

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
CAMPUS GUANAJUATO
DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS



SOBRE LA ESTABILIDAD DE
DISCOS CIRCUMPLANETARIOS

Tesis presentada al
POSGRADO EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

como requisito para la obtención del grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

por
OSCAR IGNACIO BARRAGÁN VILLANUEVA

asesorado por
DR. ERICK NAGEL VEGA

Guanajuato, Gto. - Agosto, 2015

UNIVERSITY OF GUANAJUATO
GUANAJUATO CAMPUS
NATURAL AND EXACT SCIENCES DIVISION



ON THE STABILITY OF
CIRCUMPLANETARY DISKS

Thesis submitted to the
ASTROPHYSICS GRADUATE PROGRAM

as a requirement to obtaining the degree
MASTER OF SCIENCE (ASTROPHYSICS)

by
OSCAR IGNACIO BARRAGÁN VILLANUEVA

advisor
DR. ERICK NAGEL VEGA

Guanajuato, Gto. - August 2015

*A la memoria de “Juanito”,
abuelo, padre y amigo,
sin ti, esto no hubiera sido posible.*

*To the memory of “Juanito”,
grandpa, father and friend,
without you, this would not have been possible.*

Equipado con sus cinco sentidos,
el hombre explora el Universo que lo rodea
y llama a esa aventura Ciencia.

—
Equipped with his five senses,
man explores the Universe around him
and calls the adventure Science.

– Edwin P. Hubble –

Agradecimientos

- A Maty, Ángel, Omar y Luis, y a todos los Barraganes y Villanuevas, en especial a Male y a Juanito, por enseñarme a vivir...
- A mi gran amor Mariana por su inigualable apoyo y paciencia en este proceso y por siempre contentarme con su sonrisa. De igual forma a su familia, los Sres. Sergio y Ana, y a Tello...
- A Erick, por guiarme por el camino de la astronomía, siempre con calidad y sencillez. De igual forma a Ramiro y Francisco, los cuatro formamos el mejor equipo de trabajo posible...
- A los Dres. Eneens, Caretta, Jack y Papaqui, por tener la paciencia y el interés para leer y corregir esta tesis, que ahora está mucho mejor gracias a sus comentarios...
- Al más dorado de todos los coordinadores y su equipo de trabajo, por permitirnos seguir siendo “nerds” en un entorno agradable y digno...
- A mis amigos que se convirtieron en mis hermanos, “Bear”, “Garza”, “Popochas”, “Guapo” y a la banda “Rigoletos”, porqué llegamos a ser lo que somos juntos...
- A los otros tres fantásticos: Jorge, Fernando y Lauren, por las incontables aventuras que hemos tenido y por ayudarnos siempre en todo.
- A todos mis amigos proto-científicos, que siempre hemos sabido llevarla en las buenas y en las malas. No están aquí sus nombres, porque son muchos, pero ustedes saben quienes son...
- A la Universidad de Guanajuato, por ser una institución de calidad internacional que siempre ve a favor de los estudiantes...
- A CONACyT, por permitir que los jóvenes emprendedores puedan salir adelante y por haberme mantenido dos años...
- A los Dres. F. Masset y G. Hoissenberg, por el gran curso de “Súper cómputo y GPU’s”. En especial al Dr. F. Masset por abrir al público un código tan versátil como FARGO3D.
- A todo valiente que lea esta tesis (completa)...

¡MUCHAS GRACIAS!

Resumen

Los planetas gigantes del sistema solar tienen sistemas de lunas regulares alrededor de ellos, observaciones sugieren que su formación está ligada a la creación del planeta mismo. Los planetas se forman a partir del material de discos circumestelares, que son producto del proceso de formación estelar. Protoplanetas gigantes embebidos en discos circumestelares forman un disco circumplanetario alrededor de ellos con el material que es acretado, de este material se deben de formar las lunas. Con el objetivo de estudiar este fenómeno en detalle, en este trabajo se realizan simulaciones hidrodinámicas tridimensionales de sistemas planetarios en formación utilizando el código `FARGO3D`. Se estudia la evolución de un protoplaneta tipo Júpiter embebido en un disco protoplanetario orbitando una estrella con una masa solar. Se investiga la formación del disco circumplanetario alrededor de este planeta. El disco circumplanetario se forma por material que cae verticalmente proveniente del disco circumestelar. El disco circumplanetario tiene una distribución de masa dada por $\Sigma_{\text{CPD}} \propto r^{-1.9}$ y $\rho_{\text{CPD}} \propto r^{-3}$. El disco es grueso, con una tasa de $h/r \approx 0.4$. Rota con un perfil sub-kepleriano, siguiendo una ley de potencia $\Omega_z \propto r^{-1.7}$. Tiene un tamaño de $1/3$ el radio de Hill. La masa dentro de este radio es $\sim 0.03m_p$. Se encontró que los discos circumplanetarios son estructuras gravitacionalmente muy estables. Esta estabilidad es dada por su dinámica, por encima de su termodinámica. Por lo cual, se espera que todos los discos circumplanetarios sean estables. Esto implicaría que no hay formación de lunas a partir de inestabilidades gravitacionales. Sin embargo, los discos circumplanetarios poseen una cantidad ideal de masa y momento angular para formar lunas, por lo cual son excelentes reservorios para formar satélites alrededor de planetas gigantes. Ya que son una consecuencia natural de la formación planetaria, esperamos que exoplanetas gigantes posean sistemas de lunas alrededor de ellos.

Abstract

Giant planets in the solar system have regular moons around them, observations suggest that their formation is linked with the host planet creation itself. Planets form from circumstellar disks material, this is product of the star forming process. Embedded giant protoplanets in circumstellar disks form a circumplanetary disk around them from the accreted circumstellar disk material, from this material moons should form. With the aim to study this phenomenon in detail, in this work, hydrodynamic three dimensional simulations of planetary systems in formation are performed using the `FARGO3D` code. The evolution of a Jupiter-like protoplanet embedded in a protoplanetary disk orbiting a solar mass star is studied. We investigate the formation of the circumplanetary disk around the protoplanet. The circumplanetary disk is formed by vertical inflow of material which comes from the circumstellar disk. The circumplanetary disk follows a mass distribution given by $\Sigma_{\text{CPD}} \propto r^{-1.9}$ and $\rho_{\text{CPD}} \propto r^{-3}$. We found a thick disk with an aspect ratio of $h/r \approx 0.4$. The disk rotates with a sub-keplerian profile, following a power law $\Omega_z \propto r^{-1.7}$. It has a size given by $1/3$ the Hill radius. The mass inside this radius is $\sim 0.03m_p$. Circumplanetary disks are gravitationally very stable structures. This stability is given by its dynamics, rather than its thermodynamics. Hence, we expect that all circumplanetary disks are stable. This would imply that there is no moon formation due to gravitational instabilities. Nevertheless, circumplanetary disks have an ideal quantity of mass and angular momentum to form moons, they are excellent reservoirs to form moons around giant planets. Since they are a natural consequence of planetary formation, we expect that giant exoplanets have moons systems around them.

