

# Seminario de Postgrado

## EL ESPACIO TRANSNEPTUNIANO Clase 3

## Propiedades físicas de los objetos menores del Sistema Solar

Para un objeto en general se define:

**Albedo (p):** es el porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja respecto de la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superior a las oscuras, y las brillantes más que las mates.

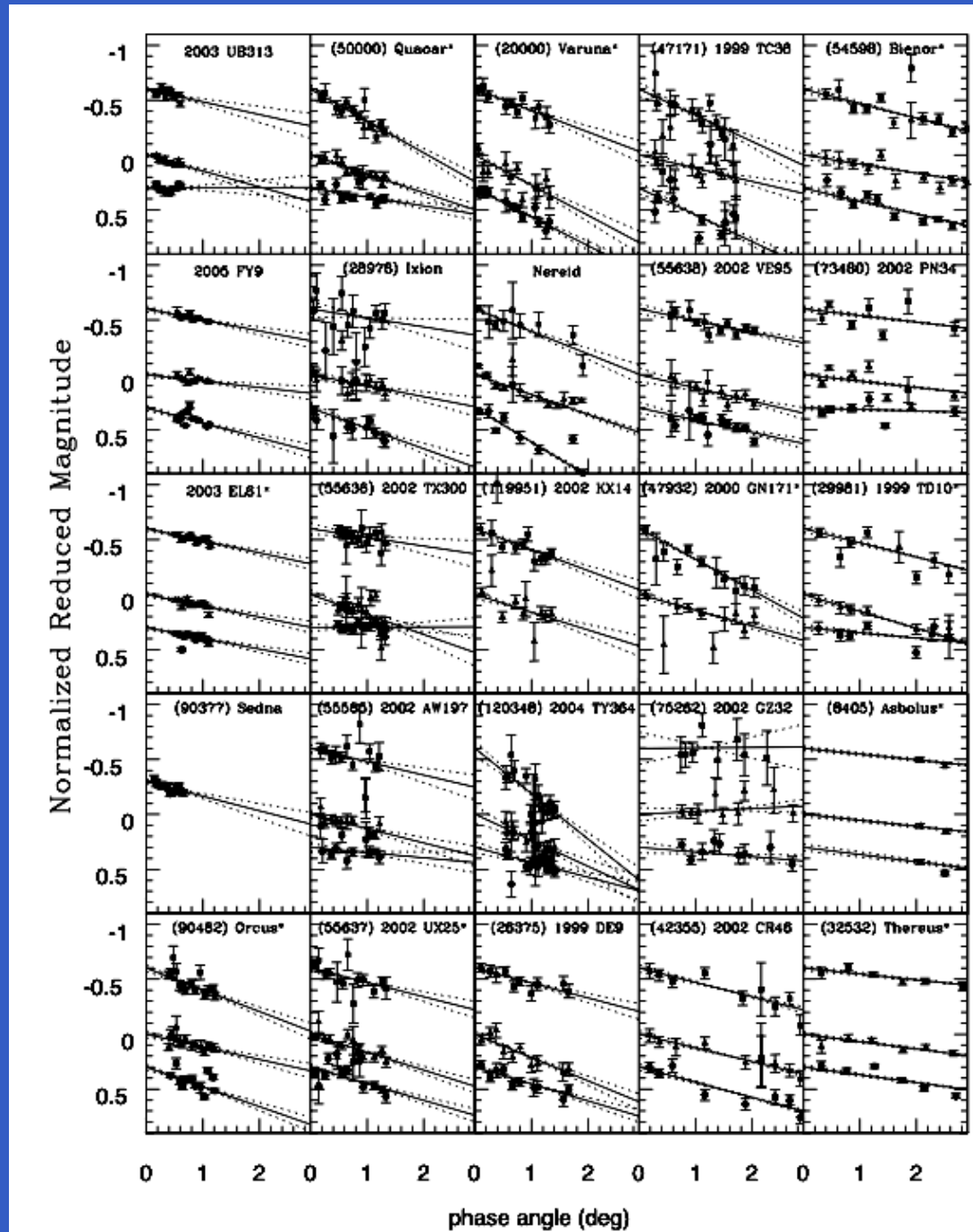
Para objetos del Sistema Solar se define el

**Albedo geométrico (visual:  $p_v$ )** : al porcentaje de la radiación reflejada por el objeto si el ángulo de fase es igual a cero.

**El ángulo de fase ( $\alpha$ )** es el ángulo medido desde el objeto entre este y el Sol y entre este y la Tierra.

**La función de fase ( $\Phi(\alpha)$ ):** es la fracción de luz dispersada en un ángulo de fase  $\alpha$  respecto de la dispersada en un ángulo de fase  $\alpha = 0$ .

# Propiedades físicas de los objetos menores del Sistema Solar



## Propiedades físicas generales de los TNOs

Se llama “función de luminosidad acumulada” a la ley de distribución acumulada de magnitudes absolutas para objetos del sistema solar. En general tiene la forma:

$$N(< H) = 10^{\alpha(H-H_0)} \quad (1)$$

donde  $\alpha$  es la pendiente logarítmica de la distribución y  $H_0$  es la magnitud absoluta para la cual la densidad (o el número) de objetos más brillantes que  $H_0$ ,  $N < (H_0) = 1$ .

La distribución diferencial de magnitudes se obtiene derivando la ecuación anterior:

$$dN/dH = \alpha \ln(10) 10^{\alpha(H-H_0)} \quad (2)$$

## Propiedades físicas generales de los TNOs

De la relación entre magnitudes y tamaños se pueden obtener las leyes de distribución de tamaños:

La distribución diferencial de tamaños:

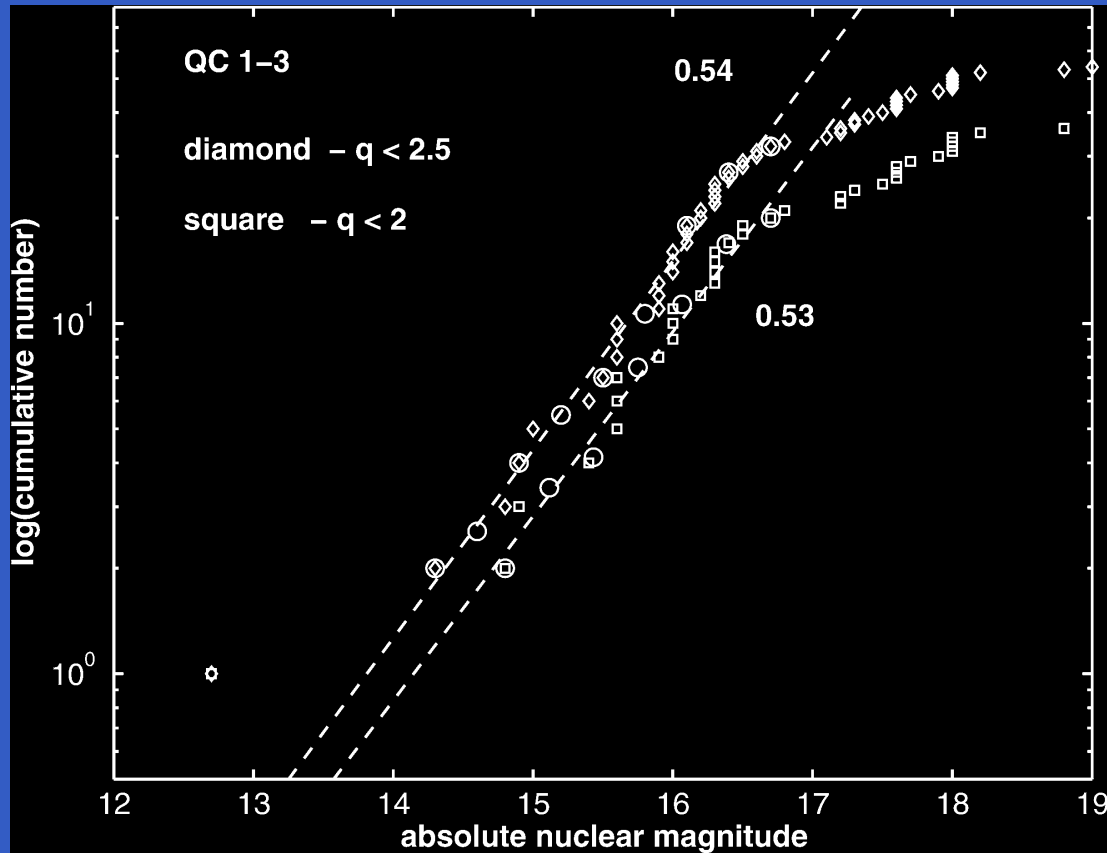
$$dN/dR = CR^{-q}, \quad (3)$$

donde  $q = 5\alpha + 1$ .

Y la ley de distribución acumulada, integrando la diferencial:

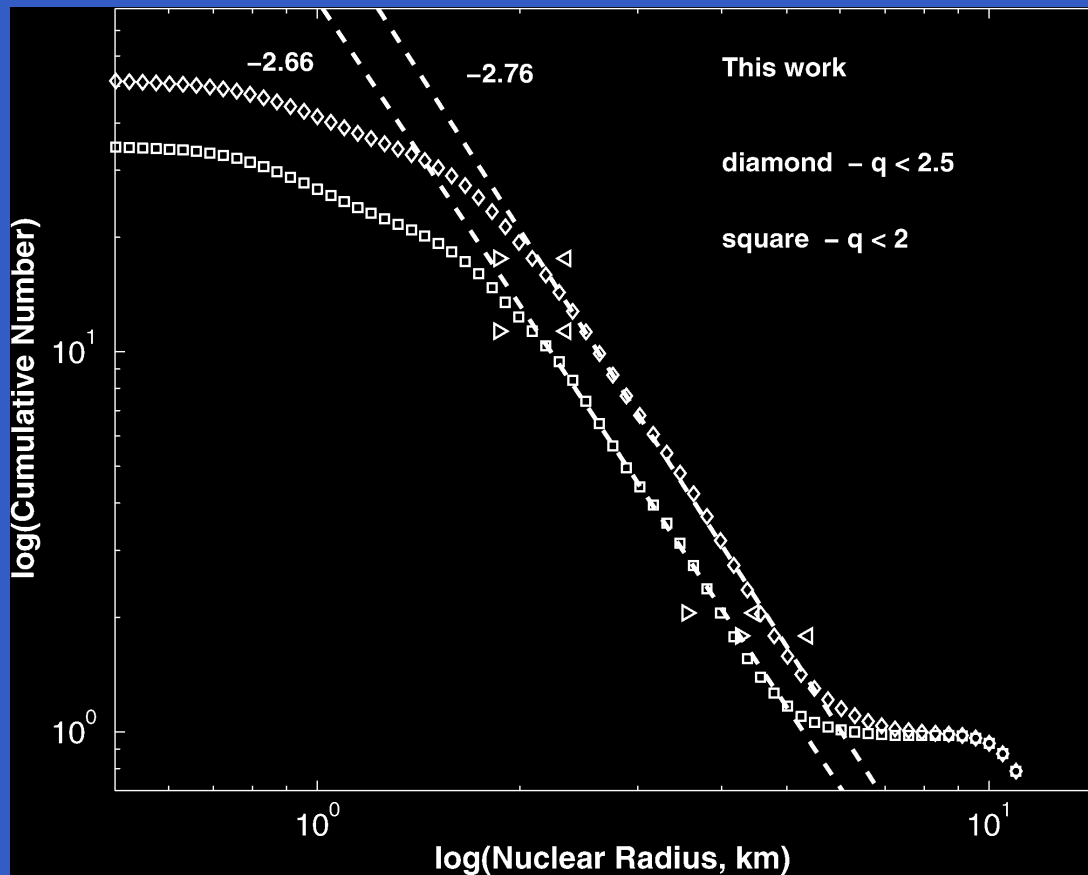
$$N(> R) = C_1 R^{-q+1} \quad (4)$$

# Propiedades físicas de los objetos menores del Sistema Solar



Ejemplo de distribución acumulada de magnitudes (JFCs, Tancredi et al (2006))

# Propiedades físicas de los objetos menores del Sistema Solar



Ejemplo de distribución acumulada de tamaños (JFCs, Tancredi et al. (2006))

## Características físicas generales de los TNOs

- Existe un buen conjunto de datos fotométricos en el visible e IR cercano de varios TNOs y Centauros.
- Se han observado características de absorción correspondiente a hielo de agua, sin embargo se cree que estos espectros estarían afectados por los rayos cósmicos que alteran químicamente la superficie.
- También se han observado mezclas de carbón y olivina.



## Características físicas generales de los TNOs

- No se han encontrado correlaciones entre el color y el semieje mayor de los TNOs en contraste con los asteroides.
- Los colores van desde casi neutro ( $V - R \approx 0,3$ ) hasta muy rojos ( $V - R \approx 0,7 - 0,8$ ). En particular los colores de los TNOs clásicos y resonantes son indistinguibles.
- Se piensa que el material muy rojo de los TNOs y Centauros se debe a la exposición prolongada a los rayos cósmicos que forma complejos carbonosos.

## Características físicas generales de los TNO

- Hay muy pocos albedos determinados de TNOs, y en general son más altos que los de los cometas. Aunque esto puede ser debido al tamaño y no a una composición diferente. Por ej. Plutón y Charon tienen albedos bastante altos (0.44 - 0.61 y 0.38) lo que se debe en parte a la capacidad de retener sus gases en un atmósfera, que luego se condensan en la superficie en una fina capa congelada de albedo alto.
- Todavía hay demasiado pocas medidas fotométricas de TNOs para determinar períodos de rotación y amplitudes de curvas de luz. Aunque hay algunos trabajos. Particularmente se han descubierto varios TNOs binarios midiendo las variaciones en las curvas de luz.

## Masa de la región transneptuniana

Bernstein et al (2004) recopilan datos de surveys además de su survey con el HST para calcular función de luminosidad en el rojo.

- Dividen la población en clásica y excitada. Integrando la función de luminosidad calculan la masa total de la población clásica en  $M_{CEKB} \simeq 0,005M_{\oplus}$ .

- Para la población excitada estiman que puede ser un orden de magnitud más que la clásica, es decir:

$$M_{EEKB} \simeq 0,05M_{\oplus} \text{ y que podría llegar a } \sim 0,15M_{\oplus}.$$

- Para los objetos con perihelios grandes, como Sedna, estiman que podían contener entre  $0,1$  y  $0,3M_{\oplus}$ .

- También se estima la masa de los Troyanos de Neptuno del orden de la masa en el cinturón clásico.

## Coagulación

La masa del EKB actual estaría entre  $0,05 - 0,3M_{\oplus}$ , muy por debajo de lo que se piensa para que los TNOs se hayan formado por coagulación.

Kenyon y Luu, (1998, 1999) y Kenyon (2002), en una serie de simulaciones encuentran que

- Se requiere entre 3 a  $30 M_{\oplus}$  de sólidos primordiales en un anillo entre 32 y 38 UA para formar por acreción al menos 1 objeto del tamaño de Plutón y  $\sim 10^5$  objetos de  $R > 50$  km.
- La densidad superficial inicial requerida ( $\sigma \sim 0,06 - 0,6 \text{grcm}^{-2}$ ) es del orden de la porción condensada de la MMSN a 35 UA ( $\sigma_{MMSN} \sim 0,02 \text{grcm}^{-2}$ )

## El problema de la masa perdida

El hecho de que la masa actual y la primordial difieran en 2 órdenes de magnitud se denomina el “problema de la masa perdida”.

Kenyon y Luu, (1998, 1999) y Kenyon (2002) proponen como solución que

- solo el 1 – 2 % de la masa primordial se acrete en objetos de tamaño mayor a  $\sim 100$  km.
- El resto, estaría en objetos del tamaño de los cometas entre  $\sim 0,1$  y 10 km.

El truco para esto se atribuye a la formación de varios Plutones cuya gravedad amplificaría las velocidades de dispersión de manera que las colisiones entre planetesimales son erosivas en vez de acretantes.



Por lo tanto la acreción en el EKB podría ser auto limitante.

El tema del problema de la masa perdida requiere sin embargo más desarrollo.

- Se debe tener en cuenta cómo la formación de Neptuno y posiblemente otros cuerpos de tamaño de planetas pudo haber influenciado la coagulación de los TNOs.
- Hay que tener en cuenta cómo la inclusión de los planetas gigantes y la subsecuente formación de Neptuno cambian nuestra comprensión del problema de la pérdida de masa.
- cómo se pierde en el sistema solar exterior el 99 % de su masa primordial de sólidos?

El problema de la masa perdida se traduce en un problema de “limpieza” y su solución involucra alguna combinación, todavía desconocida de

- pulverización colisional
- transporte difusivo por colisiones entre partículas
- eyección gravitatoria por planetas
- remoción por fricción gaseosa y/o drag por radiación
- ... ? ...

### Límite externo del disco primordial.

A qué distancia del Sol se coagularon los planetesimales?

El límite externo del disco clásico (no se observan objetos en el plano más allá de  $\sim 47$  UA) sugeriría que los planetesimales no se forman más allá de esta distancia.

En los discos extrasolares se observa un límite bien definido.

Por ej. en  $\beta$  Pictoris y AU Microscopii las pendientes de los perfiles de brillo superficial muestran cambios claros en 100 UA y 43 UA respectivamente.

Pero no se puede predecir con certeza cómo se trunca el disco de planetesimales.



- Hasta el presente existen 48 sistemas binarios o múltiples en la TNR (Noll, et al. 2007). Las teorías de formación involucran la interacción entre 2 o más cuerpos en las etapas finales de la formación del Sistema Solar.
- Existe una mayoría de binarios cuyas componentes tienen tamaños similares y esto parece ser consistente con los modelos de formación existentes.
- Por otro lado existen satélites pequeños de TNOs como los nuevos satélites de Plutón, Eris y 2003 EL61, los cuales parecen haberse formado por colisiones.
- Se los detecta directamente en la imagen, se mide la separación angular y la diferencia de magnitud.

TNOs (SDO y plutinos)

Nube de Oort



TNOs (SDO y plutinos)



Centauros



JFCs