

LECCIONES  
SATELITES DE URANO

DISTANCIAS MEDIAS, tomándose por unidad el semi-diámetro del planeta.	DURACION DE las revoluciones.
Satélite 1	13,12
Satélite 2	17,02
Satélite 3	19,84
Satélite 4	22,75
Satélite 5	45,51
Satélite 6	91,01

## LECCION VIII.

## LEYES DE KEPLER.

Al tratar de los planetas nos hemos contentado con decir que describian en torno del sol curvas elípticas mas ó menos prolongadas, pero no hemos indagado los medios de determinar estas órbitas ni estudiado su naturaleza.

Todas las curvas descritas por los planetas hacen un ángulo mas ó menos abierto con el plano de la eclíptica, cortándose todas por consiguiente en dos puntos exactamente opuestos que son los nudos. La línea de los nudos es la que determina la traza del plano de la órbita sobre la eclíptica 1º.

Supongamos ahora que se halle colocado un observador en el sol; fácil le será conocer el instante preciso del tránsito del planeta por sus nudos, que se verificará cuando le vea en línea que pasa por el nudo y el centro de aquel astro. Por lo que toca al observador colocado en la tierra, esto es, fuera del centro del sistema planetario, puede saber muy bien cual es el momento del paso por los nudos, pero no puede verlos mas que cuando están opuestos constantemente uno á otro, porque la recta que los une tiene sucesivamente varias inclinaciones por efecto del movimiento del sol; sucede, no obstante algunas veces, aunque muy raras, que encontrándose el sol y la tierra en la misma línea, el planeta que se quiere observar se encuentra tambien en su prolongacion. Entonces se le ve en el mismo punto que el sol; puede fi-

1º Se llama traza de un plano, la línea que señala su interseccion con otro determinado. La línea de los nudos es pues, en otros términos la interseccion del plano del a órbita de un astro con el plano de la eclíptica.

jarse su longitud, y basta hacer algunas observaciones semejantes para determinar si el nudo del planeta corresponde siempre á la misma longitud visto desde el sol.

Conocido el nudo, se aguarda á que el sol tenga la misma longitud que el planeta para determinar su inclinacion; entonces se logra la longitud del astro de la que se deduce la inclinacion del plano de la órbita.

Despues de adquiridos estos datos, para encontrar la naturaleza de la curva, se mide la duracion de una revolucion completa lo que se hace fijando un punto, uno de los nudos, por ejemplo, y se calcula el tiempo trascurrido entre dos pasos sucesivos del astro por el mismo tiempo.

Luego que, de esta manera, se ha averiguado la duracion del movimiento, no hay mas que determinar el movimiento angular del planeta por medio de las oposiciones y de las conjunciones.

Trazadas así las órbitas de los planetos, se encontrará:

1º Que todos los astros se mueven describiendo elipses, uno de cuyos focos está ocupado por el sol.

2º Que el movimiento es tanto mas rápido cuanto mas cerca está del sol el planeta, en términos que el radio vector describe siempre superficies iguales en un tiempo dado.

3º Que los cuadrados de los tiempos de las revoluciones son entre si como los cubos de los ejes mayores de las órbitas.

Estas son las tres leyes de Kepler, y sirven de vase á toda la astronomía; dentro de poco veremos implícitamente contenian la ley general de la atraccion. Estas preciosas leyes se han encontrado tan exactas, que no se tiene ningun reparo en deducir de la duracion de sus revoluciones siderales las distancias de los planetas al sol; desde luego se deja ver que este cálculo de las distancias ofrece mucha exactitud, pues fácil es determinar con precision la vuelta de cada planeta aun punto del cielo, al paso que es muy difícil calcular directamente su distancia del sol.

## ATRACCION UNIVERSAL.

Las leyes de Kepler, que tan gran servicio acababan de hacer á la astronomía, descubriendo las mas maravillosas relaciones los cuerpos celestes debian inducir á los ánimos á investigar las causas que los origina.

Reservado estaba este descubrimiento al génio de newton. No diremos ahora como llegó á efectuarlo reflexinando sobre la causa por la que acaba de caer una manzana á sus pies, causa que tuvo la feliz idea de extender á las masas de los astros. Tam-

poco entraremos en los pormenores del cálculo, por cuyo medio llegó á establecer esta causa general, y nos limitaremos á exponer las consecuencias que dedujo de las leyes de Kepler.

De que las areas descritas por los rayos vectores son proporcionales á los tiempos, dedujo newton, apollado en el cálculo-esta consecuencia, que la fuerza que mueve á los planetas se dirige hácia el centro del sol.

De que las órbitas de los planetas son elipses en uno de cuyos focos está situado el sol, infirió que la fuerza que anima á los astros está en razon inversa del cuadrado de la distancia de su centro al centro del sol.

Por último, de que los cuadrados de los tiempos de las revoluciones son entre sí como los cubos de los ejes mayores de las órbitas, sacó la consecuencia de que la fuerza es proporcional á la masa.

Y de todos estos resultados concluyó que el sol es el centro de un poder atractivo que ejerce su accion en virtud de las leyes que acabamos de exponer.

Newton, que para estender hasta la luna el imperio de la atraccion, habia partido de que la tierra ejerce sobre los cuerpos de su superficie, debia inferir por analogía que una vez que los demas planetas retienen tambien á los satélites en sus órbitas, deben poseer como la tierra una fuerza atractiva, y que esta no puede ser mas que de la misma naturaleza que la que comunica al sol la facultad de hacer circular en derredor suyo á todos los astros de su sistema.

Así todos los cuerpos que giran en derredor del sol están como este, dotados del poder de la atraccion, y llevando mas adelante la analogía, se llegará á este resultado general, de que se ha aprovechado la fisica y que hubiera podido sospecharse en vista de la esfericidad de los cuerpos celestes, á saber: que todas las moléculas de la materia se atraen mutuamente en razon directa de las masas, y en razon inversa del cuadrado de las distancias.

Pero como, la fuerza de la atraccion si solamente existiera no propenderia mas que á reunir en una sola masa todos los globos de la naturaleza. Newton supuso que los cuerpos celestes habian recibido primitivamente un impulso en línea recta, y que de la combinacion de estas dos fuerzas depende el movimiento curvilíneo.

Efectivamente, si el cuerpo A se halla empujado segun la línea recta ABX en el espacio libre en que no encuentre ninguna resistencia, que atenúe el impulso, que ha recibido, continuará

moviéndose indefinidamente con la misma velocidad y en la misma direccion. Pero si al llegar á B es atraído por S con una fuerza conveniente y perpendicular á su movimiento, se apartará de la línea recta ABX, y describirá el círculo BYTU en derredor de S. Para que el cuerpo describa así un círculo, es menester que la fuerza proyectiva sea igual á la que hubiese adquirido por el solo efecto de la gravedad, cayendo segun la direccion del semi-rádío del círculo. Así para que el cuerpo describa el círculo BYTU al llegar á B, es menester que sea atraído por S, de modo que caiga de B en Y, mitad del rádío BS, en el mismo tiempo que tarda de ir desde B á X, por el solo efecto de la fuerza de proyeccion, A, será un planeta, si se quiere, y S el sol.

Pero si mientras la fuerza proyectiva impele al planeta de B á b, le hiciere bajar de B á I la atraccion del sol, el poder de la gravitacion será mayor proporcionalmente que en el primer caso, y el planeta describirá la curva BC. Cuando haya llegado á C, la gravitacion que aumenta en razon inversa del cuadrado de las distancias, será todavía mas poderosa que en B, y hará que el planeta descendiese mas en términos de obligarle á describir los arcos BC, CD, DE, EF, en iguales tiempos: el planeta se moverá pues, con mucha mas rapidez que anteriormente, y mayor será su propension á escurrirse por la tangente Kk, ó, en otros términos, adquirirá mayor fuerza proyectiva, la cual seria bastante poderosa para vencer la fuerza de atraccion é impedir que el planeta caiga hácia el sol, y aún de moverse en el círculo Klmn. El planeta pues se alejará segun la curva Klmn, pero su velocidad menguará por grados desde K á B, como habia aumentado de B á K, porque ahora se ejercerá la accion solar en el sentido contrario. Vuelto á B y despues de haber perdido desde K allí el exceso de velocidad que adquirido habia de B á K, obedecerá á las mismas fuerzas y describirá la propia curva.

Una fuerza proyectiva dupla contrabalanza una fuerza atractiva cuadrupla. Supongamos, en efecto, que el planeta reciba en B un impulso hácia X dos veces mayor que el que tenia en un principio, ó, lo que es lo mismo, que se traslade de B á e en el mismo tiempo que se trasladaria de B á b. En este caso, será menester una fuerza de gravedad cuatro veces mayor para contenerle en su órbita, es decir una fuerza capaz de hacerle caer de B á 4 en el mismo tiempo que una fuerza proyectiva hubiese tardado en llevarle de B á e: de otra manera se podria describir la curva BD como lo demuestra la figura.

Como los planetas se acercan y alejan del sol en cada una de

sus revoluciones, pueden encontrarse algunas dificultades en concebir como en el primer caso no se le acercan mas y mas hasta confundirse con él, y como no se alejan en el segundo para no volver jamas; pero esta dificultad desaparece luego que se estudian la accion y respectiva intensidad de las fuerzas en los casos de que se trata. Hemos dicho que el planeta, movido por una fuerza proyectiva que le trasladase de B á b en el tiempo que el sol le hiciera caer de B á l, describe la curva BC semetido á la accion de entrambas fuerzas. Pero ¿cómo obrarán estas cuando se halle en K el planeta? Siendo KS igual á la mitad de BS, el planeta estará dos veces mas cerca del sol, y la accion de la gravedad será, pues, cuatro veces mayor en virtud del principio anteriormente sentado. Esta propenderá, de consiguiente, á hacer que el planeta caiga de K á V en el mismo tiempo que propenderia á hacerle caer de B á l, por ser KV cuatro veces mayor que Bl. Pero la fuerza proyectiva trabaja por trasladar al planeta en el mismo tiempo de K á k, espacio doble de Bb, como lo manifiesta la figura, luego esta fuerza proyectiva es doble de lo que era en B. Y como hemos visto que una fuerza proyectiva dupla contrabalancea siempre una fuerza atractiva cuadrúpla, tendremos que no se romperá el equilibrio entre las dos fuerzas, y el planeta continuará su camino desde K á L segun la resultante de ambas. Cuando haya vuelto á B, se encontrará nuevamente sometida á la accion de las dos fuerzas que le hicieron recorrer su órbita por primera vez, y como estas obrarán con la misma intensidad que anteriormente, describirá indefinidamente la misma curva.

Este es el gran principio de la atraccion universal. Es tan cierto que no hay perturbaciones ni irregularidades, por leves que sean, que no explique con la mas rigurosa exactitud. Los astrónomos lo creen de tal modo, que cuando las observaciones no están de acuerdo con los resultados del cálculo, prefieren mejor creer que el error depende del olvido de algunas circunstancias, que negar la doctrina de la atraccion; y al cabo se viene en conocimiento de la causa verdadera del error.

#### DE LAS MASAS PLANETARIAS.

El principio de la atraccion ha servido tambien para determinar la masa y densidad del sol y de los planetas. En efecto, supuesto que la velocidad de la revolucion de los satélites depende del poder atractivo del planeta, podrán deducirse sus masas de sus velocidades. Si el planeta no tiene satélite, se determina su

masa por medio de las perturbaciones causadas por el astro.

Conocidos que sean el volúmen y la masa, fácil es sacar la densidad para lo cual basta dividir la masa por el volúmen.

Cavendish ha determinado la masa de nuestro globo por otro método, si bien fundándose siempre en el principio de la atraccion. Tomó un hilo muy delgado no atirantado, á cuya extremidad se hallaba suspendida una aguja capaz de ceder á la mas leve atraccion. Colocó cerca de esta aguja una esfera de plomo que al ejercer su accion sobre la aguja la hizo experimentar oscilaciones, cuya duracion determinó cuidadosamente. Comparando luego estas oscilaciones con las del péndulo sometido á la accion de la gravedad terrestre, dedujo la relacion de la fuerza de atraccion de la esfera de plomo con la de la gravedad, y encontró así las que guardaban entre si las masas de la esfera de plomo y la tierra. Por último veremos, al tratar de la tierra, que la atraccion ha proporcionado los medios de determinar su medida con una exactitud que en vano se buscaria en las operaciones hechas sobre su superficie.

#### LECCION IX.

##### LA TIERRA §.

Si, al ocuparnos de los planetas, no hemos tratado de la tierra, en el lugar que le hemos asignado, era porque, para hacerlo completamente, queriamos adquirir las nociones que nos son indispensables.

Estudiaremos sucesivamente la figura, las dimensiones y los movimientos de la tierra.

#### FIGURA DE LA TIERRA.

Engañados por la ilusion de los sentidos, los hombres consideraron la tierra como llanura sin límites. Pero poco á poco vinieron las observaciones á destruir este error. Observóse en las comarcas chatas del este, que, al acercarse á los objetos elevados y colocados á una gran distancia, solo se divisaba la cima ó cúspide, despues las partes menos altas, y últimamente, la base que era lo último que se descubria. Este fenómeno no podia ser efecto de algunos accidentes de terreno, y de circunstancias particulares, pues se observaba en todas direcciones, y era tanto mas sensible cuanto mas pura se hallaba la atmósfera. Aun mas observábase en el mar, y en este caso, era mucho mas concluyen-