

Seminario de Postgrado

Título: EL ESPACIO TRANSNEPTUNIANO

1 Introducción general. Tercera clase

1.1 Propiedades físicas de los objetos menores del Sistema Solar.

Para un objeto en general se define:

Albedo (p): Es la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre 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. Es una medida de la tendencia de una superficie a reflejar radiación incidente.

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 (α)** 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 α respecto de la dispersada en un ángulo de fase $\alpha = 0$.

Apuntes de magnitudes en el Sistema Solar.

1.2 Relación entre la distribución de tamaños y de magnitudes

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

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

donde α 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:

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

Según la fórmula 12 del apunte sobre magnitudes, la relación entre la magnitud absoluta y el radio de objetos con el mismo albedo está dada por:

$$H = cte - 5 \log(R) \quad (3)$$

De esta relación se pueden obtener las leyes de distribución de tamaños: La distribución diferencial de tamaños:

$$dN/dR = CR^{-q}, \quad (4)$$

donde $q = 5\alpha + 1$.

Y la ley de distribución acumulada, integrando la diferencial:

$$N(> R) = C_1 R^{-q+1} \quad (5)$$

1.3 Características físicas generales de los TNOs.

Existe un buen conjunto de datos fotométricos en el visible e IR cercano de varios TNOs y Centauros. Las observaciones se han hecho en los filtros BVRI-JHK y han permitido tener las características de estas poblaciones. 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.

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 forman complejos carbonosos.

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.

Hay un trabajo en prensa, Rabinowitz, 2006 de observaciones fotométricas de 18 TNOs. (Ver)

1.4 Origen y formación de la región transneptuniana.

1.4.1 Masa de la región transneptuniana

Bernstein et al (2004) recopilan datos de surveys publicados además de su survey con el HST para calcular la densidad acumulativa de EKBO en el cielo versus la magnitud en el rojo (función de luminosidad). La función de luminosidad es equivalente a la distribución de tamaños. La distribución diferencial de tamaños tiene la forma:

$$dN \propto R^{-q}dR \quad (6)$$

donde N =nro de objetos con radios entre R y $R + dr$ y q es el exponente a determinar. Dividen la población en clásica y excitada. Integrando la función de luminosidad calculan la masa total de la población clásica en $M_{CEKBO} \simeq 0.005M_{\oplus}$. La población excitada es más complicada de calcular y estiman (como orden de magnitud) que puede ser un orden de magnitud más que la clásica, es decir: $M_{EEKBO} \simeq 0.05M_{\oplus}$ y que podría llegar a $\sim 0.15M_{\oplus}$.

En cuanto a 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.

1.4.2 Coagulación

De la sección anterior: la masa del EKB actual estaría entre $0.05 - 0.3M_{\oplus}$, muy por debajo de lo que se piensa para que los EKBO se hayan formado por coagulación.

Kenyon and 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 ($\sigma_{MMSN} \sim 0.02 \text{grcm}^{-2}$)

1.4.3 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”.

Las simulaciones mencionadas antes proponen como solución que solo el 1 – 2% de la masa primordial se acrete en objetos de tamaño mayor a ~ 100 km. El resto, estaría en objetos del tamaño de los cometas entre ~ 0.1 y 10 km. El truco en la acreción 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. (Kenyon and Luu, 1999).

El tema del problema de la masa perdida requiere sin embargo más desarrollo. En primer lugar, se debe tener en cuenta como la formación de Neptuno y posiblemente otros cuerpos de tamaño de planetas pudo haber influenciado la coagulación de los EKBOs. Es más, hay que tener en cuenta como la inclusión de los planetas gigantes y la subsecuente formación de Neptuno cambian nuestra comprensión del problema de la pérdida de masa. Por otro lado, cómo hace el sistema solar exterior para perder 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
- ... ? ...

El otro tema respecto de la masa es el límite externo del disco primordial. A qué distancia del Sol se coagularon los planetesimales? El límite externo del disco cásico (a ~ 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 β 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 como se trunca el disco de planetesimales.

El estudio de estos temas y la explicación de las incógnitas que se plantean es lo que lleva a los modelos de formación y origen de la región transneptuniana.

1.5 Objetos transneptunianos binarios.

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 Haumea, los cuales parecen haberse formado por colisiones.

Se los detecta directamente en la imagen, se mide la separación angular y la diferencia de magnitud.

1.6 Evolución dinámica y contribución a otras poblaciones del Sistema Solar.

Como vimos el TNB es una fuente probable de los JFcs y Centauros. Los Plutinos pueden alcanzar Neptuno luego de ser desacoplados de la resonancia 3:2 o del SD. Existen trabajos que muestran como es la evolución posterior de estos objetos. Una fracción de estos objetos entra en la región planetaria pero la mayoría es dispersada hacia la nube de Oort. Luego veremos en más detalle estos trabajos.

Bibliografía:

Duncan, M., Quinn, T., Tremaine, S. (1988): The origin of short-period comets

Chiang, E., Y. Lithwick, R. Murray-Clay, M. Buie, W. Grundy, and M. Holman. 2006. A Brief History of Trans-Neptunian Space. In *Protostars and Planets V*. B. Reipurth, D. Jewitt, and K. Keil (Eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson. pp 895-911.

Davies, J.K., McFarland, J. Bailey, M. E., Mrsden, B.G. and Ip, W. The early development of ideas concerning the transneptunian region. In *The Solar System Beyond Neptune*. A Barucci et al. (Eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson. pp 11-23.

Edgeworth, K.E. 1949. The origin and evolution of the Solar System. *MNRAS* **109**, 600-609.

Fernández, J. A., 1980. On the existence of a comet belt beyond Neptune.

Fernández, J. A., 2005, *Comets. Nature, Dynamics, Origin, and their Cosmogonical Relevance*.

Kuiper, G. P. 1950. On the origin of the Solar System *Proceedings of the National academy of sciences* **37**, 1-14.

Whipple F. L. (1950a) On tests of the icy conglomerate model for comets. *Astron. J.*, **55**, 83.

Whipple F. L. (1950b) A comet model. I. The acceleration of Comet Encke. *Astrophys. J.*, **111**, 375-394.

Whipple F. L. (1964a) The History of the Solar System. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 52, Issue 2, pp. 565-594, 1964.

Whipple F. L. (1964b) Evidence for a Comet Belt beyond Neptune. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 51, Issue 5, pp. 711-718.

Página del MPC: <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html> y de la IAU: <http://www.iau.org/>