

Seminario de Postgrado

Título: EL ESPACIO TRANSNEPTUNIANO

1 Introducción general. Segunda clase

1.1 Existencia de un cinturón de cometas más allá de Neptuno.

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

Analizan las características de la distribución de elementos orbitales de los cometas con $P < 200$ años (cometas de corto período, SPC):

- La distribución tiene un fuerte exceso de cometas con $P < 15$ años.
- La mayoría tienen órbitas directas de baja inclinación.
- El argumento del perihelio w tiene picos en 0° y 180°

En este trabajo presentan los resultados de un conjunto de simulaciones numéricas sobre la dispersión de cometas por los planetas gigantes, para determinar si la fuente más probable de SPC es la nube de Oort o el Cinturón de Kuiper (como lo llama en este trabajo).

Método

Siguen la evolución orbital de cometas sujetos a las perturbaciones de los 4 planetas gigantes. Se integra la órbita hasta que el cometa es eyectado o se hace visible desde la Tierra ($q < 1.5$ UA). Pero la evolución desde una órbita que cruza Neptuno hasta un cometa visible tarda millones de órbitas. Entonces como la dispersión gravitatoria es un proceso de difusión, se incrementó la masa de los planetas en un factor μ para acelerar el proceso. Esto cambia la tasa de evolución pero no las propiedades estadísticas finales

(lo probaron usando 2 valores de μ). Incluso así las simulaciones tardaron varios meses.

Resultados

Simulación 1: diseñada para chequear la conclusión de Everhart (1972) que los SPC pueden evolucionar de cometas en órbitas parabólicas con distribución de inclinación isotrópica (demuestra esto mediante simulaciones numéricas).

Se tomaron condiciones iniciales como Everhart para comparar: se distribuyeron los perihelios iniciales uniformemente con $4 < q < 6$ UA y se consideró que los cometas eran visibles en $q < 2.5$ UA. Se siguió la evolución de 5000 cometas hasta eyección o visibilidad. Se obtiene que tanto la distribución de semiejes de los SPC visibles y las inclinaciones son inconsistentes con lo observado. En particular las inclinaciones de los cometas visibles es aprox preservada (o sea isotrópica). Esto no concuerda con lo obtenido por Everhart (1972). La inconsistencia del modelo con la observación conduce a la conclusión de que los SPC no provienen de la dispersión gravitatoria de cometas distribuidos isotrópicamente en órbitas casi parabólicas con q cerca de Júpiter.

Simulación 2: Una propuesta alternativa es que los cometas de la Nube de Oort con perihelios grandes, hasta $q = 30$ UA sean dispersados hacia la zona visible ($q < 1.5$ UA) por una combinación de los planetas gigantes. Para testear esta posibilidad, se examinó la evolución de un conjunto de órbitas con distribución isotrópica de inclinaciones y perihelios uniformemente distribuidos en el rango: $20 < q < 30$ UA. Se obtiene una distribución de semiejes similar a la observada pero la distribución de inclinaciones es inconsistente con la observada, se obtienen aún demasiadas "órbitas retrógradas".

Parece entonces imposible obtener la distribución de cometas observada partiendo de una distribución isotrópica. Por tanto los SPC no provienen de la Nube de Oort.

Simulación 3: Analiza la posibilidad de que los cometas visibles provengan (mayormente) de un cinturón de bajas inclinaciones cerca de Neptuno. Se asume que existe algún mecanismo que perturba los cometas en el cinturón hacia órbitas que cruzan Neptuno y se sigue su evolución bajo la influencia de los planetas gigantes hasta que escapan o se hacen visibles.

Se distribuye i uniformemente en $0^\circ < i < 18^\circ$, el perihelio inicial uniformemente en $20 < q < 30$ UA, y el afelio inicial se fija en 50 UA.

La figura 4 muestra la distribución de a , i , w y Q de los cometas cuando se hacen visibles por primera vez ($q < 1.5$ UA). Se compara con lo observado. Se observa un gran acuerdo. Se observa un pico en $a = 3$ UA para ambas distribuciones y un incremento cerca de Júpiter. La distribución de afelio muestra un gran pico cerca del a de Júpiter. Las distribuciones de inclinaciones son similares, aunque la de la simulación es algo más ancha. La distribución de w ambas muestran un mínimo en $w = 90^\circ$ y $w = 270^\circ$. Cerca del 8% de los SPC visibles de nuestra simulación son retrógrados, en acuerdo con el 3% de la muestra observada y tienden a tener periodos más grandes. O sea que incluso el Halley pudo haber sido originado en el cinturón.

Discusión

Se usan los resultados de las simulaciones para estimar la masa mínima del reservorio de cometas (entre 35 y 50 UA propuesto por Kuiper y Fernández), requerido para proveer los SPC por la edad del sistema solar. En estas simulaciones la fracción de cruzadores de Neptuno es ~ 0.17 algo mayor que la que estima Fernández (1980) de 0.06. Adoptando una tasa de producción de 0.01 cometas por año (Fernández, 1985) y una masa media por cometa de $10^{17.5}$ gr, se obtiene que se requiere $\sim 0.02M_\oplus$ de cometas que cruzan Neptuno como para mantener un flujo estacionario de SPC.

La naturaleza del mecanismo que lleva los cometas a órbitas que cruzan Neptuno no está clara. Un mecanismo es el propuesto por Fernández (1980) que vimos: dispersión gravitatoria por miembros masivos del cinturón.

Otra alternativa es que Neptuno es el único perturbador importante de los cometas del cinturón, y que gradualmente lleva a los cometas del cinturón hacia Urano por la dispersión repetida en periodos de tiempo de varios millones de años.

Chiron, que cuya órbita está entre Saturno y Urano podría ser un miembro de la población de progenitora de SPC. Las simulaciones muestran que no es sorprendente encontrar un cometa ahí.

En síntesis, los SPC no se pueden producir por dispersión de los planetas de cometas de la Nube de Oort. La fuente de SPC más probable es un cinturón que llama Cinturón de Kuiper, conteniendo una fracción de la masa terrestre localizado en las partes externas del sistema solar.

Figure 1:

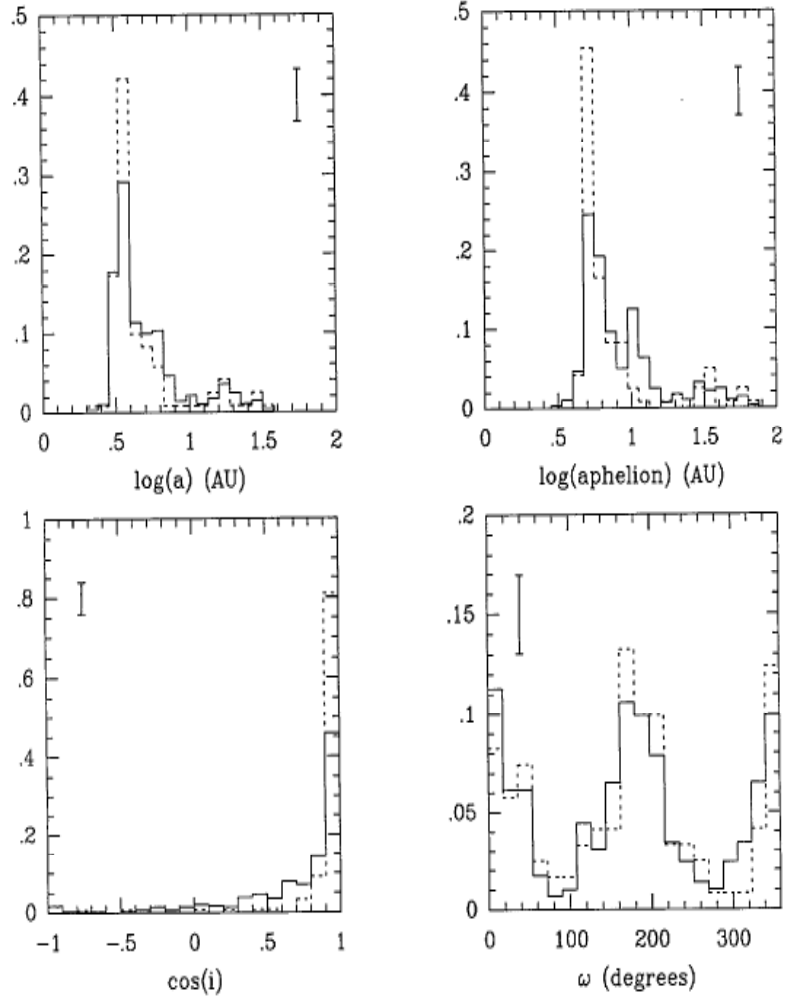


FIG. 2.—The solid histograms show the distributions of semimajor axis a , inclination i , argument of perihelion ω , and aphelion for comets that evolve to SP orbits with $q < 1.5$ AU in our simulations. The initial inclinations are uniformly distributed in $\cos(i)$ for i between 0° and 18° , the initial perihelia are uniformly distributed between 20 and 30 AU, and the initial semimajor axis is $a = 50$ AU. The dashed histograms show the distributions in the same four orbital elements for the comets in Marsden's (1983) catalog. Some typical statistical error bars are plotted. The histograms are based on 281 simulated comets and 121 observed comets.

1.2 El descubrimiento

La población transneptuniana permaneció como especulaciones teóricas por varias décadas. Hubieron varios surveys de búsqueda de TNOs con resultados

negativos. Charles Kowall realizó una búsqueda sistemática de pequeños cuerpos distantes entre 1976 y 1985. Usó el telescopio de 48 pulgadas del Observatorio de Palomar, cubriendo 6400 grados cuadrados del cielo hasta $m_v = 21$ (Kowal, 1989). Las placas fueron buscadas por blinking. Descubrió varios asteroides y cometas y el primer Centauro Chirón, pero ningún TNO.

En 1987 Jane Luu y David Jewitt realizaron otro survey de búsqueda de objetos distantes, usando los telescopios de 0.6 y 0.9 mts de Cerro Tololo y un telescopio de 1.3 mts del KPNO. La magnitud límite era de $m_R = 24$ y no encontraron ningún objeto lejano.

En 1989 Levison y Duncan realizaron un programa de observación con el telescopio de 1 m de Arizona hasta $m_v = 22$, sin éxito.

Hubieron otros surveys también sin éxito.

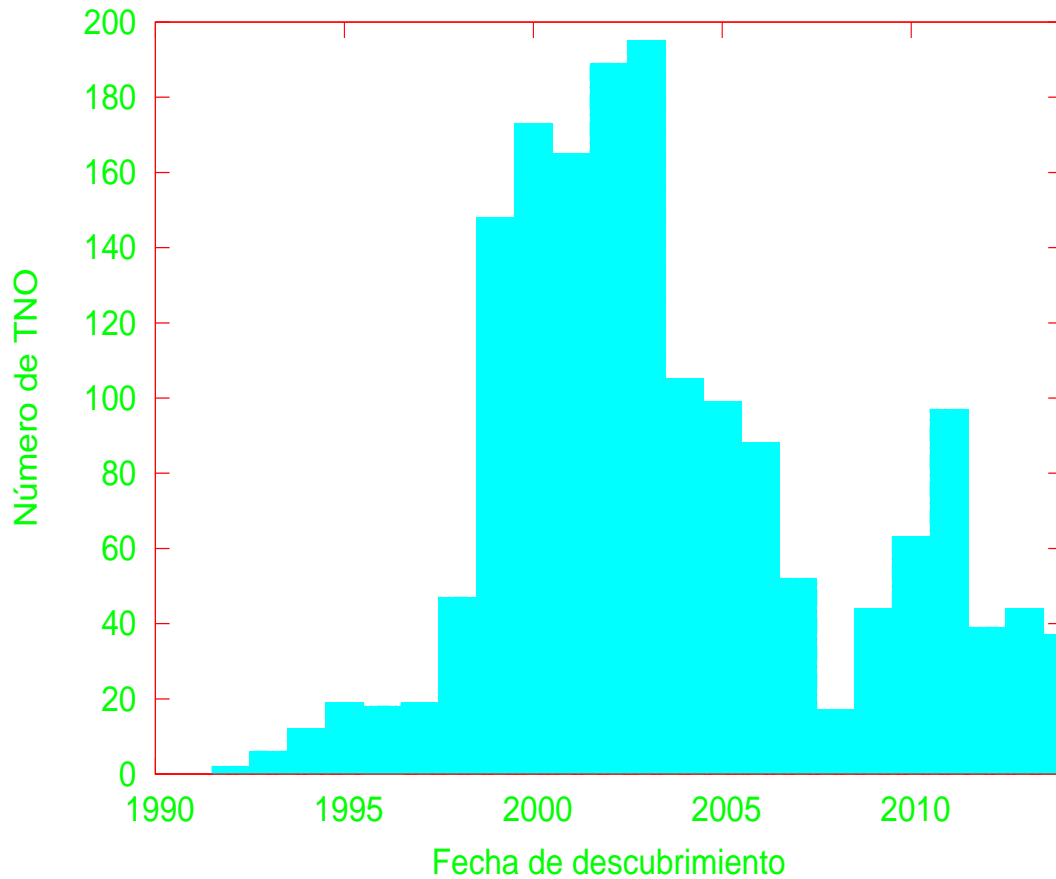
Luego de varias búsquedas, en 1992, David Jewitt y Jane Luu descubren el primer TNO, además de Plutón y Charón, 1992QB1, con el telescopio de 2.2 m de Mauna Kea, Hawaii (Jewitt and Luu, 1993). Este objeto tenía en el momento de descubrimiento una distancia heliocéntrica de 41.2 UA y los cálculos de los elementos orbitales daba: $a = 43.82$ UA, $e = 0.08$, $i = 2.21^\circ$, en acuerdo con lo que se esperaba para objetos del cinturón transneptuniano. Tenía una magnitud en el rojo: $m_R = 22.8$, lo cual para un albedo de 0.04 (típico de cometas), correspondería a un diámetro de ~ 250 km. Un cuerpo relativamente grande comparado con el tamaño típico de los asteroides. Unos meses después se descubrió el segundo objeto: 1993 FW, por el mismo equipo. Estos dos objetos fueron seguidos rápidamente por otros llegando a los 500 en 10 años. En la actualidad hay más de 1000. En la Fig. 5 se muestra la tasa de descubrimiento en el tiempo.

1.3 El debate del nombre

Como vimos, la población transneptuniana fue llamada “El Cinturón de Kuiper” por Duncan et al. 1988, cuando aun era un modelo teórico, y el nombre luego se adoptó. Bailey et al. (1990) hacen referencia al trabajo de Edgeworth pero un compatriota de Edgeworth, John McFarland, es el que argumenta fuertemente en favor del reconocimiento del trabajo de Edgeworth. Dice que el cinturón más allá de la “órbita de Neptuno, debe llamarse “Edgeworth-Kuiper Belt” (McFarland 1996).

Paul Weissman del JPL, en uno de los primeros reviews del cinturón transneptuniano, reflexiona sobre el nombre. Sin embargo, lo llama Cinturón

Figure 2:



de Kuiper, porque en sus palabras: “este nombre ha estado en uso por varios años, y parecería confuso cambiarlo ahora”

No existe una denominación oficial por la IAU. Es decir que el nombre queda a elección del usuario. En general se adoptará el nombre Cinturón de Edgeworth-Kuiper Belt o Cinturón transneptunianos y objetos transneptunianos (TNO), para los objetos más allá de Neptuno hasta algunos cientos de UA.

1.4 Descubrimiento y designación de nombres de cuerpos menores y en particular los Objetos Trans Neptunianos (TNOs).

La División III (Planetary Systems Sciences) de la IAU, funciona con Comisiones, grupos de trabajo y grupos de trabajo inter divisiones. En particular existe una Comisión que se encarga de la nomenclatura de los cuerpos pequeños integrado por unos 20 miembros entre los que está Julio Fernandez y Daniela Lazzaro. Aclaran que no venden nombres. Tiene la responsabilidad de asignar nombres con la autoridad de la IAU. La asignación de nombres está administrada por el MPC y el CBAT (Center Bureau for Astronomical Telegrams) bajo el guiado del comité.

El Minor Planet Center MPC opera en el Observatorio Astrofísico Smithsonian (Cambridge, EEUU). con el auspicio de la División III (Planetary Systems Sciences) de la IAU. Es responsable de la designación de nombres de cuerpos pequeños del Sistema Solar, Cometas y satélites naturales. También es responsable del cálculo, chequeo y disseminación de las observaciones astrométricas y órbitas mediante las Circulares de pequeños cuerpos, el Minor Planet Circulars Orbit Supplement (MPO) (issued three to twelve times per year), the Minor Planet Circulars Supplement (MPS) (issued three or four times a month) and the Minor Planet Electronic Circulars (issued as necessary, generally at least once per day).

Nombres de pequeños cuerpos.

- Designación provisoria: se les da cuando se descubren y son confirmados. Esta designación está basada en la fecha de descubrimiento a través de la siguiente fórmula:

4 dígitos que indican el año, un espacio, una letra que indica la quincena del mes (A del 1 al 15 de enero, B del 16 al 31 de enero, etc.) otra letra que indica el orden dentro de la quincena. Si hay más de 25 descubrimientos en una quincena, se comienza de nuevo con la secuencia de la segunda letra (A,B,C,...) y se le agrega un 1. Si hay más de 50 entonces se le agrega un 2, etc.

- Designación permanente: Cuando la órbita está bien determinada, o sea que se puede predecir su posición en el futuro, el objeto recibe

un número permanente (en general secuencialmente por el MPC) y se puede elegir un nombre.

- Nombre: Cuando un asteroide recibe una designación permanente se invita al descubridor del asteroide a sugerir un nombre. Los nombres deben ser aprobados por la comisión de nomenclatura de pequeños cuerpos.

1.5 Estructura general de la región transneptuniana.

El estudio de la estructura dinámica del Cinturón transneptuniano comenzó antes de que se descubriera ningún cuerpo (salvo Plutón y Charón). Se realizaron varios experimentos numéricos para analizar la estabilidad en la zona. Según las características dinámicas de la zona, se pueden distinguir en principio tres poblaciones:

- Objetos clásicos: con $\sim 41 < a < \sim 48$ con baja excentricidad ($e < 0.2$) e inclinación. Esta población se suele dividir en clásica cold y hot según la inclinación.
- Objetos resonantes: están en resonancia de movimientos medios con Neptuno. La más poblada es la 3:2 donde está Plutón y los plutinos. También hay objetos en la 1:2 ($a \sim 47.6$) y otras.
- Objetos del Disco extendido (SDOs): con gran excentricidad ($e > 0.2$), semiejes grandes y en gral $30 < q$ UA. Se dividen en SDO cercanos y Objetos del Disco extendido ($q > \sim 38$ o 39). Tienen inclinaciones de hasta 40 grados.

En la figura 6 se pueden distinguir estas poblaciones.

1.6 Datos observacionales.

Las observaciones y los elementos orbitales de los TNOs se pueden obtener como la de todos los pequeños cuerpos, del MPC. En esta base de datos, hay dos listas:

Los Centauros, que da los elementos de los Centauros y los SDOs. Aquí los SDOs son considerados con $a > 50UA$ Los TNOs que lista los TNOs excepto los SDOs. Tienen todos a entre plutinos y 50 UA.

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

Figure 3:

