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.

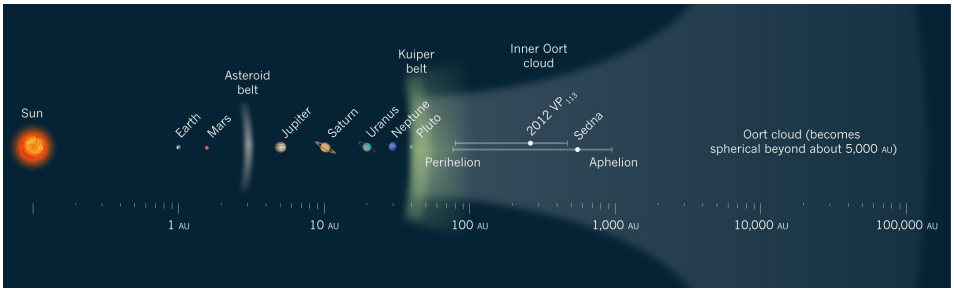
Author: Torres Rodriguez, S.
Title: Dynamics of the Oort cloud and formation of interstellar comets
Issue Date: 2020-04-30

Samenvatting

Het **doel** van mijn thesis is om een uitgebreide studie uit te voeren naar de Oortwolk van het zonnestelsel en de vorming en evolutie van interstellaire kometen.

Het zonnestelsel is bij benadering 4.56 miljard jaar geleden gevormd. Ondanks de vele theoriën die door de jaren heen ontwikkeld zijn blijft het ontstaan en de evolutie van het zonnestelsel onduidelijk (Pfalzner et al. 2015, en referenties daarin). Er zijn echter verscheidene vorderingen gemaakt in onze kennis van het zonnestelsel. De meest geaccepteerde theorie over het ontstaan en de vroege evolutie beschrijft het instorten van een dichte wolk interstellair gas en stof onder zijn eigen zwaartekracht. Het behoud van hoekmoment induceerde een snelle rotatie van de instortende wolk en platte het af tot een protoplanetaire schijf. In het centrale, meest dichte deel van de schijf werd een ster gevormd, onze Zon. Op een soortgelijke manier vormden klonterige structuren in de schijf. Deze groeiden uiteindelijk uit tot planeten, dwergplaneten en manen. Het restant hiervan leidde tot de vorming van kleine lichamen zoals asteroïden en kometen. Dit is hoe de vijf voornaamste type objecten in het zonnestelsel werden gevormd; de Zon, planeten, dwergplaneten, manen en kleinere lichamen (asteroïden en kometen). Een schematische weergave van het zonnestelsel is te zien in Fig. S1.

Om het ontstaan en de evolutie van het zonnestelsel beter te begrijpen zijn dynamische modellen nodig. Met name het bestuderen van kometen kan cruciale informatie geven over dit proces. In de banen van kometen in het binnenste deel van de Oortwolk is de evolutie van het zonnestelsel vastgelegd. Momenteel bevinden kometen in deze regio zich op zulke grote afstanden van het centrum van het zonnestelsel dat verstoringen door planeten verwaarloosbaar zijn. Ze lopen eerder het risico om weggerukt te worden door passerende sterren of het getijdenveld van de Melkweg zelf. Vooral kometen in de buitenste regio's zijn gevoelig voor deze externe invloeden, al vanaf de vroege stadia van het onstaan van het zonnestelsel (Gaia Collaboration et al. 2018, 2016). Deze externe invloeden hebben de



Figuur S1: Het zonnestelsel. Meegenomen van Schwamb (2014).

.

Oortwolk door zijn geschiedenis heen gevormd, kometenzwermen producerend die tot in de planetaire regio reikten en kometen wegrukkend naar de interstellaire ruimte, waar ze interstellaire kometen werden.

Het bestuderen van de dynamische evolutie van kometen kan ons helpen het ontstaan en de evolutie van het zonnestelsel beter te begrijpen. Zowel de geschiedenis van ontmoetingen tussen het zonnestelsel en naburige sterren en het effect van de getijden van de Melkweg zijn belangrijke onderdelen. De huidige verdeling van naburige sterren en het galactisch potentiaal zijn redelijk bekend. De Gaia missie (Gaia Collaboration et al. 2018, 2016) leverde een magnitude-gelimiteerd volledig monster op van naburige sterren. Deze sterren domineren de plaatselijke galactische potentiaal en komen af en toe dicht bij de Zon. Derhalve kunnen gegevens van Gaia dienen als basis voor de begincondities van gedetailleerde simulaties op verschillende momenten in de tijd. Het combineren van analytische, observationele en numerieke technieken is belangrijk om het onstaan en de evolutie van het zonnestelsel beter te begrijpen.

In deze thesis heb ik het ontstaan en de evolutie van kometen in de Kuipergordel/verstrooide schijf en de Oortwolk onderzocht, rekening houdend met verstoringen zoals van passerende sterren en het galactisch getijdenveld. Het ontstaan en de evolutie van interstellaire kometen als gevolg van deze verstoringen zijn onderzocht. Deze thesis is verdeeld in vier hoofdstukken. Hoofdstuk 2 behandelt de oorsprong van het interstellaire object I1/2017 U1 'Oumuamua door schattingen gebaseerd op waarnemingen te vergelijken met simulaties (Sect. 2). Hoofdstuk 3 richt zich op de dynamische evolutie van de Oortwolk na interactie met passerende sterren en het galactisch getijdenveld (Sect. 3). In Hoofdstuk 4 bestudeer ik het ontstaan en de evolutie van de Kuipergordel/verstrooide schijf en de Oortwolk van

het zonnestelsel in het vroege stadium van hun ontstaan, toen de Zon zich nog in zijn geboortecluster bevond (Sect. 4). Tenslotte verkent Hoofdstuk 5 de vorming van interstellaire kometen van naburige sterren van de Zon (Sect. 5). Hieronder vat ik elk hoofdstuk en de belangrijkste onderzoeksvragen in deze thesis samen.

1. Wat is het effect van meerdere stellaire ontmoetingen en het galactisch getijdenveld op kometen in Oortwolk-achtige structuren? (Hoofdstukken 3 en 5).
2. Is het ontstaan van de Oortwolk veroorzaakt door planeetschijf interacties en stellaire ontmoetingen in het vroege zonnestelsel? (Hoofdstuk 4).
3. Waar komen interstellaire kometen vandaan en hoe onstaan ze? (Hoofdstukken 2 en 4).

Hoofdstuk 2 Gebaseerd op: *The origin of interstellar asteroidal objects like 1I/2017 U1 'Oumuamua*, MNRAS 479, L17-L22 201, (Portegies Zwart, Torres et. al., 2018). Ik heb de oorsprong van het interstellaire object 1I/ 'Oumuamua bestudeerd door schattingen gebaseerd op waarnemingen te vergelijken met simulaties. Gebruikmakend van astrometrische data van Gaia-TGAS (Gaia Collaboration, Brown et al. 2016) heb ik de baan van 'Oumuamua en alle sterren binnen 50 pc van de Zon geïntegreerd. Ik bevond dat ongeveer 1.3 miljoen jaar geleden 'Oumuamua de ster HIP 17288 van dichtbij passeerde, en drie andere ontmoetingen had tijdens haar reis naar de Zon. Ik heb verschillende scenario's voor de vorming van 'Oumuamua onderzocht en geconcludeerd dat objecten zoals 'Oumuamua gevormd worden in de puinschijf als een restant van het ster- en planeetvormingsproces, en vervolgens worden vrijgemaakt van de ster. Ik bevond dat de gemiddelde galactische dichtheid van interstellaire kometen in de buurt van de Zon $\sim 10^{14}$ per kubieke parsec is, wat betekent dat we elk jaar 2–12 van zulke bezoekers kunnen verwachten binnen 1 au van de Zon.

Hoofdstuk 3 Gebaseerd op: *Galactic tide and local stellar perturbations on the Oort cloud: creation of interstellar comets*, A&A 629, A139, (Torres et. al., 2019). Gebruikmakend van de posities, parallaxen en eigenbewegingen in de Gaia data en dat combinerend met radiële snelheids-

metingen van RAVE-DR5 (Kunder et al. 2017), GALAH DR2 (Buder et al. 2018), LAMOST DR3 (Zhao et al. 2012), APOGEE DR14 (Abolfathi et al. 2018), en XHIP (Anderson & Francis 2012), stelde ik een catalogus samen van de buursterren van de Zon. Toen berekende ik de ontmoetingen die de Zon in het verleden heeft gehad met andere sterren en in de toekomst gaat hebben (Torres et. al., 2017; Torres et. al., 2019). Ik vond dat de ster GJ710 over 1.3 miljoen jaar de Zon gaat naderen tot op een afstand van 0.06pc in plaats van 0.3pc zoals voorspeld door eerdere studies (e.g., Dybczyński & Berski 2015, en referenties daarin). Daarna bestudeerde ik, gebruikmakend van deze catalogus van nabije sterren, de dynamische evolutie van kometen in de Oortwolk, rekening houdend met het galactisch getijdenveld en het cumulatieve effect van dichtbij passerende sterren. Ik vond dat kometen aan de rand van de Oortwolk (80,000-100,00 au) hevig verstoord worden waardoor de halflange assen van ∼1.1% van de kometen toenemen tot in de interstellaire regio's. Aangezien kometen nog steeds gebonden zijn aan het zonnestelsel beschouwen we ze als *transitionele interstellaire kometen* (transitional interstellar comets, TICs). De eerste TIC kandidaat is de komeet C/2018 V1 (de la Fuente Marcos & de la Fuente Marcos 2019).

Hoofdstuk 4 Gebaseerd op: *Dynamical evolution of the solar system debris disk in its birth cluster*, ingediend bij A&A, aanbevolen voor publicatie (Torres et. al., 2019b). We hebben het ontstaan en de evolutie van de Oortwolk van het zonnestelsel bestudeerd in de vroege stadia van zijn vorming toen de Zon zich nog in zijn geboortecluster bevond. Ik heb twee modellen voor het zonnestelsel opgezet. In het eerste model namen we een compacte puinschijf aan (16-35 au), en in de tweede een grotere puinschijf (40-1000 au). Voor beide modellen houden we rekening met verstoringen van de reuzenplaneten en van nabije sterren in de cluster. Ik bevond dat de meest efficiënte manier om een schijf te verstoren is wanneer de hoek van de wisselwerking tussen het zonnestelsel en de verstoorder tussen 0-30 graden ligt, onafhankelijk van de grootte van de schijf. Daarnaast bevonden we dat de vorming van de Oortwolk veroorzaakt werd door nabije ontmoetingen met andere sterren, die de verstrooide schijf, Sedna en Oortwolk-achtige objecten produceren, terwijl de reuzenplaneten Kuipergordelobjecten maken. Daarnaast wordt ongeveer 36% van de planetesimalen uitgeworpen en wordt interstellaire kometen.

Hoofdstuk 5 Gebaseerd op: *Dynamical evolution of exo-Oort clouds around the Sun's closest neighbours stars due to local stellar perturbations and the Galactic tidal field*, ingediend bij A&A, (Torres et. al., 2020). Gebruikmakend van de catalogus van meest dichtbije sterren geconstrueerd in (Torres et. al., 2017; Torres et. al., 2019), en van de methodes ontwikkeld in (Torres et. al., 2019; Torres et. al., 2019b), berekende ik de meest dichtbije ontmoetingen voor elk van de buursterren van de Zon binnen 3 pc en die nauwkeurige astrometrische gegevens van Gaia DR2 hadden, namelijk voor Proxima Centauri, de Ster van Barnard, Gliese 65, Ross 154 en Ross 248. Ik bevond dat de sterren in de buurt van de Zon gemiddeld rond de 40-55 dichtbije ontmoetingen ervaren gedurende 20 miljoen jaar, voornamelijk met M-dwergsterren. Toen rekende ik het effect van passerende sterren en het galactisch getijdenveld uit op de kometen in de exo-Oortwolken rond de buursterren van de Zon. Het meest verstoorde systeem gedurende een tijdsinterval van 20 miljoen jaar is Gliese 65, gevolgd door Ross 154, de Ster van Barnard en Ross 248 en uiteindelijk Proxima Centauri. Voor Gliese 65 is de productiesnelheid van transitionele interstellaire kometen en interstellaire objecten ongeveer 40×10^{8} TIC per miljoen jaar en 1.4×10^{10} ISO per miljoen jaar. Dit impliceert dat er een aanzienlijk aantal interstellaire kometen in de buurt van de Zon is. Derhalve worden de Zon en zijn buren bezocht door interstellaire kometen die van andere sterren komen. Op deze manier is het aannemelijk dat een interstellaire kometenwolk bestaat.