

# TNOs BINARIOS

Paper de Noll et al. (2008) (libro TNOs pg. 345)

La importancia de la existencia de binarios en la región TN radica en la posibilidad de determinar la masa de las componentes.

Además, la estadística de binarios está relacionada con la formación y subsecuente evolución y condiciones de la población.

El primer ejemplo de TNB fue descubierto en 1978 en placas fotográficas tomadas para hacer astrometría de Plutón; se descubrió Charon, que con Plutón formaron el primer TNB.

El descubrimiento de Charon permitió la determinación de la masa del Sistema, la cual se había estimado por otros métodos pero con resultados muy divergentes.

EL plano orbital de Charon se vió de canto desde la Tierra unos pocos años después de su

descubrimiento. Por tanto se pudieron observar eventos mutuos cuando Charon pasó frente a Plutón o Plutón eclipsó a Charon entre 1985 y 1990.

A partir de estos eventos se pudo obtener mucha información sobre Plutón y Charon (atmosfera, composición). Los eventos mutuos ya no se repetirán por muchos años.

El segundo TNB se descubrió fortuitamente en 1998 (1998  $WW_{31}$ ) y marcó el camino hacia el descubrimiento de otros y contextualizó a Plutón y Charon como miembros de un grupo de TNOs.

La primera búsqueda de satélites de TNOs fue llevada a cabo por Brown y Trujillo con el HST comenzando en Agosto de 2000. Una serie de surveys con el HST produjeron el descubrimiento de la mayoría de los TNB conocidos.

Otros surveys desde Tierra descubrieron algunos TNB, pero han sido menos productivos que el HST debido a la limitada resolución angular comparada con el HST.

La determinación de la fracción de TNB es muy complicada, ya que depende de un gran nro de factores, mayormente de la resolución angular y de la sensibilidad. Además dada las diferentes clases dinámicas en los TNOs, la fracción de TNB puede ser diferente en cada clase.

Hasta 2008 se han descubierto 48 binarios o sistemas múltiples en la región TN o Centauros. (Ver fig1 y tabla1)

### **SURVEYS, LÍMITES OBSERVACIONALES Y BIAS**

El Survey más grande que ha buscado TNB sistemáticamente es el DES (Deep Ecliptic Survey).

De la búsqueda en 634 TNOs se encontró 1. Del seguimiento de 212 TNOs con los Magallanes para mejorar la astrometría se encontraron 3 binarios. El survey hecho con el telescopio Keck observó 150 objetos y no encontró ninguno.

De estas búsquedas se puede concluir que los binarios suficientemente separados como para ser detectados por observatorios en Tierra ocurren con una frecuencia del 1 al 2 %.

La herramienta más productiva para encontrar binarios es el HST, que encontró 41 de los 48 binarios listados en la tabla.

El primer programa para buscar TNB con el HST empezó en 2000 observando solo 2 TNO,

no encontrando compañeros.

Luego en un programa en 2001 encuentran 2 binarios de búsquedas en 25 objetos. Luego de 75 TNOs se encontraron 3. En 2003 de 82 TNOs se encontraron 9. Entre 2005 y 2007 se observaron 100 TNOs y se identificaron un nro significativo de TNB.

Hay que tener en cuenta que las detecciones son muy dependientes del instrumento con que se observe, y de otros factores como el seeing, foco, etc y además de la habilidad del modelo para sustraer la PSF de la primaria.

## FRECUENCIA DE BINARIOS

La fracción de TNB puede variar con la clase dinámica.

Los objetos en órbitas inestables, no resonantes y que crucen los planetas, tienen varios encuentros con los planetas durante su vida los cuales pueden potencialmente romper los binarios ligados débilmente.

Los objetos en el disco clásico, por el contrario, pueden haber permanecido si perturbar

y por lo tanto esta zona puede haber sido un ambiente mejor para la supervivencia de binarios.

Stephens y Noll (2006) mostraron que la frecuencia de binarios en el disco clásico frío es significativamente más alta que para otras clases. Encontraron que el  $22^{+10}_{-5}$  % de los TNOs clásicos con inclinaciones menores que  $5^\circ$  tienen binarios detectables y la tasa de binarios para las otras clases combinadas es de  $5^{+4}_{-2}$  %. (Ver fig2)

El tamaño de los TNBs también podría estar correlacionado con la frecuencia de TNB, pero todavía faltan más datos para obtener una conclusión al respecto.

La frecuencia de TNB depende de la separación del binario y de la magnitud límite. Esto es importante ya que el nro de binarios detectables en una muestra parece ser fuertemente dependiente de la separación (ver fig.4).

## PARÁMETROS FÍSICOS

La diferencia de magnitudes observadas entre dos componentes de un binario ( $\Delta_{mag}$ ), puede ser usada para calcular el cociente de los radios:

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} 10^{0.2\Delta_{mag}} \quad (1)$$

Para esto hay que suponer albedos iguales de las componentes. Pero hay que tener cuidado, porque por ej. los albedos medidos de Plutón y Charon no son iguales.

Se han encontrado hasta el momento que las componentes de los TNBs tienen tamaños relativos comparables y esto parece ser una característica de los TNBs, no un bias observacional. Los modelos de captura dan como resultado componentes de igual tamaño.

La determinación orbital de un par binario (pr. de 2 cuerpos) necesita al menos de 4 observaciones, pero esto es complicado, debido al tiempo de telescopio necesario.

De todos los TNBs descubiertos hasta la fecha, solo se pudo determinar el  $a$  de la órbita para 13 sistemas. Esto se debe a que en general no se conoce la excentricidad de la órbita y tampoco su inclinación respecto de la visual.

De estos 13 se realizó el cociente  $a/s_o$ , y se encontró que van desde 0.5 a 2, siendo la media de 0.96.

Entonces se puede usar  $s_o$  para hacer un análisis estadístico de  $a$  que se puede ver en la Fig 4.

Se ve una tendencia a tener más binarios a separaciones pequeñas, lo cual es muy robusto ya que el bias observacional iría en contra de esta tendencia.

Esta tendencia está de acuerdo con los modelos de formación.

El tema es hasta donde sigue esta tendencia. Análisis de las observaciones sugieren que un 10 – 15 % de los TNOs podrían ser binarios cercanos.

Los objetos con órbitas medidas tienen semiejes mayores entre 0.1 % a 0.8 % del radio de Hill, bien dentro de la esfera de Hill. No se sabe aun si esto es un producto de los procesos de formación o de supervivencia de los TNBs más ligados.

La masa total del sistema se puede obtener de

$$M_{sys} = \sqrt{\frac{4\pi^2 a^3}{GT^2}} \quad (2)$$

El conocimiento del período está limitado a la cantidad de tiempo que se observa al sistema, mientras que  $a$  es más complicado de obtener. Por esto, la incerteza en la determinación de la masa está dominada por la incerteza en la determinación de  $a$ .

Si se conoce la masa total del sistema, también se pueden hallar otros parámetros. Por ejemplo si se asume algún valor para la densidad del sistema (que suelen estar entre 0.5 a 2 g/cm<sup>3</sup>), entonces se podrá conocer el volumen del mismo. Por supuesto que como se reparten entre las componentes la masa y el volumen no se conoce.

Si se supone que las componentes tienen igual albedo, entonces con la ecuación 1 se pueden conocer los radios individuales

Se define al radio efectivo del sistema, como el radio de una esfera que tiene la misma superficie total que el sistema binario, esto es:

$$R_{eff} = \sqrt{R_1^2 + R_2^2} \quad (3)$$

Combinando el radio efectivo y la magnitud absoluta del sistema, se puede obtener el albedo geométrico,

$$p_\lambda = \left( \frac{C_\lambda}{R_{eff}} \right)^2 10^{-0.4H_\lambda} \quad (4)$$

Se han estimado densidades de tres TNB grandes

- Plutón y Charon:  $\rho = 2.0 \pm 0.06$  y  $\rho = 1.65 \pm 0.06 \text{ gcm}^{-3}$



- Haumea:  $\rho = 3.0 \pm 0.4 \text{ gcm}^{-3}$
- Eris:  $\rho = 2.26 \pm 0.25 \text{ gcm}^{-3}$

Se han estimado densidades de cuatro TNB pequeños con Spitzer.

- 1998  $SM_{165}$ :  $\rho = 0.7_{-0.21}^{+0.32} \text{ gcm}^{-3}$
- 1999  $TC_{36}$ :  $\rho = 0.5_{-0.2}^{+0.3} \text{ gcm}^{-3}$
- Ceto/Phorcys:  $\rho = 1.38_{-0.32}^{+0.65} \text{ gcm}^{-3}$
- Typhon/Echidna:  $\rho = 0.47_{-0.1}^{+0.18} \text{ gcm}^{-3}$



Diversidad de densidades en los TNOs.

Las excentricidades de las órbitas de los binarios van desde cerca de 0 hasta 0.8.

En un sistema binario, la fuerza de gravedad actuando sobre las partes cercana y distante de los cuerpos produce un estiramiento a lo largo de la línea que une ambos. La respuesta del cuerpo a esta flexión está caracterizada por el parámetro  $Q$ .

Este parámetro es una compleja función de la estructura interna y composición del objeto.

Debido a este “estiramiento de marea” se disipa energía, que se traduce en un cambio en los parámetros orbitales.

La tendencia general es circularizar las órbitas, alinear a los spines de ambos objetos, y hacer que ambos roten con el mismo período orbital.

Los TNB cuyos componentes están más cerca tenderán a circularizar sus órbitas mucho más rápido, que los sistemas más separados.

Los efectos de marea también sincronizan la tasa del spin del segundo componente con su período orbital (como en el caso del sistema Tierra-Luna), y en una escala de tiempo mayor, sincronizan también los períodos del componente con más masa (como por ejemplo el sistema Plutón-Charon).

Hay algunos parámetros como los espectros, curvas de luz y observaciones de colores, que nos ayudarían a conocer la composición de estos objetos y saber algo acerca de su pasado en común, pero muchas veces estos datos son difíciles de obtener para ambas componentes.

Hasta ahora, solo se pudo obtener el espectro de ambas componentes del sistema Plutón-Charon y del sistema 2003EL61 (Haumea).

En el caso del primer sistema, tienen grandes diferencias, en este caso particular estas diferencias en la composición se deben a que Plutón es capaz de retener gases como CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>, mientras que Charon no.

En el otro sistema se encontró que ambos componentes tienen un espectro dominado por hielo de agua.

Las curvas de luz dan información sobre variaciones en la superficie y formas no esféricas.

También se tienen pocas o inconclusas curvas de luz de sistemas binarios, pero aún las inconclusas pueden servir para determinar los períodos de rotación de las componentes de estos sistemas.

En cuanto a los colores, se esperaría encontrar colores similares en ambos componentes de un sistema binario, si estos tienen el mismo origen, pero de la misma manera, colores diferentes nos estarían dando evidencia de la mezcla de poblaciones en el disco protoplanetario, o diferentes historias colisionales y evolutivas de ambos componentes.

## FORMACIÓN DE BINARIOS

Los modelos de formación de binarios deben emplear procesos que hayan sido comunes en la nebulosa protoplanetaria donde se formaron, deben tener en cuenta las propiedades de los binarios observados y la supervivencia de los mismos.

Los modelos que más se han investigado han sido los de captura y/o colisión y es interesante que ambos modelos requieren que el número de objetos en la región TN sea de 2 órdenes de magnitud más grande que los actuales.

De esto se desprende que todos los TNBs observados hoy son primordiales.

## Captura

Los modelos de captura se basan, de una u otra forma, en interacciones de 3 cuerpos para remover momento angular y producir un par ligado.

Goldreich et al. (2002) describe 2 modelos:

- $L^3$  que involucra 3 cuerpos discretos
- $L^2$  en donde el tercer cuerpo es reemplazado por un coeficiente de drag dinámico correspondiente a un “mar” de cuerpos interactuando débilmente.

En este trabajo, el modelo  $L^2$  es más eficiente en formar binarios por un orden de magnitud.

Astakhov et al. (2005) explora como se fortalecen pares ligados temporariamente cuando un tercer cuerpo pasa dentro de la esfera de Hill del par.

La captura dinámica es el único escenario de formación posible para muchos TNBs con gran momento angular y es un escenario posible para la mayoría, sino todos los TNBs.

## Colisiones

Los modelos de formación por colisiones fueron propuestos para el sistema Plutón Charon y recientemente se ha demostrado que puede ser factible (Canup, 2005). Nix e Hydra, los satélites más pequeños de Plutón posiblemente se habrían formado en este mismo impacto.

Los satélites pequeños de Haumea y Eris también se habrían formado por impactos.

En algunos casos es posible distinguir entre capturas y colisiones basándose en el momento

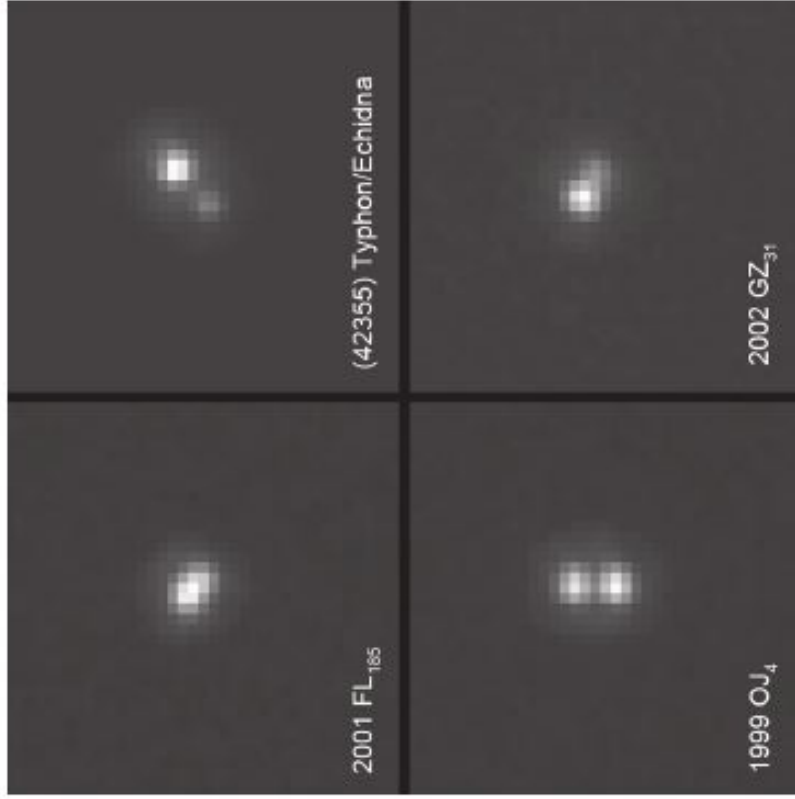
angular del binario.

Se puede mostrar que, para haberse formado por colisiones, las componentes no pueden tener demasiado momento angular.

El momento angular se suele expresar como  $J/J'$ , donde  $J$  es el momento angular combinado orbital y de spin y  $J' = \sqrt{GM_{tot}^3 R_{eff}}$ .

Canup (2005) encontró que los sistemas binarios producidos por colisiones simples tienen  $J/J' < 0.8$ . Por ej. El sistema Tierra Luna tiene  $J/J' \sim 0.1$  y Plutón/Charon tiene  $J/J' \sim 0.4$ .

Los valores de  $J/J'$  de los binarios con órbitas se muestran en la tabla 2.



**Fig. 1.** Images of 2001 FL<sub>185</sub> (top left), (42355) Typhon/Echidna (top right), 1999 OJ<sub>4</sub> (bottom left), and 2002 GZ<sub>31</sub> (bottom right). The images shown are each combinations of four separate 300-s exposures taken with the High Resolution Camera on HST. The dithered exposures have been combined using multidrizzle. The images are shown with a linear grayscale normalized to the peak pixel. The pixels in the drizzled images are 2.5 milliarcsec on a side in a nondistorted coordinate frame. Each of the four panels is 1 arcsec square. Images are oriented in detector coordinates.

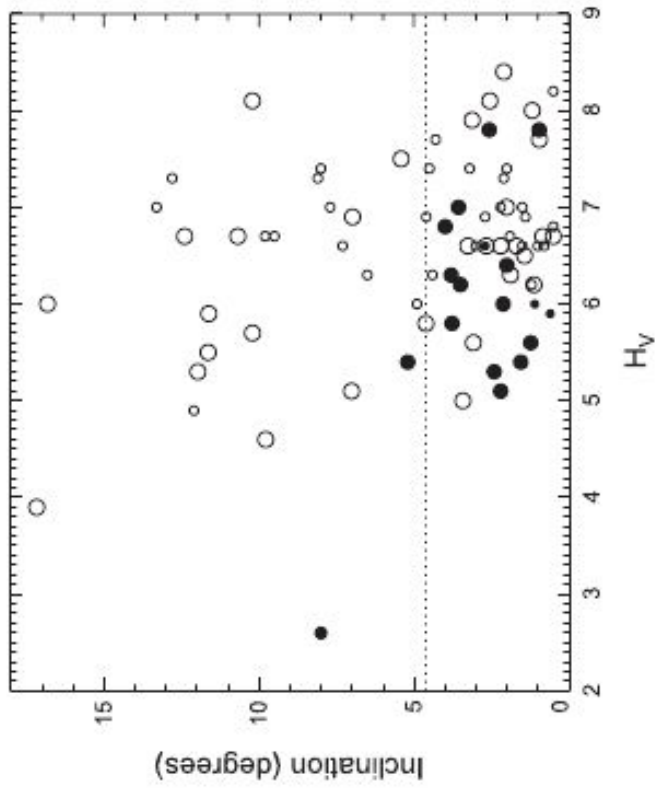
Object	Dynamical Class	Heliocentric $a_{\odot}$ (AU)	Orbit $e_{\odot}$	Elements $i_{\odot}$ ( $^{\circ}$ )	Separation $s_0$ (arcsec)	$\Delta_{\text{mag}}$	$H_V$	Reference
<b>Classical</b>								
(50000) Quaoar	H	43.609	0.037	8.0	0.35(1)	5.6(2)	2.6	[1]
(79360) 1997 CS <sub>29</sub>	C	43.876	0.013	2.2	0.07(1)	0.09(9)	5.1	[2]
(148780) 2001 UQ <sub>18</sub>	C	44.545	0.057	5.2	0.177(7)	0.7(2)	5.1	[†]
2003 QA <sub>91</sub>	C	44.157	0.067	2.4	0.056(4)	0.1(6)	5.3	[†]
2001 QY <sub>297</sub>	C	43.671	0.081	1.5	0.091(2)	0.42(7)	5.4	[†]
(88611) 2001 QT <sub>297</sub>	C	44.028	0.028	2.6	0.61(2)	0.7(2)	5.5	[3]
2001 XR <sub>254</sub>	C	43.316	0.023	1.2	0.107(2)	0.09(6)	5.6	[†]
2003 WU <sub>188</sub>	C	44.347	0.039	3.8	0.042(4)	0.7(3)	5.8	[†]
(66652) 1999 RZ <sub>253</sub>	C	42.779	0.090	0.6	0.21(2)	0.33(6)	5.9	[4]
(134860) 2000 OJ <sub>67</sub>	C	42.840	0.023	1.1	0.08(1)	0.8	6.0	[2]
2001 RZ <sub>143</sub>	C	44.282	0.068	2.1	0.046(3)	0.1(3)	6.0	[†]
1998 WW <sub>31</sub>	C	44.485	0.089	6.8	<i>1.2</i>	<i>0.4</i>	6.1	[5]
2005 EO <sub>304</sub>	C	45.966	0.080	3.4	2.67(6)	1.2(1)	6.2	[6]
2003 QR <sub>91</sub>	H	46.361	0.183	3.5	0.062(2)	0.2(3)	6.2	[†]
(80806) 2000 CM <sub>105</sub>	C	42.236	0.064	6.7	0.059(3)	0.6(1)	6.3	[2]
2003 QY <sub>90</sub>	C	42.745	0.052	3.8	0.34(2)	0.1(2)*	6.3	[7]
(123509) 2000 WK <sub>183</sub>	C	44.256	0.044	2.0	0.080(4)	0.4(7)	6.4	[8]
(58534) Logos/Zoe	C	45.356	0.119	2.9	0.20(3)	0.4(1)*	6.6	[9]
2000 CQ <sub>114</sub>	C	46.230	0.110	2.7	0.178(5)	0.4(2)	6.6	[10]
2000 CF <sub>105</sub>	C	43.881	0.037	0.5	0.78(3)	0.7(2)	6.9	[11]
1999 OJ <sub>4</sub>	C	38.067	0.023	4.0	0.097(4)	0.16(9)	7.0	[2]
2001 FL <sub>185</sub>	C	44.178	0.077	3.6	0.065(14)	0.8(6)	7.0	[†]
2003 UN <sub>284</sub>	C	42.453	0.010	3.1	2.0(1)	0.6(2)	7.4	[12]
2001 QW <sub>322</sub>	C	44.067	0.027	4.8	<i>4</i>	0.0(1)	7.8	[13]
1999 RT <sub>214</sub>	C	42.711	0.052	2.6	0.107(4)	0.81(9)	7.8	[14]
2003 TJ <sub>58</sub>	C	44.575	0.089	1.0	0.119(2)	0.50(7)	7.8	[†]
<b>Scattered</b>								
(136199) Eris	S	67.695	0.441	44.2	0.53(1)	4.43(5)	-1.2	[15]
(136108) 2003 EL <sub>61</sub>	S	43.316	0.190	28.2	0.63(2)	3.1(1)	0.2	[16]
(55637) 2002 UX <sub>25</sub>	S	42.551	0.141	19.5	0.52(3)	4.6(4)	3.6	[17]
(120347) 2004 SB <sub>60</sub>	S	42.032	0.104	24.0	0.164(3)	2.5(2)	4.4	[18]
(48639) 1995 TL <sub>8</sub>	X	52.267	0.235	0.2	0.107(3)	2.2(1)	5.4	[2]
2001 QC <sub>298</sub>	S	46.222	0.123	30.6	0.01(1)	<i>1.7</i>	6.1	[19]
2004 PB <sub>108</sub>	S	44.791	0.096	20.3	0.130(7)	0.58(3)	6.3	[20]
(65489) Ceto/Phorcys	ϕ	102.876	0.821	22.3	0.172(3)	1.2(1)	6.3	[21]
2002 GZ <sub>31</sub>	X	50.227	0.237	1.1	0.085(2)	0.6(1)	6.5	[22]
(60458) 2000 CM <sub>114</sub>	S	59.838	0.407	19.7	0.070(9)	1.0(2)	7.0	[23]
(42355) Typhon/Echidna	ϕ	38.112	0.540	2.4	0.074(6)	0.57(7)	7.2	[24]



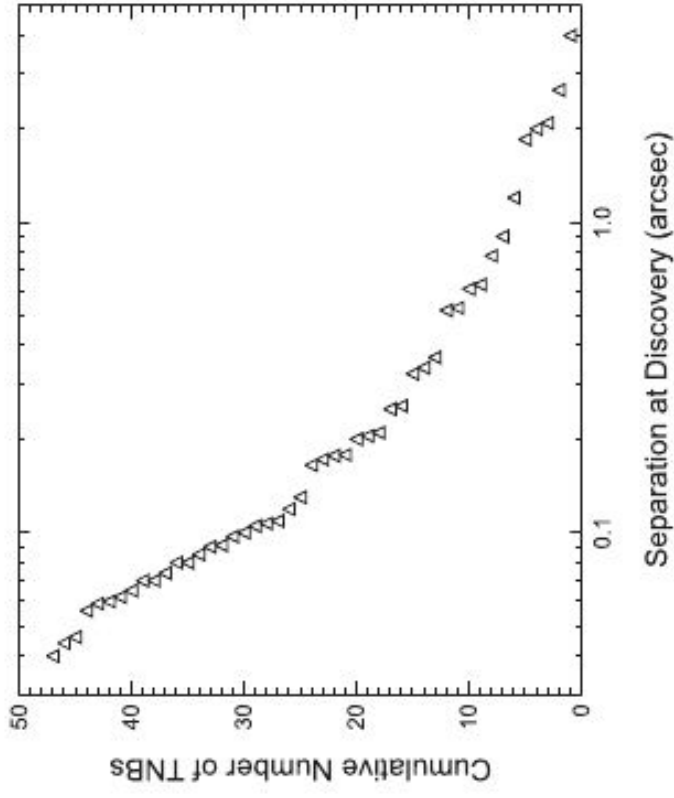
Object	Dynamical Class	Heliocentric $a_{\odot}$ (AU)	Orbit $e_{\odot}$	Elements $i_{\odot}$ ( $^{\circ}$ )	Separation $s_0$ (arcsec)	$\Delta_{\text{mag}}$	$H_V$	Reference
<b>Resonant</b>								
(134340) Pluto/Charon	3:2	39.482	0.248	17.1	0.9	2-3	-1.0	[25]
Nix								
Hydra								
(90482) Orcus	3:2	39.386	0.220	20.6	0.256(2)	2.5	2.3	[1]
2003 AZ <sub>84</sub>	3:2	39.414	0.181	13.6	0.22(1)	5.0(3)	3.9	[1]
(47171) 1999 TC <sub>36</sub>	3:2	39.270	0.222	8.4	0.367(4)	2.21(1)	4.9	[27]
(82075) 2000 YW <sub>134</sub>	8:3	57.779	0.287	19.8	0.06(1)	1.3	5.0	[2]
(119979) 2002 WC <sub>19</sub>	2:1	47.625	0.260	9.2	0.090(8)	2.5(4)	5.1	[28]
(26308) 1998 SM <sub>165</sub>	2:1	47.501	0.370	13.5	0.205(1)	2.6(3)	5.8	[29]
2003 QW <sub>111</sub>	7:4	43.659	0.111	2.7	0.321(3)	1.47(8)	6.2	[30]
2000 QL <sub>251</sub>	2:1	47.650	0.216	3.7	0.25(6)	0.05(5)	6.3	[31]
(60621) 2000 FE <sub>8</sub>	5:2	55.633	0.404	5.9	0.044(3)	0.6(3)	6.7	[20]
(139775) 2002 QG <sub>298</sub>	3:2	39.298	0.192	6.5	<i>contact?</i>	N/A	7.0	[32]

\*The brightness of Logos varies significantly as described in section 3.6.

Objects are sorted into three dynamical groups: classical (both hot, H, and cold C), scattered (includes scattered-near, S; scattered-extended, X; and Centaurs,  $\epsilon$ ), and resonant. Objects in each grouping are sorted by absolute magnitude,  $H_V$ . Uncertainties in the last digit(s) of measured quantities appear in parentheses. Table entries in italics indicate quantities that have been published without error estimates or that have been computed by the authors from estimated quantities. The  $H_V$  column lists the combined absolute magnitude of the system as tabulated by the Minor Planet Center (MPC).



**Fig. 2.** Classical TNOs observed by HST are plotted with their absolute magnitude,  $H_V$ , on the horizontal axis and their inclination to the ecliptic,  $i$ , plotted vertically. Objects observed with the HRC (30 milliarcsec resolution) are shown as large circles; less-sensitive observations made with NIC2 (75 milliarcsec resolution) are shown as smaller circles. Binaries are shown as filled circles. The dotted line at  $4.6^\circ$  is the boundary between hot and cold classical populations proposed by *Elliot et al. (2005)*. The extremely strong preference for low-inclination binaries in this sample is evident.



**Fig. 4.** The number of objects with a separation greater than or equal to a given separation is shown. The number of objects at small separation increases faster than an exponential as can be seen in this logarithmic plot. Observational bias favors detection of widely separated binaries, suggesting that the underlying distribution may rise even more rapidly with decreased separation.

TABLE 2. Physical properties of transneptunian binaries.

Object	a (km)	e	T (d)	M ( $10^{18}$ kg)	$P_\lambda$	$\rho$ ( $\text{g cm}^{-3}$ )	$J/I'$	References
(136199) Eris	36,000	0	14	16,400	0.86(7) (V)	2.26(25)	0.16	[1]
(134340) Pluto/Charon				14,570(9)			0.40	[2]
<i>Pluto</i>				13,050(620)	0.51–0.71 (V)	2.03(6)		[2]
<i>Charon</i>	19,571(4)	0.00000(7)	6.387230(1)	1,521(65)	0.38 (V)	1.65(6)	—	[4]
<i>Nix</i>	48,670(120)	0.002(2)	24.8562(13)	0.1–2.7	0.01–0.35	2.0	—	[4]
<i>Hydra</i>	64,780(90)	0.005(1)	38.2065(14)	0.2–4.9	0.01–0.35	2.0	—	[4]
(136108) 2003 EL <sub>61</sub>	49,500(400)	0.050(3)	49.12(3)	4,210(100)	0.7(1) (v)	2.9(4)	0.53	[3]
(47171) 1999 TC <sub>36</sub>	7,720(460)	0.22(2)	50.4(5)	14.4(2.5)	0.08(3) (v)	0.5(3/2)	0.31	[5]
2001 QC <sub>298</sub>	3,690(70)	0.34(1)	19.2(2)	10.8(7)	0.08(V606)	1.0	1.16	[6]
(26308) 1998 SM <sub>165</sub>	11,310(110)	0.47(1)	130(1)	6.78(24)	0.08(3/2) (V)	0.7(3/2)	0.56	[7]
(65489) Ceto/Phorcys	1840(50)	<0.014	9.557(8)	5.4(4)	0.08(2) (V)	1.4(6/3)	0.89	[8]
(66652) 1999 RZ <sub>253</sub>	4660(170)	0.46(1)	46.263(6/74)	3.7(4)	0.17 (R)	1.0	1.56	[9]
1998 WW <sub>31</sub>	22,300(800)	0.82(5)	574(10)	2.7(4)	0.054 (R)	1.0	2.22	[10]
(88611) 2001 QT <sub>297</sub>	27,880(150)	0.241(2)	825(1)	2.51(5)	0.13 (r')	1.0	3.41	[11]
(42355) Typhon/Echidna	1830(30)	0.53(2)	18.971(1)	0.96(5)	0.05 (V)	0.47(18/10)	2.13	[12]
(58534) Logos/Zoe	8,010(80)	0.45(3)	312(3)	0.42(2)	0.37(4) (R)	1.0	2.65	[13]
2003 QY <sub>90</sub>	7,000–13,000	0.44–0.93	306–321	0.3–1.7	0.19–0.35 (r')	1.0	2.14	[14]

Objects are listed in order of decreasing system mass. Uncertainties in the last digit(s) of measured quantities appear in parentheses. Table entries in italics indicate quantities that have been published without error estimates or that have been computed by the authors from estimated quantities. The components of the Pluto system are listed separately because they have had independent determinations of radius, mass, albedo, and density that are not yet available for other binary or multiple systems. The wavebands used to determine geometric albedos are shown in parentheses ( $v$  is for references citing “visual” albedo,  $V_{606}$  is the HRC’s F606W filter). Densities of  $1.0 \text{ g cm}^{-3}$  are assumed for objects without an independent size measurement. The corresponding geometric albedos are for this assumed unit density.

References: [1] *Brown et al.* (2006a,b); [2] *Baie et al.* (1997), *Baie et al.* (2006), *Rabinowitz et al.* (2006); [3] *Brown et al.* (2005a); [4] *Baie and Grundy* (2000), *Baie et al.* (2006), *Lee and Peale* (2006); [5] *Stansberry et al.* (2006); [6] *Margot et al.* (2004); [7] *Margot et al.* (2004), *Spencer et al.* (2006); [8] *Grundy et al.* (2007); [9] *Noll et al.* (2004a); [10] *Veillet et al.* (2002); [11] *Osip et al.* (2003), *Kern* (2006); [12] *Grundy et al.* (2007); [13] *Noll et al.* (2004b), *Margot et al.* (2004); [14] *Kern et al.*, in preparation.