

excepto una modificación en la naturaleza geométrica de las curvas, regulan también los movimientos de los cometas y los de los cuerpos ó enjambres de corpúsculos que circulan en el interior de nuestro sistema. Gracias á estas leyes, tan luego como la observación nos revela la existencia de un astro perteneciente á alguno de dichos grupos y conocemos un número suficiente de sus distintas posiciones, podemos calcular todos los elementos de su revolución, así como averiguar el plano de su órbita, su inclinación, su excentricidad, y la duración del período de su revolución, y determinar ó predecir las posiciones futuras del astro con una precisión que depende de la de las mismas observaciones.

Hay que advertir, sin embargo, que no se deben considerar esas leyes como la expresión rigurosa de la realidad; no son ni pueden ser más que aproximadas: como todas las leyes físicas están sujetas á variaciones ó perturbaciones que Keplero no pudo por fortuna sospechar, pues si así hubiese sido, probablemente le habrían inducido á desistir de sus investigaciones. Las observaciones astronómicas que se hacían en su tiempo no podían tener una rigurosa exactitud, aunque sí la suficiente para que Keplero haya podido responder de la imposibilidad de cierto error, bastante débil para que le pasasen inadvertidas las diferencias entre sus leyes y los hechos (1).

Aún no había transcurrido un siglo desde la muerte de Keplero cuando ya estaban descubiertas esas anomalías; pero lejos de ser un obstáculo para la ciencia, lo que han hecho ha sido elevar las teorías astronómicas á mayor grado de exactitud, habiéndose demostrado que aquéllas son consecuencia natural de las causas físicas que unen entre sí á todos los movimientos de los astros y cuyo corolario son precisamente las leyes del movimiento elíptico. Estas causas, ó mejor dicho, esta causa única estriba enteramente en el principio de la gravitación ó de la atracción universal, que el genio de Newton supo á su vez deducir de las leyes de Keplero. Cuando hayamos expuesto este gran descubrimiento, se comprenderá mejor lo que acabamos de decir acerca de las restricciones que deben tenerse en cuenta en el enunciado de las leyes del movimiento elíptico.

III

DESCUBRIMIENTO DE LA GRAVITACIÓN INTERPLANETARIA POR NEWTON

Hacia el año 1665 fué cuando Newton concibió, según se dice, en su posesión de Woolstrop, la primera idea de hacer extensiva á los cuerpos celestes la acción de la gravedad. Reflexionando en la naturaleza de esta fuerza que atrae sin cesar hacia el centro de la Tierra, no tan sólo los cuerpos próximos al suelo, sino también los de las regiones atmosféricas, sin que se advierta en esta propensión disminución apreciable, pensó si ese poder singular traspasaría tal vez los límites de la atmósfera misma, y extendiéndose hasta la Luna, sería la causa que retuviera á nuestro satélite en su órbita.

“Si la Luna está efectivamente retenida alrededor de la Tierra por la gravedad terrestre, los planetas, que se mueven alrededor del Sol, deben estarlo también en sus

(1) J. Bertrán expresa perfectamente esta circunstancia en su estudio sobre Keplero: “Keplero ha podido asegurar, dice, que era imposible un error de 8 minutos (en las observaciones de su maestro Tycho) y esta confianza lo ha salvado todo; si hubiera podido decir lo propio de un error de 8 segundos, todo estaba perdido, pues según una expresión de Goethe, el órgano interior del raciocinio hubiera cesado de estar en armonía con el órgano exterior de la vista, que habría adquirido demasiada delicadeza y sobrada precisión.” (Los fundadores de la Astronomía moderna.)

órbitas por su gravedad hacia este astro. Pero si semejante gravedad existe, su constancia ó su variabilidad, así como la energía de su poder á diferentes distancias del centro, deben hacerse patentes en la variada velocidad de los movimientos de circulación, y por consiguiente ha de ser posible deducir su ley de estos movimientos comparados.”

De este modo se vió Newton inducido á estudiar los movimientos planetarios cuyas leyes había formulado Keplero, y á buscar en estas mismas leyes el secreto del vínculo físico que enlaza al Sol con todos los astros del sistema solar. Los reducidos límites de una obra tan elemental como la nuestra no nos permiten exponer cómo logró Newton resolver tan magnífico problema, cómo reconoció y demostró que la fuerza que obra de una manera continua sobre los planetas emana del Sol, que su intensidad, proporcional á las masas, está en razón inversa del cuadrado de las distancias, y cómo acabó por probar que esta fuerza es idéntica en todos los cuerpos del sistema y que no es otra que la fuerza de gravedad. Trataremos, sin embargo, de poner de manifiesto el encadenamiento de las ideas que enlazan la teoría de la gravitación newtoniana con las leyes de Keplero.

El punto de partida es el hecho de observación de que los planetas describen alrededor del Sol trayectorias curvilíneas, con velocidades variables. Ahora bien, el principio de la inercia de la materia, uno de los axiomas fundamentales de la mecánica, nos enseña que el movimiento de un cuerpo enteramente libre, es decir, de un cuerpo en el que no influye ninguna fuerza exterior, es forzosamente uniforme y rectilíneo; y como el movimiento de un planeta cualquiera no es lo uno ni lo otro, menester será que alguna fuerza influya en él para modificar su dirección y su velocidad. ¿Cuáles son el sentido y la dirección de esta fuerza? ¿Cuál la ley de su intensidad? Las dos primeras leyes de Keplero responden á estas preguntas.

Una de estas leyes dice que los radios vectores de los planetas recorren áreas proporcionales á los tiempos. Pues bien, Newton demuestra que si la fuerza constante cuya existencia es precisa para explicar el movimiento curvilíneo del astro se dirige hacia el Sol, las áreas recorridas siguen precisamente la ley de proporcionalidad descubierta por Keplero, y prueba asimismo que las áreas dejarían de ser proporcionales á los tiempos si fuese cualquier otra la dirección de la fuerza aceleradora.

Así pues, tenemos determinada la dirección de la fuerza que retiene á los planetas en sus órbitas. Esta dirección es la de la línea que une el planeta con el Sol. En una palabra, la fuerza en cuestión emana del Sol mismo.

Pero ¿cómo varía su intensidad con la distancia en su acción sobre el mismo planeta? ¿Qué ley regula esta intensidad en los diferentes puntos de la órbita? Si alguna cosa puede ilustrar por este concepto, es sin duda la naturaleza misma de la órbita, la forma elíptica que consigna la primera ley de Keplero y la posición constante del Sol en uno de los focos de la curva. Y en efecto, esta primera ley ha proporcionado á Newton la solución del problema (1).

(1) Tomamos de Biot la exposición sucinta de las deducciones merced á las cuales pudo llegar á esta solución:

“Puede suponerse que el movimiento actual de un planeta, durante un espacio de tiempo muy corto y en cualquier punto de su elipse en que se encuentre, es el mismo que si describiera un pequeñísimo arco de una circunferencia de círculo que fuese osculadora á la curva en dicho punto. Para que se mantenga instantáneamente en este arco, es preciso que la fuerza central descompuesta según el radio del círculo que va á parar al punto de osculación, iguale y contrabalancee por su oposición la fuerza centrífuga inherente al movimiento circulatorio, la cual propende á sacar al móvil fuera de su órbita siguiendo la dirección de la vertical local, atrayéndole con una energía proporcional al cuadrado de su velocidad de atracción actual y reci-

Ha demostrado que, dada una órbita elíptica, la fuerza central, dirigida constantemente hacia el Sol y capaz por lo tanto de hacer recorrer al planeta áreas proporcionales á los tiempos, varía de intensidad en los diferentes puntos de la elipse; con respecto á dos distancias cualesquiera al foco solar, la intensidad de la fuerza es inversamente proporcional á los cuadrados de estas distancias. Tomemos por ejemplo al planeta Marte, y consideremos las tres posiciones que ocupa en su distancia media al Sol, en su perihelio y en su afelio (1). Si se representa por la unidad la fuerza que actúa sobre Marte á su distancia media, esta fuerza será más débil en el afelio y aumentará en el perihelio en razón inversa de los cuadrados de las tres distancias. En el afelio no pasará de 0,8366; en el perihelio, por el contrario, será igual á 1,1028. Esta misma ley de variación de la fuerza central es aplicable á toda órbita planetaria elíptica como consecuencia directa de las leyes de Keplero. Pero Newton no se atuvo solamente á la solución directa del problema, sino que se planteó la cuestión inversa, esto es, averiguar si recíprocamente todo cuerpo sometido á la influencia de una fuerza central que varía en razón inversa del cuadrado de la distancia al foco de atracción, describe siempre una curva elíptica, habiendo visto que la forma de la órbita descrita alrededor del Sol como foco puede ser, no tan sólo la elipse, sino también la parábola y la hipérbola, es decir, cualquiera de las curvas llamadas *secciones cónicas* (2).

proca al radio osculador de la curva que aquél describe. Establecido el cálculo con arreglo á este enunciado, he aquí el resultado de Newton. Cuando la órbita es una elipse y el centro de las fuerzas uno de sus focos, el equilibrio de los dos esfuerzos contrarios exige que la intensidad de la fuerza central varíe recíprocamente al cuadrado de la distancia del centro de donde emana, y á los puntos sobre los cuales obra. No pudiendo describirse libremente la elipse sino con esta condición, su forma averiguada en las órbitas planetarias impone necesariamente esta ley de variación á la fuerza emanada del Sol que las hace describir.

Al llegar aquí, Newton se ha propuesto el problema inverso. Suponiendo que un punto material libre esté mantenido en movimiento en un plano por una fuerza aceleradora central, que lo atrae con una energía recíproca al cuadrado de la distancia, la órbita que describirá ¿será forzosamente una elipse? Para saberlo, es indudablemente necesario aplicar á la fuerza central así definida el mismo método de descomposición que anteriormente y poner también su componente normal en oposición con la fuerza centrífuga dirigida según el radio osculador de la órbita, dejando esta vez sin determinar la clase de curva á que este radio pertenece, é imponiéndole por única condición que en cada uno de sus puntos haya equilibrio entre los dos esfuerzos que en ellos chocan. Con esta inversión de datos, Newton averiguó que, bajo la influencia de una fuerza aceleradora central, recíproca al cuadrado de las distancias, el establecimiento del equilibrio exige que la órbita sea, no precisamente una elipse, sino una sección cónica cualquiera, uno de cuyos focos es el centro de las fuerzas, en la cual están comprendidas, además de la elipse, la parábola, la hipérbola y una circunferencia de círculo, pudiendo considerarse este último caso como una particularidad del primero. Si se supone que el punto material haya sido puesto en movimiento por un impulso dado á cierta distancia del foco de la fuerza central que le imprime su marcha curvilínea, la variedad de sección cónica que se pone á describir depende de la intensidad del impulso inicial y de la distancia del centro á la cual se la ha aplicado. Su dirección no entra por nada en este resultado. Más adelante, Newton demostró que la parábola se realiza en el movimiento de los cometas, y que también se aplican á ellas las leyes de Keplero, introduciendo en su enunciado las modificaciones convenientes para adaptarlas á una elipse cuyo eje mayor sería en este caso infinito.

Biot añade que todavía no se ha observado que los astros descubiertos hasta aquí describieran una hipérbola. Pero lo que era cierto en la época en que así lo afirmaba (1857) no lo es ya hoy: cierto número de cometas catalogados tienen excentricidades que exceden en gran manera de la unidad, y por consiguiente, cuando han penetrado en nuestro sistema solar, describen órbitas hiperbólicas.

(1) Las distancias de Marte al Sol varían entre los límites extremos 1,0932611, que es la del afelio, y 0,9067389, que es la del perihelio, representando por 1 la distancia media. Esta distancia media es á su vez 1,5237 si se toma por unidad la distancia media de la Tierra. La excentricidad actual de la órbita de Marte es igual á 0,0932611.

(2) Así llamadas porque resultan cortando la superficie de un cono por un plano. Si la sección corta el cono recto por un plano oblicuo al eje, la figura es una *elipse*; si la sección es perpendicular al eje, resulta un

Los planetas y sus satélites describen elipses, hallándose en el mismo caso cierto número de cometas; pero la mayor parte de los cometas conocidos describen parábolas, ó por lo menos elipses tan alongadas que es imposible distinguir de un arco de parábola el arco recorrido por estos cuerpos cuando son visibles desde la Tierra. Hay algunos que trazan positivamente hipérbolas.

Así pues, Newton, con su sabio y profundo análisis, no tan sólo descubrió la ley física de los movimientos planetarios, sino que, traspasando los límites á que estaba circunscrita la observación en su época, hizo extensiva esta ley á los movimientos de los astros que se tenían por extraños al sistema solar. Y lo cierto fué que, aplicando más adelante el mismo Newton sus cálculos al famoso cometa de 1680, consiguió probar que obedecía en sus movimientos á las mismas leyes que los planetas, fundando así del mismo golpe la astronomía cometaria.

Llegado el gran geómetra á este punto, tan sólo le restaba hacer extensiva á las órbitas comparadas de los planetas la ley de variación de la intensidad de la fuerza central en razón inversa de los cuadrados de las distancias.

IV

LA GRAVITACIÓN Y LA GRAVEDAD SON LA MISMA FUERZA

Antes de acometer en su generalidad este nuevo problema, Newton volvió á ocuparse de la cuestión que á sí mismo se planteara desde el principio de sus profundas especulaciones, es decir, de la relativa al movimiento de la Luna y á la acción de la gravedad terrestre sobre nuestro satélite.

La Luna circula alrededor de la Tierra, del propio modo que ésta y los planetas circulan alrededor del Sol. Su órbita es una elipse que describe con movimiento más ó menos rápido, según que varía su distancia á nuestro globo. En una palabra, le son aplicables las dos primeras leyes de Keplero, y por consiguiente, la fuerza que retiene á la Luna alrededor de la Tierra tiene su dirección constante hacia el foco de la órbita y su intensidad varía en razón inversa de los cuadrados de las distancias. Sabemos que también propenden á dirigirse al centro de la Tierra todos los cuerpos pesados que hay en su superficie; por consiguiente los efectos de la gravedad parece tener tal analogía con los de la fuerza aceleradora aplicada á la Luna, que la identidad de estas fuerzas tan sólo exigía una comprobación. Era preciso ver si la intensidad de la gravedad en la superficie del globo, es decir, á una distancia del centro igual al radio terrestre, reducida en razón del cuadrado de la distancia de la Luna ó dividida por 3600 (cuadrado de 60, número que, como es sabido, representa esta distancia en radios terrestres), era efecti-

circulo; si se hace paralelamente á uno de los lados, resultará una curva de dos ramas que se extienden al infinito, y será una *parábola*; por último, cuando la sección se hace por un plano que corta dos conos iguales opuestos por el vértice, la curva que resulta es una *hipérbola*. La figura 124 da un ejemplo de estas diferentes curvas: *ba* y *bc* son, la primera un círculo y la segunda una elipse; *bdb* es una parábola, y *ebc*, *b'c'*, una hipérbola.

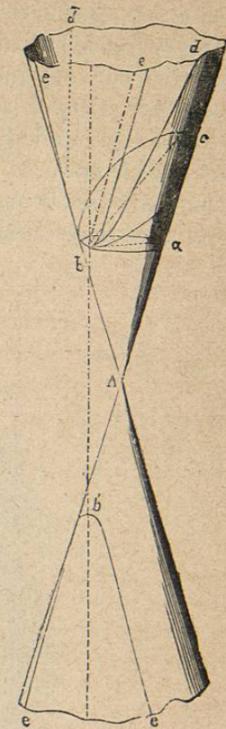


Fig. 124.—Secciones cónicas: círculo, elipse, parábola é hipérbola.

vamente la medida de dicha fuerza aceleradora. La comparación se reducía á calcular, con arreglo al conocimiento del movimiento de la Luna y de las dimensiones de su órbita, la cantidad que representa la caída de este astro hacia la Tierra en un espacio de tiempo bastante corto para que durante él se pueda considerar la fuerza como constante, por ejemplo en un minuto: una vez conocida esta cantidad, que es la medida de la intensidad de la fuerza, faltaba ver si era en efecto igual á la 3600.^a parte del espacio recorrido en la superficie de la Tierra durante un minuto por un cuerpo que cae libremente por efecto de la gravedad.

Si la Luna va de L á L' en un minuto, asimilándola á un proyectil sometido á la acción de la gravedad, su caída hacia la Tierra no es otra cosa sino el espacio LA (figura 125), ó sea lo que se llama en geometría el *seno verso* del ángulo ó del arco descrito. Fácil es de calcular este espacio si se conoce el radio LT de la órbita ó sea la

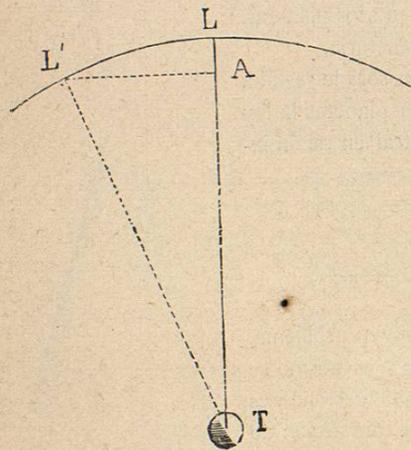


Fig. 125.—Cálculo de la intensidad de la gravedad á la distancia de la Luna

distancia de la Luna; esta distancia, expresada en radios del globo terráqueo, se conocía efectivamente en tiempo de Newton con bastante exactitud: sabíase que era poco más ó menos igual á 60 radios terrestres; pero no sucedía otro tanto respecto al radio de la Tierra en la época de su primer ensayo (1665 á 1666). La cifra que entonces obtuvo como medida de la fuerza que retiene á la Luna en su órbita, resultó $\frac{1}{6}$ mayor de lo que exigía la identificación de esta fuerza con la gravedad.

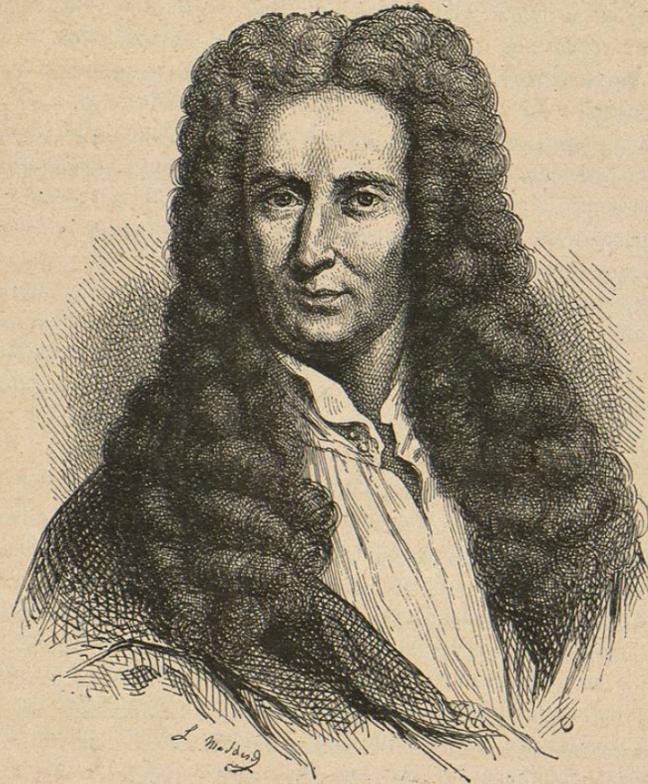
“Esta discordancia, dice Biot, que para cualquiera otro hubiera sido insignificante, parecióle á aquel varón de tan claro ingenio una prueba suficientemente decisiva contra la arriesgada conjetura que había formado. Pensó que alguna causa desconocida, análoga tal vez á los torbellinos de Descartes, modificaba con respecto á la Luna la ley general de gravedad indicada por el movimiento de los planetas. A pesar de esto no renunció á su idea principal: ¿cómo sería posible desechar semejantes ideas? Pero supo guardarla para sí, lo cual representaba un esfuerzo no menor y más conforme con su carácter reflexivo, y aguardar á que el tiempo le revelase la causa desconocida que modificaba una ley indicada por tan grandes analogías.”

En realidad no existía semejante causa. La razón de la discordancia notada por Newton entre la observación y la teoría que concibiera, estribaba únicamente en el valor inexacto que á la sazón se atribuía al radio terrestre. Cuando la Sociedad Real de Londres tuvo noticia, diez y seis años después, de la medición de un arco de meridiano efectuada por Picard, Newton reprodujo sus cálculos de 1665 modificándolos con arreglo á la nueva medida del grado proporcionada por el astrónomo francés ó á la del radio terrestre deducida de ella. Cuéntase que habiéndose puesto á trabajar al salir de la sesión en que se dió cuenta de la noticia de que acabamos de hablar, reconoció poco á poco, y á medida que adelantaba en sus cálculos, la dichosa influencia de los nuevos datos. La realización del objeto tan largo tiempo perseguido, la confirmación de sus prolongadas meditaciones sobre tan magnífico asunto, causaron á Newton tan profunda

bién hacia la Luna. Considerando luego las leyes de los movimientos planetarios, las de los sistemas de satélites alrededor de su planeta respectivo, las de los satélites de Júpiter y Saturno, y comprobando la perfecta identidad de estas leyes entre sí y con las del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y de ésta alrededor del Sol, pensó si podía suceder que las fuerzas centrales que producen todos estos movimientos y cuya intensidad en cada caso particular varía en razón inversa del cuadrado de la distancia, fuesen una sola y misma fuerza, idéntica á la de gravedad.

emoción que no pudo terminar por sí mismo los cálculos empezados y tuvo que rogar á un amigo que los acabara por él.

Así pues, la Luna gravita hacia la Tierra, y la acción de la gravedad traspasa los límites del globo y de su atmósfera y se extiende hasta por los espacios celestes. Basándose entonces Newton en la ley primordial ó axioma de mecánica que exige que toda acción ejercida por un cuerpo sobre otro vaya acompañada de una reacción, es decir, de una acción igual, pero de sentido contrario, dedujo de ella que la Tierra gravita tam-



NEWTON

La tercera ley de Keplero, la que relaciona las dimensiones de los ejes mayores de las órbitas con las duraciones de las revoluciones, es independiente de las excentricidades, es decir, de la forma más ó menos alongada de las elipses recorridas; subsistiría, pues, también en la hipótesis de que cada planeta describiese alrededor del Sol, aunque entonces con movimiento uniforme, círculos perfectos. Simplificando de esta suerte el

problema, Newton llegó á comparar entre sí las fuerzas centrales que retienen á cada planeta en su respectiva órbita y á hacer ver que estas fuerzas son proporcionales á las masas á que se aplican, estando en razón inversa de los cuadrados de las distancias, de suerte que varían de un planeta á otro con arreglo á la misma ley que regula la intensidad de cada uno de ellos á las diferentes distancias en que cada planeta se encuentra respecto al Sol en el curso de su revolución elíptica.

¿Qué debía deducirse de estas consecuencias de las leyes de Keplero, sino que una misma fuerza idéntica á la gravedad es la causa de todos los movimientos de los cuerpos celestes en el mundo planetario, y que esta fuerza, á la cual dió Newton el nombre de *gravitación* ó de *atracción*, se ejerce del Sol á los planetas, de éstos á los satélites, y por vía de reacción, de los satélites y de los planetas mismos al Sol?

Pero no consistía todo en formular la ley; era preciso deducir sus consecuencias y seguirla estudiando hasta en sus últimas deducciones. Obra inmensa, tarea aterradora, que aún hoy día distan mucho de haber terminado los astrónomos y geómetras. Newton se consagró con ahinco al estudio de este múltiple problema y tuvo la gloria y la fortuna de resolver muchas de sus importantísimas partes. Así lo expresa admirablemente Biot en su estudio sobre aquel gran genio.

“Tan luego como Newton hubo reconocido como verdadera una ley que por espacio de tantos años le había tenido indeciso por no parecerle rigurosamente conforme con la Naturaleza, se penetró al momento de sus más remotas consecuencias y las fué siguiendo una por una con una fuerza y una constancia y una audacia de pensamientos como no se han visto ni se verán probablemente jamás en otro mortal.

„Porque ¿habrá por ventura otro que sea ya el primero en *demostrar* verdades de esta clase? Todas las partes de la materia gravitan unas hacia otras con una fuerza proporcional á sus masas y recíproca al cuadrado de sus mutuas distancias; esta fuerza retiene á los planetas y cometas en derredor del Sol, lo mismo que á cada sistema de satélites en torno de su cuerpo primario, y en virtud de la comunicación universal de influencias que establece entre las partes materiales de todos estos cuerpos, determina la naturaleza de sus órbitas, la forma de sus masas, las oscilaciones de los fluidos que los envuelven, y sus menores movimientos, ya sea en el espacio ó bien sobre sí mismos, todo ello con arreglo á las leyes observadas. ¿Quién podrá en adelante dar la solución de cuestiones naturales más elevadas que ésta? Averiguar cuál es la masa relativa de los diferentes planetas; determinar las relaciones de los ejes de la Tierra; demostrar la causa de la precesión de los equinoccios; conocer la fuerza del Sol y de la Luna para levantar el Océano: tal fué la magnitud y la sublimidad de los asuntos que se ofrecieron á la reflexiva mente de Newton tan luego como éste hubo conocido la ley fundamental del sistema del Mundo. ¿Debemos admirarnos de que al conocerla se conmoviera hasta el punto de no poder terminar la demostración que de ella le cercioraba?... Veía realizada la idea fija de toda su vida, logrado el objeto constante de sus deseos. Desde aquel punto se entregó por completo á disfrutar los goces que le causaba aquella deliciosa contemplación. Durante los dos años que invirtió en preparar y desarrollar la inmortal obra de los *Principios de la filosofía natural*, en la que están consignados tantos y tan admirables descubrimientos, Newton no vivió sino para calcular y pensar; y si la vida de un ser sujeto á las necesidades de la humanidad puede ofrecer una ligera idea de la existencia pura de una inteligencia celeste, puede decirse que la vida del gran geómetra en aquella sazón presentó esta imagen.”

CAPÍTULO V

PERTURBACIONES PLANETARIAS

I

NINGÚN CUERPO CELESTE DE NUESTRO SISTEMA SIGUE RIGUROSAMENTE LAS LEYES DE KEPLERO

Aun cuando el principio de la gravitación universal se descubriera interpretando física ó mecánicamente las leyes de Keplero, es decir, las leyes del movimiento elíptico, en realidad estas leyes no son rigurosamente las de los movimientos planetarios. Lo hemos dicho ya y conviene que insistamos en ello: los planetas no describen elipses perfectas; sus órbitas no son planas, ni las áreas trazadas por los radios vectores proporcionales á los tiempos. En una palabra, la órbita verdadera de un planeta es una curva que difiere más ó menos de la elipse teórica, y cuyos elementos, posición, forma y dimensiones varían por grados. Si imaginamos un planeta ficticio que se mueva con arreglo á las leyes del movimiento elíptico, en este caso el planeta verdadero oscilará á una y otra parte de aquél. Además, la misma órbita ficticia cambiará lenta y progresivamente. Estas oscilaciones, estas variaciones son lo que se conoce en astronomía con el nombre de *perturbaciones* ó *desigualdades*. Diremos desde luego que se las divide en dos categorías: llámase *desigualdades periódicas* á las oscilaciones del planeta verdadero alrededor del planeta ficticio, las cuales se efectúan periódicamente en espacios de tiempo no muy considerable; y *desigualdades seculares* á las variaciones que afectan á los elementos mismos de las órbitas, teniendo éstas períodos de extraordinaria duración. Daremos algunos ejemplos de unas y otras, y así se comprenderá mejor la razón de estas diferentes denominaciones.

Puesto que existen tales anomalías, puesto que el enunciado de las leyes de Keplero está sujeto á las restricciones de que acabamos de hablar, ¿consistirá en que la ley de la gravitación es tan sólo una ley aproximada? Esto sería inferir una grave ofensa á la teoría.

No, no es así. El movimiento elíptico es una hipótesis, y una abstracción, por decirlo así, la que se realizaría si no hubiera en el espacio más que el Sol y un planeta, porque la gravitación se ejerce entre todos los cuerpos del sistema planetario, lo mismo del Sol á cualquier planeta que de este planeta al Sol, ó que de un planeta aislado á todos los demás; en una palabra, porque las atracciones de todos los cuerpos del sistema son universales y recíprocas.

Tan luego como un tercer cuerpo, una tercera masa interpone su acción, agrega su influencia á las influencias de los dos primeros, el movimiento se complica al punto; cada uno de los cuerpos es un perturbador del movimiento de los otros, y esta acción cambia á cada instante en razón de las variaciones que introduce el movimiento en las posiciones respectivas y en las distancias, en razón de las magnitudes de las masas puestas frente á frente. El problema que consiste en determinar con todo rigor, matemáticamente, los movimientos de los tres astros así enlazados, lo que se llama en astronomía