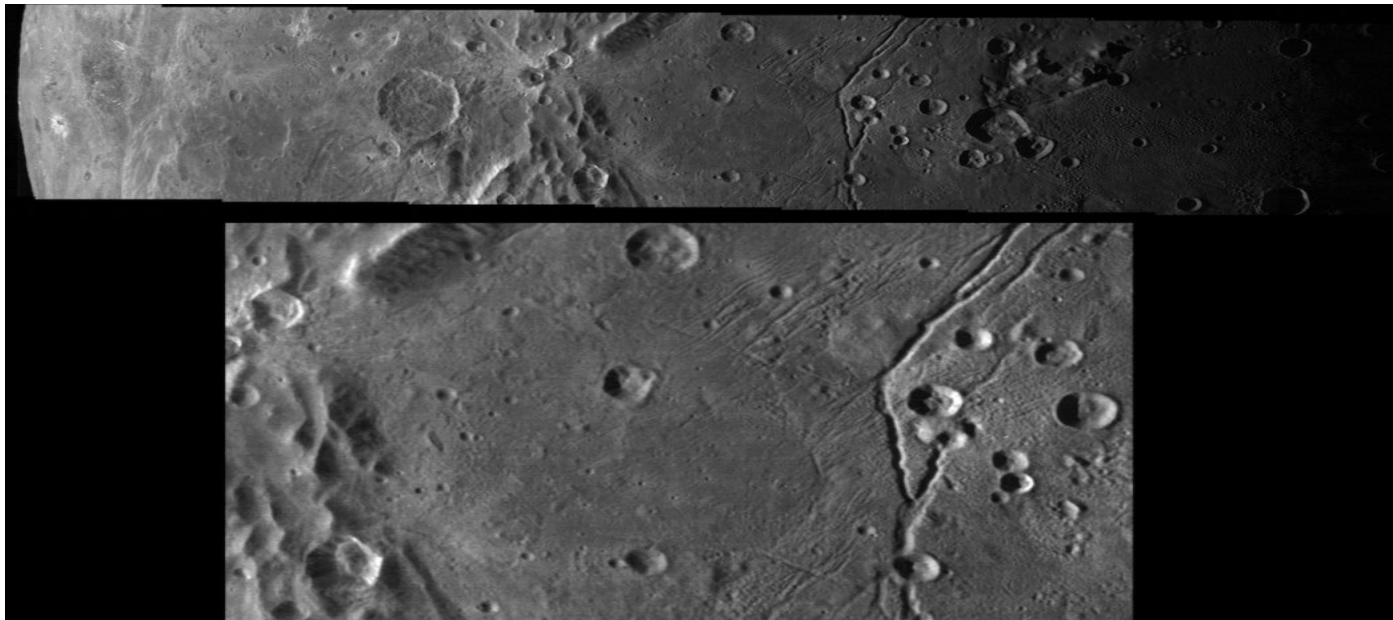


Миссия New Horizons

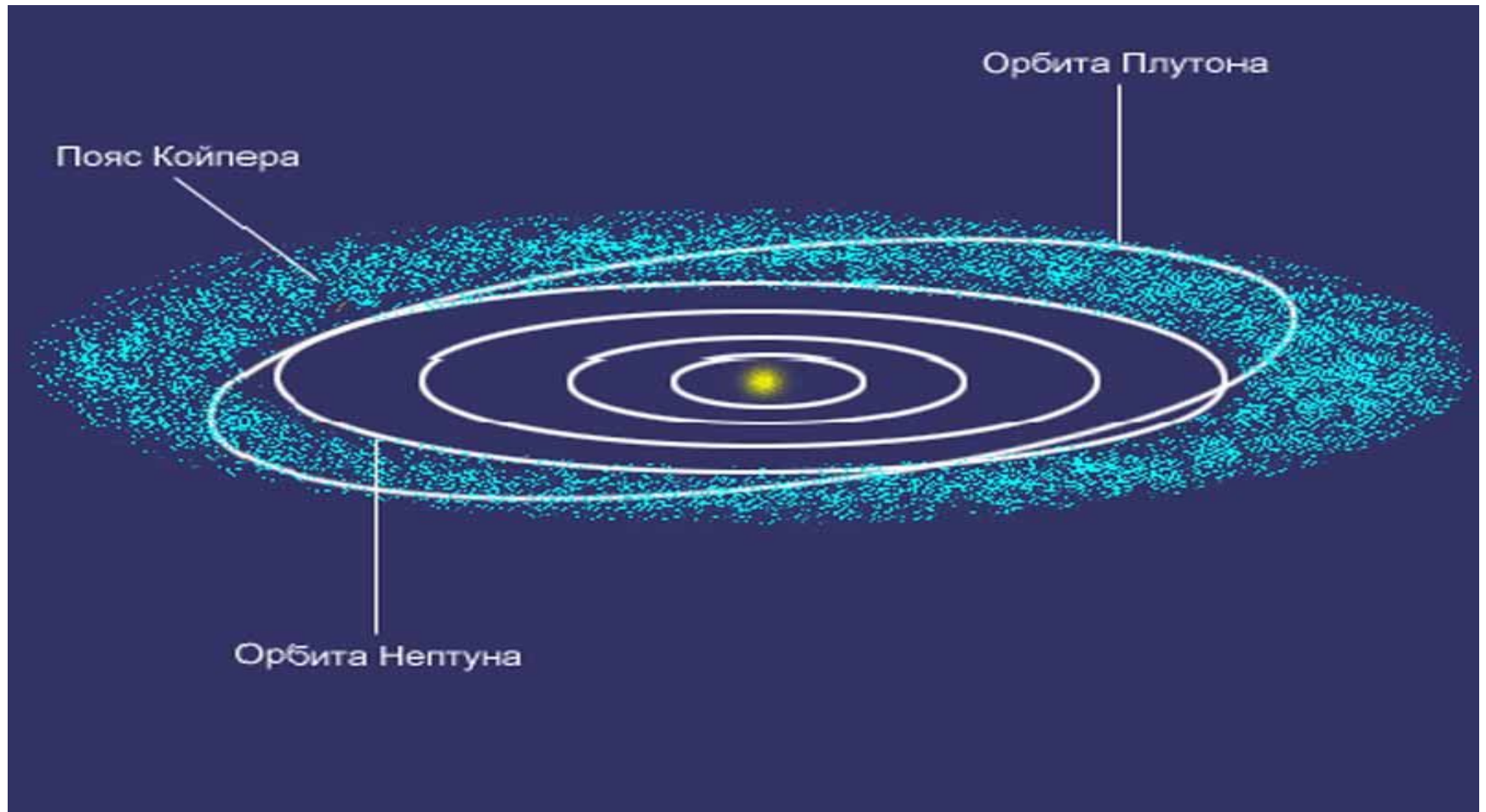
- Кратеры
Плутона



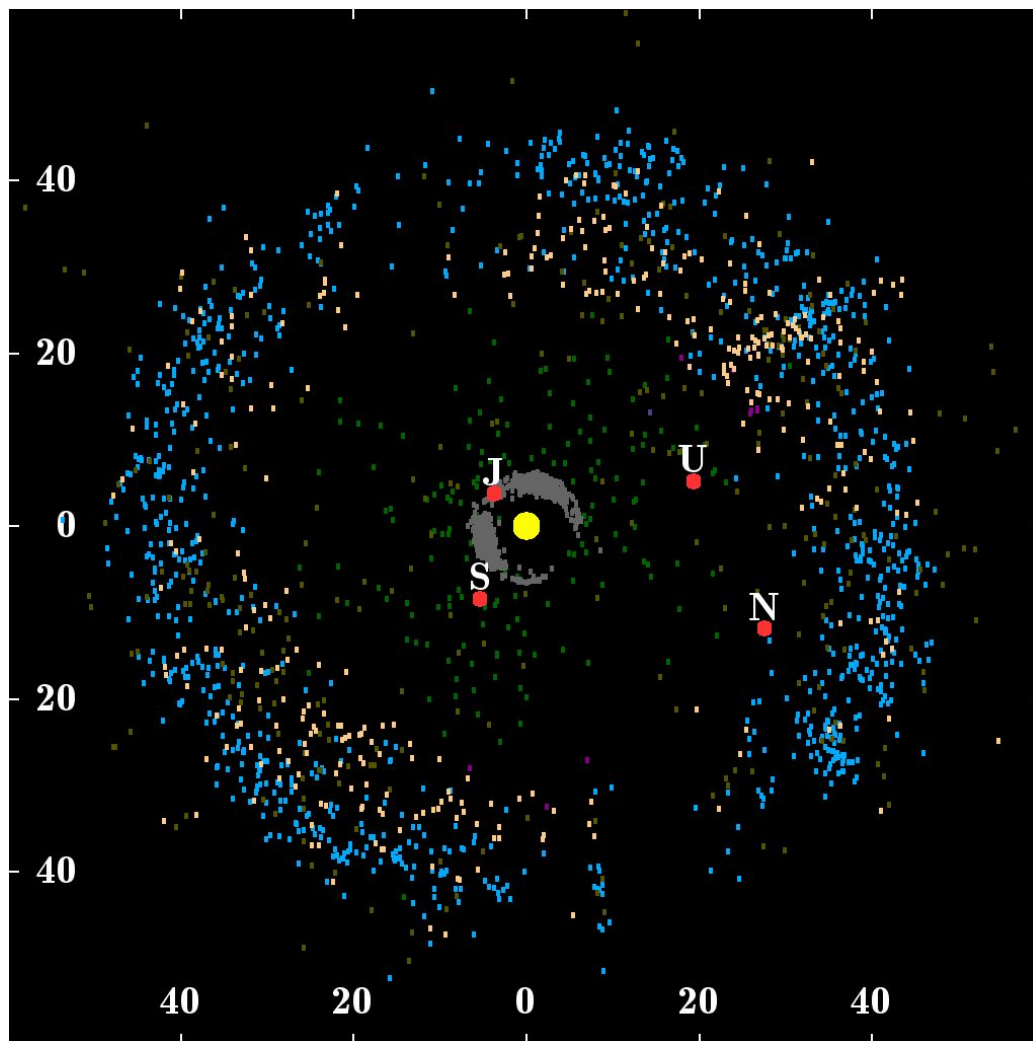
Спутник Плутона ↑
Никта (Nix)



Объекты Койпера (Эджворта-Койпера) или транс-нептуновые объекты (ТНО)



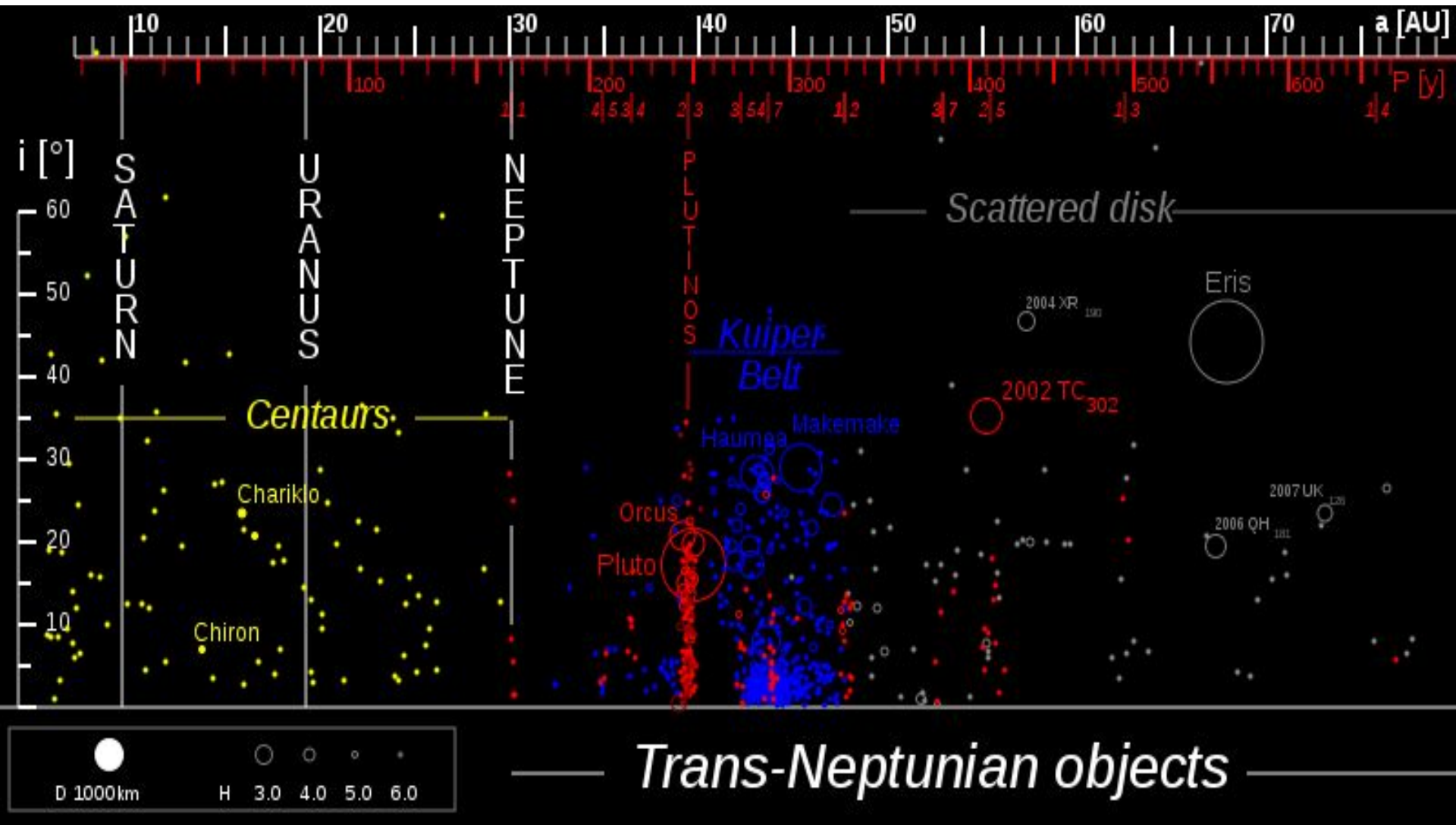
Объекты Койпера (Эджворта-Койпера) или транс-нептуновые объекты (ТНО). Вид сверху.



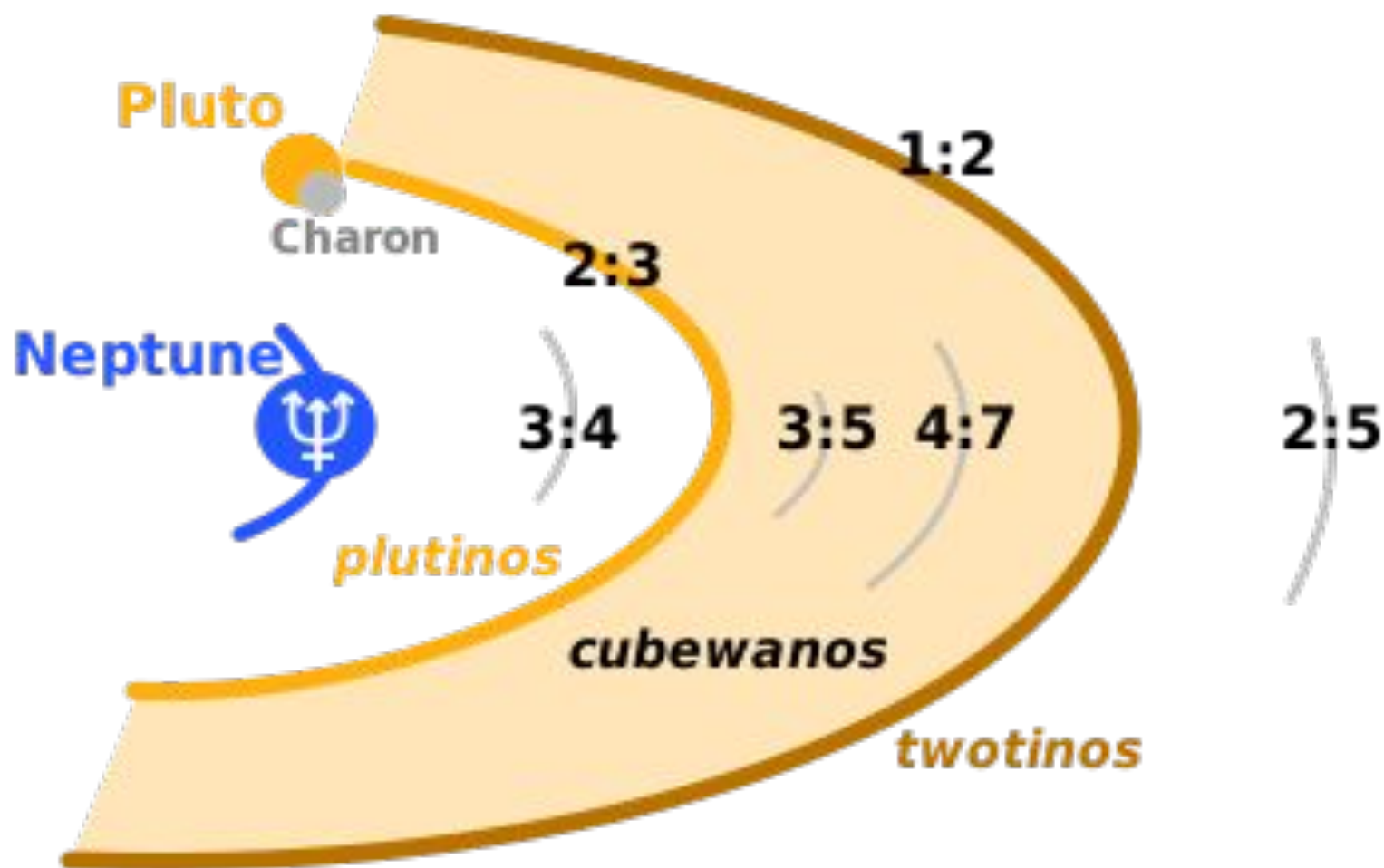
Количество ТНО и их типы

- На сегодняшний день известно около 1500 ТНО с размерами примерно от нескольких сотен до тысячи км.
- Как и астероидов, их может быть несколько миллионов
- Объектов с диаметром более 100 км может быть более 100000.
- Среди ТНО различают объекты:
 - 1) **Типа «плутино»**, которые, как и Плутон движутся в резонансе 2:3 с Нептуном (самые крупные – Плутон, Орк, Иксион);
 - 2) **Классический объект пояса Койпера, или "кьюбивано"** ("cubewano"). Это название появилось от первого транснептунового объекта (ТНО) (15760) 1992 QB₁, обнаруженного за Плутоном и Хароном, орбита которого расположена за орбитой Нептуна (не пересекается с ней, т. е. им. небольшой эксц-т) и не находится с ним в орбитальном резонансе. Большая п-ось орбиты классических объектов пояса Койпера находится в интервале 40–50 а. е. (т. е. за орбитой Плутона);
 - 3) **Объекты рассеянного диска** (рассеянный диск – удалённый регион Солнечной системы, слабо заселённый малыми телами. Внутренняя область рассеянного диска частично перекрывается с поясом Койпера, а его внешняя граница находится намного дальше от Солнца, а также выше и ниже плоскости эклиптики.

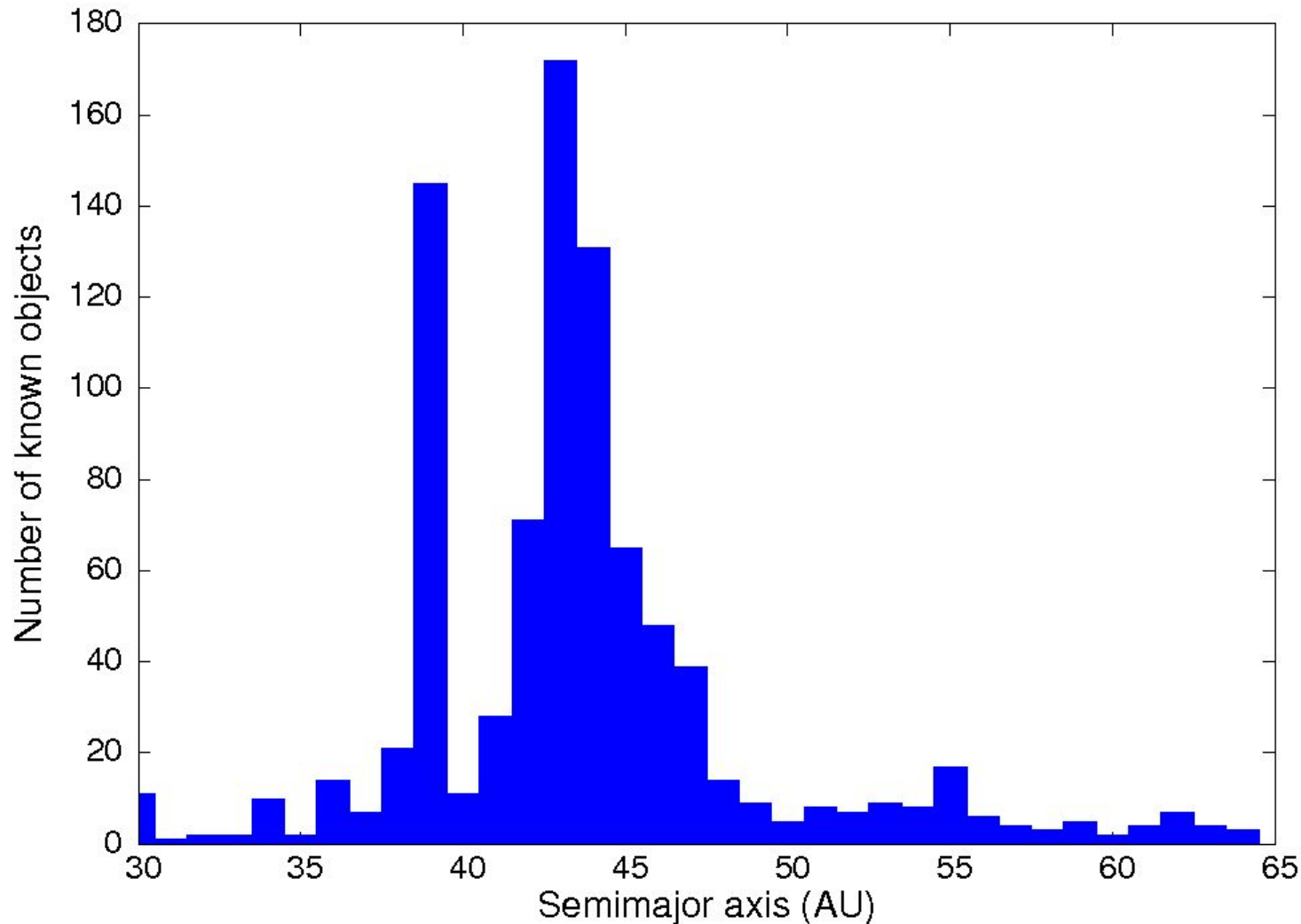
Расположение ТНО



Kuiper belt and orbital resonance

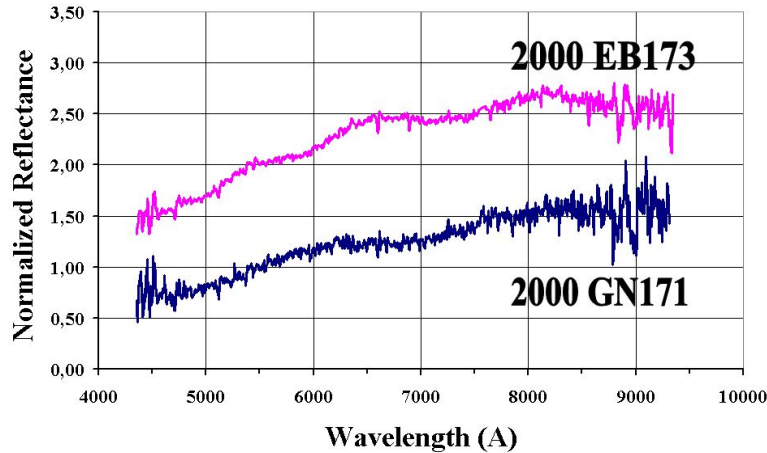


**The plutinos are the "spike" at 39 AU, whereas the
classicals are between 42 and 47 AU, the twotinos are
at 48 AU, and the 5:2 resonance is at 55 AU.**



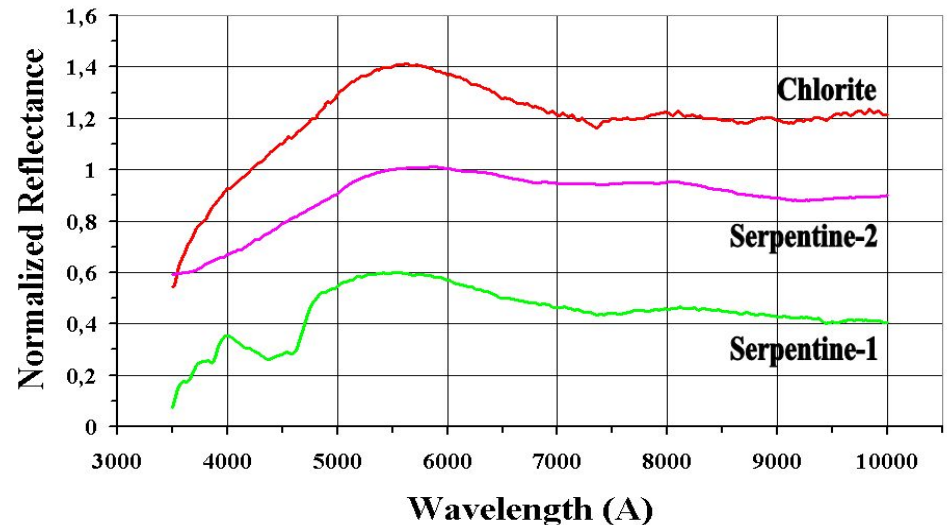
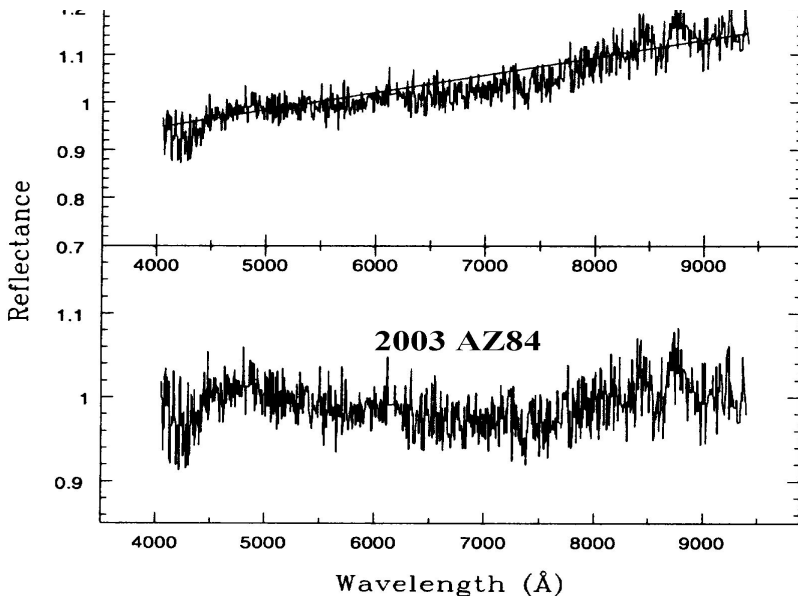
Интерпретация полос поглощения, имеющих в спектрах отражения некоторых Койперовских тел

Параметры их полос поглощения: у 4200-4600 Å (полуширина до 400Å, отн, интенсивность до 10%) и в диапазоне 5500-9000Å (полуширина до 2000Å, отн, интенсивность до 8%) (Fornasier S, et al., 2004),



Наши исследования спектральных характеристик серпентинов и хлоритов, (Busarev et al., 2004)

исследования характеристик



Как мы представляем себе эволюцию занептуновых тел?

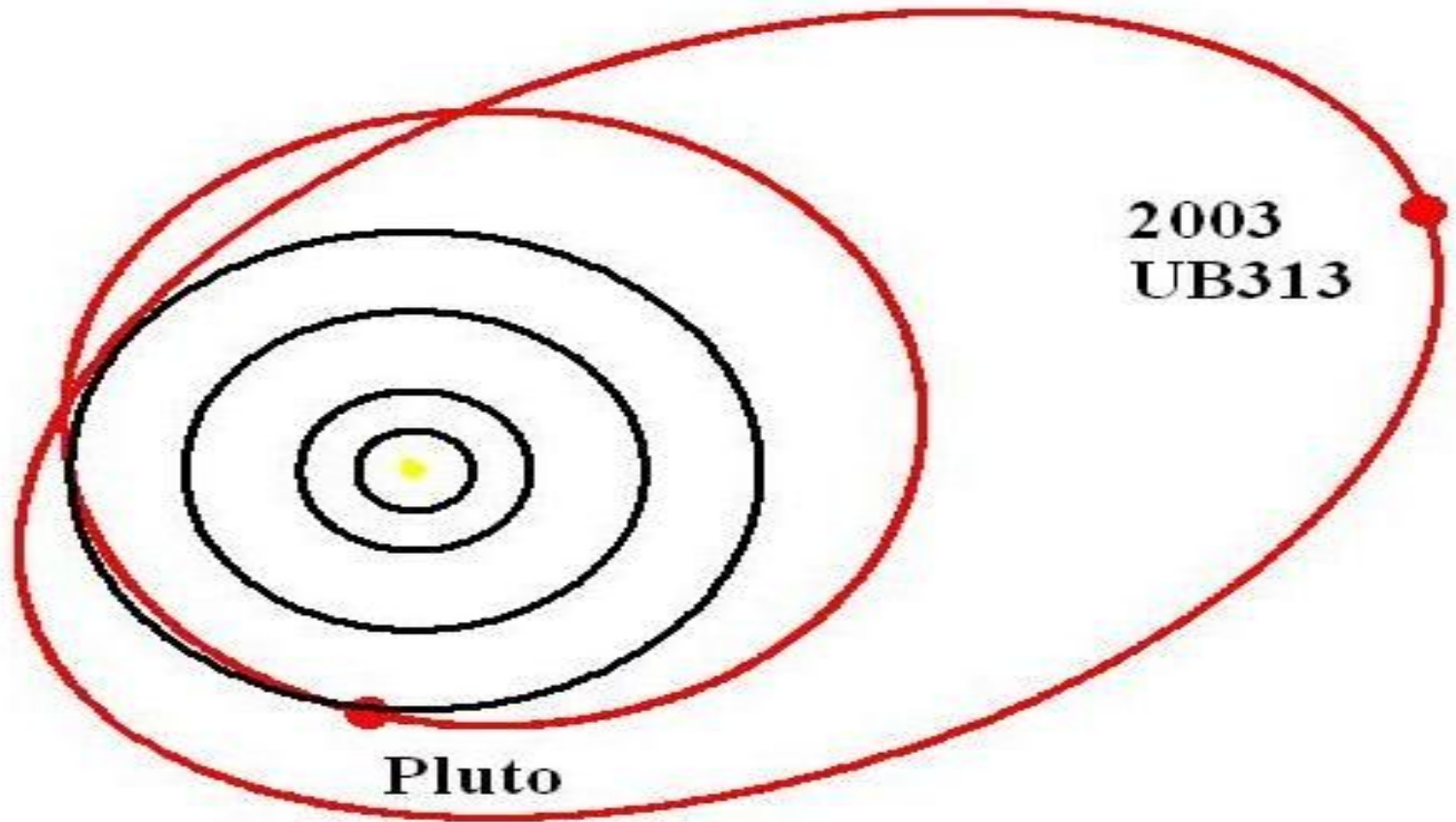
Согласно этим результатам, у Койперовских тел со значительной ледяной компонентой водный океан мог существовать около 10 млн, лет при температурах $\sim 4-7^{\circ}\text{C}$ преимущественно в конвективном состоянии до полного замерзания, а его начальная протяженность могла достигать $\sim 0,9-0,4R$, Как показывают наши экспериментальные результаты (Busarev V, V, et al., 2003, EM&P), основными процессами, протекающими в океане Койперовских тел, могли быть седиментация силикатов и тяжелой органики (с $\rho > 1 \text{ г/см}^3$), растворение в воде или флотация к верхней водной границе более легкой органики, а также формирование гидросиликатов.

Вероятные наблюдаемые следствия подобной эволюции КТ – большой диапазон цветов этих тел, а также полосы поглощения гидросиликатов у 4300 и 6000-9000 Å в спектрах отражения тех из них, которые испытали сильные соударения с другими телами, приведшими к эксклавации силикатного вещества из их ядер.

Сравнительные размеры крупнейших из вновь открытых планет



Эрида

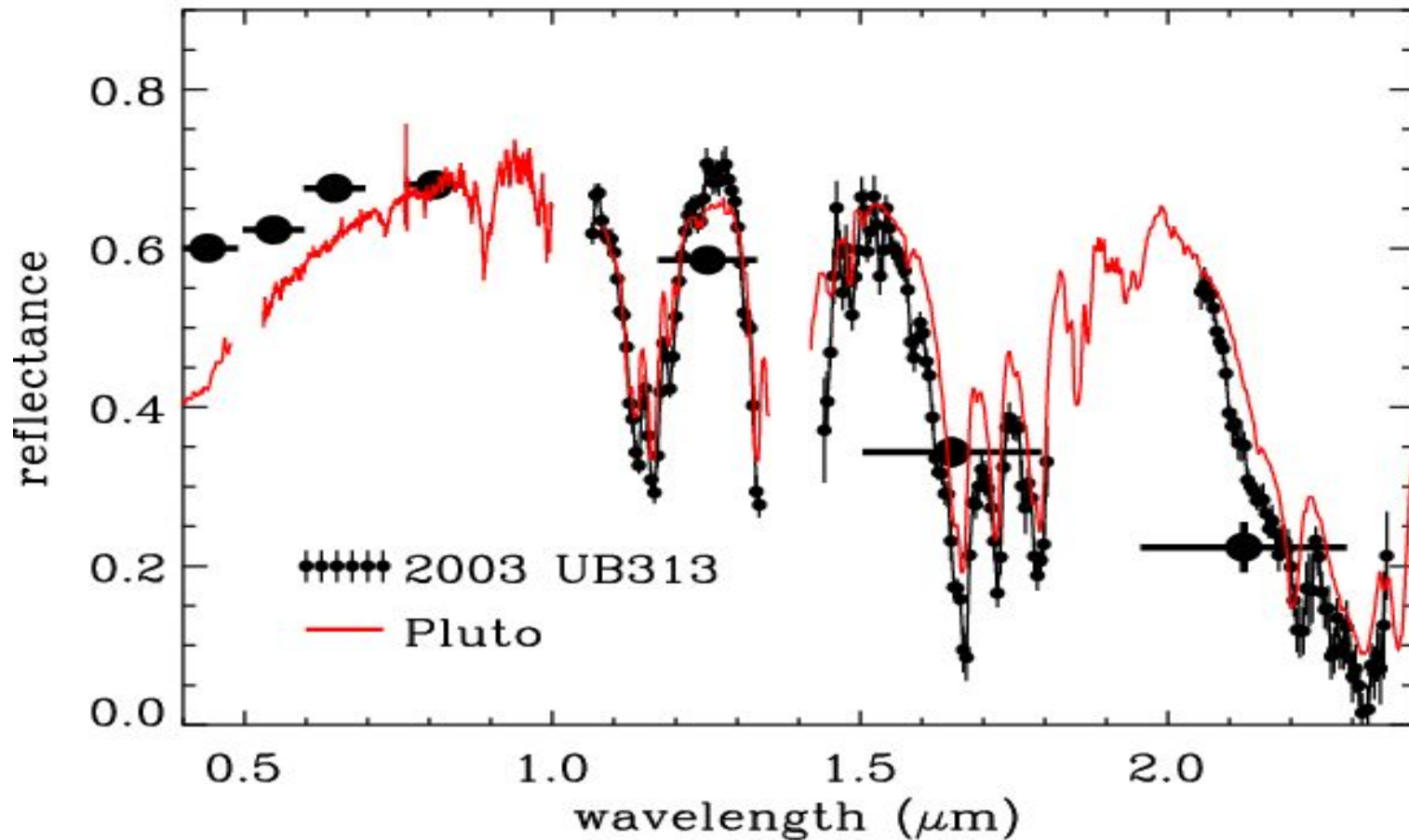


Предполагаемые параметры недавно открытой (в 2003 г.) планеты Эриды

Расчет размера в зависимости от типа поверхности (альбедо):

Кол-во отраж. света	Найден. D планеты	Доля р-ра Плутона
100%	2210 km	97%
Альб. свежего снега на З. 90%	2330 km	102%
Ср. альbedo Антарктиды 80%	2475 km	108%
Альbedo как у Плутона 60%	2860 km	125%
(основано на сходстве с Плутоном по спектру и наиб. вероятным)		
Альbedo как у Харона 38%	3550 km	156%

Спектры отражения Плутона и Эриды

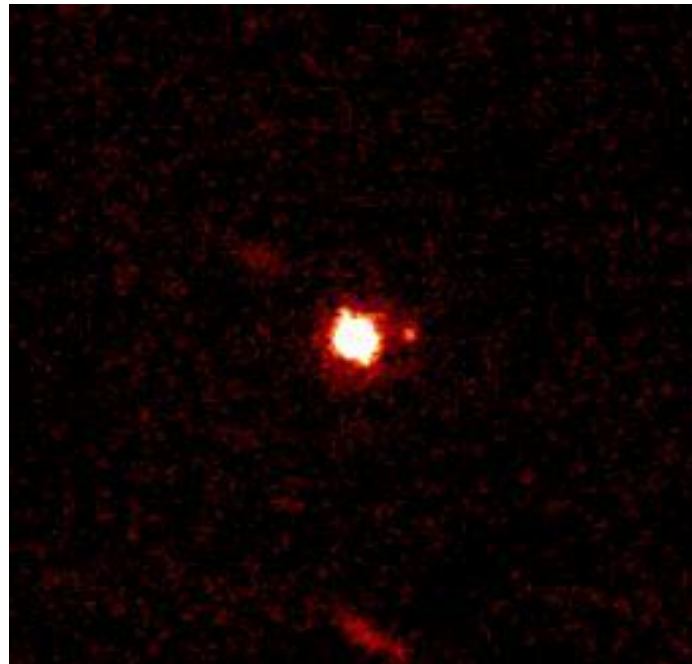


Условия на поверхности Эриды

- В отличие от Плутона, на пов-ти Эриды темп-ра м. б. еще б. низкой – до 30 К (на расстояниях ок. 97 а.е.). Следствием этого м.б. полное вымораживание метана из атмосферы → метановый лед м. покрывать всю пов-ть (в т.ч. толиновые образования), что м. ↓ альбедные контрасты и несколько ↑ общее альбеда. Т.е. альбеда Э. м.б. несколько выше, чем у Плутона.
- По мере того, как Э. движется к своему афелию (на 97 а.е.) и удаляется от Солнца в течение двух последних столетий, метан и N_2 д.б. в замерзшем состоянии и могут образовывать сегрегированные в вертикальном направлении слои на поверхности Э. Когда удаление Э. сменится сближением с С., то на ее поверхности будут усиливаться процессы, подобные тем, что идут на пов-ти Плутона.

Эрида и Дисномия

- Так выглядит Эрида и ее спутник на снимке, полученном на 10-м телескопе Кеэк с адаптивной оптикой и лазерным источником, моделирующим искусственную звезду в земной атмосфере (рядом с объектом), для учета и исключения атмосферного "размытия" изображения.



Эрида не только крупнейший ТНО, но и двойная карликовая планета



Рисунок художника: Эрида и ее спутник Дисномия.

Оценки транснептуновых тел

- По различным оценкам, может быть обнаружено до 200 карликовых планет в поясе Эджворта-Койпера и до 10000 карликовых планет за его пределами.
- К январю 2016 г. всего зарегистрировано 1750 транснептуновых объектов.