§ 3.

Otras particularidades de los cometas.

290. Dos problemas importantes se han propuesto los astrónomos resolver sobre los cometas. El primero es si la luz que manifiestan, es propia, ó más bien reflejada por el Sol; y el segundo, cuál sea el orígen de la formacion de las caudas. Los resultados de los más modernos estudios, estaban llamados á resolver dichos problemas, pero, si han dado una solucion satisfactoria en cuanto al primero, no han podido más que acercarse á la del segundo; pues á consecuencia de ellos admiten ahora los astrónomos una hipótesis que necesita ser confirmada por un penoso cálculo, apoyada sobre hechos repetidos y pruebas más convincentes. La física, más que cualquiera otra ciencia, viene en apoyo de la astronomía para explicar ciertos fenómenos ópticos que, lo mismo que en nuestro globo, se verifican tambien en los astros del cielo. Uno de ellos es la polarizacion de los rayos luminosos, la cual consiste en una descomposicion de la luz, que depende de la reflexion de dichos rayos en un cuerpo opaco. Así sabemos que examinando la luz difusa en el aire atmosférico, se la reconoce polarizada, pero examinando el Sol, que es la fuente de toda luz, no se observa traza alguna de polarizacion. Ahora, aplicando este método de averiguacion á los cometas, se ha reconocido que la luz de la nebulosidad y de la cauda está fuertemente polarizada; y por lo tanto, se deduce que es solo reflejada del Sol: mas el núcleo central no ha presentado fenómeno alguno de polarizacion. De aquí ha nacido que algunos opinen que el núcleo se halla en estado candente, si nó en todos, al ménos en algunos cometas, como por ejemplo, en el de 1680 y de 1843, cuya temperatura halló el cálculo ser muy superior á la de la fusion de los metales más refractarios (1). "Sin embargo, dice el P. Secchi (loc. cit.), si se considera que nuestras nubes tampoco polarizan la luz reflejada por el Sol, no habrá necesidad de recurrir á dicha suposicion para todos los cometas: tanto más cuanto que observando el núcleo con los más fuertes aumentos, éste se resuelve en una nebulosidad sin límites decididos, que se confunde con todo lo demás de la cabellera, al través de la cual, como dijimos antes, pueden verse las estrellas más pequeñas.

(1) Para el cometa de 1680 Newton halló que la temperatura del núcleo era de 2.000 veces mayor que la de la fusion del hierro: en el de 1843, cuya distancia al Sol no era más que 0.1439 del radio solar, el calor fué 2.250.000 veces más fuerte del que experimentamos en la Tierra.

291. Por lo que hace á la formacion de las caudas, es preciso advertir que la condicion en que se hallan los cometas, es muy diferente de la de los planetas: en estos rigen sobre todo las leyes de la gravedad y de la cohesion por la que las moléculas están compactas, y por tanto, se hallan en estado sólido, mas siendo constituidos los cometas por una aglomeracion de moléculas tan sutiles, como si fuesen menudísimo polvo en estado de disociacion, su naturaleza es muy diversa de la de los cuerpos líquidos ó gaseosos. Aunque nos sean desconocidas las leyes que rigen en la constitucion física de estos cuerpos, con todo podemos decir que á la influencia del calor solar debe en primer lugar atribuirse el aumento de volúmen, tanto en el cometa, como en esas fajas luminosas que arrastran detrás de sí. He dicho *en primer lugar*, por cuanto los fenómenos que manifiestan esos cuerpos, al acercarse al perihelio, no pueden explicarse sólo por la accion calorífica del Sol. En efecto, todos saben que un cometa mientras se halla lejos del Sol, tiene una forma redonda y toda la nebulosidad está distribuida igualmente al rededor del núcleo; pero acercándose al Sol, aumenta su volúmen, el núcleo se hace excéntrico, empiezan á formarse unos haces luminosos en la parte que mira al Sol, y estos encorvándose por ambos lados, como si delante hallasen resistencia, van á formar la cauda detrás del núcleo: pero desde que pasado el perihelio, empieza á alejarse del Sol, desaparecen los haces luminosos, se contrae de nuevo la cauda, y vuelve el cometa á su forma redonda, hasta que disminuido sensiblemente el diámetro real, se pierde en los espacios. Ahora bien, clara aparece en estos fenómenos la accion del Sol, pero no puede decirse que esta accion se reduzca únicamente á la calorífica, pues aunque el calor solar sea suficiente á segregar las moléculas en el cometa, no puede determinarse en ellas una direccion más bien que otra, si el efecto producido fuera solo un aumento de volúmen al rededor del núcleo, en cuyo caso deberia tan solo aumentar el diámetro de la nebulosidad, subsistiendo en ella la fuerza de la gravedad: más para que dicha nebulosidad, sustrayéndose á la fuerza de gravedad, como realmente se sustrae, se extienda á manera de una faja tan extensa y á una distancia tan grande en la parte opuesta al Sol [1], es necesario admitir otra fuerza diferente en el Sol mismo, de la cual dependa al encontrarse el cometa en el perihelio, la dilatacion de la materia nebulosa en dicha forma. Por lo tanto, siendo esta accion

[1] Se ha observado á veces alguna cauda hácia el lado del Sol, pero á más de ser pequeña, pronto ha desaparecido.

del Sol tan instantánea que algun astrónomo la compara á un soplo emanado del mismo Sol, sin entrar en la discusion de las varias hipótesis que muy distinguidos astrónomos, como Newton, Olbers, Bessel, Kepler, etc. han imaginado para explicar la formacion de las caudas, diremos solamente que la opinion más comun en la actualidad, es admitir en el Sol una fuerza repulsiva momentánea, á semejanza de la que repele y áun apaga una llama entre los dos polos de un imán. "Esta fuerza, sin embargo, no se extenderia á toda la masa indistintamente, dice el P. Secchi á este propósito (1), con la misma intensidad, pues esto produciria enormes perturbaciones en el curso de un cometa", sino que, añade "se manifiesta solo sobre una mínima parte de la masa del cometa, á saber, sobre aquella que está colocada fuera de la accion del núcleo, y en un estado extremo de division: es más bien un estado análogo á un impulso de breve duracion, y comparable más propiamente á una fuerza explosiva, que á una verdadera repulsion permanente; lo que aparece probado por la concentracion de la materia que despues vuelve á verificarse al rededor del núcleo, á lo ménos en su mayor parte. Digo *en su mayor parte*, pues no está demostrado que toda vuelva á él, y el cometa Donati mostraba restos aislados muy sutiles que parecian abandonados en el espacio." Añade además el sábio astrónomo, que "el problema es de una solucion más dificil de lo que se cree comunmente", y por lo tanto, es necesario que teniendo en cuenta los hechos con precision y esmero los analizemos de un modo concienzudo y completo, para poder llegar á conocer la verdad, en cuanto nos sea posible.

§ 4.

Movimiento propio de los cometas.

292. Los antiguos que, aunque imperfectamente, pudieron conocer el curso de los planetas, se hallaban, sin embargo, en completa ignorancia en cuanto á los cometas: generalmente creian que eran cuerpos sublunares y que provenian tal vez de materias inflamables de nuestra atmósfera, aunque Séneca con aquella penetracion de entendimiento que le era propia, los habia clasificado entre los planetas. El primero que por medio de la paralaje demostró no ser los cometas meteoros atmosféricos, sino verdaderos cuerpos celestes que obedecian á sus propias leyes, del mismo modo que los planetas, fué Ticho-Brahé con ocasion de haber observado por un mes entero

[1] Discurso sobre el gran cometa de 1861. Roma 1861.

el cometa aparecido en 1585: pero no pasó más adelante. Kepler, á pesar de las leyes que halló para el movimiento de los planetas, opinó, así como Cassini, que los cometas se movian en línea recta. Más tarde, el célebre Newton demostró que las leyes de los movimientos de los cometas son las mismas que las de los planetas, con la diferencia de que las órbitas de los cometas eran muy alargadas, y por tanto, más bien hipérboles. Borelli, sin embargo, astrónomo italiano, halló que mejor correspondia á las observaciones una órbita parabólica. Toda esta diversidad de opiniones entre astrónomos de tanta nombradía era debida á varias causas, pues á más de que faltaba un número suficiente de observaciones para determinar la órbita, las pocas que podian hacerse, solo eran verificables en un arco muy pequeño de dicha órbita. A esto se añadia que, observado una vez un cometa, y sufriendo éste quizás en su curso notables perturbaciones por la accion de los planetas, debia necesariamente variar de direccion, y de consiguiente no era posible reconocerlo, como sucedió con el de 1770, que fué á parar entre los satélites de Júpiter. Pero despues que la ciencia ha hallado el método para determinar con mayor precision los elementos de la órbita, con solas tres observaciones ha podido demostrar que las órbitas cometarias son elípticas como la de los planetas, pero muy excéntricas. El primero que probó ser elipses las órbitas de los cometas, fué Halley á mitad del siglo pasado. Es preciso advertir que la elipse incluye los mismos elementos que la parábola en el pequeño arco perteneciente al perihelio, y por tanto, como la parábola se considera límite de la elipse, faltará en sus elementos el de la distancia media y el del tiempo periódico [1]. De aquí resulta que bien puede considerarse elíptica una órbita, cuantas veces á los elementos parabólicos observados se añada el tiempo periódico. Esto supuesto emprendió Halley el duro trabajo de calcular los elementos de varios cometas que habian sido observados en épocas remotas, y halló realmente que en algunos de ellos se reproducian insensiblemente los mismos elementos. Así, por

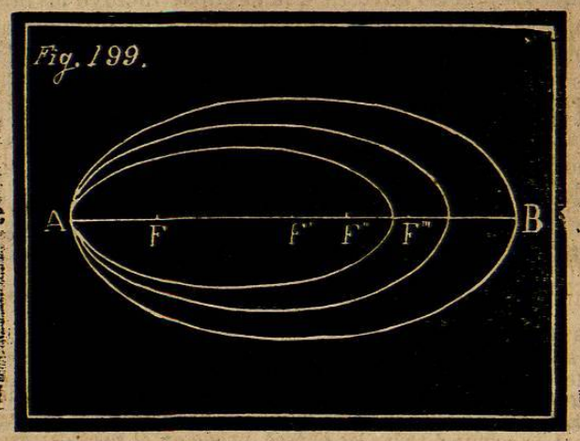
(1) Los elementos de la parábola son los siguientes: 1º inclinacion del plano de la órbita sobre la eliptica: 2º la longitud del nodo ascendente, ó sea, el valor del ángulo que la interseccion del plano de la órbita con la eclíptica, forma con una paralela á la línea de los equinoccios: 3º la longitud del perihelio, ó sea, el ángulo que el plano perpendicular al plano de la eclíptica y que pasa por el eje de la órbita, forma con una paralela á la línea de los equinoccios: 4º la distancia perihelia: 5º la época del paso por el perihelio. Por estos elementos podrá conocerse el sentido del movimiento que puede ser directo ó retrógrado. Para ver como estos elementos parabólicos pueden considerarse pertenecientes á una curva elíptica, constrúyase una elipse

ejemplo, halló que el cometa de 1682 fué el mismo que habia aparecido en 1607, 1531 y 1456. Hé aquí los elementos calculados por el sábio astrónomo en las diferentes apariciones de dicho cometa.

Epoca de la aparicion.	Inclinacion de la órbita á la Ecíptica.	Longitud del nodo.	Longitud del perihelio.	Distancia perihelia.	Direccion del movimiento.	Observadores.
1682	17°,42′	50°,48′	301°,36	0.58	Retrógrado.	Hevelius Picardi.
1607	17, 2	50, 21	302, 16	0.58	Retrógrado.	Lahi.
1531	17, 56	49, 25	301, 39	0.57	Retrógrado.	Kepler Longomond.
1456	17, 56	48, 30	301, 00	0.58	Retrógrado.	Apiar.

La identidad de estos elementos, por lo cual reconoció la identi-

cualquiera AB, (fig. 199) cuyos focos sean FF′. Si permaneciendo fijo el foco F, se construye otra elipse que tenga por vértice el mismo punto A de la primera, y cuyos focos sean F y F″, esta segunda elipse contendrá á la primera, será más excéntrica y de consiguiente más alargada. Ahora si se con-



iben así mismo descritas otras elipses cuyos focos sean entre sí más y más distantes FF‴, F^{IV} etc., quedando siempre fijo el primer foco F, y cuyos vértices pasen por el vértice A, entre todas las elipses que puedan construirse, hallaremos finalmente una curva, más allá de la cual no puede pasar e-

dad del cometa, llevó al astrónomo á considerarle como moviéndose al rededor del Sol periódicamente en una elipse muy alargada: por lo tanto, no dudó predecir su vuelta para el año de 1758 ó 1759, como en efecto se verificó. Siendo el periodo de este cometa de 75 á 76 años, puede remontarse hasta los tiempos chinos y se reconocerá no haber nunca dejado de aparecer á la tierra desde el año 11 antes de Jesucristo. Los mismos cálculos se han hecho sobre otros cometas, pero de estos la mayor parte se hallan fuera del sistema solar: por tanto, ó no vuelven más, hallando quizás en los espacios otro cuerpo atrayente que perturbe su órbita, ó si vuelven, tienen un tan largo periodo de años, que á muchas generaciones no es dado poder observar [1]. Hay, empero, otros que pertenecen al sistema solar y vuelven periódicamente despues de cierto número de años, más ménos corto; de éstos vamos á hablar en el párrafo siguiente.

§ 5.

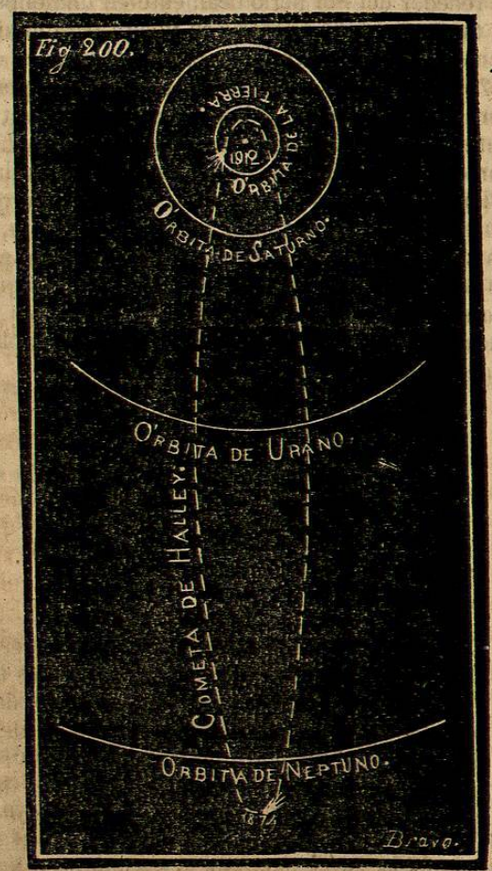
Cometas periódicos.

294. Los cometas periódicos pertenecientes al sistema solar conocidos actualmente son cuatro. Entre ellos tiene el primer lugar el cometa de Halley, cuyos elementos hemos dado á conocer. Su órbita se extiende mucho más allá de la órbita de Neptuno, y se acerca al Sol solo ¼ del diámetro de la órbita terrestre [fig. 200]. Siendo su periodo de 75 á 76 años deberá aparecer de nuevo en 1912. Este es el mismo cometa de nuestro sistema que puede observarse áun á la simple vista, pues cuando se acerca al perihelio, su enorme cauda abraza en el cielo una extension de más de 60°; los demás no presentan cauda visible, y por tanto, solo son telescópicos.

lipse ninguna, pues en este caso el segundo foco F$_x$ quedaria á una distancia infinita. Esta curva límite se llama parábola. Ahora bien, si se observa que el vértice A es comun á todas las elipses, puede en él considerarse un arco que pertenezca al mismo tiempo á la parábola y á una elipse poco distante del límite: por consiguiente, de las posiciones de un cometa sobre ese arco pueden deducirse los elementos, muy aproximadamente comunes á la parábola y á la elipse.

(1) El cometa de 1858 tiene un periodo probable de 2120 años, y el de 1811 de 3000, término aproximado en 100 años poco más ó ménos.

295. Otro cometa periódico es el que lleva el nombre de Enke de de Berlin. Comparando este astrónomo los elementos de un cometa observado en Marsella el 26 de Noviembre de 1819 por M. Pons, con los del que habia aparecido en 1805, reconoció ser el mismo, y por tanto, periódico: se han calculado los elementos de este cometa desde 1786 en que se vió por primera vez. Helos aquí:



Años.	Longitud del perihelio.	Longitud del nodo.	Inclinacion de la órbita á la eclíptica.	Distancia perihelia.	Periodo	Direccion del movimiento.
1786	156°,38	334°, 8	13°,36	0.3348	.....	Directo.
1795	156, 41	334, 39	13, 42	0.3344	.....	,,
1805	156, 47	334, 20	13, 33	0.3404	.....	,,
1819	156, 59	334, 33	13, 37	0.3353	1200^{d}, cerca	,,
1845	157, 44	334, 20	13, 8	0.3381	1205^{d}, 23	,,

La órbita de este cometa está contenida en la de Júpiter y para recorrerla emplea 1205 dias, es decir, 3 años y 3 meses. En su afelio dista del sol cuatro veces el radio vector de la tierra, y en el perihelio se acerca al sol $\frac{1}{3}$ del mismo radio. Una circunstancia singular se observa en la órbita de este cometa, á saber, que en cada aparicion los elementos calculados manifiestan una disminucion progresiva en el eje mayor de la elipse y en la distancia media al sol. Así es que acercándose más y más al sol, es probable que al fin caiga en él, ó á lo ménos se desvanezca poco á poco; esto último parece lo más verosímil, por notarse en él una sensible disminucion de luz y falta de núcleo: su aspecto no es más que una especie de nebulosidad poco luminosa.

296. En 1826 el astrónomo Biela en Johannisberg descubrió un cometa el 27 de Febrero, y despues de haber publicado sus observaciones, M. Gambart en Marsella calculó los elementos parabólicos de su órbita, y comparándolos con los de otro cometa que habia sido observado en los años de 1772 y 1805, reconoció inmediatamente su identidad por la identidad de su órbita elíptica. De los cálculos se deduce la particularidad notable de que dicha órbita atraviesa la eclíptica, y en 1832 distaba el cometa de la tierra sólo 20,000 millas. Su corto periodo es de 6 años $\frac{3}{4}$, y en su afelio pasa poco más allá de la órbita de Júpiter. Otro fenómeno singular ha presentado este cometa en una de sus nuevas apariciones. En 1846 se observó una especie de prominencia hácia un lado del núcleo; pasado algun tiempo, y antes que se perdiera de vista, el astrónomo Maury norte-americano vió que éste se habia dividido en dos partes, las cuales, sin embargo, se hallaban unidas por un pequeño arco, á manera de puente, y de una luz muy débil. En la aparicion siguiente que se verificó en 1852 pudieron verse las dos partes bien separadas en el Observatorio del Colegio Romano. Cuál haya sido la causa de la division ó de la ruptura en este cometa, la ciencia lo ignora, desde que todavía puede decirse que está en problema la constitucion física de estos cuerpos. Sin embargo, no parece ser este el primer ejemplo de semejante fenómeno, pues hay memoria de haberse verificado lo mismo en otros cometas; y si la ciencia habia dudado de la realidad del hecho hasta ahora, el cometa de Biela ha venido á comprobarlo. Averiguada la distancia real de los dos núcleos, ó de los dos pedazos del núcleo en 1846, se halló no ser ménos de 230,000 millas, y en la otra aparicion de 1852 llegó á 1.616,000 millas, teniendo lugar la distancia máxima en el paso por el perihelio. En los elementos que damos á continuacion de la órbita del cometa, antes y despues de la division, se vé que entre las dos partes hay una pequeña diferencia, no sólo entre ellas, sino tambien con relacion á los

elementos del cometa antes de la division: parece, pues, que las dos partes siguen más ó ménos una órbita comun, y no muy diferente de la que seguian antes de la division. Hé aquí los elementos:

Elementos.	Antes de la division.	Despues de la division. Parte C.	Despues de la division. Parte D.
Epoca del pasaje por el perihelio.	1846, 11 Feb. 0^h, 2^m, 50^s.	1852, 22 Stbre. 23^h, 35^m, 16^s.	1852, 23 Stbre. 17^h, 58^m, 15^s.
Long. del perihelio.	109°, 5, 47.	108°, 58′, 16.	109°, 5′, 20″.
Longitud del nodo.	245, 56, 58.	245, 53, 29.	245, 49, 34.
Inclinacion.	12, 34, 14.	12, 33, 49.	12, 33, 28.
Eje transverso.	3, 50, 182.	3, 528, 73.	3, 513, 75.
Excentricidad.	0, 755, 471.	0, 756, 118.	0, 755, 20.
Periodo.	23, 93^d, 52.	.....	.....
Movimiento.	Directo.	Directo.	Directo.

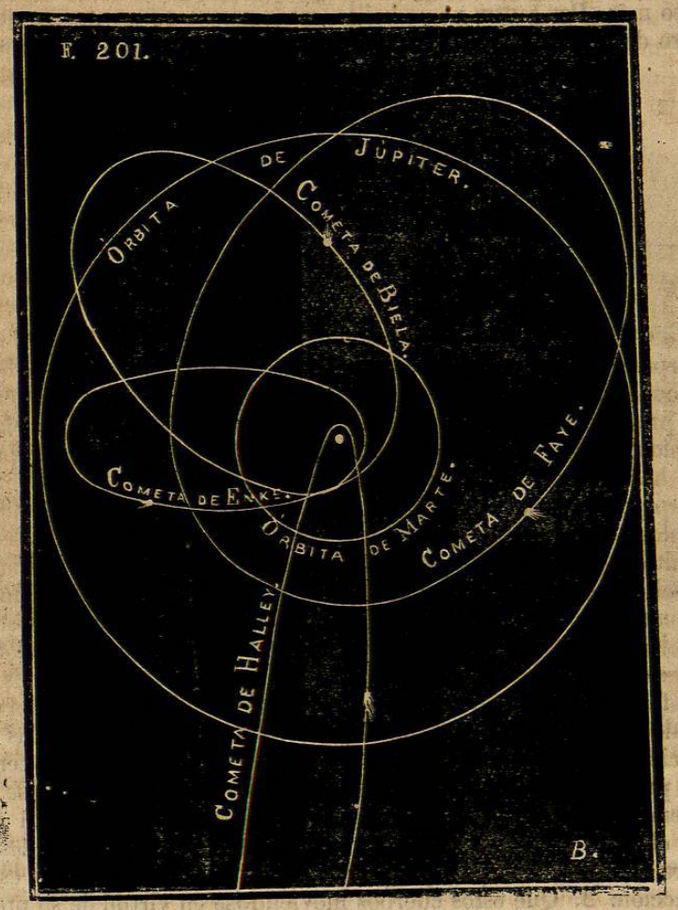
El fenómeno más importante que ha presentado este cometa despues de su division, ha sido su desaparicion. Se esperaba su vuelta en el mes de Octubre de 1872, pero no fué posible verlo. Sin embargo, la Tierra debia atravesar el nodo de su órbita el 27 de Noviembre del mismo año. Pero en ese dia tuvo lugar la célebre lluvia de estrellas fugaces, "cuyas chispas, dice el P. Secchi, en ciertos puntos del cielo eran tan pequeñas y en tan gran multitud, que parecian copos de nieve, ni se las podia mirar sin cierto terror, considerando las consecuencias que habrian podido tener con relacion á nuestra existencia, si la atmósfera no hubiera existido allí para protegernos." Los dos pedazos, pues, del cometa de Biela que por cierto tiempo siguieron su curso en el espacio, se resolvieron al fin en una lluvia de estrellas fugaces.

297. Finalmente, el cuarto cometa periódico del sistema solar es el descubierto por M. Faye el 23 de Noviembre de 1843, pero cuya órbita elíptica fué reconocida y calculada por M. Goldsmitd, discípulo de Gauss. El curso de este cometa es de 7 años y 5 meses, ó más exactamente, $2,718^d$ 25: la excentricidad de su órbita es la más pequeña de las que suelen tener todos los demás cometas, cuyas elipses son muy alargadas. Con todo, ésta tambien se extiende poco más allá de la órbita de Júpiter: la distancia máxima al Sol es casi 6 veces el radio vector de la tierra, y la perihelia mínima es de casi dos veces la distancia de la Tierra al Sol, ó más exactamente = 1.65. Los elementos de la órbita son los siguientes:

Longitud del perihelio.....	49°,34′,19″.
Longitud del nodo.....	209°,29′,19″.
Inclinacion.....	11°,22′,31.
Eje transverso.....	3.81179.
Excentricidad.....	0.55596.
Movimiento.....	Directo.

Epoca del paso por el perihelio 1843, 17 Octubre 3^h,42^m,16^s.

298. Para la inteligencia de las órbitas de los cometas de que he-



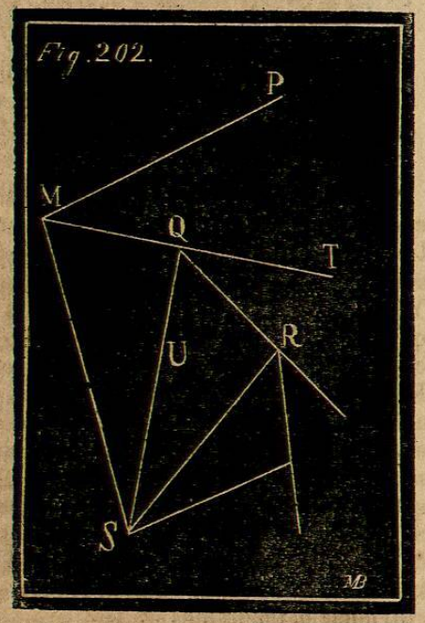
mos hablado, al rededor del Sol, damos la fig. 201, la cual represen-

ta el centro del sistema solar y el curso de los cometas periódicos conocidos.

Otros cometas periódicos han descubierto los astrónomos Brorsen, D'Arresti, De Vico, cuyos elementos han podido calcularse despues de las acostumbradas observaciones, pero por causas, extrañas quizás á los mismos cometas, no han podido ser vistos á su vuelta: el del P. De Vico p. e. que fué descubierto por primera vez en 1844, en la que debia de ser segunda aparicion, la distancia perigea fué mucho mayor que la distancia á que se hallaba el cometa de la tierra, cuando desapareció la primera vez. Posteriormente no se le ha visto más. Por tanto, no se hallan estos cometas menores en el número de los periódicos constantes que forman parte del sistema solar.

CAPITULO V.

Gravitacion Universal.

§ UNICO.

299. De todo lo que hemos dicho sobre los movimientos de los cuerpos celestes, aparece claro que estos se rigen por ciertas leyes, las cuales tienen por base fundamental las que dedujo Kepler de sus prolongados estudios sobre los movimientos del planeta Marte. Ya desde esa época varios astrónomos y matemáticos sospecharon que habia alguna ley fija, no sólo entre las moléculas de un mismo cuerpo entre sí, sino tambien entre cuerpos de masas diferentes. Kepler, en consecuencia de las leyes de los movimientos celestes, admitió la hipótesis de que, al ménos en nuestro sistema existia en el Sol una fuerza que atraía á los planetas con una intensidad inversamente proporcional á la distancia. El matemático Borelli sostuvo que los planetas, siguiendo *una ley general*, se movían al rededor del Sol, así como los satélites al rededor de los planetas, solicitados por una fuerza tal, que nunca pudieran sustraerse á la influencia del centro de accion. Horke que fué el primero que, por medio de las oscilaciones del péndulo, exploró la intensidad de la gravedad terrestre, propuso tres hipótesis que podrian considerarse como base del sistema, á saber: 1º Que los cuerpos celestes tienden hácia un centro, el cual ejerce una fuerza atractiva, ya sobre sus moléculas, ya sobre los demás cuerpos que se hallan comprendidos en su esfera de accion. 2º Que estos cuerpos moviéndose en virtud de su propia inercia, en los espacios debieran describir una línea recta, pero como describen una curva, preciso es reconocer que *obedecen* tambien á otra fuerza componente. 3º Que el efecto de esta fuerza deberá ser tanto mayor cuanto más cerca del centro se halle el cuerpo atraido. Posteriormente Bonillaud, suponiendo elípticas las órbitas planetarias, sostuvo, que admitida la atraccion hácia un centro, debia esta disminuir segun el cuadrado de la distancia. Todas estas hipótesis, aunque vagas, iban insensiblemente allanando el camino hácia la fórmula general de atraccion, que al grande ingenio de Newton cupo la suerte de hallar, no solo independientemente de los que le habian precedido, sino tambien siguiendo en su raciocinio un camino muy diferente. Supuesta en un cuerpo una fuerza impulsiva que lo haga moverse en una línea, si recibe un impulso en direccion inclinada á ella, seguirá en su movimiento una resultante determinada por la diagonal del paralelógramo, cuyos lados representen la direccion é intensidad de las dos fuerzas. Apoyado en este principio tan sencillo, demostró hasta la evidencia que si la fuerza es central y contínua, un cuerpo cualquiera que describiera una línea recta en virtud de una impulsion primitiva, describirá una curva, la cual en caso de variar la fuerza en razon inversa del cuadrado de la distancia al foco, será una elipse ú otra seccion cónica. En efecto: sea un centro S que obra sobre el cuerpo M (fig. 202) en un instante dado en el sentido MS. Puesto que el cuerpo se halla impulsado por una fuerza primitiva hácia P, teniendo que obedecer á esta segunda fuerza, se desviará de su camino, describiendo la diagonal MQ del paralelógramo construido sobre dichas fuerzas. Si en el punto Q cesara la fuerza MS, el cuerpo en virtud de su inercia seguiria la direccion MT determinada por la impulsion primitiva, á la cual solo obedeceria en este caso. Pero supongamos que en dicho punto Q vuel-