

ANILLOS PLANETARIOS

Dolores Maravilla
Departamento de Física Espacial
Instituto de Geofísica-UNAM

La exploración espacial realizada por las sondas Viajero 1 y Viajero 2 ha contribuido preponderantemente al conocimiento de los cuerpos que pueblan el sistema solar exterior pues permitió la identificación de gran variedad de estructuras en las atmósferas planetarias, así como el descubrimiento de nuevos satélites y anillos sumergidos en los medios magnetosféricos.

De los descubrimientos más importantes realizados por las sondas mencionadas, destacan particularmente dos de ellos: las manchas parecidas a la gran mancha roja de Júpiter encontradas en Saturno y Neptuno y los anillos de materia rocosa que se localizan en los planos ecuatoriales planetarios y que rotan en la misma dirección que los planetas. El primer fenómeno está relacionado con la dinámica atmosférica mientras que el segundo probablemente tenga que ver con el origen y la evolución del sistema solar. Este segundo descubrimiento ha conducido a replantear las teorías relacionadas con el origen y evolución de los planetas gigantes porque en todos ellos se encontró un sistema de anillos que antaño solo se había observado en Saturno surgiendo por lo consiguiente una serie de interrogantes que conducen a replantear la concepción que se tiene del sistema solar.

Los anillos planetarios son estructuras formadas por rocas y polvo de diámetro variable que se localizan básicamente dentro del límite de Roche (LÍMITE DE ROCHE: distancia a la cual un cuerpo rígido es destruido por fuerzas de marea.) y su distribución obedece a fuerzas gravitacionales y electromagnéticas que se generan entre el planeta, los satélites y los anillos o con la magnetósfera planetaria y que producen una serie de procesos que determinan el espesor, el tamaño de las rocas, la densidad y probablemente el número de anillos. En términos generales la distribución que presenta cada sistema de anillos es la siguiente:

SISTEMA JOVIANO

Este sistema está formado por un solo anillo compuesto de rocas micrométricas distribuidas entre las órbitas de dos satélites descubiertos por el Viajero 1: Adrastea y Metis que actúan como satélites pastores (SATELITE PASTOR satélite que confina gravitacionalmente la materia rocosa que forma un anillo).

El análisis espectroscópico de las componentes rocosas muestra que ellas están formadas por compuestos de azufre por lo que se deduce que las rocas provienen del material eyectado por las erupciones volcánicas del satélite Io, el cual es uno de los satélites galileanos de Júpiter y el único actualmente activo.

La materia rocosa, dada la magnitud de su diámetro (μm) se conoce como polvo y éste se distribuye alrededor del planeta por interacciones electromagnéticas que también generan una hoja de polvo extendida hasta la atmósfera planetaria y un halo toroidal alrededor del planeta construido por polvo extremadamente fino ($\sim 0.1 \mu\text{m}$) (fig.1).

SISTEMA SATURNINO

Este sistema es el más extenso, masivo y conspicuo de los cuatro sistemas de anillo planetarios que existen en el sistema solar debiendo el honor de su descubrimiento a Galileo en el año de 1810. Aunque este célebre astrónomo nunca dedujo que la estructura descubierta alrededor de Saturno era un anillo de materia rocosa, sus observaciones sí contribuyeron a que en el año de 1876, Christian Huygen propusiera acertadamente que la estructura descubierta por Galileo, era un disco que rotaba alrededor del planeta.

Años después, Giacomo Cassini descubrió que el anillo propuesto por Huygens era en realidad una estructura doble, es decir, ¡había dos anillos y no uno! Este descubrimiento se realizó cuando Cassini detectó una banda oscura que separaba al anillo en dos regiones completamente independientes una de la otra, tal banda o brecha se conoce en la actualidad como División de Cassini.

Junto con este descubrimiento, se produjeron gracias al estudio cada vez más detallado de los anillos, otros que contribuyeron al conocimiento de su composición química, espesor y extensión radial, a través del análisis espectroscópico, los estudios de radar y las ocultaciones estelares.

Del análisis espectroscópico se encontró que las superficies rocosas están compuestas por hielo de agua combinado

con compuestos de carbono, metano y/o amoníaco, los estudios de radar indicaron que las rocas poseen diámetros comprendidos en un intervalo que abarca de las micras a los metros y con las ocultaciones estelares se descubrieron cinco anillos más alrededor de este planeta gigante.

Los siete anillo saturninos están clasificados, de acuerdo con sus características ópticas, en dos grupos: anillos clásicos y anillos etéreos (fig 2).

a) ANILLOS CLASICOS: Este grupo está formado por cuatro anillos mas cercanos al planeta: A, B, C y D. Sus poblaciones rocosas comprenden diámetros de cm. a m, así como albedos cercanos a 1 junto con grandes profundidades ópticas ($\tau > 1$).

Dentro de estos anillos se han detectado varias brechas (BRECHA: espacio anular semivacío que separa a la materia rocosa en regiones o anillos bien definidos), sobresaliendo además de la División de Cassini (entre el anillo A y B), la de Maxwell (anillo C), la de Huygens (anillo B) y las de Keeler y Encke (anillo A) y una serie de satélites pequeños (lunetas) sumergidos en ellos. Estas lunetas posiblemente sean generadoras de brechas a través del fenómeno de resonancias gravitacionales.

b) ANILLOS ETEREOS: A este grupo corresponden los anillo E, F y G y su nombre se debe al hecho de que están formados por polvo micro y submicrométrico.

El anillo E es el anillo más extenso radialmente ($5R_s$) encontrándose su densidad máxima en la órbita del satélite Encelado, por lo cual se cree que este cuerpo es la fuente que proporciona el material que lo forma. El anillo F es una estructura que consta de tres hilos torcidos, trenzados y ondulados confinados gravitacionalmente por los satélites pastores Prometeo y Pandora.

Con respecto al anillo G, los datos que se tienen de él son muy ambiguos, por lo cual no se conoce si existe un cuerpo que esté alimentándole o algún mecanismo que mantenga la estructura.

SISTEMA URANIANO

Alrededor de Urano se encuentran catorce anillos delgados que varían en brillantez y espesor. Estas estructuras están formadas por rocas de tamaño centimétrico que tienen superficies muy oscuras formadas probablemente por material del sistema solar primitivo del tipo de las condritas carbonáceas.

En este sistema se han detectado brechas en el anillo más externo conocido como epsilon y posiblemente también existan en el anillo delta (fig. 3).

SISTEMA NEPTUNIANO

Alrededor del cuarto planeta joviano se encuentran cuatro anillos de polvo identificados con nombres indicativos de la distancia en radios planetarios que los separa de la superficie de Neptuno: N42, N53, N59 y N63 (fig. 4).

El último anillo conocido como N63 en realidad es un anillo incompleto ya que solo se encuentran tres arcos de materia rocosa distribuidos en una longitud angular de 33° con respecto al centro del planeta. Actualmente no existe ninguna teoría que nos explique cómo ó bajo qué procesos físicos se presentan este tipo de estructuras que probablemente tengan una explicación relacionada con el origen y la evolución del sistema solar.

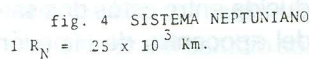
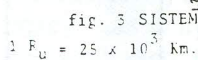
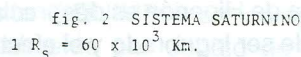
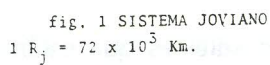
En los cuatro sistemas se producen un sin número de procesos físicos que modelan la estructura observada sobresaliendo en particular: las colisiones, las interacciones luz-materia y las resonancias gravitacionales. Los dos primeros se presentan en los cuatro sistemas modificando la distribución de masa mientras que el tercero se presenta solo en Saturno generando las famosas brechas o divisiones.

Las colisiones en los anillos son fuente para la creación de polvo el cual es distribuido por ellas mismas y por el arrastre que les induce el plasma magnetosférico.

En los anillos las colisiones pueden ser de dos tipos: de alta y baja velocidad, las primeras conducen a la ruptura de las rocas o de los granos de polvo que participan en el choque siempre y cuando la energía de impacto sea mayor que la energía de enlace de las moléculas que forman las rocas y el polvo, mientras que las segunda, generan erosión y craterización de las superficies rocosas así como acreción de los cuerpos que intervienen en la colisión. Después de una colisión, el material es distribuido gracias a la transferencia de momento y al transporte de energía los cuales dependen de la densidad y la viscosidad del medio.

Así como las colisiones de baja velocidad erosionan las superficies rocosas, las interacciones de éstas con la radiación, también producen el mismo resultado incrementándose la población de átomos, moléculas y polvo muy fino el cual es distribuido por el arrastre dinámico inducido por la misma interacción. Cuando los granos de polvo o las rocas de tamaño muy pequeño intersectan la radiación que proviene del sol, su superficie se erosiona reduciendo su masa y por lo tanto su momento angular, esta pérdida ocasiona la modificación de sus parámetros orbitales.

Al mismo tiempo que las rocas están perdiendo masa, irradian parte de la energía incidente por lo que la fuerza que es ejercida por la radiación solar tiene un doble efecto:



inducir un arrastre dinámico debido a la pérdida de masa y ejercer una presión sobre la superficie de las rocas. Aunado a estos dos procesos, en los anillos de Saturno se presenta el proceso de resonancias gravitacionales que son generadoras de brechas o divisiones como la de Cassini.

En este caso se supone que el potencial gravitacional de un satélite está perturbando la órbita que describe una roca alrededor del planeta, esta perturbación es máxima cuando el satélite y la roca están en conjunción, es decir, el punto donde la roca es enviada a una órbita más estable debido a la conmensurabilidad de sus períodos orbitales, i.e. en cada conjunción se cumple que el periodo orbital de la roca es un múltiplo entero del periodo orbital del satélite.

Para entender más claramente este fenómeno se describe el caso Titán-Hiperión que son dos satélites de Saturno entre los cuales se produce una resonancia gravitacional. Se pone este ejemplo porque fue en ellos donde se encontro una regresión apsidal (retroceso de la línea de apsides (puntos extremos de una órbita elíptica), con respecto al plano ecuatorial planetario) en la órbita de Hiperión de $\approx 20^\circ$ / año en lugar de un avance inducido por el achatamiento del planeta. Para explicar la interacción gravitacional entre estos cuerpos se propuso un modelo donde se supone que sus órbitas son coplanares, que la órbita de Titán es circular mientras que la de Hiperión es elíptica con excentricidad ≈ 0.1 .

En este caso como la masa de Hiperión es despreciable, su efecto sobre Titán puede ser ignorado y el efecto de Titán sobre Hiperión solo se toma en cuenta en la conjunción. Si la conjunción se presenta después del pericentro (punto más cercano de la órbita de Hiperión a Saturno) de Hiperión pero antes de su apocentro, (punto más lejano de la órbita de Hiperión a Saturno), Titán ejerce una fuerza sobre Hiperión dirigida radialmente hacia Saturno.

En cada conjunción, Titán modifica la energía orbital de Hiperión y aunque el efecto es pequeño, ésta se ve afectada por la repetición de la configuración originándose un decrecimiento en el periodo orbital del satélite menos masivo. al decrecer el periodo, las conjunciones subsecuentes se producirán mas cerca del apocentro de Hiperión. si la conjunción se presenta después del apocentro, ésta se ve obligada a regresar a este punto, i.e. la interacción gravitacional tiende a mantener la conmensurabilidad y a originar cada vez una configuración estable.

La conjunción producida entre estos dos satélites puede oscilar alrededor del apocentro de Hiperión, pero si la configuración es estable, la razón de periodos orbitales no

se presenta siempre en el mismo punto originándose por lo consiguiente, conjunciones a través de los 360° .

De acuerdo con el modelo, la razón por la cual regresan las apsides se debe a la fuerza radial que ejerce Titán sobre Hiperión en la conjunción, este efecto varía senoidalmente con la longitud de las apsides. Si la fuerza es ejercida después de apocentro pero antes del pericentro, la excentricidad se incrementa, en caso contrario, la excentricidad decrece.

Una observación que se ha realizado para encontrar el punto de conjunción de ambos satélites indica que tal encuentro siempre se presenta cerca del apocentro de Hiperión.

En el caso de los anillos, los satélites que están en resonancia con las rocas localizadas a una cierta distancia radial, las desplazan hacia otras órbitas propiciando que existan ciertos espacios libres de materia creándose como resultado una brecha.

Aunque estos procesos se han descrito brevemente y de manera aislada, es muy probable que estén acoplados y que el resultado de ello, sea la dinámica observada. Cabe hacer notar que existen otros procesos tales como los electromagnéticos, no mencionados aquí, que participan en mayor o menor escala en la evolución de los anillos, por lo cual es necesario diseñar modelos más acordes con la dinámica y en donde se involucren no solo procesos gravitacionales sino también aquellos de tipo electromagnético.

