

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA
EL ESPACIO TRANSNEPTUNIANO

VIGENTE DESDE EL AÑO 2007

CARRERA: LICENCIATURA EN ASTRONOMÍA / DOCTORADO EN ASTRONOMÍA

CARGA HORARIA SEMANAL: 96 HORAS

CARÁCTER: SEMESTRAL

PROFESOR A CARGO: DRA. ROMINA DI SISTO , DR. GONZALO DE ELÍA

OBJETIVOS

En este seminario pretendemos abordar el estudio de los objetos del sistema Solar que se encuentran más allá de Neptuno con el objetivo de conocer la estructura, origen y evolución de la región transneptuniana.

CONTENIDO TEMÁTICO

Fundamentación: En los últimos años, el número de objetos conocidos como Centauros y Transneptunianos ha crecido enormemente gracias al avance en la observación astronómica. Sin embargo la existencia de objetos más allá de Neptuno fue sugerida en los años 50, independiente por Edgeworth y Kuiper, luego analizada teóricamente por Fernández, 1980 y confirmada recién en 1992 cuando Jewitt y Luu detectan por primera vez un objeto transneptuniano (además de Plutón y Charon). Desde entonces el número de objetos descubiertos asciende a ~ 4000 . Inclusive, muy recientemente comenzaron a descubrirse objetos binarios en la región transneptuniana y es de esperar que estos descubrimientos no sean casos aislados en estas zonas, sino que por el contrario sean bastante comunes. Tanto la teoría como la observación se han desarrollado muy rápidamente en este campo en los últimos años, por lo que el tema presenta una gran oportunidad para su revisión y estudio.

Programa analítico:

1. Introducción general.

En esta bolilla se introduce la historia de la región transneptuniana desde su concepción científico/filosófica inicial hasta su descubrimiento. También se dan en general los puntos que serán luego desarrollados en las bolillas siguientes, con el objetivo de dar una idea general del estado del tema

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.

2. Origen y formación.

Acrescencia: la masa primordial, la masa actual, el problema de la pérdida de masa. El límite externo del Disco Primordial de planetesimales. 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. El límite externo del cinturón clásico: teoría del planeta 9 y otras. Origen y distribución orbital del Scattered Disk (SD) y del SD extendido.

3. Estructura y clases dinámicas.

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

4. 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. Distribución de tamaños y masa: modelos teóricos y modelos a partir de observaciones. Los transneptunianos “grandes”: definición de planeta, definición de pequeño cuerpo, resoluciones de la IAU 2006.

5. 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. Evolución de la población clásica, contribución a cometas eclípticos. Los Plutinos y otras MMR como fuente de Centauros y cometas de corto período.

6. TNOs Binarios

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

7. 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. Detección de hielo en Discos protoplanetarios extrasolares.

BIBLIOGRAFÍA

- Astakhov, S. A., Lee, E.A., Farrelly, D., (2007). Formation of Kuiper belt 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.
- 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.
- 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.
- Brown, M.E. 2001. The inclination distribution of the Kuiper Belt. The Astronomical Journal 121, 2804-2814.
- 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.
- 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.
- 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

- Chiang, E.I., and A. B. Jordan. 2002. On the Plutinos and Twotinos of the Kuiper Belt. *The Astronomical Journal* 124, 3430-3444.
- 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.
- 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, Tuckson. pp 895-911.
- 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, Tuckson, pp 879 - 893.
- de Vries, B.L., B. Acke, J. A. D. L. Blommaert, et al. 2012. Comet-like mineralogy of olivine crystals in an extrasolar proto-Kuiper belt. *Nature*, 490, 74-76.
- Di Sisto R. P. and A. Brunini. 2007, The origin and distribution of the Centaur population. *Icarus*, 190, 224-235.
- 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.
- Duncan, M. and Levison, H., Budd, M.S. 1997. The dynamical structure of the Kuiper Belt. *The Astronomical Journal* 110 (6), 3073 - 3081.
- Edgeworth, K.E. The origin and evolution of the Solar System. *MNRAS* 109, 600-609.
- 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.
- Fernández, J. A., 1980. On the existence of a comet belt beyond Neptune. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 192, 481.
- 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.
- 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.
- 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.
- Gallardo, T. 2020. Three-dimensional structure of mean motion resonances beyond Neptune. *CMDA*, 132, 2, article id.9.
- 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.
- Goldreich, P., Lithwick, Y., Sari, R. (2002). Formation of Kuiper-belt binaries by dynamical friction and three-body encounters. *Nature*. 420, 1. 6916, 643-646.
- Gomes, R. S. 2002. The origin of the Kuiper Belt high-inclination population. *Icarus* 161, 404 - 418.

- 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.
- 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.
- Grundy, W.M., K.S. Noll, D.C. Stephens. 2005. Diverse albedos of small trans-neptunian objects. *Icarus* 176, 184-191.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. Jewitt, D. and Luu, J.X. 2001. Colors and Spectra of Kuiper Belt Objects. *The Astronomical Journal* 122, 2099-2114.
- 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.
- Jewitt, D. 2002. From Kuiper Belt Objects to Cometary Nucleus: the missing ultrared matter. *The Astronomical Journal* 123, 1039-1049.
- Kuiper, G. P. 1950. On the origin of the Solar System *Proceedings of the National academy of sciences* 37, 1-14.
- 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
- 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.
- Levison, H. and M. Duncan, 1997. From the Kuiper Belt to Jupiter-family comets: The spatial distribution of ecliptic comets. *Icarus* 127, 13-32.
- Kenyon, S. J. and B. C. Bromley. 2004. The size distribution of Kuiper Belt Objects. *The Astronomical Journal* 128, 1916 - 1926.
- Kern, S.D. and J.L. Elliot. 2006. The frequency of binary Kuiper Belt Objects. *The Astrophysical Journal* 643, L57-L60.
- 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.
- McClure M., C. Espaillat, N. Calvet, E. Bergin, P. D'Alessio, D. M. Watson, et al. 2015 Detections of trans-neptunian ice in protoplanetary disks. *The Astrophysical Journal*, 799:162 (13pp).
- 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.
- 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.
- Morbidelli, A., Levison, H. A. Scenarios for the origin of the orbits of the transneptunian objects 2000CR 1 05 and 2000V B 1 2 (Sedna). 2004. *The Astronomical Journal* 128, 2564 - 2576.

- 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.
- Moro-Martín, A., M.C. Wyatt, R. Malhotra and D. E. Trilling. 2007. Extra-Solar Kuiper Belt Dust Disks. 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.
- Pan, M., Sari, R. 2004. Shaping the Kuiper Belt size distribution by shattering large but strengthless bodies. *Icarus* 173, 342 - 348.
- 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.
- 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.
- Petit, J.M. and O. Mousis. 2004. KBO binaries: how numerous were they?. *Icarus* 168, 409-419.
- 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.
- Stansberry, J., W. Grundy, M. Brown, D. Cruikshank, J. Spencer, D. Trilling, J-L. Margot. 2007. Physical Properties of Kuiper Belt and Centaur Objects: Constraints from Spitzer Telescope. En *Transneptunian Objects*.
- Barucci et al. eds., University of Arizona Press. *Trabajos del survey: Outer Solar System Origins Survey (OSSOS) 2016 - 2020*.
- Libros:**
- The Trans-Neptunian Solar System, 2019. Dina Prialnik, M. Antonietta Barucci y Leslie A. Young Eds. Elsevier.
- Fernández, J. A., 2005, *Comets. Nature, Dynamics, Origin, and their Cosmogonical Relevance*. Astrophysics and Space Science Library, Springer.