Universiteit Leiden
The Netherlands

Dynamics of the Oort cloud and formation of interstellar comets

Torres Rodriguez, S.

Citation

Torres Rodriguez, S. (2020, April 30). *Dynamics of the Oort cloud and formation of interstellar comets*. Retrieved from https://hdl.handle.net/1887/87515

Version:	Publisher's Version
License:	Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden
Downloaded from:	https://hdl.handle.net/1887/87515

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page

Universiteit Leiden

Leiden University Repository

The handle http://hdl.handle.net/1887/87515 holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Torres Rodriguez, S.
Title: Dynamics of the Oort cloud and formation of interstellar comets
Issue Date: 2020-04-30

Resumen

El **objectivo** de mi tesis es realizar un estudio detallado de la nube de Oort del sistema solar y la formación y evolución de cometas interestelares.

El sistema solar se formó hace aproximadamente 4.560 millones de años. A pesar de las teorías que se han desarrollado a lo largo de los años, la formación y evolución del sistema solar aún no está clara (Pfalzner et al. 2015, ver referencias). Sin embargo, se han realizado varios avances en nuestro conocimiento sobre el sistema solar. La teoría más aceptada sobre su formación y evolución temprana describe un colapso gravitacional de una densa nube de gas y polvo interestelar. La conservación del momento angular indujo una rápida rotación de la nube colapsada, comprimiendola hasta convertirse en un disco protoplanetario. En la región central y más densa del disco, se crea entonces, una estrella: nuestro Sol. De manera similar, se desarrollaron estructuras grumosas en el disco. Estas eventualmente crecieron para formar planetas, planetas enanos y lunas. Las restos de este proceso llevaron a la formación de cuerpos pequeños, como asteroides y cometas. Así es como se formaron los cinco tipos principales de objetos en el sistema solar; Sol, planetas, planetas enanos, lunas y cuerpos menores (asteroides y cometas). Una representación esquemática del sistema solar se muestra en Fig. R1.

Para comprender mejor la formación y evolución del sistema solar, se necesitan modelos dinámicos. En particular, el estudio de los cometas puede revelar información crítica sobre este proceso. Las órbitas de los cometas en la parte interna de la nube de Oort forman un registro de la evolución del sistema solar. En la actualidad, los cometas en esta región están ubicados a distancias tan lejanas del centro del sistema solar que las perturbaciones de los planetas son insignificantes. Estos, corren el riesgo de ser separados por las estrellas que pasan o incluso por el campo gravitacional de la Vía Láctea. Especialmente los cometas en las regiones externas son más sensibles a dicha influencia externa, ya que durante las primeras fases de la formación del sistema solar (e.g., Torres et al. 2019a,b). Estas

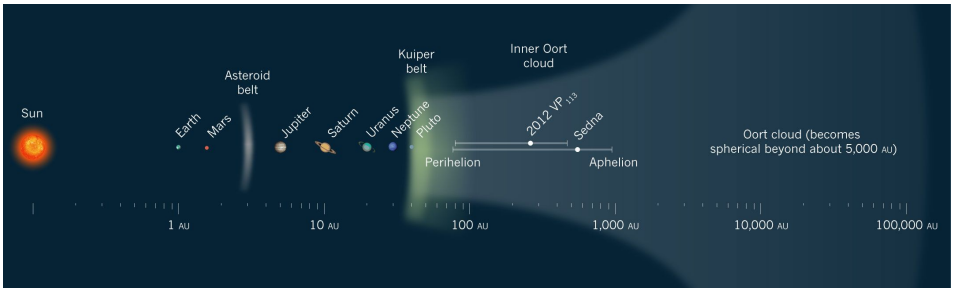

Figure R1: El sistema solar. Tomado de Schwamb (2014).

influencias externas han estado dando forma a la nube de Oort a lo largo de su historia, produciendo lluvias de cometas que llegan a la región planetaria y enviando cometas hacia el espacio interestelar, formando cometas interestelares.

Estudiar la evolución dinámica de los cometas puede ayudarnos a restringir y comprender la formación y evolución del sistema solar. Tanto la historia de los encuentros entre el sistema solar y las estrellas cercanas como el efecto de las mareas de la galaxia son componentes clave. La distribución actual de las estrellas cercanas y el potencial galáctico son bastante conocidos. La misión Gaia (Gaia Collaboration et al. 2018, 2016) produjo una muestra completa de magnitud limitada de estrellas cercanas. Estas estrellas dominan el potencial galáctico local y dan lugar a encuentros cercanos ocasionales. Por lo tanto, los datos de Gaia pueden usarse como plantillas para las condiciones iniciales en simulaciones detalladas en diferentes momentos en el tiempo. La combinación de técnicas analíticas, observacionales y numéricas son los componentes clave para restringir y comprender mejor la formación y la evolución dinámica del sistema solar.

En esta tesis, exploré la formación y la evolución dinámica de los cometas en el cinturón de Kuiper/disco disperso y la nube de Oort, teniendo en cuenta las perturbaciones externas, como las estrellas cercanas al Sol y el campo de marea galáctico. Como consecuencia de estas perturbaciones, se investigó la formación y evolución de los cometas interestelares. Esta tesis se divide en cuatro capítulos. El Capítulo 2 se enfoca en el origen del objeto interestelar 1I/2017 U1 'Oumuamua, usando comparaciones entre estimaciones basadas en observaciones con simulaciones (Sect. 2). El Capítulo 3 se centra en la evolución dinámica de la nube de Oort después

de la interacción con las estrellas que cercanas al Sol y el campo de mareas galáctico (Sect. 3). En el Capítulo 4, estudié la formación y evolución del cinturón de Kuiper/disco disperso del sistema solar y la nube de Oort en las primeras etapas de su formación, cuando el Sol todavía estaba en su grupo de nacimiento (Sect. 4). Finalmente, el Capítulo 5 explora la formación de cometas interestelares en las estrellas vecinas del Sol (Sect. 5). A continuación, resumo cada capítulo y las preguntas clave de investigación abordadas en esta tesis.

1. ¿Cuál es el efecto de múltiples encuentros estelares y el campo de mareas galáctico en los cometas en nubes de Oort y estructuras similares? (Capítulos 3 y 5).
2. ¿Fue la formación de la nube de Oort provocada por la interacción entre los planets, el disco de escombros y encuentros estelares en el sistema solar temprano? (Capítulo 4).
3. ¿De dónde vienen los cometas interestelares y cómo se forman? (Capítulos 2 y 4).

Capítulo 2 Basado en: *El origen de los objetos asteroides interestelares como 1I / 2017 U1 'Oumuamua*, MNRAS 479, L17-L22 201, (Portegies Zwart, Torres et. al., 2018). Estudié el origen del objeto interestelar 1I/ 'Oumuamua comparando estimaciones basadas en observaciones con simulaciones. Utilizando los datos astrométricos de Gaia-TGAS (Gaia Collaboration, Brown et al. 2016), integré la órbita de 'Oumuamua y todas las estrellas dentro de 50 pc del Sol. Encontré que hace aproximadamente 1.3 Myr 'Oumuamua pasó cerca de la estrella HIP 17288, y tuvo otros tres encuentros cercanos durante su viaje hacia el sistema solar. Exploré los diferentes escenarios de formación para 'Oumuamua y concluí que objetos como' Oumuamua se forman en el disco de escombros como restos del proceso de formación de estrellas y planetas. Descubrí que la densidad galáctica media de los cometas interestelares en el vecindario solar es $\sim 10^{14}$ por parsec cúbico, lo que significa que esperamos de 2 a 12 visitantes por año dentro de 1 au del Sol.

Capítulo 3 Basado en: *Marea galáctica y perturbaciones estelares locales en la nube de Oort: creación de cometas interestelares*, A&A 629,

A139, (Torres et. al., 2019). Usando las posiciones, paralaje y movimientos propios de la misión Gaia y combinándolos con velocidades radiales de RAVE-DR5 (Kunder et al. 2017), GALAH DR2 (Buder et al. 2018), LAMOST DR3 (Zhao et al. 2012), APOGEE DR14 (Abolfathi et al. 2018) y XHIP (Anderson & Francis 2012). Construí un catálogo de las estrellas cercanas al Sol. Luego, calculé los encuentros más cercanos que el Sol ha tenido con otras estrellas en el pasado reciente y que tendré en el futuro cercano (Torres et. al., 2017; Torres et. al., 2019). Encuentré que la estrella GJ710 se acercará al Sol en 1.3 Myr a una distancia de 0.06 pc, a diferencia de 0.3 pc como lo predijeron estudios previos (por ejemplo, Dybczyński & Berski 2015, y referencias). Luego, utilizando el catálogo de estrellas cercanas, estudié la evolución dinámica de los cometas en la nube de Oort, considerando la perturbación del campo de mareas galáctico y el efecto acumulativo de las estrellas vecinas. Descubrí que los cometas en el borde externo de la nube de Oort (80,000-100,000 au) son altamente perturbados y, como resultado, el semi-eje mayor de aproximadamente 1.1 % de los cometas alcanza distancias hasta las regiones interestelares. Dado que estos cometas aún están unidos al sistema solar, adquiere el nombre *cometas interestelares de transición* (TIC por sus siglas en inglés). El primer candidato es el cometa C/2018 V1 (de la Fuente Marcos & de la Fuente Marcos 2019).

Capítulo 4 Basado en: *Evolución dinámica del disco de escombros del sistema solar en su grupo de nacimiento*, enviado a A&A recomendado para publicación (Torres et. al., 2019b). Estudie la creación y evolución de la nube de Oort del sistema solar en las primeras etapas de su formación cuando el Sol todavía estaba en su cúmulo de nacimiento. Construí dos modelos para el sistema solar. En el primer modelo, asumí un disco de escombros compacto (16-35 au), mientras que en el segundo asumimos un disco de escombros extendido (40-1000 au). Para ambos modelos, considere las perturbaciones de los planetas gigantes y las estrellas cercanas en el cúmulo estelar. Encontré que la forma más eficiente de perturbar un disco es cuando el ángulo de interacción entre el sistema solar y el perturbador está entre 0-30 grados, independientemente del tamaño de este. Además, descubrí que la creación de la nube de Oort fue provocada por encuentros seculares de estrellas en el cúmulos, que indujeron la formación del disco disperso, Sedna y objetos similares a la nube de Oort; mientras que los planetas gigantes crearon objetos del cinturón de Kuiper. Además,

aproximadamente 36 % de los objetos en el disco fueron expulsados convirtiéndose en cometas interestelares.

Capítulo 5 Basado en: *Evolución dinámica de las nubes de Oort alrededor de estrellas vecinas al Sol debido a perturbaciones estelares locales y al campo de mareas galáctica*, enviado a A&A, (Torres et. al., 2020). Utilizando el catálogo de las estrellas cercanas al Sol construido en Torres et al. (2018, 2019a), y los métodos desarrollados en Torres et al. (2019a,b), calculé los encuentro más cercano que cada una de las estrellas vecinas del Sol experimentaron dentro de 3 pc y que poseen datos astrométricos de Gaia DR2, es decir los sistemas Proxima Centauri, estrella de Barnard, Gliese 65, Ross 154 y Ross 248. Encontré que, en promedio, las estrellas en el vecindario solar experimentan alrededor de 40-55 encuentros cercanos durante 20 Myr, principalmente con estrellas enanas. Luego calculé el efecto de las estrellas perturbadoras y el campo de mareas galáctico en los cometas en las nubes exo-Oort en los sistemas seleccionados. El sistema más perturbado en un intervalo de tiempo de 20 Myr es Gliese 65 seguido de Ross 154, la estrella de Barnard, Ross 248 y finalmente Proxima Centauri. Para Gliese 65, la tasa de producción de cometas interestelares de transición y objetos interestelares es de aproximadamente 40 $\times 10^8$TIC Myr $^{-1}$ y 1.4 $\times 10^{10}$ ISO Myr $^{-1}$. Para el resto de los sistemas, la tasa de producción de TIC es de aproximadamente 2.1 a 3.8×10^8 TIC Myr $^{-1}$. Esto implica que un número considerable de cometas interestelares residen en el vecindario local. Por lo tanto, el Sol y sus vecinos son visitados por cometas interestelares procedentes de otras estrellas. De esta manera, es plausible que exista una nube de cometa interestelar.