

UNIVERSO

INTRODUCCIÓN

DEFINICIÓN

El Universo es el conjunto de todo cuanto existe. El hombre se ha venido ocupando de la cosmología (del griego kosmos, universo, y -logia, estudio, tratado) desde los principios de la civilización. A diferencia de la antigua cosmología, la moderna hace uso de sofisticadas observaciones astronómicas y de las leyes de la física para construir teorías sobre el Universo, verificables a través de ulteriores y más profundas observaciones. Este modo de proceder es característico del método científico moderno, y conduce a una comprensión cada vez más detallada del Universo en que vivimos y de su evolución.

CARACTERÍSTICAS

La cosmología moderna responde a preguntas tales como ¿cuánto mide el Universo? ¿Qué edad tiene? ¿Es estático o evoluciona? ¿Se expandirá hasta el infinito o colapsará sobre sí mismo? ¿Cuál es su densidad media? ¿De qué materia está constituido? ¿Cómo y cuándo se formaron los objetos que hoy observamos en él?

Las galaxias, aglomeraciones de decenas o centenares de miles de millones de estrellas como nuestro Sol, son los constituyentes más llamativos de nuestro Universo. En cosmología se estudia el Universo "a gran escala", es decir, la distribución de los objetos más grandes que lo constituyen: las galaxias y los cúmulos de galaxias. La astrofísica estudia el funcionamiento de cada uno de los objetos singulares (galaxias), y de las estrellas que los constituyen. Las dimensiones típicas de las galaxias son de cientos de miles de años luz y las de los cúmulos de muchos millones de años luz (1 año luz = distancia recorrida por la luz en un año = 9,46 billones de km). Por Universo a gran escala se entiende, entonces, el Universo estudiado ignorando los "detalles" de dimensiones inferiores al millón de años luz.

El Big Bang, la gran explosión inicial, acaecida hace cerca de 15.000 millones de años, es la teoría que actualmente cuenta con mayor aceptación para la descripción del Universo. Según esta teoría, el Universo pasó por un estado inicial extremadamente denso y caliente. Expandiéndose desde este estado, se ha ido enfriando gradualmente.

Durante los tres primeros minutos siguientes al Big Bang se formaron un enorme número de fotones, así como todas las partículas elementales que hoy conocemos, y a continuación, a través de una serie de reacciones nucleares, aparecieron el hidrógeno, el

helio y los demás elementos ligeros presentes hoy en día en el Universo. Durante un millón de años el Universo estuvo tan caliente que los átomos no pudieron formarse. Era una "bola de fuego" y las condiciones físicas eran en cierto modo similares a las que se observan en el interior de las estrellas.

Sólo un millón de años después del Big Bang el Universo estuvo lo bastante frío como para que se formasen los primeros átomos, los de hidrógeno, y la materia ordinaria comenzó a agruparse a causa de la atracción gravitatoria. Después de unos mil millones de años se formaron los primeros objetos singulares, los cuásares, y a continuación las galaxias.

Esta teoría tiene dos grandes méritos: no requiere la introducción de leyes nuevas diferentes de las leyes normales de la física verificables en un laboratorio, y explica de modo consistente las tres observaciones cosmológicas más importantes: el alejamiento de las galaxias más lejanas (debido a la expansión del Universo), la presencia de la radiación de fondo (debida a los fotones formados durante los primeros instantes) y la abundancia de helio en el Universo (que coincide con la calculada para la serie de reacciones nucleares que tuvieron lugar durante los tres primeros minutos).

Como la luz viaja a una velocidad finita de 300.000 km/s, sucede que se puede utilizar los telescopios como una especie de "máquinas del tiempo". Por ejemplo, nosotros observamos hoy la galaxia de Andrómeda tal cual era hace dos millones y medio de años, cuando sobre la Tierra no existía aún el homo sapiens. Ese es el tiempo que ha tardado la luz en recorrer la distancia de dos millones y medio de años luz que nos separa de esta galaxia. Otras aún más lejanas han sido observadas tal como eran en épocas aún más remotas. Si el Universo nació en un cierto instante del pasado (hace 15.000 millones de años, según la teoría del Big Bang) se sigue que nosotros sólo podemos observar una parte: las regiones del Universo distantes más de 15.000 millones de años luz de nosotros no pueden ser observadas, simplemente porque la luz producida emplearían un tiempo mayor a la edad del Universo para poder llegar hasta nosotros. Existe por tanto un "horizonte", con un radio de 15.000 millones de años luz, que separa el Universo observable del resto del Universo, que podría en realidad ser infinitamente extenso. Es evidente también que, utilizando el telescopio como una "máquina del tiempo", se puede observar las galaxias más lejanas durante su formación, y más lejos aún, durante la época de la "bola de fuego" primigenia, estudiando la radiación cósmica de fondo. Son estos los temas de investigación que actualmente ocupan a los cosmólogos, quienes tratan de dar una respuesta al problema de la evolución del Universo y del nacimiento y evolución de las galaxias.

GALAXIAS

Las galaxias son sistemas constituidos por miles de millones de estrellas y materia cósmica difundida en los espacios interestelares. Estos gigantescos sistemas se originaron inmediatamente después del Universo, a partir de enormes nubes de gases en cuyo interior se formaron por colapso gravitatorio aglomerados de estrellas. La forma de una galaxia está determinada por la distribución de las estrellas en su interior. Nuestra estrella, el Sol, se halla en el interior de una galaxia espiral llamada Vía Láctea.

Hace cien años los astrónomos creían que nuestra galaxia era la única del Universo. Con el perfeccionamiento de los instrumentos y de los medios de observación, el número de galaxias conocido ha aumentado continuamente. Se considera que hay, por lo menos, cien millones de galaxias.

VÍA LÁCTEA

CARACTERÍSTICAS GENERALES

La Vía Láctea es una galaxia espiral bastante común, con brazos de materia girando alrededor de un núcleo central. Tomando como referencia el Sol, la luminosidad de nuestra galaxia es comparable a la de diez mil millones de soles y su masa igual a unas doscientas mil millones de veces la masa solar.

FORMA Y DIMENSIONES

Nuestra galaxia tiene la forma de un gigantesco disco muy achatado (el plano galáctico) de unos 100.000 años luz de diámetro; el Sol se encuentra más o menos a la mitad del radio galáctico. El grosor del disco en el borde no supera los 3.000 años luz, mientras que en el centro del disco es mayor y se observa un abultamiento, el núcleo, compuesto casi exclusivamente de estrellas. En el núcleo es donde se encuentran las nubes gigantes de hidrógeno molecular a partir de las que se están formando nuevas estrellas.

El disco galáctico está rodeado por el halo galáctico de gran volumen. Su diámetro es de unos 100.000 años luz y aparece casi completamente desprovisto de nubes de gas y polvo, pero poblado por estrellas aisladas y brillantes grupos esféricos que son los grupos globulares o cúmulos globulares. Estos cúmulos están constituidos

por las estrellas más viejas de la galaxia y son considerados como los residuos de los primeros estadios de formación de nuestra galaxia.

La Vía Láctea se caracteriza, además, por los grandes brazos, concentraciones de estrellas y gas interestelar que parten de su centro y se arrollan en espiral. En los brazos es donde hay una mayor actividad de formación estelar. El brazo más largo de la Vía Láctea tiene una longitud total de unos 125.000 años luz.

Si pudiéramos observar un corte de nuestra galaxia perpendicular al plano del disco, aparecería como un enorme huso brillante rodeado de una tenue luminosidad y cortado en el centro por una raya oscura que la divide en dos grandes ríos de estrellas paralelas. Este efecto es debido a la absorción de la luz de las estrellas por el polvo interestelar concentrado en el disco. En cambio, la vista superior de nuestra galaxia con sus grandes brazos en espiral parecería más bien una gigantesca rueda de fuegos artificiales coloreada ligeramente de amarillo en las zonas centrales, donde se funde en un único color la luz emitida por miles de millones de estrellas azules, blancas, anaranjadas y rojas.

EL CENTRO DE LA GALAXIA

El polvo interestelar que se acumula en el plano de la Vía Láctea nos oculta casi completamente el núcleo. A causa del fenómeno de la extinción estelar, las partículas de polvo representan un obstáculo insalvable para las radiaciones de pequeña longitud de onda, que son precisamente las de la parte visible del espectro, que no consiguen atravesar las nubes de polvo y llegar al observador. Para explorar el centro de la Vía Láctea es necesario, por tanto, hacer observaciones en longitudes de onda mayores. Las informaciones disponibles sobre el núcleo galáctico, la zona que se extiende algunos miles de años luz desde el centro, provienen: 1) de las emisiones de ondas de radio por parte de los electrones que se mueven a velocidades próximas a las de la luz (ondas electromagnéticas); 2) de la emisión infrarroja del polvo estelar y de átomos ionizados a elevada temperatura, y 3) de la emisión de microondas por muchas moléculas, por ejemplo el monóxido de carbono.

El conjunto de estas informaciones llevó a la conclusión de que en la región central de nuestra galaxia hay un disco de unos 1.500 años luz con hidrógeno molecular, en rápida rotación y con una gran concentración de estrellas. La densidad de las estrellas en esta zona es al menos un millón de veces mayor que en las proximidades del Sol. La masa total de las estrellas contenidas en este volumen es de unas diez mil millones de veces la masa solar, es decir, una veinteava parte de la totalidad de la masa de la Vía Láctea.

Moviéndose hacia el interior de este disco, a pocos centenares de años luz del centro, se observa una gran cantidad de materia que se precipita hacia un único punto. En este punto, que se encuentra en la dirección de la constelación de Sagitario, se ha determinado que existe una fuente luminosa muy intensa, conocida como Sagitario A, y parece ser el centro energético de nuestra galaxia. Lo que se esconde en el centro de la galaxia de la Vía Láctea, qué atrae tan violentamente la materia y el origen de la fuente luminosa comentada son cuestiones que están todavía por resolver. Todas las medidas parecen indicar la presencia de una concentración excepcional de masa. Quizás un agujero negro con una masa un millón de veces mayor que la del Sol, o un objeto análogo al núcleo de un cuásar. Pero, por ahora, la naturaleza del corazón de la Vía Láctea es un misterio.

MASA GALÁCTICA Y CURVAS DE ROTACIÓN

En analogía con el movimiento de los planetas alrededor del Sol, se dio por sentado durante mucho tiempo que en nuestra galaxia las partes más próximas al centro girarían más rápidamente que las más periféricas o, en otras palabras, que la velocidad de rotación disminuye con la distancia al centro.

Esta convicción se apoyaba en la hipótesis de que la masa de una galaxia estaba concentrada en su mayor parte en el núcleo central.

Midiendo la curva de rotación de nuestra galaxia, es decir, su velocidad de rotación en función de la distancia al centro, al alejarse hacia el exterior de la misma la velocidad de rotación parecía permanecer constante. Esto significa que la masa de la Vía Láctea está distribuida de manera más uniforme de lo que se esperaba. El modelo actual del movimiento de la galaxia no es el clásico antes citado; si bien la velocidad de rotación no es uniforme, no se ajusta a las leyes que rigen, por ejemplo, el movimiento de los planetas, y la estructura espiral no es debida a diferencias de velocidad sino a ondas de densidad.

La masa gravitatoria de nuestra galaxia (gravitación) deducida de la curva de rotación, denominada también masa "dinámica", es igual a doscientas masas solares.

Hay dos maneras de determinar la cantidad de materia que hay en un lugar: mediante la atracción gravitatoria que esta masa ejerce sobre otros cuerpos próximos y por la cantidad de radiación electromagnética que emite.

En el caso de nuestra galaxia, la masa "visible" según las radiaciones emitidas es sensiblemente inferior a la masa dinámica medida con las curvas de rotación. Una posible interpretación de esta diferencia es la existencia de materia oscura, que no emite ningún tipo de radiación pero contribuye al balance gravitatorio de nuestra

galaxia. Las posibles explicaciones de la existencia de esta materia invisible son muchas, entre ellas una concentración de agujeros negros, pero hasta ahora sigue siendo un misterio.

COMPOSICIÓN GALÁCTICA

Nuestra galaxia es un gran grupo de estrellas, gases y polvo interestelar unidos por la fuerza gravitatoria. Junto a estos componentes, que son los más importantes, debemos mencionar también los rayos cósmicos y el campo magnético galáctico, que juegan un importante papel en el estudio físico de la galaxia de la Vía Láctea.

EL MEDIO INTERESTELAR

Las estrellas que pueblan nuestra galaxia son más de doscientos mil millones y la distancia media que separa dos estrellas es muy grande: en el interior de un cubo de lado igual a cinco años luz se encuentra, por término medio, una sola estrella. El inmenso espacio alrededor de la estrella no está vacío: contiene gases y polvo. La masa total del medio interestelar es, aproximadamente, una décima parte de la de todas las estrellas de la Vía Láctea. Pero el medio interestelar y las estrellas no son dos entidades distintas. Al contrario: el gas interestelar es el elemento indispensable para el nacimiento de las estrellas, y éstas expulsan materiales enriquecidos en elementos pesados (carbono, oxígeno, calcio, hierro, etc.) sintetizados en el curso de su existencia. El medio interestelar tiene una estructura muy heterogénea: puede tener condensaciones de materia, como las nebulosas brillantes, que se dividen en nebulosas de reflexión (si reflejan la luz de una estrella vecina), nebulosas de emisión (si la luz emitida es un efecto de la excitación atómica provocada por la presencia de una estrella próxima) y nebulosas oscuras, llamadas así porque están muy alejadas de las estrellas. El medio interestelar está distribuido, principalmente, a lo largo del plano galáctico y en el halo, aunque en éste está mucho más enrarecido.

EL GAS INTERESTELAR

El gas interestelar está compuesto por átomos y moléculas esparcidos entre las estrellas y cuya densidad en el plano galáctico no supera la de una partícula por centímetro cúbico.

POSICIÓN DEL SOL

Hasta los inicios del siglo XX se creía que el Sol ocupaba el centro de nuestra galaxia. Científicamente esta idea parecía venir confirmada por el hecho de que, según las observaciones, el número de estrellas por metro cuadrado era constante en todas las direcciones del disco galáctico. Puesto que se sabía que el número de estrellas disminuye al alejarse del plano galáctico, esta medida hacía suponer que el Sol tenía una posición privilegiada y que ésta era, precisamente, el centro de la Vía Láctea. En los primeros años de este siglo el estadounidense Harold Shapley desplazó definitivamente al Sol y a todo el Sistema Solar hasta la "periferia" de la Vía Láctea, y determinó también sus dimensiones. Tratando de medir la posición y la distancia de los cúmulos globulares, Shapley había observado que la mayor parte de éstos se concentra en una zona del cielo bastante alejada del Sol y, precisamente, en dirección a la constelación de Sagitario. Esta dirección debía por tanto tener algo "especial". Los cúmulos globulares se estaban moviendo alrededor del centro de la galaxia, centro que desde luego no coincidía con el Sistema Solar. Para realizar la medida, Shapley había utilizado una categoría especial de estrellas variables existentes en los cúmulos globulares, las RR Lira (estrella), caracterizadas por tener todas casi la misma luminosidad intrínseca. Puesto que la magnitud aparente de una estrella decrece con el cuadrado de la distancia que nos separa de ella, conociendo la magnitud absoluta de las RR Lira y observando la luminosidad aparente Shapley pudo obtener su distancia y deducir que el Sol debía hallarse a unos 60.000 años luz del centro de la galaxia. En realidad, en aquella época Shapley no conocía la existencia del polvo interestelar, descubierto en 1930, que atenúa la luz emitida por las estrellas de los cúmulos globulares y las hace aparecer más lejanas de lo que están en realidad. Sólo muchos años después, cuando se introdujo el efecto del polvo interestelar sobre las medidas, Shapley consiguió determinar de manera exacta e indiscutible la posición del Sol en la Vía Láctea: 30.000 años luz del centro.

ROTACIÓN GALÁCTICA

El conjunto de nuestra galaxia, comprendidos los grandes brazos en espiral, está animado de un lento movimiento de rotación alrededor de su centro. Sin embargo, no gira como un cuerpo rígido, como por ejemplo la rueda de un carro. La materia más próxima al centro gira más rápidamente que la de la periferia. El Sol, por ejemplo, gira alrededor del centro con un período de unos doscientos millones de años, mientras que los brazos en espiral emplean más del doble de este tiempo, unos 480 millones de años, para dar una revolución completa.

ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA

INTRODUCCIÓN

Hasta el siglo XVIII las estrellas sólo representaban el fondo sobre el cual se movían los planetas. Más adelante, en el s. XIX, como consecuencia de los primeros éxitos en la medición de los movimientos propios y de las paralajes de las estrellas más próximas, se inició la observación sistemática de las estrellas y se realizaron las primeras tentativas de determinar su temperatura, y por tanto sus condiciones físicas a través de técnicas espectroscópicas (espectroscopía). Pero no fue hasta principios del siglo XX cuando, gracias al desarrollo de la teoría de la radiación y de la física de los gases, se dispuso de los instrumentos necesarios para la interpretación de los espectros estelares y la deducción de la estructura interna de las estrellas.

La entrada en funcionamiento en 1917 del primer gran telescopio moderno (el 2,5 m del monte Wilson, en California) hizo posible el estudio de nuestra galaxia en su conjunto y el de las otras galaxias. Nació así la cosmología científica que, partiendo de la observación, busca responder a las preguntas sobre el origen, evolución y edad del universo.

El conocimiento de los cuerpos celestes y del universo en su conjunto ha avanzado durante el siglo XX con un crecimiento exponencial; sobre todo en los últimos veinte o veinticinco años, el desarrollo de la tecnología espacial y de la informática han proporcionado un impulso extraordinario a la astronomía y la astrofísica.

EL SISTEMA SOLAR

Al descubrimiento del primer asteroide, Ceres, por Giuseppe Piazzi en Palermo el 1 de enero de 1801, siguieron muchos otros. Es importante recordar el descubrimiento de Eros por G. Witt en 1898, porque su gran proximidad a la Tierra en el momento de su oposición de 1901 permitió establecer la escala del Sistema Solar con gran precisión y a continuación, gracias a la tercera ley de Kepler, calcular la distancia Tierra-Sol. La repetición de esta medición a cargo de Harold Spencer Jones en 1942 arrojó un valor, casi idéntico al vigente hoy en día, de 149.597.900 km.

Svante Arrhenius en 1900 y Karl Schwarzschild en 1901 desarrollaron la teoría de las colas cometarias, mientras el francés F. Baldet iniciaba el estudio de los espectros de los cometas y descubría muchas bandas moleculares. Otros estudio detallados que incluyen la identificación de numerosas rayas de emisión se deben en particular a Pol Swings y G. Herzberg a partir de 1940. En 1930 Clyde Tombaugh descubre Plutón.

Las cuidadosas observaciones visuales del planeta Marte realizadas por Eugène M. Antoniadi en 1909 indicaron que los "canales" observados por Giovanni Schiaparelli en 1877 y posteriormente por Percival Lowell en 1894 no eran más que simples ilusiones ópticas.

Aproximadamente entre 1930 y 1950, varios astrónomos, entre los cuales destacan Walter S. Adams, T. Dunham, R. Wildt y Gerard P. Kuiper, descubren bandas de absorción en el espectro de infrarrojos de Venus, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, estableciendo así la presencia en sus atmósferas de dióxido de carbono y vapor de agua (Venus y Marte), y de metano, amoníaco e hidrógeno molecular (los cuatro planetas gigantes).

De gran importancia fue la explicación relativista proporcionada por Einstein en 1915 para la precesión del perihelio de Mercurio; la primera prueba experimental de la relatividad general fue la medida de la desviación de la luz al pasar por un campo gravitatorio intenso, medida durante el eclipse de Sol de 1919.

Si bien los planetas están mucho más próximos a nosotros que las estrellas, su estructura física y su composición química son mucho más difíciles de determinar, tanto porque no emiten luz propia sino que reflejan la del Sol, como porque son en parte sólidos, en parte líquidos y en parte gaseosos, y por tanto mucho más complejos que las estrellas, que son bolas de gas desde el centro hasta la superficie.

Un enorme salto cualitativo en el conocimiento de los planetas y sus satélites y del medio interplanetario ha sido posible gracias a las sondas espaciales.

LA EXPLORACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

La exploración del Sistema Solar tiene su inicio con el descubrimiento por James Van Allen de regiones de partículas cargadas alrededor de la Tierra (con excepción de las zonas que rodean los dos polos magnéticos) conocidas como "cinturones de Van Allen"; este descubrimiento se produjo gracias a la utilización de la instrumentación de los satélites artificiales Explorer I (1958) y Pioneer 3 (1959), y tuvo su continuación con la serie de sondas soviéticas Luna. Fue Luna 3 la que mostró por primera vez en 1959 la cara oculta de nuestro satélite. Después vino la serie Apolo y el histórico desembarco sobre suelo lunar del módulo de la Apolo 11 el 21 de julio de 1969. La serie de sondas estadounidenses Mariner (1962-75) y las soviéticas Venera (1964-83) permitieron los primeros encuentros con Mercurio y Venus; la sonda Magallanes (1990-92) trazó mediante ecos de radar una mapa detallado de la superficie de Venus, perpetuamente oculta por la densa atmósfera que la envuelve. Por otro lado los Mariner (1964-72) se aproximaron a Marte y Mariner 9 entró en órbita en torno a él. Las Viking 1 y 2, que salieron en septiembre de 1975, aterrizaron sobre el planeta rojo en septiembre de 1976.

Gracias a todas estas sondas disponemos de un mapa detallado de la superficie de Marte. Por último, la exploración de los planetas gigantes se inicia con las dos sondas Pioneer: la 10, enviada en marzo de 1972, se acercó a 130.000 km de distancia de Júpiter y terminó su periplo en diciembre de 1973; la 11, enviada en abril de 1973, llegaba a las proximidades de Júpiter en diciembre de 1974 y se encontró con Saturno en 1979.

Finalmente se acomete la mayor aventura en el conocimiento del Sistema Solar: el Grand Tour de las Voyager 1 y 2, salidas respectivamente el 5 de septiembre y el 20 de agosto de 1977. Durante 1979 iniciaron la exploración de Júpiter y de su sistema de anillos y satélites. Después transitaron por Saturno en 1980 y 1981. En 1986 Voyager 2 alcanzaba Urano y en 1989 Neptuno, para después internarse definitivamente en el espacio interestelar. Plutón, que quedó fuera de la ruta del Grand Tour de las Voyager, ha sido observado por el telescopio espacial Hubble. Uno de los mayores descubrimientos debidos a las sondas Pioneer y Voyager es que todos los planetas gigantes tienen un sistema de anillos, aunque mucho menos rico que el de Saturno. Se ha incrementado notablemente el número de satélites conocidos: Júpiter tiene 16, Saturno 18, Urano 15 y Neptuno 8. Se ha podido observar las formaciones nubosas y ciclónicas de las atmósferas, sus variaciones y su composición química. Se ha descubierto también el primer volcán activo fuera de la Tierra en el satélite jupiteriano Ío. Además se ha descubierto que el satélite de Saturno Titán y el de Neptuno Tritón tienen atmósfera, lo que es una característica única entre todos los satélites del Sistema Solar.

De Plutón se sabía poco o nada. El telescopio espacial Hubble ha proporcionado excelentes imágenes que lo presentan en compañía de su único satélite Caronte, cuya masa es una doceava parte y su radio la mitad aproximadamente del planeta: cabe, por tanto, hablar de un planeta doble. Como referencia hay que considerar que la Luna tiene una masa de $1/81$ de la terrestre y un radio que es casi $1/4$ del de la Tierra. Aún así se la considera más como un planeta compañero de la Tierra que como un satélite. Los satélites más grandes de los planetas gigantes tienen en cambio masas inferiores a $1/1000$ de las de sus respectivos planetas, si bien son tanto o más grandes que Mercurio. Otras etapas espectaculares en el estudio del Sistema Solar son el encuentro de la sonda Giotto con el cometa Halley el 14 de marzo de 1986, cuando la cámara a bordo de la sonda envió imágenes de la superficie del cometa tomadas desde una distancia de sólo 1.372 km del núcleo, antes de ser "cegada" por el impacto con el polvo del cometa. Y la observación del cometa Shoemaker-Levy, que, capturado por el campo gravitatorio de Júpiter, se partió en al menos 21 fragmentos que se precipitaron sobre la atmósfera del planeta gigante entre el 16 y el 22 de julio de 1994. Durante mucho tiempo fueron visibles las cicatrices dejadas en la atmósfera jupiteriana en forma de manchas oscuras.

Todas las sondas han proporcionado también datos sobre la densidad y composición del medio interplanetario, y sobre los campos magnéticos que rodean los planetas y el Sol, que se extienden cientos de miles de kilómetros en el caso de la Tierra, y más de diez

millones de kilómetros en el caso de Júpiter. Todos los datos, sin embargo, proceden principalmente de una franja muy próxima al plano de la eclíptica (plano de la órbita terrestre). Todos los planetas mayores orbitan sobre planos poco inclinados respecto a la eclíptica. Sólo una sonda, la Ulysses, lanzada el 6 de octubre de 1990 y concebida precisamente para estudiar el "viento solar" (el flujo de partículas que es continuamente emitido por el Sol) fuera de la eclíptica, se ha desplazado en una órbita que la ha llevado a pasar cerca de los polos de Sol.

Por último, también el conocimiento de los pequeños planetas o asteroides que orbitan sobre todo entre Marte y Júpiter ha mejorado después de que uno de ellos haya sido "visto" de cerca por la sonda Galileo, enviada directamente a Júpiter, mientras que muchos otros de radio inferior a los 100 m han sido descubiertos por el satélite para infrarrojos IRAS. Éstos se mueven en órbitas con muy diversas inclinaciones respecto a la eclíptica y a una distancia del Sol aproximadamente igual a la de la Tierra. En 1977 Charles T. Kowal, a través del telescopio Schmidt de monte Palomar, descubrió un objeto extraordinario, llamado Quirón, cuya órbita está situada entre Saturno y Urano. Podría tratarse de un asteroide excepcional o de un satélite escapado de Saturno. Su diámetro es de unos 300 km.