



PROGRAMA DEL SEMINARIO DE GRADO

## EL ESPACIO TRANSNEPTUNIANO

VIGENTE DESDE EL AÑO 200

CARRERA: LICENCIATURA EN ASTRONOMÍA

CARGA HORARIA: 96 HORAS

CARÁCTER: SEMESTRAL

PLANTEL DOCENTE: DRA. ROMINA DI SISTO, DR. ADRIÁN BRUNINI Y DR. GONZALO DE ELÍA

### CONTENIDO TEMÁTICO:

#### **I) Introducción general**

Existencia de un cinturón de cometas más allá de Neptuno. El descubrimiento y el debate del nombre. Descubrimiento y designación de nombres de cuerpos menores y en particular los Objetos Trans Neptunianos (TNOs). Datos observacionales. Estructura general de la región transneptuniana. Clases dinámicas. Características físicas generales de los TNOs. Origen y modelos de formación. Objetos transneptunianos binarios. Evolución dinámica y contribución a otras poblaciones del sistema Solar.

#### **II) Origen y formación**

Historia del espacio transneptuniano. Acreción: la masa primordial, la masa actual, el problema de la pérdida de masa. El límite externo del Disco Primordial de planetesimales. Formación de binarios. Remoción temprana por el crecimiento planetario oligárquico. Inestabilidad de velocidad y eyección de planetas. Fricción dinámica y enfriamiento de los planetas sobrevivientes. La migración planetaria: captura y excitación de los objetos resonantes, migración estocástica y captura en resonancia, contribución de la migración a los Objetos del Scattered Disk (SDOs), problemas de la migración. Efecto de los encuentros estelares. El límite externo del cinturón clásico: teoría del planeta X y otras. Origen y distribución orbital del Scattered Disk (SD) y del SD extendido.

#### **III) Estructura y clases dinámicas**

Población clásica: definición y propiedades, evidencia de 2 poblaciones. Los objetos resonantes: plutinos y otras resonancias de movimientos medios. Dinámica y evolución de los plutinos. Los objetos de la población extendida: SDOs y ESDOs. Densidad y extensión radial. Distribución de inclinaciones.

#### **IV) Observaciones y propiedades físicas**

El sistema de magnitudes para pequeños cuerpos. Albedo. Ángulo de fase. Relación entre la magnitud y el tamaño. Surveys observacionales y estrategias para la detección y estudio de transneptunianos. Colores y taxonomía. Espectroscopía. Albedos: diversidad. Métodos de determinación de albedos y tamaños. El modelo térmico. Distribución de tamaños y masa: modelos teóricos y modelos a partir de observaciones. Evolución colisional. Efectos físicos de las colisiones en los TNOs. Space weathering. Los transneptunianos “grandes”: definición de planeta, definición de cuerpo menor, resoluciones de la IAU 2006.



#### **V) Evolución dinámica y contribución a otras poblaciones del sistema solar**

Revisión de otras poblaciones de pequeños cuerpos del sistema solar: Nube de Oort, Centauros, cometas. Evolución del SD. El rol de las resonancias de Kozai y de movimientos medios. El origen del SD extendido. Transferencia del SD a la Nube de Oort. El SD como fuente principal de Centauros y cometas de la familia de Júpiter. El problema de la bimodalidad de colores en Centauros, correlación con TNOs. Evolución de la población clásica, contribución a cometas eclípticos. Los Plutinos como fuente de cometas de corto período. Distribución de colores en núcleos cometarios y TNOs.

#### **VI) TNOs Binarios**

Historia y descubrimiento. Inventario. Parámetros físicos. Modelos de formación.

#### **VII) Cinturón de Kuiper en planetas extrasolares**

Disco primordial y disco de escombros. Evolución del disco de escombros y frecuencia: observaciones y predicciones teóricas. Estructura del disco. Tamaño y composición de los granos. Discos de escombros y planetas. El disco de escombros del sistema solar.

#### **VII) Conclusiones y revisión general**

En esta bolilla se realizará un resumen general de lo estudiado anteriormente con el objetivo de reafirmar las cuestiones sobresalientes y definir las cuestiones abiertas o en discusión en la actualidad.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Astakhov, S. A., Lee, E.A., Farrelly, D., (2005). Formation of Kuiperbelt binaries through multiple chaotic scattering encounters with low-mass intruders. MNRAS 360, 401-415. En Transneptunian Objects. Barucci et al. eds., University of Arizona Press. En prensa.
- [2] Moro-Martín, A., M.C. Wyatt, R. Malhotra and D. E. Trilling. 2007. Extra-Solar Kuiper Belt Dust Disks.
- [3] Bernstein, G. M., D.E. Trilling, R.L. Allen, M. E. Brown, M. Holman, R. Malhotra. 2004. The size distribution of trans-neptunian bodies. The Astronomical Journal 128, 1364-1390.
- [4] Bowell, E., B. Hapke, D. Domingue, K. Lumme, J. Peltoniemi and A. W. Harris. 1989. Application of photometric models to asteroids. In Asteroids II, R. P. Binzel, T. Gehrels, and M. S. Matthews, (Eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson, pp 524-556.
- [5] Brown, M.E. 2001. The inclination distribution of the Kuiper Belt. The Astronomical Journal 121, 2804-2814.
- [6] Brown, M.E. and C.A. Trujillo. 2004. Direct measurement of the size of the large Kuiper Belt object (50000) Quaoar. The Astronomical Journal 127, 2413-2417.
- [7] Barucci, M. A., I.N. Belskaya, M. Fulchignoni, and M. Birlan. 2005. Taxonomy of Centaurs and Trans-Neptunian Objects. The Astronomical Journal 130, 1291-1298.



- [8] Chen, W. P., y 26 coautores. 2007. Search for small Trans-Neptunian Objects by the TAOS Project. Proceedings of IAU Symposium 236. Eds: G.B. Valsecchi and D. Vokrouhlick. Cambridge University Press, 2007., pp.65-68
- [9] Chiang, E.I., and A. B. Jordan. 2002. On the Plutinos and Twotinos of the Kuiper Belt. *The Astronomical Journal* 124, 3430-3444.
- [10] Chiang, E.I., A. B. Jordan, R. L. Millis, M.W. Buie, L.H. Wasserman, J.L. Elliot, S. D. Kern, D. E. Trilling, K.J. Meech and R.M. Wagner. 2003. Resonance occupation in the Kuiper Belt: case examples of the 5:2 and trojan resonances. *The Astronomical Journal* 126, 430 - 443.
- [11] 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.
- [12] Cruikshank, D.P., Barucci, M. A., Emery, J. P., Fernández Y. R., Grundy, W. M., Noll, K.S., Stansberry, J. A. 2006. Physical Properties of Transneptunian Objects. In *Asteroids II*, R. P. Binzel, T. Gehrels, and M. S. Matthews, (Eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson, pp 879 - 893.
- [13] Di Sisto R. P. and A. Brunini. 2007, The origin and distribution of the Centaur population. *Icarus* En prensa.
- [14] Doressoundiram, A., N. Peixinho, C. Doucet, O. Mousis, M.A. Barucci, J.M. Petit and C. Veillet. 2005. The Meudon Multicolor Survey (2MS) of Centaurs and trans-neptunian objects: extended dataset and status on the correlations reported. *Icarus* 174, 90-104.
- [15] Duncan, M. and Levison, H., Budd, M.S. 1997. The dynamical structure of the Kuiper Belt. *The Astronomical Journal* 110 (6), 3073 - 3081.
- [16a] Edgeworth, K.E. The origin and evolution of the Solar System. *MNRAS* 109, 600-609.
- [16b] Elliot, J. L., S.D. Kern, K.B. Clancy, A.A.S. Gulbis, R.L. Millis, M.W. Buie, L.H. Wasserman, E.I. Chiang, A.B. Jordan, D.E. Trilling and K.J. Meech, 2005, The deep ecliptic survey: a search for Kuiper Belt objects and Centaurs II. Dynamical classification, the Kuiper Belt plane, and the core population. *The Astronomical Journal* 129, 1117-1162.
- [17] Fernández, J. A., 1980. On the existence of a comet belt beyond Neptune. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 192, 481.
- [18] Fernández, J. A., 2005, *Comets. Nature, Dynamics, Origin, and their Cosmogonical Relevance*. Astrophysics and Space Science Library, Springer.
- [19] Fernández, J. A., T. Gallardo, & A. Brunini, 2004, The scattered disk population as a source of Oort cloud comets: Evaluation of its current and past role in populating the Oort cloud. *Icarus* 172, 372-381.
- [20] Fornasier, S. A. Doressoundiram, G.P. Tozzi, M.A. Barucci, H. Boehnhardt, C. de Bergh, A. Delsanti, J. Davies and E. Dotto. 2004. ESO Large Program on physical studies of



Trans-Neptunian objects and Centaurs: Final results of visible spectrophotometric observations. 2004. *Astronomy and Astrophysics* 421, 353-363.

[21] Funato, Y., J. Makino, P. Hut, E. Kokubo and D. Kinoshita. 2004. The formation of Kuiper Belt binaries through exchange reactions. *Nature* 427, 518-520.

[22] Gladman, B., J. Kavelaars, J-M Petit, A. Morbidelli, M.J. Holman, and T. Loredó. 2001. The structure of the Kuiper Belt: size distribution and radial extent. *The Astronomical Journal* 122, 1051-1066.

[23] Goldreich, P., Lithwick, Y., Sari, R. (2002). Formation of Kuiperbelt binaries by dynamical friction and three-body encounters. *Nature*. 420, I. 6916, 643-646.

[24] Gomes, R. S. 2002. The origin of the Kuiper Belt high-inclination population. *Icarus* 161, 404 - 418.

[25] Gomes, R. S., J. A. Fernández, T. Gallardo, A. Brunini. 2005. On the origin of the high-perihelion scattered disk: the role of the Kozai mechanism and mean motion resonances. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. 91, 109-129.

[26] Gomes, R. S., J. A. Fernández, T. Gallardo, A. Brunini. 2007. The Scattered Disk: Origins, Dynamics and End States. En *Transneptunian Objects*. Barucci et al. eds., University of Arizona Press. En prensa.

[27] Grundy, W.M., K.S. Noll, D.C. Stephens. 2005. Diverse albedos of small trans-neptunian objects. *Icarus* 176, 184-191.

[28] Hahn, J. M. and R. Malhotra. 2005. Neptune's migration into a stirred-up Kuiper Belt: a detailed comparison of simulations to observations. *The Astronomical Journal* 130, 2392 - 2414.

[29] Ip, W-H and Fernández, J. A. 1997. On dynamical scattering of Kuiper Belt Objects in 2:3 resonance with Neptune into short-period comets. *Astronomy and Astrophysics* 324, 778-784.

[30] Jedicke, R., Larsen, J., Spahr, T. 1989. Observational Selection Effects in Asteroid Surveys and Estimates of Asteroid Population Sizes. In *Asteroids II*, R. P. Binzel, T. Gehrels, and M. S. Matthews, (Eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson, pp 71-86.

[31] Jewitt, D. 1996. The Plutinos. En *Completing the Inventory of the Solar System ASP Conference Series*, Vol. 107. Eds: T.W. Retting and J.M. Hahn.

[32] Jewitt, D. and Luu, J.X. 2001. Colors and Spectra of Kuiper Belt Objects. *The Astronomical Journal* 122, 2099-2114.

[33] Jewitt, D. 2002. From Kuiper Belt Objects to Cometary Nucleus. *Proceedings of Asteroids, Comets, Meteors - ACM 2002*. Ed. Barbara Warmbein. ESA SP-500. Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-810-7, 2002, p. 11 - 19.



- [34] Jewitt, D. 2002. From Kuiper Belt Objects to Cometary Nucleus: the missing ultrared matter. *The Astronomical Journal* 123, 1039-1049.
- [35] Kuiper, G. P. 1950. On the origin of the Solar System *Proceedings of the National academy of sciences* 37, 1-14.
- [36] Larsen, J.A., Gleason, A.E., Danzi, N.M., Descour, A.S., McMillan, R.S., Gehrels, T., Jedicke, R., Montani, J.L. and Scotti, J.V. 2001. The spacewatch wide-area survey for bright Centaurs and Trans-Neptunian objects. *The Astronomical Journal* 121 562-579.
- [36] Leinhardt, Z. M., S. T. Stewart, P.H. Schultz. 2007. Physical effects of collisions in the Kuiper Belt. En “The Solar System Beyond Neptune”, Arizona Press. arXiv:astro-ph/0705.3943v1.
- [37] Levison, H. and M. Duncan, 1997. From the Kuiper Belt to Jupiterfamily comets: The spatial distribution of ecliptic comets. *Icarus* 127, 13-32.
- [38] Kenyon, S. J. and B. C. Bromley. 2004. The size distribution of Kuiper Belt Objects. *The Astronomical Journal* 128, 1916 - 1926.
- [39] Kern, S.D. and J.L. Elliot. 2006. The frequency of binary Kuiper Belt Objects. *The Astrophysical Journal* 643, L57-L60.
- [40] Kuchner, M.J., Brown, M.E. and M. Holman. 2002. Long term dynamics and the orbital inclinations of the classical Kuiper Belt objects. *The Astronomical Journal* 124, 1221-1230.
- [41] Morbidelli, A., Emel’yanenko, V. and H.F. Levison, 2003. Origin and orbital distribution of the Trans-Neptunian scattered disk. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 335, 935-940.
- [42] Morbidelli, A. and M.E. Brown, 2004. The Kuiper Belt and the Primordial Evolution of the Solar System. In *Comets II*, M.C. Festou, H.U. Keller and H. A. Weaver (Eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson, pp 175-191.
- [43] Morbidelli, A., Levison, H. A. Scenarios for the origin of the orbits of the transneptunian objects 2000CR105 and 2000VB12 (Sedna). 2004. *The Astronomical Journal* 128, 2564 - 2576.
- [44] Morbidelli, A., Levison, H. L., Gomes, R. 2007. The dynamical structure of the Kuiper Belt and its primordial origin. En *Transneptunian Objects*. Barucci et al. eds., University of Arizona Press. En prensa. arXiv:astro-ph/0703558v1.
- [45] Noll, K.S., W. M. Grundy, E.I. Chiang, J.L. Margot, S.D. Kern (2007). Binaries in the Kuiper Belt. En *Transneptunian Objects*. Barucci et al. eds., University of Arizona Press. En prensa. arXiv:astro-ph/0703134v2.
- [46] Pan, M., Sari, R. 2004. Shaping the Kuiper Belt size distribution by shattering large but strengthless bodies. *Icarus* 173, 342 - 348.



- [47] Peixinho, N., A. Doressoundiram, A. Delsanti, H. Boehnhardt, M.A. Barucci, I. Belskaya. 2003. Reopening the TNOs color controversy: Centaurs bimodality and TNOs unimodality. *Astronomy and Astrophysics* 410, L29- L32.
- [48] Peixinho, N., H. Boehnhardt, I. Belskaya, A. Doressoundiram, M.A. Barucci, A. Delsanti. 2004. ESO large program on Centaurs and TNOs: visible colors - final results. *Icarus* 170, 153-166.
- [49] Petit, J.M. and O. Mousis. 2004. KBO binaries: how numerous were they?. *Icarus* 168, 409-419.
- [50] Sheppard, S.S., D. C. Jewitt, C. A. Trujillo, M. J. I. Brown, M.C.B. Ashley. 2000. A wide-field CCD survey for Centaurs and Kuiper Belt Objects. *The Astronomical Journal* 120, 2687 - 2694.
- [51] Stansberry, J., W. Grundy, M. Brown, D. Cruikshank, J. Spencer, D. Trilling, J-L. Margot. Physical Properties of Kuiper Belt and Centaur Objects: Constraints from Spitzer Telescope. En *Transneptunian Objects*. Barucci et al. eds., University of Arizona Press. En prensa. arXiv:astro-ph/0702538v1.
- [52] Stern, S. A., Weaver, H. A., Ste., A. J., Mutchler, M. J., Merline, W. J., Buie, M. W., Young, E. F., Young, L. A., Spencer, J. R. (2006). A giant impact origin for Pluto's small moons and satellite multiplicity in the Kuiper belt. *Nature*. 439, I. 7079, 943-945.
- [53] Qingjuan Y., and S. Tremaine. 1999. The dynamics of plutinos. *The Astronomical Journal* 118, 1873 - 1881.
- [54] Wan, X.-S. and T.-Y. Huang. 2001. The orbit evolution of 32 plutinos over 100 million year. *Astronomy and Astrophysics* 386, 700-705.