

REFLEXIONES
SOBRE
EL SISTEMA PLANETARIO.

REFLEXIONES

SOBRE

EL SISTEMA PLANETARIO

POR

D. SALVADOR CLAVIJO

GENERAL DE INGENIEROS.



SANTA CRUZ DE TENERIFE.

IMPRENTA ISLEÑA Y ENCUADERNACION DE LIBROS

á cargo de Francisco C. Hernandez.

1870.

6604986692

AL contemplar en el sistema solar los movimientos de los planetas en órbitas casi circulares y en planos que se apartan muy poco del ecuador del Sol, y al ver que muchos de aquellos cuerpos son á su vez céntros de otros de menores dimensiones, con movimientos y situaciones análogas; ocurre naturalmente preguntar cual es la causa de esos acompasados impulsos primitivos que en su origen les animáran, y que en union con la atraccion les hace describir órbitas elípticas al rededor del Sol, y repitiéndose en los satélites vienen estos

VI.

á formar nuevos sistemas dentro del gran sistema solar.

Juntamente con estos movimientos hay otros no menos notables, cuales son los de rotacion del Sol, planetas y satélites, verificándose todos en el mismo sentido; el mismo que el de la traslacion en sus órbitas.

La teoría mecánica del cielo no vé sin embargo en estos últimos movimientos mas que un accidente que solo afecta la vida peculiar y modo de ser de cada cuerpo, pero que de manera alguna influye en la estructura del sistema planetario, considerándolos como un efecto del primitivo impulso desconocido, efecto tanto mayor cuanto lo fué la distancia á que pasára del centro de cada cuerpo.

La cosmogonia de Laplace, representacion sencilla é ingeniosa del origen y formacion de los cuerpos planetarios

y de sus diversos movimientos, pierde notablemente de su exactitud al considerar los de rotacion, pues como Mr. Babinet ha demostrado, los tiempos periódicos de las revoluciones planetarias no son los que corresponden á la rotacion de la esfera nebulosa, cuando se estendia hasta cada uno de los anillos de que cada planeta se formó, ni los de cada planeta en los diversos estados en que se producian los satélites, guardan relacion con los movimientos de traslacion de estos cuerpos.

Mas si por esta consideracion y otras fáciles de imaginar se desecha el pensamiento de Laplace, fundado única y exclusivamente en la fuerza de la atraccion; cualquiera que sea la hipótesis de que se parta, no es posible concebir que estos movimientos de rotacion y traslacion dejen de tener relaciones y mútua de-

VIII.

pendencia entre si. El impulso que hace circular los planetas, el mismo que tambien les hace girar, es sin duda el que obliga á los satélites á acompañarlos en sus órbitas al rededor del Sol, y no puede comprenderse que deje de estar ligado con el que hace circular los mismos satélites al rededor de su cuerpo central.

Partiendo de este principio, que tan en armonia nos parece con la estructura de nuestro sistema solar, hemos tratado de descubrir si entre las velocidades con que recorren sus órbitas casi circulares los satélites de los diferentes planetas, supuestos á una misma distancia de sus respectivos centros, podria hallarse una relacion ó dependencia con el tamaño del planeta, su velocidad de rotacion y el lugar que ocupa en el sistema planetario, ó sea su distancia al Sol, fuente

y origen del calor, luz y efectos magnéticos que animan á todos y cada uno de los cuerpos que componen aquel brillante conjunto.

Una combinacion prolija de los elementos ó datos de cada planeta, siempre bajo el mismo punto de vista, nos ha conducido al siguiente resultado.

«Los cuadrados de las velocidades de los satélites igualmente distantes de sus planetas principales, están en razon directa de los cubos de las velocidades de rotacion, de las superficies de los planetas, é inversa de sus distancias al Sol.»

Al presentar hace algunos años esta misma relacion, lo hicimos bajo una forma bien diferente, eludiendo el enunciar concepcion ó hipótesis alguna que desvirtuase el resultado á que creíamos haber llegado. Decíamos entonces: «las masas de los planetas son proporcionales

X.

á los cubos de sus velocidades de rotacion multiplicados por los cuadrados de sus rádios y divididos por su distancia al Sol;» relacion que representábamos por

la ecuacion $m = \frac{u \cdot r^2}{d}$ Presentada bajo

un punto de vista tan general, no podia verse en ella otra cosa mas que el intento de buscar una ley empírica á que debieran sugetarse las velocidades de rotacion de los planetas, á semejanza de la de Bode respecto de las distancias planetarias al Sol; y su inexactitud al aplicarla á los desprovistos de satélites, debia hacer aparecer como una combinacion numérica fortuita el exacto resultado que se obtiene para los demás planetas. Las reflexiones que sobre este notable resultado esponemos al final de esta memoria, nos parecen bastantes para que no pueda mirársela bajo ese punto de vista.

Sin duda nuestra ecuacion no es consecuencia de los principios mecánicos en que estriba la teoria de la atraccion, y admitida ésta como única y esclusiva fuerza en la mecánica celeste, todo lo que en ella no se funda y no es su inmediata consecuencia, debe mirarse como incierto y empírico.

¿Pero es verdad que todos los fenómenos que el cielo nos ofrece, tienen una explicacion clara y terminante en aquella sola fuerza inherente á la materia? Bajo este aspecto hemos pretendido analizar algunos puntos de nuestro sistema planetario, que si bien hoy se miran como secundarios, podrán llegar un dia á ser de gran trascendencia en la ciencia. Asi, hemos analizado la singularidad que los movimientos de los satélites ofrecen; la cosmogonía de Lapace, por la que se pretende explicar todos

XII.

y cada uno de los movimientos de los cuerpos que componen el sistema planetario sin recurrir á otra fuerza que la atraccion; las modificaciones que en ella se ha querido introducir para no admitir el vacio en los espacios planetarios, bien que este sea consecuencia necesaria de la ley newtoniana; las particularidades que los cometas presentan, y que obligan á recurrir á otra fuerza especial inherente al Sol; y por último el fenómeno singular de las estrellas fugaces, cuyas teorías estan lejos de explicar satisfactoriamente sus variados movimientos.

No ha sido nuestro intento al recorrer estas materias, entrar en explicaciones detalladas que den conocimiento exacto de cada una de ellas, sino tocar aquellos puntos de que la atraccion, esclusiva de todo otro agente, ó si se

quiere de todo otro modo de obrar de la misma fuerza, no alcanza á dár razon. Por mas que aquel admirable principio descansa en fundamentos indestructibles, todavia vacila el ánimo para admitirlo en toda su pureza, á saber, una única fuerza, la atraccion de la materia, y ninguna pasiva, es decir, el vacio, si de algunos fenómenos que el cielo nos ofrece, es preciso decir que son *misterios que el tiempo ha de aclarar* y confiar en que cada uno de ellos ha de convertirse en una nueva comprobacion de su verdad. Por la naturaleza misma de su objeto, aparecerán nuestras reflexiones unas veces poco explícitas y siempre sin ofrecer en su conjunto un órden y plan marcado, y seguramente desistiríamos de presentarlas, sino creyéramos dar á conocer con ellas el pensamiento que nos ha guiado en la investigacion de la

XIV.

relacion ó ley enunciada, que hemos reservado para el último capítulo, y es el único, y pudiéramos añadir, esclusivo objeto de esta memoria.

I.

LA rotacion, al rededor de ejes invariables, del Sol y de algunos planetas que el alcance del telescopio ha permitido medir, y que tambien se verifica, sin duda, en aquellos en que no ha podido observarse por la gran distancia á que se encuentran de la Tierra, como Urano y Neptuno, ó por su pequenez como sucede con los asteroides que circulan entre Marte y Júpiter, es un fenómeno que pasa como desapercibido en la ciencia, y en que apenas parece fijarse la atencion.

Si se esceptua el movimiento de rotacion de la Tierra, que por su perfecta uniformidad y por su invariabilidad no puesta en duda hasta época muy reciente, sirve de unidad para la medida del tiempo, principal elemento de los cálculos astronómicos, la Astronomia no considera en estos movimientos relacion alguna con los demás elementos

de los cuerpos planetarios, ni vé en los mismos mas que un efecto de la causa ó impulso primitivo y desconocido, que en union con la atraccion del Sol los hace circular al rededor de éste, efecto que será tanto mas considerable en cada uno de estos cuerpos, cuanto mayor sea la distancia á que pase de su centro de gravedad la direccion de aquel esfuerzo inicial: su medicion no parece haber tenido mas objeto que notar y examinar las consecuencias que pueden deducirse de su comparacion con el achatamiento en los polos de cada planeta.

Mas sea cual fuese el origen ó causa de los movimientos de cada uno de los cuerpos que componen el sistema planetario, ¿como dejar de creer que sea una misma para todos ellos, y que haya una relacion entre la velocidad de rotacion y el tamaño y situacion de cada cuerpo? Kepler decia que el movimiento de los satélites de Urano debia hacer creer que este planeta está animado de un movimiento rápido de rotacion, lo que equivale á admitir que entre las velocidades de traslacion de los satélites, ó bien sus velocidades iniciales, y la de rotacion del cuerpo principal hay una cierta dependencia: idea que generalizada conduce á suponer que tambien existe alguna relacion entre al

rotacion del Sol y el movimiento de traslacion de los planetas.

Esta cuestion no puede equipararse á otras que á primera vista podrian parecer de indole semejante, como por ejemplo la ley de Bode, segun la que atendiendo en los planetas solo á sus distancias al Sol, se ha pretendido representarlas por una série ó ley que, dicho sea de paso, aunque inexacta y sin fundamento alguno científico, no ha dejado de tener utilidad y aplicacion en la Astronomía. En el mismo caso nos encontraríamos si se tratase de investigar bajo qué ley se ha distribuido la materia de que se ha formado nuestro sistema planetario, aglomerada en masas tan diferentes y tan diversamente colocadas como las vemos; pues tal distribucion y colocacion de los cuerpos celestes debe mirarse, segun la espresion del Baron de Humbold, como hechos que tienen una existencia real, y no como consecuencias de razonamientos abstractos, ó como una série de efectos cuyas causas puedan ser conocidas de antemano.

Pero la rotacion de los planetas se encuentra en distinto caso: no puede dudarse que ella está ligada con la velocidad inicial ó impulso que los lanzó en el espacio; y por mas que el origen y

naturaleza de esta causa nos sean desconocidos, preciso es suponer una dependencia entre ambos movimientos.

El conocimiento de aquel impulso podria conducir al de los movimientos de rotacion, y no parece aventurado decir, invirtiendo el racionio, que el estudio de estos llegue á ser un medio que conduzca á la solucion de aquella cuestion primordial.

Fundada la teoría mecánica del cielo en la única y esclusiva fuerza de la atraccion, aparece como un incidente completamente extraño á sus cálculos el movimiento de rotacion de los cuerpos celestes, el cual por lo tanto para nada debe tenerse en cuenta. La ley de la atraccion permanecerá la misma, atrayéndose los cuerpos en razon directa de su masa é inversa del cuadrado de la distancia que los separa, ya se les suponga en reposo ó animados de grandes velocidades de rotacion.

Tampoco la ciencia necesitaba ocuparse de la causa primitiva de los movimientos de los cuerpos celestes ó bien del impulso primero que les hace circular y produce al mismo tiempo su rotacion. Un cuerpo lanzado en el espacio perfectamente vacío á favor de un impulso único, continuaría en línea recta y con una velocidad constante; mas desde el

momento en que se encuentra dentro de la esfera de actividad de un centro de atraccion, el movimiento se convierte en curvilíneo, presentando la curva descrita la forma elíptica ó la de cualquiera de las llamadas de segundo grado, segun sea la relacion entre la fuerza impulsiva y la de atraccion del cuerpo central. Conocida esta relacion y la direccion del primitivo impulso, la curva queda fija y determinada en tamaño y posicion: inversamente, puede determinarse la intensidad del impulso primitivo conocidos que sean los otros elementos.

Desde esta sencilla cuestion al gran problema de la mecánica celeste, la distancia es inmensa: la elipse inmutable de cada cuerpo será alterada por la atraccion de los demás: los satélites á su vez alterarán las órbitas de los planetas principales, y hasta la forma no esférica de estos producirá perturbaciones en las órbitas de los satélites. No pretendemos ni siquiera mencionar los grandiosos resultados á que se ha llegado por un delicado análisis lleno de dificultades inmensas, pudiendo mirarse cualquiera de ellos como una prueba irrecusable de la verdad de la teoria de la atraccion, *al menos respecto de los cuerpos principales del sistema planetario.*

Bastaría conocer por la observacion las dimensiones de cada órbita, su situacion respectiva en el espacio, y el lugar que cada cuerpo ocupa en ella, en una época ó momento dado, para teniendo en cuenta sus atracciones recíprocas, determinar para otra época cualquiera, anterior ó posterior, qué modificaciones han sufrido aquellas órbitas, ya en su forma ya en su situacion respectiva, y cual es en fin la posicion de cada cuerpo.

No hay pues necesidad alguna de indagar el origen de la velocidad inicial de los cuerpos celestes, cuya intensidad puede deducirse de la figura misma de cada órbita: cualquiera hipótesis sobre su primera causa ha debido mirarse como plausible, si satisfacía á las condiciones mas generales de estos movimientos. No de otro modo puede concebirse que por algun tiempo fuese admitido el pensamiento de Buffon, que atribuía la formacion del sistema planetario al desprendimiento de partes de la masa del Sol producido por el choque de un cometa.

Volviendo á los movimientos de rotacion de los cuerpos celestes, se observa que tienen caracteres generales comunes, como son la uniformidad é invariabilidad de sus velocidades, y el verificarse en el mismo sentido que el de traslacion. El tiempo

de la rotacion de los cuatro planetas menos distantes del Sol es casi igual y próximamente doble del de Júpiter y Saturno que están mucho mas distantes y son de mayores dimensiones. Por último, los satélites giran tambien en el mismo sentido, pero empleando en su rotacion tanto tiempo como en su revolucion al rededor del planeta principal. La estabilidad de estos movimientos en los planetas es una consecuencia de su forma regular y de verificarse en el vacío, ó bien en un medio que ninguna resistencia opone, debiendo continuar por lo tanto indefinidamente del modo que hoy los observamos.

Respecto de la Tierra, sin embargo, se pretende demostrar que el movimiento de rotacion no es inalterable, y que el dia sideral aumenta, aunque de una pequenísima cantidad, tal que acumulada en cien mil años llega á componer un segundo de tiempo.

Dejando para otro lugar el ocuparnos de esta cuestion y analizar las causas que puedan producir tal efecto, nos limitaremos á decir, que ella está íntimamente ligada con otra mas general y trascendental, á saber, la estabilidad de nuestro sistema planetario, uno de los resultados mas admirables de la teoría de la atraccion universal, y que puede decirse es su complemento. Por el hecho de ser

casi circulares ó muy poco escéntricas las órbitas de los planetas, de cortarse sus planos bajo ángulos de muy pocos grados, y de moverse todos los cuerpos en un mismo sentido, se demuestra rigurosamente que todas las alteraciones que sufren las órbitas, y que acumulándose con el tiempo, llegarían á afectar la existencia y vida orgánica y especial de cada planeta, son precisamente periódicas y comprendidas entre límites muy próximos; y que por el contrario, las que de ningún modo pueden alterar aquella existencia se acumulan y crecen indefinidamente.

Así los tiempos de las revoluciones, y por consiguiente las distancias medias de cada planeta al Sol, permanecen los mismos; las inclinaciones de los planos de las órbitas entre sí y respecto del ecuador de cada cuerpo aumentan de algunos minutos por siglo, para volver á disminuir en la misma cantidad: de suerte que las estaciones de nuestro globo y las de cada planeta han sido y serán muy poco diferentes de como hoy las vemos.

Lo mismo sucede respecto de las escentricidades de las órbitas, por lo que la cantidad media anual de calor que cada planeta recibe del Sol se conserva constante. Por el contrario, la retrogradación

de los nodos y el movimiento de los perihelios de las órbitas, que en nada cambian el modo de existir de cada cuerpo, son siempre en el mismo sentido y se acumulan con el trascurso de los siglos. Así, el sistema planetario ha existido y existirá tal cual hoy le contemplamos, sin que nos sea dado creer se altere su admirable orden, ni poner límite á su duracion, apareciendo la causa y época de su destruccion tan desconocidas y misteriosas como lo son su origen y primitiva formacion. Estos notabilísimos resultados nada significarian si se admitiese la inestabilidad de los movimientos de rotacion, ó lo que es lo mismo, el aumento ó disminucion progresivos del dia sideral de nuestro globo y el de los demás planetas, en los que, como veremos, tanto ó mas que en la Tierra influirian las causas que pueden perturbar aquel movimiento.

La rotacion de los satélites es un fenómeno que dá lugar por su singularidad á diversas consideraciones. La Luna presentándonos siempre el mismo hemisferio, prueba evidentemente que mientras circula al rededor de la Tierra, gira tambien sobre su eje completando ambos movimientos en un mismo tiempo. Este hecho condujo naturalmente á pensar que lo mismo debia suceder respecto de

los demás satélites, no existiendo razon alguna para que aquel fenómeno fuese peculiar y esclusivo de nuestra Luna. La observacion ha comprobado hasta donde es posible, aquella hipótesis en los cuatro satélites de Júpiter, y especialmente respecto del séptimo de Saturno: de modo que la ciencia considera como una ley general del movimiento de los satélites la exacta igualdad de los tiempos de revolucion y rotacion.

Dos circunstancias hay aquí dignas de atencion: es la primera, la lenta velocidad de los movimientos de rotacion de los satélites comparada con la de los planetas; y la segunda, la igualdad de aquellos movimientos con los de revolucion. Veámos hasta qué punto se esplica una y otra por la ley de la atraccion. La Luna, dice Laplace, á causa de su lento movimiento de rotacion es poco achatada en sus polos, y por efecto de la atraccion de la tierra ha debido alargarse el diámetro dirijido hácia ella y tomar la forma de un elipsoide, cuyo eje menor es el de rotacion. De aquí infiere que si su eje mayor se separa un poco de la línea que úne el centro de la Tierra y el de la Luna, la atraccion de aquella la volverá á la misma posicion, del propio modo que un péndulo tiende á volver á la vertical.

Si el movimiento de rotacion del satélite hubiese sido bastante rápido para vencer aquella tendencia, los tiempos de circulacion y rotacion no hubieran sido iguales, y descubriríamos sucesivamente todas las partes de su superficie: mas si primitivamente estos movimientos angulares fueron muy poco diferentes, la fuerza con que el eje mayor de la Luna se separára del rádio vector, no bastó para vencer la tendencia del eje hácia aquel rádio, causada por la atraccion terrestre, y se produciria un movimiento de oscilacion que la misma atraccion terrestre anularia, si la diferencia fué muy pequeña, restableciéndose así la igualdad perfecta.

La misma atraccion es causa del primitivo lento movimiento de rotacion, pues al trasformarse en un elipsoide la esfera lunar, aun en vapor, por la poderosa atraccion terrestre, su movimiento de rotacion debió disminuir y continuando aquel efecto mientras la Luna se conservaba en estado de vapor ó líquido, los dos movimientos del satélite irian acercándose hasta que la diferencia estuviese dentro de los límites necesarios para establecerse la completa igualdad.

Prescindiendo de que para la exactitud de este razonamiento era preciso admitir una fuerza pasiva tal como el rozamiento en el éther que anule

las pequeñas oscilaciones del elipsoide lunar, si tal es la causa del fenómeno que tan visiblemente nos muestra nuestro satélite, lo mismo debería decirse de los demás del sistema solar, y aun de aquellos planetas en que la poderosa masa del Sol ha podido causar efectos análogos, á pesar de la mayor distancia que los separa de este centro, pues que del mismo modo han debido pasar por el estado líquido ó de vapor que se admite para la Luna. Comparémos bajo este punto de vista los efectos que producen las masas de Júpiter, Saturno y Urano sobre sus satélites, con el que la Tierra ejerce sobre la Luna y con los que el Sol debe ejercer sobre Mercurio y Vénus.

Del mismo modo que en las mareas de nuestros Océanos, la fuerza de un planeta para elevar la masa vaporosa ó líquida de un satélite tiene por expresion el doble de la masa planetaria multiplicada por el radio del satélite y dividida por el cubo de la distancia que separa los centros de ambos cuerpos. Asi la influencia de nuestro globo para alterar la forma esférica de la Luna seria veinte veces mayor que la que ésta ejerciera para modificar la de la Tierra en su primitivo estado, efecto que ó es nulo ó tan insensible que no puede com-

probarse.—Aplicando el mismo cálculo á los satélites de Júpiter, hallamos que el efecto que su atraccion debiera producir sobre el mas próximo seria 260 veces mayor que el de la Tierra sobre la Luna, y cerca de tres veces respecto del cuarto y último. Estos pequeños cuerpos, particularmente el primero, han debido sufrir una notable modificacion en su forma, á ser cierta la hipótesis que discutimos. Por el contrario, en los planetas que siguen inmediatamente en órden, Saturno y Urano, el efecto sobre sus últimos satélites es bastante menor, pues en el mas distante de Saturno, precisamente el satélite en que mejor se ha confirmado la igualdad de los movimientos angulares de circulacion y rotacion, la accion del planeta para alterar su forma seria próximamente un tercio de la que ejerce la Tierra sobre la Luna, y la de Urano sobre su último satélite cerca de la vijésima parte, es decir, próximamente la misma que la Luna ejerciera sobre la Tierra.

Aplicando el mismo cálculo á los planetas Mercurio y Venus, hallamos que el efecto de la masa solar para alterar la forma del primero, seria dos y media veces mayor que el de la Luna sobre la Tierra, y una y media para Venus, es decir, mayores que el que Urano ejerce sobre su último satélite. En

estos cuerpos debia por consiguiente verificarse el mismo fenómeno que suponemos en los satélites, y sin embargo sus rotaciones, aunque no conocidas con certeza, parecen ejecutarse en casi el mismo tiempo, y si podemos así espresarnos, con la misma independencia que la Tierra y aun Marte, á quien ninguna atraccion exterior ha debido modificar. Estas consideraciones parecen autorizar para decir que ó es preciso creer que esa especie de equilibrio que la astronomía considera como ley general de los satélites no existe, ó admitir que otra causa distinta de la atraccion ha intervenido para producir tan singular fenómeno.

A otra consideracion importante dan lugar los satélites: ninguno de estos cuerpos secundarios parece ser centro de circulacion de otros de tercer orden. Dentro del sistema formado por el Sol y los planetas, la mayor parte de estos son centros de otros sistemas sujetos á las mismas leyes, como son el de Júpiter y sus cuatro lunas, el mas complicado de Saturno, el de Urano, Neptuno y el de nuestro globo en fin: nada parece debia limitar estas sucesivas formaciones, é impedir que alguno ó varios de aquellos satélites fuesen centros de cuerpos terciarios de menores dimensiones, tales como los que

circulan entre Marte y Júpiter, pues algunos de los satélites tienen dimensiones considerables como el sexto y séptimo de Saturno, de los que el primero es próximamente igual al planeta Marte: también las distancias á sus centros de atracción, medidas en rádios de cada planeta, son comparables con las de los planetas al Sol medidas en rádios de este cuerpo. El único carácter que esencialmente los distingue es su lenta velocidad de rotación, y á esto solo es por consiguiente preciso atribuir la no existencia en el sistema solar de cuerpos terciarios ó bien satélites de satélites.

No es posible dejar de ver también cierta analogía entre estos especiales movimientos de los satélites y los de los cometas. Considerando como un solo cuerpo el conjunto de la cabellera, núcleo y cola, vemos su eje colocado siempre en la dirección del radio vector de la órbita, del mismo modo que en los satélites, y por consiguiente animado de un movimiento de rotación que, como más detalladamente diremos en otro lugar, no solo es inexplicable como efecto de la atracción solar, sino que es completamente opuesto á ella, de tal suerte que es preciso admitir una nueva fuerza polar, que obligue al cometa á tomar aquella posición.

II.

EL exámen de las cuestiones que hemos apuntado nos conduce naturalmente á considerar en su conjunto nuestro sistema planetario, ver de que modo han podido formarse los cuerpos que lo componen, y cual pudo ser el origen ó causa primera de los movimientos de que los vemos animados.

Laplace, á quien la teoría de la gravitacion universal es deudora de tantos y tan notables adelantos, es el primero que sin introducir causa alguna esterna, sin suponer mas móvil que la atraccion, fuerza inherente á toda materia é inseparable de ella, ha explicado no solo la formacion de los cuerpos que componen el sistema planetario, sino tambien el origen de sus movimientos, como una consecuencia natural de aquella única fuerza. Esta cosmogonía que para su autor es solo una simple hipótesis, se mira por algunos como la verdadera representacion

de la teoría mecánica del cielo, mientras que por otros se admite con grandes restricciones, que mas que á aclararla dan lugar á dudas, y la privan de la sencillez que en ella resplandece.

Es bien de notar que allí donde la teoría de la atraccion es exacta, como sucede respecto de los grandes cuerpos del sistema, la hipótesis de Laplace tambien aparece la mas natural y en armonía con los hechos ó datos de la observacion, mientras que al pasar á los demás elementos, ó sea á los diversos y variados cuerpos que pueblan los espacios interplanetarios, aparece la incertidumbre tanto en la teoría como en la cosmogonía ó representacion hipotética del sistema de la atraccion.

Laplace imagina que la materia de que se formaron los cuerpos que componen nuestro sistema solar, constituía una estensa nebulosa que llenaba todo el espacio en que circulan los planetas y se estendia aun mas allá de los límites de sus órbitas, y que atraída por otras nebulosas, léjos de permanecer en reposo, debió moverse describiendo una estensísima curva: mientras tanto esta masa nebulosa por el solo efecto de la atraccion empezó á condensarse hácia varios centros, y á causa de las diversas velocidades y diferente direccion del mo-

vimiento de cada partícula, al mismo tiempo que su forma se acercaba á la de una esfera, debió tomar un movimiento de rotacion. Obtenida ya la forma esférica y este primer movimiento, y suponiendo que por el enfriamiento sucesivo, la esfera nebulosa se redujo á menores dimensiones, aquel movimiento de rotacion debió aumentar y llegar á ser tal, que sobrepujando la fuerza centrífuga á la de atraccion, se desprendiese de su ecuador una zona, aun en vapor, mas ó menos compacta, reduciéndose mientras tanto la nebulosa á menores dimensiones, y dejando entre ella y aquella zona desprendida un espacio enteramente vacio: el enfriamiento sucesivo reduciría de nuevo la nebulosa, y aumentando la velocidad de rotacion debió producir nuevas y nuevas zonas, que por su condensacion y la atraccion mútua de sus moléculas formáran diversos anillos concéntricos, en los que el roce mútuo aceleró las unas y retardó las otras hasta que adquirieron el mismo movimiento angular, viniendo á ser la velocidad real de las mas lejanas mayor que la de las mas próximas al centro de circulacion. Roto el anillo en varias masas, estas debieron continuar circulando á la misma distancia del Sol con velocidades muy poco diferentes, to-

mando formas esferoidales y movimientos de rotacion en sentido del de revolucion, pues que la velocidad real de las moléculas exteriores era, como se ha dicho, mayor que la de las interiores. Si una de estas masas fué bastante poderosa para reunir sucesivamente por su atraccion todas las demás al rededor de su centro, el anillo debió trasformarse en una sola masa esferoidal de vapores, circulando al rededor del Sol y girando al propio tiempo en el mismo sentido. Si todas las moléculas de un anillo nebuloso continuaron condensándose sin desunirse, acabarian por formar un anillo líquido ó sólido; mas para esto seria necesario suponer una regularidad tan perfecta entre todas las partes de aquel y su enfriamiento, que hace estremadamente raro este fenómeno: el anillo de Saturno es un ejemplo de este caso. Formados asi los planetas y aun en estado de vapor, reduciéndose su volúmen por el enfriamiento y aumentando su velocidad de rotacion del mismo modo que en la primitiva esfera, debieron originarse diversos anillos y de estos los satélites, animados de movimientos de circulacion y rotacion análogos á los de los planetas, no pudiendo haber lugar al nacimiento de segundos satélites por la gran lentitud de los movimientos de rotacion de los primeros,

lentitud que explica el autor por el cambio de forma, que en estado de vapor han debido sufrir por la poderosa atraccion del planeta principal.

Sin reproducir aquí lo que sobre este último punto dejamos observado mas arriba, vemos explicado del modo mas sencillo en esta cosmogonía, no solo el origen de los cuerpos que componen el sistema planetario, sino tambien el de todos y cada uno de sus movimientos, y de tal modo, que admitido el principio de no existir en el universo mas fuerza que la atraccion, no parece posible imaginar concepcion alguna que la reemplace. Ella nos hace ver á los planetas circulando al rededor del Sol con velocidades tanto mayores cuanto menor es su distancia á aquel centro, moviéndose todos en determinado sentido, girando tambien en el mismo al rededor de un eje fijo, en órbitas próximamente circulares y en planos muy poco inclinados respecto del ecuador Solar: á los satélites, participando ó mejor conservando el movimiento de circulacion del planeta de que formaron parte, acompañándole en su curso, al mismo tiempo que circulan á su al rededor y giran en el sentido del movimiento general; y por último á unos y otros, planetas y satélites, como partes de la originaria esfera ne-

bulosa, seguir su primitivo movimiento acompañando al Sol al recorrer su estensa curva en los espacios estelares, sin que por ello se alteren sus movimientos respectivos. Como consecuencia rigurosa de la atracción, los espacios en que circulan los planetas y satélites están vacíos, y ninguna causa exterior vendrá á entorpecer ni modificar sus diversos movimientos: lo mismo es preciso decir de la zona celeste en que el Sol con todo el sistema describe su grande órbita. De esta suerte el problema de la mecánica celeste aparece representado con la rigurosa sencillez que exige el cálculo matemático, á saber, una única fuerza, la atracción, y el vacío.

Detengámonos un momento á considerar lo que estos dos principios encierran.

La idea del vacío es de aquellas que el entendimiento apenas alcanza á concebir y que no se admite sin un sentimiento de repulsión; bajo este punto de vista la antigua frase, la naturaleza tiene horror al vacío, expresa perfectamente cuanto la idea de la nada, la carencia absoluta de materia, repugna á nuestra inteligencia. Es sin embargo en los espacios celestes una consecuencia de la atracción como propiedad inherente á toda materia, pues de cualquier modo que se considere la formación de

los grandes cuerpos que en ellos se mueven, es preciso convenir en que toda la materia que cae bajo su esfera de accion, ha debido precipitarse á su superficie, dejando á su al rededor un verdadero vacio.

Nada es mas comun ni mas perceptible que el efecto de la gravedad en la superficie de la Tierra, es decir, el peso de los cuerpos: es mas, sin ella ni concebimos la existencia de nuestro globo ni la propia nuestra. Sin embargo nada mas incomprendible, nada mas misterioso que esta fuerza, propiedad inherente á la materia; y esto no ya pretendiendo buscar una esplicacion de su primera causa, sino en los efectos mismos que palpamos. Los demás agentes de la naturaleza, como el calor, la luz, la electricidad y la elasticidad de los cuerpos, pueden modificarse, aumentarse y disminuirse á nuestra voluntad: la atraccion no admite modificacion alguna: sea cual fuese el estado de un cuerpo, sólido, líquido ó reducido á un ténue vapor ocupando un gran espacio, su peso permanece invariable, y ni el estado de incandescencia, de electricidad, de reposo ó de movimiento mas ó menos rápido, en nada le modifican: las ideas de materia y atraccion son inseparables; la segunda es inherente á la primera.

Los rayos lumínicos y caloríficos pueden ser interceptados, y una corriente eléctrica interrumpida: para la atracción *no hay obstáculo posible*: la tierra es del mismo modo atraída por el Sol, hállese ó no eclipsado por la Luna. De aquí la imposibilidad de medir su *velocidad de propagación*, si es que emplea tiempo en propagarse y no existe siempre y en todas partes.

Volvamos á ocuparnos de la cosmogonía de Laplace. Para formarnos una idea de cual debió ser la naturaleza de la nebulosa, origen de nuestro sistema planetario, que por su reducción formó todos los cuerpos que lo componen, imaginémos con el pensamiento que la masa de todos ellos, estendiéndose de nuevo, llene una esfera cuyo radio sea solo el de la órbita terrestre: la densidad de este globo sería de 0,000016 de la del aire atmosférico, ó bien cien veces menor que el vacío que pueden producir nuestras máquinas neumáticas; y si aun estendemos aquella esfera hasta comprender á Neptúno, el último planeta, su densidad sería 27.000 veces menor.

No se puede concebir la materia reducida á este pequeñísimo grado de densidad, estando dotadas todas sus moléculas de la propiedad de atraerse, si al mismo tiempo no se supone una fuerza elástica que establezca

el equilibrio. Laplace supone que el calor es el origen de esta fuerza. Mas ¿de donde proviene este calor, cómo se ha producido, á qué movimiento de las moléculas de la materia puede atribuirse? Primera dificultad que debia tocarse al pretender explicar la creacion primitiva de la materia; pero de todos modos, la consecuencia inmediata seria que al ser formada la materia fué dotada no solo de la fuerza especial de la atraccion, sino tambien de otra fuerza elástica, el calor.

Siguiendo aquel pensamiento, vemos que la nebulosa, enfriándose y perdiendo el calor en los inmensos espacios vacios que la separaban de otras nebulosas, ocasiona la concentracion, causa de su forma esférica y del aumento progresivo de su movimiento de rotacion que ha de producir los planetas y por último el Sol. Pero por la mas estraña contraposicion, si asi podemos espresarnos, la concentracion de la materia no puede verificarse sin producir grandes focos de calor, nacido del movimiento mismo de las moléculas materiales: de aqui la incandescencia del Sol, el calor central de la Tierra y de los demás planetas, que debieron pasar tambien por el estado de pequeños soles enteramente semejantes al nuestro, y que el enfriamiento sucesivo, solidificándolos hasta una cierta

profundidad, ha convertido en cuerpos opacos. El Sol mismo adquirirá tambien este estado en un tiempo calculable por la relacion que guarda la masa incandescente con su superficie; y entónces apagada la luz y estinguido el calor de aquel cuerpo central, y destruida la vida en la superficie de todos los cuerpos del sistema, estos seguirán su no interrumpido curso en sus inalterables órbitas, puesto que la atraccion de la materia no habrá sufrido modificacion de especie alguna. Las diversas consideraciones con que Laplace apoya su hipótesis cosmogónica, no serán bastantes para vencer el sentimiento de duda que este resultado no puede menos de inspirar.

Viniendo á la formacion de los cuatro asteroides Juno, Vesta, Ceres y Palas, únicos conocidos en tiempo de Laplace, éste mismo geómetra considera que por punto general cada anillo de vapores debió romperse en muchas masas, que girando con velocidades muy poco diferentes formaron otros tantos planetas, y que si uno de ellos fué bastante poderoso para reunir sucesivamente á los demás por su atraccion, llegaron á constituir un solo cuerpo. Pero aparte de este caso que ha debido ser el mas comun, tambien ha podido suceder que resultase un grupo de pequeños asteroides, describiendo órbitas muy

poco diferentes, tal como los cuatro citados que circulan entre Marte y Júpiter; á menos que, dice el mismo autor, formáran primitivamente, segun cree Olbers, un solo cuerpo al que una fuerte explosion dividiera en varios trozos animados de velocidades diferentes.

Mientras no se conocian mas que los cuatro citados asteroides, cualquiera de aquellas dos ideas tenia alguna verosimilitud. Las observaciones que pudieran oponerse no son seguramente de mayor entidad que las que ofrece la conversion de un anillo en un solo planeta, y ciertas relaciones entre los tamaños y posicion de sus órbitas hacian aquellas hipótesis aun mas aceptables.

Hoy dia no parece posible admitir ni uno ni otro supuesto. Entre noventa y ciento está el número de asteroides descubiertos, que sin duda no es mucho mayor á causa de que por su pequeñez escapan á los mejores telescopios: todos giran en el espacio que se creia desierto entre Marte y Júpiter, ocupando una zona de un ancho mas que doble de la órbita terrestre, dentro de la cual circulan dos de los planetas principales. Como estos, giran tambien en el sentido de la rotacion del Sol y en órbitas poco inclinadas respecto de la eclíptica, pues la que mas, la de Pallas, no pasa de 34 grados.

Las relaciones particulares que se pretende encontrar entre las órbitas de varios grupos de estos pequeños cuerpos, á las que su misma multitud se presta, no bastarán para hacer presumir que puedan ser fragmentos de uno, dos ó mas grandes planetas, ni tampoco puede, á nuestro modo de ver, admitirse que deban su origen á otros tantos anillos de materia cósmica como los grandes cuerpos; y sin embargo, la situacion de sus órbitas, y la direccion de sus movimientos, son, puede decirse, prueba evidente de que la fuerza primordial impulsiva, en virtud de la cual se mueven, tiene el mismo origen que la que anima á los grandes cuerpos del sistema.

En esta cosmogonía, dice su mismo autor, los cometas son cuerpos estraños al sistema solar, y debe mirárseles como pequeñas nebulosas errantes de un sistema solar á otro, formadas por la condensacion de la materia cósmica con tanta profusion estendida en el universo, los que cuando llegan á la parte del espacio en que predomina la atraccion del Sol, ó bien á su esfera de actividad, se ven obligados á describir órbitas elípticas, parabólicas ó hiperbólicas; pero siendo su velocidad inicial igualmente posible en todas direcciones, aquellos cuerpos se moverán en cualquier sentido y con diferentes

inclinaciones respecto de la eclíptica, como efectivamente acontece. Así la condensación de la materia, por la que se han explicado los movimientos de rotación y de revolución de los planetas y satélites en el mismo sentido y en planos poco diferentes, dá razón también de por qué los cometas se apartan de esta ley general.

El grupo de los seis cometas interiores ó de corto período, cuyas distancias afelias exceden en poco al radio de la órbita de Júpiter, no fué conocido del autor de la mecánica celeste, y puede muy bien dudarse que hoy les atribuyese el origen que acaba de esponderse. Su situación en el sistema, sus inclinaciones respecto del ecuador solar, no mayores que las de algunos de los asteroides, y la circunstancia de circular en el mismo sentido que los planetas y satélites, todo concurre á probar que forman una parte integrante de aquel conjunto, y que debe atribuirse á una misma causa el origen de sus movimientos. La naturaleza de su materia, el cambiar de tamaño y forma según se aproximan ó alejan del Sol, si es que esta circunstancia se observa también en los seis de que tratamos, es lo único que los diferencia de otros cuerpos de pequenísima masa, pues hasta las escentricidades de

sus órbitas son comparables con las de aquellos. Para buscar su origen y formacion fuera del ámbito del sistema solar, en que los vemos circular, no hay á nuestro modo de ver otra razon, que la imposibilidad de aplicarles el mismo origen, que se ha supuesto á los demás grandes cuerpos que lo componen.

Aun respecto de los cometas de largo período, que como el de Haley describe su órbita en setenta y seis años próximamente, y que se hallan encajonados en nuestro sistema planetario y formando, por decirlo asi, parte de él, la hipótesis antedicha no tiene fácil aplicacion, si es que no hay un grave error en nuestro modo de ver. El Sol con su séquito de planetas se mueve en el espacio, describiendo una inmensa curva con una gran velocidad, que sino conocida exactamente, se reputa de 400 leguas por minuto, originándose este movimiento de la atraccion de dos ó mas grandes cuerpos en virtud de la que nuestro Sol y cada uno de aquellos se mueven al rededor del centro de gravedad del conjunto. Ahora bien, si suponemos una pequeña masa nebulosa bajo la influencia atractiva de aquellos grandes cuerpos, y que se acerca á nuestro Sol para convertirse en un cometa, la velocidad con

que llega á su inmediacion será en general muy diferente de la suya, tanto en intensidad como en direccion. Sin embargo, la velocidad en el afelio, de uno de estos cometas, el de Haley por ejemplo, es sumamente pequeña, algunos métrros por segundo, y esto no podria suceder sino suponiendo que la velocidad con que el cometa llega al umbral de nuestro sistema planetario, se diferenciase de la general de éste, ó bien de la del Sol, en una pequeña componente que constituiría la verdadera velocidad inicial de la elipse del cometa. Tal coincidencia es sumamente improbable y reduciría á muy raras escepciones el número de cometas de largo período, que acompañan nuestro sistema en su rápido curso al traves de los espacios. Asi la hipótesis de que nos ocupamos solo parece admisible para los cometas de órbitas sin fin, parabólicas ó hiperbólicas, que en su curso lleguen á otro mundo planetario para cambiar alli de nuevo la forma de su órbita.

III.

Los cometas ofrecen en su curso circunstancias especiales, como son variaciones ó alteraciones en sus órbitas, que no alcanza á esplicar la ley de la atraccion. Encke es el primero que observó en el cometa que lleva su nombre, que el tiempo de su revolucion decrece sucesivamente hasta llegar á ser de dos dias próximamente la disminucion, en cinco de sus revoluciones. Un estudio prolijo de las causas que podrian alterar su órbita, una rectificacion comprobada por tres distintos medios, de la masa de Júpiter, que mas eficazmente habia de perturbarla, convencieron de la imposibilidad de atribuir á la atraccion de los planetas, entre cuyas órbitas circula, la anomalia observada, y entónces anunció aquel astrónomo que el cometa debia circular dentro de un medio resistente, que disminuyendo la velocidad tangencial, y haciendo, por lo tanto, prepon-

derante la atraccion solar, le obligase á abandonar la curva por otra mas próxima, y por consiguiente recorrida en menos tiempo. Esta teoría, en oposicion con los fundamentos de la mecánica celeste, no pudo ser admitida sin grande oposicion; mas limitándola su autor á solo los cuerpos de densidad mínima como los cometas, ha llegado á ser considerada como la mejor esplicacion de aquel fenómeno.

El astrónomo francés Mr. Faye, no admite el medio resistente; pero necesitando una causa retardatriz de la velocidad tangencial del cometa, la encuentra en una nueva fuerza repulsiva peculiar al Sol, fuerza inherente á la superficie de todo cuerpo en estado de incandescencia, que ha llegado á patentizar, aunque en pequeña escala, por medio de un ingenioso aparato.

Concretándonos á la primera hipótesis que es la mas generalmente admitida, veamos como puede concebirse la existencia de este medio resistente. La propagacion sucesiva de la luz revela ó hace necesario suponer en el espacio una materia sutil, cuyas vibraciones nos producen este fenómeno y que reducida á una gran tenuidad, á los mas simples átomos elementales, penetra todos los cuerpos, y no solo llena los espacios de nuestro sistema solar

y los del grupo estelar de que éste es una pequeñísima parte, sino también los que separan las innumerables agrupaciones estelares que pueblan la inmensidad. Esta materia imponderable, no sujeta á la ley de la atracción, es el éther, origen y causa como se pretende, de todos los fenómenos físicos y químicos que la naturaleza ofrece.

Pero sea lo que se quiera de esta materia especialísima, los mismos caracteres que es preciso atribuirle están en oposición con la idea de presentar resistencia á los cuerpos que dentro de ella se muevan, sean cuales fueren sus densidades. Obsérvese además que las anomalías ó alteraciones encontradas en el cometa de Eneke, por ejemplo, se refieren solo á la elipse que describe cual si el Sol estuviera fijo en el espacio, y que solo pueden provenir de la resistencia que encuentra dentro del sistema mismo solar; pero moviéndose este también en un espacio lleno del mismo éther, hay una segunda resistencia que considerar, y que experimentarían en todo su curso los cometas de igual ó parecida densidad, no bastando analizar las variaciones que sufre la sencilla elipse que describe, sino que es preciso hacerlo estensivo á la epicycloide que realmente recorre en el espacio.

Parece pues preciso circunscribir á solo el ámbito de nuestro sistema planetario el medio resistente, y admitir que al rededor del Sol se estienda una especie de atmósfera de tan pequeña densidad como se quiera, para que su resistencia no altere los movimientos de los grandes cuerpos y solo se haga sensible en los cometas. Esta atmósfera debería extenderse por lo menos hasta la órbita de Mercurio, pues tal es próximamente la distancia perihelia del cometa de Encke, el cual recorrería una parte de su órbita en el vacío, ó sin resistencia alguna, para entrar luego en aquella atmósfera y sufrir la perturbacion observada. Y si es verdad que el cometa de Faye experimenta una aceleracion aun mas sensible, será preciso todavia concebir estendida esa atmósfera solar mas allá de Marte, pues que la mas corta distancia de dicho cometa al Sol es de 380 ródios solares; y entónces ¿cómo explicar que los cuatro cometas de Vico, de Brorsen, de Arrest y de Biela, comprendidos entre aquellos dos, por lo que hace á sus distancias perihelias, no sufran modificacion ó perturbacion alguna? Ó bien el curso de estos cometas no ha sido tan estudiado como el de aquellos otros dos, ó es preciso convenir en que describen órbitas elípticas dentro

de un medio verdaderamente resistente cual lo harian en el vacio, pues no puede admitirse la hipótesis de que á causa de una densidad mucho mayor no esperimenten la resistencia observada en los de Encke y Faye.

Mas ¿cómo ha de imaginarse esta atmósfera? ¿Está limitada á una cierta distancia del Sol, ó bien se estiende hasta el confin del sistema planetario con una densidad decreciente? ¿Gira toda ella al rededor del Sol en el corto tiempo en que éste hace su rotacion, ó bien separada en distintas zonas, se mueven éstas con diferentes velocidades?

Para ver las dificultades que este nuevo elemento, el medio resistente, introduce en los movimientos de los planetas y cometas, vamos á presentar la modificacion que algunos consideran necesario hacer en la cosmogonía de Laplace, para que sea la verdadera representacion de nuestro mundo planetario.

Admitiendo, como Laplace, que la formacion de los planetas y del mismo Sol fué debida á la precipitacion de la materia cósmica, que ocupaba primitivamente el espacio de nuestro sistema solar, supónese que no toda ella, sino una pequenísimá parte, fué la condensada y suficiente para la for-

macion de aquellos cuerpos; pues si se considera el volúmen de la primitiva nebulosa despues de tomar la forma esférica por causa de la atraccion, y aun suponiéndola limitada á solo el rádio de la órbita de nuestro globo, y no dándola mas densidad que la del hidrógeno ó bien la cien milésima de la de la Tierra, su masa equivaldría á la de 80 millones de cuerpos como este planeta; y todavia atribuyéndole la densidad del mismo gás dilatado en una máquina neumática, y estendiendo la esfera hasta comprender la órbita de Neptuno, habria materia para formar 80,000 Soles. Asi, es preciso considerar los espacios interplanetarios todavia llenos de la primitiva materia cósmica, de la que debe creerse que continúan formándose nuevos y nuevos cuerpos. Por otra parte, puesto que la esfera gaseosa primitiva, en cuyo centro se formó el Sol, no pudo ser de densidad uniforme, sino decreciente con la distancia al centro de atraccion, lo mismo debe conceptuarse de la que ha quedado despues de la formacion del Sol y de los planetas. Asi que, segun esta hipótesis, no es posible admitir en el estudio de los fenómenos astronómicos la idea del vacio en el sistema solar, y por el contrario hay que suponer que los cuerpos se mueven dentro de un medio de densidad decreciente.

Para explicar en esta hipótesis el movimiento de los planetas, imagínase que la primitiva esfera no debió tener toda ella un mismo movimiento de rotacion, como juzga Laplace para deducir la diferente velocidad de cada uno de los planetas, sinó que la materia sin condensarse aun y sujeta á la ley de las áreas, giraba al rededor del centro en que ya aparecia solitario el Sol, y que la zona en que cada planeta se formó hacia su revolucion en el mismo tiempo que estos emplean. De este modo la perteneciente á la Tierra, por ejemplo, haria su revolucion en un año próximamente y por lo tanto, aunque moviéndose aquella en un Oceano cósmico pero dotado de la misma velocidad, no sufre retraso ni aceleracion en su órbita casi circular. Por el contrario, los cometas cuyas órbitas tienen grandes escentricidades recorriendo una série de zonas cósmicas de diferente movimiento, el de Encke, por ejemplo, que en cuatro años pasa de la zona de Mercurio á la de Júpiter y vice-versa, debe experimentar resistencias enérgicas que disminuyan su velocidad. Este efecto será aun mayor en el de Haley, que por su movimiento retrógrado navega en los cielos en sentido contrario al general del sistema, encontrando por lo tanto mayores resis-

tencias, que explicarían las grandes diferencias halladas en los tiempos de sus revoluciones, que han llegado á ser desde dos á treinta y dos dias.

Como dijimos anteriormente, estas modificaciones en la cosmogonía de Laplace, quitándole por una parte la sencillez y armonía que caracteriza aquel gran pensamiento, introduce movimientos cuyo origen no se alcanza, ni pueden explicarse por la atracción newtoniana. Al inmenso globo nebuloso, que Laplace supone animado de un movimiento de rotación, como consecuencia inmediata del de su traslación, se le considera dividido y separado en diversas zonas que circulan con diferentes velocidades, arrastrando en su curso á los planetas que por condensación de la materia se han formado en ellas. Lejos pues de explicarse por esta hipótesis la traslación de los planetas, se la hace depender de un movimiento primitivo de la materia, que no puede ser producido por la sola acción de la atracción. Si del sistema general pasamos á los secundarios de Júpiter, al mas complicado de Saturno por su mayor número de lunas y su triple anillo, al de la Tierra y los demas planetas superiores; la complicación de los movimientos es mayor y se aumenta la dificultad de concebirlos: al rededor de cada uno de aquellos

planetas será preciso imaginar otras tantas zonas diversas cuantos son sus satélites, las que dentro de la zona del planeta giren en el mismo sentido, al mismo tiempo que le acompañan en su órbita. Los movimientos de rotacion en el sentido general de todo el sistema no tendrian razon de ser, y lo que es mas serian destruidos por los sensibles rozamientos que experimentarían dentro de las zonas en que se mueven, puesto que á estas se supone bastante densas para oponerse al movimiento de traslacion, si se les supusiese en reposo.

Mas no es este el punto de vista bajo el que queremos analizar esta hipótesis cosmogónica: el principal objeto al presentarla, es manifestar como se ha pretendido hacer ver la posibilidad de un medio de densidad concebible, si así podemos expresarnos, que sin ofrecer resistencia ni modificar por consiguiente las órbitas de los grandes cuerpos, produzca alteracion en los de pequeñísima densidad. Así debemos detenernos en la idea capital que esta hipótesis encierra, á saber, que nuestro mundo planetario debe estar aun lleno de la primitiva materia cósmica de que se formó. Si como lo prueban diversos y variados fenómenos, todos los cuerpos de nuestro mundo nacieron de una primitiva nebulosa, por

ténue, por diminuta que quiera suponerse su densidad, su masa total seria incomparablemente mayor que la suma de las del Sol, planetas y satélites, y de tal modo que despues de formados estos, el estado de la nebulosa, por lo que hace á su densidad, debia ser casi el mismo. Dentro de esta inmensa atmósfera han de moverse los cuerpos planetarios, y la dificultad esti en concebir que puedan verificarlo sin encontrar resistencia alguna, los de gran densidad, y mas aun que apenas sea sensible en los de densidad mínima como los cometas, á pesar de su gran volúmen y la velocidad con que se mueven.

Las masas de los cometas son tan pequeñas, que no ha podido observarse ninguna perturbacion en las órbitas aun de los cuerpos de menores dimensiones á cuya inmediacion pasan, y esto dadas las circunstancias mas favorables. Mas si por ello se hace imposible el deducirlas directamente y con exactitud, el hecho mismo dá un medio de asignarles un límite del que no puedan exceder, llegándose asi á convenir en su evaluacion aproximada y á juzgar por lo tanto de la densidad de aquellos cuerpos.

Segun el P. Sechi la masa del cometa número 1

de 1861 está comprendida entre la de un volúmen de agua de cinco y media leguas cúbicas y las dos millonésimas partes de la masa terrestre: la densidad del núcleo resulta por consiguiente de diez y seis á diez y ocho mil veces menor que la del aire atmosférico, y la de la nebulosidad que le envuelve llegaría á las dos millonésimas del mismo aire; concluyendo respecto de la densidad de la cola que no es posible espresarla en números. Sea cual fuese el grado de exactitud que á estos datos deba atribuirse, apenas se concibe la existencia de un medio de tal tenuidad, que no oponga una resistencia sensible al movimiento de semejante cuerpo animado de una velocidad comparable con la de los planetas, y presentando una superficie de igual ó mayor estension que la de estos.

De los seis cometas interiores cuyas distancias afelias exceden en poco al radio de la órbita de Júpiter, el de Encke, cuya menor distancia al Sol es de 80 ródios solares, es el que por la disminucion progresiva del tiempo en que recorre su órbita, ha dado lugar á la teoría del medio resistente. Si en los cinco restantes no se nota un efecto análogo, preciso es juzgar que la densidad del medio decrece rápidamente desde la órbita de Mercurio á la de

Marte, espacio que comprende sus perihelios, y que análogamente debe crecer en igual proporción desde Mercurio á la proximidad de la superficie del Sol. Ahora bien, el cometa de Haley, tan estudiado en sus dos últimas reapariciones de 1759 y 1835, pasa á la pequeña distancia de la superficie del Sol, de seis décimas de su radio. Si se atiende á la prodigiosa velocidad con que este cuerpo recorre esta parte de su curva, y á la sensible densidad que allí debe suponerse al medio resistente, no es concebible como deja de precipitarse en el Sol: y lejos de eso las órbitas de sus diferentes reapariciones coinciden todas en esta parte de su curso, sin que se haya notado diferencia sensible en su distancia perihelia.

IV.

RÉSTANOS aun por considerar como elemento de nuestro sistema solar, la luz zodiacal y las estrellas fugaces, bólidos y aereólitos. No es nuestro intento esponer la série de modernas observaciones y resultados, á que ha dado lugar el estudio de este ramo especial de la astronomía, destinado quizá á modificar las ideas admitidas respecto de la estructura de los cielos. Inútil seria tambien enumerar las diversas hipótesis que hasta ahora se han imaginado para esplicar la naturaleza de esas rápidas apariciones luminosas que constituyen las estrellas fugaces, y cuyo variado curso parecia imposible que pudiera sujetarse á ley alguna. Hoy no se puede poner en duda su origen cósmico, y dejar de mirarlas como pequeños cuerpos, planetas microscópicos, sujetos á las mismas leyes que los grandes cuerpos, que se inflaman al penetrar en nuestra atmósfera. Bas-

taria citar el célebre anuncio del astrónomo Americano A. Newton, de la lluvia de estrellas del 14 de Noviembre de 1866, para probar la verdad de aquel aserto, así como también para hacer ver todo el interés que su estudio inspira en el día. Nuestro objeto no es otro que presentar las teorías admitidas, fundadas en la sola ley de la atracción, y ver si por su medio pueden explicarse las diversas circunstancias de sus múltiples movimientos.

No hay noche del año en que dadas las circunstancias necesarias, no se perciba un número considerable de estrellas fugaces, unas describiendo estensas órbitas, y otras que desaparecen apenas se han presentado: su dirección es en todos sentidos, sin que en general pueda observarse ley alguna respecto del punto en que aparecen, ni del curso que siguen.

Prescindiendo de si hay una hora de la noche en que el número de estrellas sea el mayor, y de si este máximo no es el mismo según que la Tierra se halle en una u otra parte de su órbita, el número horario de estrellas visibles á la simple vista se hace subir hasta treinta. Este número será mucho mayor si se observa con telescopio, aunque sea de pequeño alcance: de observaciones hechas en momentos dados deduce Mr. Newton que aquel número

seria doscientas cincuenta veces mayor. Atendiendo á la altura máxima observada en estas estrellas, pueden imaginarse diez mil distintos horizontes en toda la superficie terrestre, tales que desde el uno no pueda verse las que son visibles en los inmediatos, y por consiguiente el número horario de estrellas visibles á la simple vista seria de trescientos mil, y de siete millones doscientos mil el de las que cruzan diariamente nuestra atmósfera. Si se tienen en cuenta las telescópicas, el número seria doscientos cincuenta veces mayor, ó bien de mil ochocientos millones.

La misma variedad que se observa en las direcciones de los meteoros que vamos considerando, se encuentra cuando se comparan sus alturas sobre el horizonte, sucediendo lo mismo respecto de las velocidades con que recorren sus órbitas aparentes.

Por grandes que sean las dificultades que ofrezca la medicion de estas velocidades, y de las alturas á que se hallan al penetrar y abandonar nuestra atmósfera, son ya muy numerosas las observaciones hechas para que deje de tenerse un conocimiento bastante exacto de ellas. La altura media puede reputarse en 100 kilómetros, variando entre 30 y 300, bien que esta última haya sido pocas veces

observada: cuando la altura es menor de treinta, se reputa que la estrella no sale de la atmósfera y que entónces cae sobre la tierra en cenizas ó residuos sólidos. Las velocidades son en general comparables con la de la Tierra en su órbita, y muchas veces llegan á ser hasta dobles, es decir de 30,000 hasta 60,000 kilómetros por segundo; pero tambien hay algunas mucho menores, y aun se han visto bólidos aparecer y permanecer fijos en un punto del cielo hasta su completa estincion.

Tal es el fenómeno considerado bajo un punto de vista general, ó como diariamente se nos presenta. ¿Qué distribucion de estos pequeños cuerpos puede imaginarse en el espacio, y qué movimientos al rededor del Sol, que dén explicacion plausible de todos sus caractéres? La hipótesis que á primera vista se presenta es que la Tierra al describir su órbita se halla siempre sumerjida en una inmensa corriente ó anillo compuesto de infinitos pequeños cuerpos, que sin cohesion ó atracciones recíprocas entre sí, bien por causa de su mínimo tamaño, ó ya por las grandes distancias que los separan, recorran al rededor del Sol órbitas elípticas independientes, semejantes á la de la Tierra, y que atraidos por ella y desviados de su curso vienen á atravesar la atmós-

fera, unas veces para continuar aquel mismo movimiento, y otras que convirtiéndose en escorias ó cenizas caen insensiblemente sobre la Tierra ó producen como algunos bólidos la caída de aereólitos ó lluvias de piedras.

Esta hipótesis, sin embargo, está bien lejos de poder explicar ni aun las principales circunstancias del fenómeno. Si se imagina que aquel anillo gira en el mismo sentido que la Tierra y todo el sistema solar, sus velocidades reales serian muy poco diferentes de las de nuestro globo, y á no ser por el movimiento que su atracción les imprime aparecerian inmóviles en el cielo. Si por el contrario se admite un movimiento retrógrado, la objecion es análoga, y la velocidad general aparente de dichos cuerpos seria doble de la de la Tierra. Esta uniformidad de velocidades, que aun teniendo en cuenta la modificación que sufren por la atracción terrestre, debia hasta cierto punto existir, está muy lejos de observarse. Tampoco puede admitirse que las grandes diferencias de velocidades provengan de la distinta velocidad con que la Tierra recorre las diversas partes de su órbita elíptica, combinada como se quiera con la que tengan los meteoros, por suponer tambien elípticas sus órbitas, pues que las estrellas

de una misma noche ó de varias consecutivas ofrecen velocidades tan diversas, como si se comparasen las de dos noches distintas cualesquiera. Por otra parte, sea cual fuese la posición del anillo, si se admite que los pequeños cuerpos que lo componen describen órbitas paralelas, debían aparecer al chocar con la atmósfera terrestre, como si partiesen de un punto fijo del cielo ó convergiesen hácia él. Este centro radial determinado por la tangente de la órbita terrestre en cada punto, y que tan patentemente se manifiesta en las lluvias ó caídas de estrellas periódicas, no se observa en las estrellas de cada noche, si así podemos espresarnos: estas son en general esporádicas, es decir, que nada liga entre sí las curvas que parecen describir en el cielo. Hay mas, este punto no debía ser el mismo para cada día del año y si cambiar de situación, recorriendo en el cielo un círculo que próximamente coincidiera con la eclíptica.

La idea de este anillo que envuelve la órbita de la Tierra parece realizada en la luz zodiacal, elemento del sistema solar de los mas sorprendentes, por el aspecto de su delicada luz, que parece revelar la existencia en aquellos espacios de una materia completamente desconocida. Imagínase sin embargo, que

ella es la reunion de pequenísimos cuerpos distribuidos en un estenso anillo en el plano del ecuador solar, dotados de movimientos análogos á los de los planetas, y que de sus confines donde ya es menos denso, es de donde partirían atraídas por la Tierra la mayor parte de las estrellas fugaces. Las consideraciones anteriores son bastantes á nuestro juicio para probar la insuficiencia de esta hipótesis.

Con ella se pretende ligar otro pensamiento no menos extraño, á saber, la esplicacion de la conservacion del calor solar. El choque de los cuerpos produce siempre calor, y éste es tanto mayor cuanto lo es la velocidad con que se verifica, de tal modo que la altura de que caigan puede servir de medida del calor desarrollado. Si uno de los pequeños cuerpos que forman la luz zodiacal se precipitase en el Sol como se supone (no sabemos por qué causa que anule su velocidad tangencial) llegaría á la superficie de aquel astro con una velocidad muy superior á la que alcanza un aereólito al llegar á la Tierra, desarrollando una cantidad de calor en proporcion de su velocidad: de este modo se renovaríase constantemente el calor del Sol perdido y comunicado á los cuerpos que lo acompañan. La luz zodiacal seria pues el depósito de combustible que mantiene

constante aquella inmensa hoguera. La gran cantidad de materia que segun esta hipótesis deberia caer constantemente sobre la superficie del Sol, bastaria para rechazarla. El choque de la tierra, si se precipitára en línea recta sobre el Sol, produciría una cantidad de calor equivalente al que este emite en 95 años; y el que todos los planetas y satélites precipitándose desde sus respectivas distancias produjeran, puede evaluarse en el que el Sol ha deramado en 4,600 años. ¡Cual deberia ser la masa de ese anillo para que su caída entretuviese aquel foco de calor durante unos cuantos siglos, y como imaginar que los cometas la atravesen sin que sus órbitas se cambien totalmente! Por otra parte, á nadie ocurre que la caída de los aereólitos sobre nuestro globo altere en lo mas mínimo su temperatura: su atmósfera es bastante para disolver la inmensa mayoría de las estrellas fugaces que á ella llegan, y hacer que sus restos ó escorias caigan de una manera insensible. ¿Por qué no admitir que algo muy semejante pase en la superficie del Sol, ya que *no nos figuremos que antes habian de ser volatilizadas*, y que su efecto fuera aun menos sensible?

En la imposibilidad de dar una esplicacion

suficientemente satisfactoria del fenómeno diario de las estrellas fugaces, por concepciones análogas á las que hemos presentado, y sin salir del ámbito de nuestro sistema solar, se acude á suponer que todo el espacio está poblado de estos pequeños cuerpos, y en tal proporción que la Tierra los encuentra en tanto número como se observa. Mr. Newton reputa en 14.000 el número de corpúsculos que podrían girar dentro de una esfera hueca del tamaño de la Tierra, moviéndose en ella, á las mismas distancias y de un modo análogo á como lo verifican dentro de nuestra atmósfera. Esta sería la densidad de población, si así podemos espresarnos, de los espacios interplanetarios. Mas no son solo estos los que es preciso considerar ocupados por esta profusión de materia: el Sol con su acompañamiento de planetas se mueve en los espacios estelares, y en ellos también debe encontrar la Tierra el mismo número de cuerpos, y por lo tanto deben suponerse llenos de la misma materia.

Mas, para concebir su existencia, es preciso admitir que estén en movimiento: la atracción universal escluye la idea del reposo: así se supone que distribuidos en grupos ó en anillos parabólicos de todas las inclinaciones y situaciones posibles,

giran al rededor del Sol, atravesando el sistema planetario, para ir á perderse en los espacios estelares, de los que vendrán otros nuevos á reemplazarlos. Sin insistir por ahora en esta extraordinaria concepcion, lo primero que ocurre es preguntar, si las leyes de la mecánica aplicadas á los grandes cuerpos planetarios, en la suposicion del vacío completo, pueden tener aplicacion del mismo modo y llegarse á resultados análogos, admitiendo que por todas partes les rodea esta inmensa cantidad de materia, sea cual fuese el modo de ser que se le atribuya. Tampoco tiene á nuestro modo de ver el mérito de dar mayor grandiosidad á la creacion, esta multitud de pequeños cuerpos desprovistos de toda vida, cual se nos presentan los aereólitos desprendidos de los bólidos que llegan á la superficie de nuestro globo.

Pasemos ya á la parte mas notable del fenómeno que nos ocupa, á aquella en que se descubren ciertos caracteres constantes, que no solo dan pruebas seguras de su origen cósmico, sinó que tambien permiten sujetarle hasta cierto punto á reglas fijas, é imaginar la clase de órbitas que estos corpúsculos describen. Tales son las lluvias ó grandes caidas de estrellas fugaces, que periódicamente se repiten

en determinados dias del año. Las dos mas notables y mejor conocidas son las del diez de Agosto, llamadas desde remotos tiempos «lágrimas de San Lorenzo,» y las hoy célebres del catorce de Noviembre, que bien pueden ser las que se conocian con el nombre de «las once mil vírgenes.» Además de su periodicidad, se observa en estas noches que su número es mucho mas considerable que en las noches ordinarias, y muy particularmente, que la generalidad de las estrellas parten ó convergen á un punto fijo y determinado del Cielo, dependiente de la posición que ocupa entónces la Tierra en su órbita. Estos caractéres, que manifiestan desde luego que la Tierra encuentra en aquellos dias del año un grupo ó reunion de pequeños cuerpos, debia naturalmente conducir á investigar cual sea la forma que tales agrupaciones afectan, y cuales sean tambien los movimientos de que están animados, para que se verifiquen periódicamente aquellos encuentros, y se esplicquen hasta donde sea posible todas las particularidades del fenómeno.

Mr. Newton, célebre en este nuevo ramo de la astronomía, sin pretender buscar el primitivo origen de estos pequenísimos cuerpos, ni averiguar como han llegado á ser una parte integrante de nuestro

sistema solar, parte del principio de que estas agrupaciones afectan la figura de un anillo de forma de toro elíptico, y cuya seccion principal es tambien una elipse: su velocidad al rededor del Sol depende solo del tamaño de su eje mayor, á semejanza de cualquier cuerpo compacto y de grandes dimensiones.

Respecto de las lluvias de estrellas del diez de Agosto, observa que su intervalo es con cortísima diferencia de un año sideral, y que no hay variacion sensible de un año á otro en la intensidad ó bien en el número horario de estrellas, circunstancia que le induce á juzgar que el anillo es completamente homogéneo en toda su estension. Teniendo en cuenta el lugar que la Tierra ocupa ese dia en su órbita, y la situacion del punto radial de los meteoros, la observacion de las curvas que estos parecen describir, le conduce á admitir que el plano del anillo es casi perpendicular al de la eclíptica, á saber, de 96 grados, que su eje mayor es 0,84, siendo la unidad el de la órbita terrestre, y su escentricidad de 0,28; de cuyos datos se deduce que el tiempo de su revolucion es de 281 dias. El movimiento se supone directo. Dando á la seccion transversal del toro la estension suficiente, para que la Tierra emplease tres dias en atravesarle, y admitiendo

que la densidad en su centro sea mayor que en los estrémos, se esplicarian las lluvias de los dias anterior y posterior, en los que, aunque con menor intensidad, se observan tambien caidas considerables de estrellas.

Es posible formarse una idea del inmenso número de corpúsculos que encierra este estenso anillo. Segun hemos indicado, el diámetro de su seccion es igual al camino recorrido por la Tierra en tres dias; y como en cada uno de los horizontes de trescientos kilómetros de diámetro se reputa que caen en cada hora de estos dias 112 estrellas visibles á la simple vista; por la seccion del anillo, cuyo diámetro es 20.000 veces mayor, habrán de pasar 400 millones mas de estrellas: este número, multiplicado por 6744, que son las horas del tiempo de su revolucion, representaria el total de meteoros ó pequeños cuerpos del anillo: y si se tiene en cuenta las estrellas telescópicas, aun deberia multiplicarse este número por 250, con lo que, por pequeños que se supongan esos corpúsculos, se llegaria á una masa igual á una considerable parte de la de la Tierra.

Los meteoros del 14 de Noviembre no se prestan á una hipótesis tan sencilla. La lluvia de estrellas

de este mes se repite anualmente, notándose una mayor intensidad que en los días ordinarios, y marcándose en el Cielo el punto radial en la constelación del Leon: mas para este mismo día, hay años en que el fenómeno toma un incremento ó máximo muy notable, periódico tambien, y se repite cada 33 años próximamente. El último, verificado en 1866, fué el que anunció con anticipacion Newton, señalando aun la hora de la noche en que habia de hacer su aparicion mas brillante.

No pudiendo admitirse la suposicion de un anillo homogéneo, imagina aquel astrónomo que en una pequeña parte de su estension se ha concentrado una gran cantidad de meteoros, mientras que en la restante están distribuidos mas ó menos homogéneamente, pero en menor cantidad. Suponiendo que el tiempo de revolucion de estos cuerpos es menor que el de la Tierra, y tal que el encuentro se verifique tres veces en un siglo, quedaria explicado el período del máximun de las lluvias y tambien el anual de las menos intensas.

El tiempo de la revolucion del anillo es segun Newton $1 + \frac{1}{33,25}$ siendo el año la unidad: de este dato se deduce inmediatamente que el eje mayor de la elipse es de 0,9805. El rádio vector del punto

de encuentro es el mismo que el conocido de la Tierra para este día, y se tienen por lo tanto los datos necesarios para deducir la escentricidad y la velocidad de los meteoros, la que resulta igual á la velocidad media de la Tierra. La inclinacion de su plano sobre el de la eclíptica es de 19 grados, y su movimiento es retrógrado.

Las circunstancias ó caracteres mas generales del fenómeno encuentran esplicacion natural en esta teoría, y se comprobaron por las observaciones de aquella célebre noche. La hora de media noche al amanecer pronosticada para cada paralelo terrestre, es consecuencia precisa de ser retrógrado el movimiento de los meteoros, que asi vienen á chocar á la Tierra hacia el meridiano de media noche. Pero el tiempo absoluto para dos distintos paralelos debe ser diferente, pues que al penetrar la Tierra en la corriente de meteoros, se van presentando sucesivamente á su encuentro: la diferencia de tiempo debe ser el que la Tierra emplea en recorrer una estension bastante de su órbita para que penetre en la corriente la perpendicular comprendida entre los planos de los paralelos. Asi la aparicion para el Cabo de Buena-esperanza debia ser 13 minutos antes que la de Inglaterra como próximamente dió la observacion.

No era factible, entre la multitud de estrellas, fijarse en una misma desde dos distintas localidades, para medir las velocidades aparentes de algunas de ellas, y solo pudo hacerse respecto de un notable bólido, cuya velocidad se encontró ser de 60 kilómetros por segundo, cantidad igual á la suma de la velocidad de la Tierra en su órbita y la calculada del anillo en direccion opuesta, como lo exige la teoria. Por notable que sea este hecho, no es posible inferir que las demás estrellas se moviesen con esta misma velocidad, ni permite creerlo la falta de paralelismo que debian guardar sus órbitas, si es verdad que el anillo se compone de pequeños cuerpos sin dependencia mútua ni cohesion entre si. Tampoco todas las estrellas partian ni convergian hacia un punto radial del cielo, como en la hipótesis de los anillos debe suceder, y esto en la proporecion de 126 á 134: resultado que parece demostrar que en estas agrupaciones de corpúsculos, aunque rejidas por las leyes de la atraccion, hay otros movimientos en uno ó mas sentidos que provengan de *causas aun desconocidas*.

La idea de anillos jirando al rededor del Sol en el sentido directo, ó bien de todo el sistema planetario, sea cual fuese el estado de la materia que

los constituya, nos es familiar, y vemos un ejemplo de ello en los de Saturno, y aun pudiéramos decir, en el que origina la luz zodiacal; pero al considerar anillos de movimiento inverso, tales como los que admite Mr. Newton, no es posible dejar de preguntar de donde proviene el impulso primero comun á aquella infinidad de cuerpos, para que describan elipses semejantes y paralelas.

Quizá para salvar esta ineludible dificultad, imaginó el astrónomo de Milan Mr. Schaperelli su estraña teoría, que no ha sido menos apreciada y admitida que la de los anillos elípticos de Newton. Segun ella, estas agrupaciones ó multitud de pequeños cuerpos no se han formado dentro del ámbito de nuestro sistema planetario, sino que á él han llegado desde los espacios estelares, para volver á perderse en ellos despues de describir estensas parábolas á semejanza de algunos cometas.

Este astrónomo imagina que una especie de nebulosa ó agrupacion de pequeñísimos cuerpos sin cohesion ó atracciones recíprocas entre sí, formada á gran distancia de nuestro sistema, se mueve con una pequeña velocidad, y que de este modo llega á caer bajo la accion de la atraccion solar, empezando entón-ces á describir una parábola ó estensísima elipse.

Mas esto no sucederá sin que su primitiva forma globular se altere, por ser desigualmente atraídas las partes mas próximas y lejanas del Sol: este efecto, insensible al principio, será cada vez mas perceptible á medida que disminuye la distancia solar: el grupo se estenderá por lo tanto en este sentido á espensas de su ancho y grueso, y llegará á convertirse en una estensa cinta ó corriente, que empleará un tiempo considerable en atravesar el sistema planetario. Si por su situacion, esta corriente corta la eclíptica, tendrá lugar el fenómeno de la lluvia de estrellas, y se repetirá anualmente durante aquel tiempo.

Como ejemplo considera el autor una nebulosa del tamaño de nuestro Sol, á la distancia de 20,000 rádios de la órbita terrestre, cuyo diámetro aparente seria de un décimo de segundo, y que se mueve con la velocidad de cien metros por minuto. Mil y quinientos años emplearía la nebulosa para llegar á su perihelio, y mientras tanto habrá tomado la forma de una corriente de 37 kilómetros de ancho, 100 metros de grueso y una estension de 1,000 millones de kilómetros, que emplearia poco mas de un año en pasar por el perihelio.

Como se vé, el ejemplo peca por sus cortas dimensiones, pues no habria sino dos encuentros, y además

la Tierra atravesaría este anillo en tan corto instante que no daría lugar á percibir el fenómeno. Pero supóngase que la nebulosa á la misma distancia tiene un diámetro aparente igual al de nuestro Sol, como el de algunas nebulosas, es decir 19.200 veces mayor; las dimensiones de la cinta ó corriente aumentarían en la misma proporción, y emplearía por lo tanto cerca de 20.000 años en pasar por su perihelio y *durante este largo tiempo se tendría la repetición periódica de la lluvia de estrellas*. Es fácil ver que el volúmen de esta nebulosa sería mas de dos veces mayor que el de una esfera que comprenda todo nuestro sistema planetario; la Tierra emplearía cosa de cinco horas en atravesar la corriente en que se le supone convertida.

Admitida esta teoría es fácil concebir, imaginando un gran número de estas corrientes, como pueden estar poblados los espacios celestes de esa multitud de corpúsculos animados de todas las velocidades posibles, y moviéndose en todas direcciones, que toman el aspecto de estrellas fugaces ó bólidos según su tamaño y quizá según su naturaleza, y quedaría explicado el fenómeno diario de que al principio nos ocupamos, al menos considerado bajo un punto de vista general; pero dista mucho de

estarlo á nuestro juicio, si se atiende á toda la variedad de circunstancias que en cada noche pueden observarse. ¿Por qué esa diversidad de velocidades en una hora dada, si en este tiempo la Tierra atraviesa solo una de estas corrientes, en la que los corpúsculos que la componen describen órbitas paralelas? ¿cómo es que en la misma hora aparecen las estrellas en su mayor parte esporádicas, y no parten de un punto radial, como debia suceder si todas siguen órbitas paralelas?

Estas contradicciones inesplicables tanto en la teoría de las corrientes parabólicas como en la de los anillos elípticos de Newton, revelan, como anteriormente hemos dicho, otra disposicion y movimientos especiales en estas agrupaciones de corpúsculos, que la Tierra encuentra en su camino, debidos á causas que nos son desconocidas.

Los meteoros de Noviembre, por su carácter de intermitencia, no pueden esplicarse por medio de una corriente parabólica, que naturalmente ha de suponerse homogénea, y es preciso acudir al anillo elíptico de Newton. Mr. Leverrier vence esta dificultad, admitiendo que la órbita primitiva fué parabólica, y tal como la imaginó Schaperelli, y que se convirtió en elíptica de corto periodo por la accion

perturbadora del planeta Urano, á cuya intermediacion debió pasar hacia el año 126 de nuestra era.

Citámos espresamente este último pensamiento, para hacer ver hasta qué punto se hace depender de la sola fuerza de la atraccion el complicado fenómeno de las estrellas fugaces. A muchas reflexiones, sin embargo, dan lugar estas teorías.

La nebulosa de Schaperelli, á distancia de 20,000 rádios de la órbita terrestre y de 32 minutos de diámetro aparente, representa un volúmen mas que doble del de una esfera que comprenda todo el sistema planetario: por grandes que se supongan las distancias que separan los corpúsculos de que se compone, y aun dándoles dimensiones tan pequeñas como se quiera, suposicion que no está en armonía con el tamaño de los aereólitos y lluvias de piedras que se desprenden de un solo bólido, no es posible concebir que permanezcan completamente independientes unos de otros, y menos el que la atraccion del conjunto sobre cada uno de ellos sea insensible: de otro modo no puede comprenderse la existencia de esa agrupacion formada al acaso, y sin que deje de alterarse en su primitivo movimiento, debido sin duda á atracciones de otros grandes centros. Si un volúmen igual de materia en estado de vapor, el

mas ténue posible, ejerceria su atraccion en razon de su masa, ¿por que se ha de admitir que aquella agrupacion, por solo su especial estructura, ha de ser inerte y privada de esa propiedad general inherente á toda materia? Con las dimensiones que le hemos dado, y por pequeníssima que se suponga su densidad, la masa solar no seria mas que una pequeña parte suya, y sin embargo, el Sol por su atraccion ha de hacerle describir una órbita como á cualquiera pequeño cuerpo del sistema planetario. Sobre esta lámina ó corriente ya mas compacta, influye el planeta Urano para variar su velocidad y convertir su órbita parabólica en elíptica, y no obstante hay que admitir que ella no perturba en lo mas mínimo la órbita de aquel planeta ni las de sus satélites. Por último, no comprendemos como se compagina la teoría de la mecánica celeste en la suposicion del vacío en el espacio, con la hipótesis inversa de estar lleno de esas pequeñas masas.

No son solo los anillos de Agosto y Noviembre los que es preciso admitir: no hay mes alguno en que no se hayan observado apariciones de estrellas tanto ó mas brillantes que las de aquellos meses, y sino se ha observado su período, es preciso creer que lo hay, ó modificar completamente estas teorías.

No seguiremos al astrónomo de Milan en sus investigaciones para hacer coincidir las órbitas de los meteoros con las de algunos cometas, y deducir que estos constituyen una parte especial é integrante de las corrientes de meteoros, los cuales no serian otra cosa que cometas apagados, espresion ó pensamiento que con tanta fortuna ha sido admitido. Lo espuesto basta para el objeto que en estas páginas nos hemos propuesto.

V.

HEMOS dicho al principio de estos apuntes, que la estabilidad ó invariabilidad del movimiento de rotacion de la Tierra ha sido modernamente puesto en duda. Veamos qué consideraciones han dado lugar á ello, y á qué causas puede atribuirse tal fenómeno, si es que realmente existe.

Mr. Delaunay en sus investigaciones sobre los movimientos de la Luna, ha llegado á un resultado de los mas singulares, á saber, que el dia sideral, ó lo que es lo mismo, el movimiento de rotacion de la Tierra, no es constante, y que cada dia es mayor que el anterior de una cantidad tal que al cabo de 100.000 años el aumento llega á ser de 4".

El razonamiento del autor es el siguiente. Haley en 1693 descubrió que el movimiento de la Luna al rededor de la Tierra tenia una aceleracion secular de 12", de cuyo fenómeno un siglo mas tarde en-

contró Laplace la causa, haciendo ver que dependía de la variacion secular de la exentricidad de la órbita de la Tierra. Mas revisados modernamente estos cálculos por Mr. Adams, encontró este astrónomo que si bien el principio de que partia Laplace era exacto, la aceleracion del movimiento de la Luna, producida por aquella causa, no podia pasar de 6". Agotada, por decirlo asi, la teoría de la atraccion respecto de los movimientos de la Luna, Mr. Delaunay atribuye aquella diferencia, no á su movimiento, sinó á una variacion de la unidad del tiempo, es decir, del dia sideral; y admitiendo el movimiento lunar tal como lo dá la observacion, y remontándose á los mas antiguos eclipses de Sol históricamente conocidos, calcúla los puntos de la Tierra donde debian ser estos visibles, y deduce que el eclipse de Agathocles, visto en el año 310 antes de Jesucristo cerca de Siracusa, debió haberlo sido cerca de Cádiz, representando la diferencia de longitudes entre ambos puntos, que es de una hora y tres cuartos, el retraso de tiempo sufrido en 2176 años. Los eclipses de Thales y de Larissa dán un resultado análogo. De todo lo cual se deduce que el aumento del dia en 2000 años es de $\frac{1}{50}$ de segundo, y por consiguiente de 1" en 100.000 años.

La causa de este retardo la encuentra Mr. Delaunay en la atraccion ejercida por nuestro satélite sobre la ola-marea que el mismo eleva en el Océano, y calcúla que bastaría suponerla de un métro de altura, y una superficie igual á la de un círculo que comprenda doce grados terrestres, para producir el indicado aumento del dia.

Como consecuencia inmediata de esta teoría, deduce su autor que aquel aumento progresivo deberá continuar, y llegarán á igualarse los tiempos de rotacion y revolucion de la Tierra, presentando entónces al Sol constantemente el mismo hemisferio, como un satélite respecto de su planeta principal. Mas sucederá que en el gran número de siglos que para ello serian necesarios, la temperatura de la Tierra habrá disminuido, los mares se habrán helado, no habrá por consiguiente mareas, y empezará el movimiento constante de la Tierra.

Por autorizada que sea la voz de Mr. Delaunay en semejante materia, no ha dejado su teoría de encontrar grande oposicion; y preseindiendo de las dudas que naturalmente nacen de la excesiva pequenez del retraso, y de las que puedan fundarse en la falta de precision con que hayan sido consignados aquellos antiguos eclipses, se ha presentado

otro género de objeciones en que conviene detenernos.

Una porcion de causas que obran constantemente, dice Mr. Fonvielle, todas mas enérgicas que la atraccion lunar sobre la ola-marea, pueden producir el antedicho retraso de movimiento de rotacion terrestre.

Es una de las primeras el aumento de masa que la Tierra adquiere con la caida de aerólitos y restos ó escorias de las estrellas fugaces, aumento que trae consigo una disminucion en la velocidad de rotacion.

Ocupándose de la misma causa Mr. Dufour, calcúla que el aumento de masa que debería tener la Tierra para producir aquel retardo, debe ser de $\frac{1}{114400000}$ de su masa total; y suponiendo la densidad de los aerólitos igual á los dos tercios de la media del globo, encuentra que seria preciso que en cada siglo cayesen sobre la Tierra 11.000 kilómetros cúbicos de aquella materia, ó bien 110 por año, que repartidos sobre toda la superficie del globo darian para cada kilómetro cuadrado 2.200 méetros cúbicos, ó bien dos méetros cúbicos por hectárea. Mas fijando en un méetro la altura media del agua de lluvias por año, y disuelta en ella la masa de los aerólitos, esta materia entraría en el agua

en la proporción de dos diez milésimas, cantidad que el análisis químico apenas descubriría. La lluvia sola bastaría para arrastrar sobre la Tierra un aumento de masa bastante para causar el inesplicable exceso de la velocidad de la Luna. Prescindiendo de las demás consideraciones en que entra dicho autor, bien puede decirse que no es posible dar formas más ingeniosas al argumento.

La elevación de un grado de calor en la temperatura media del globo, se dice, explica también el crecimiento del día por el aumento de volumen y disminución de su velocidad de rotación, y un igual enfriamiento sería bastante para anular el efecto de las mareas.

La formación de una nueva cordillera de montañas produciría un cambio en la velocidad terrestre, y debe creerse que tal debió suceder al elevarse los Andes y demás cordilleras del globo.

El ether en que se mueven los astros ha de producir una disminución en su movimiento de rotación, bastante para explicar el fenómeno en cuestión.

Mr. Liais, por último, señala otra causa de bien distinto género, sobre la que llamamos particularmente la atención, á saber, el magnetismo terrestre. Se sabe, dice, que un cuerpo magnético no puede

moverse en presencia de otro, esté ó no magnetizado, sin que los movimientos de uno y otro dejen de sufrir alteraciones. Así el magnetismo terrestre obra disminuyendo la velocidad de rotacion de la Tierra y la de traslacion de la Luna; pero segun las leyes de la mecánica, una disminucion de velocidad en un cuerpo celeste, hace que este se acerque al centro de atraccion, y que su movimiento angular aumente: así pues, habrá aceleracion real en el movimiento angular de la Luna, y al mismo tiempo aceleracion aparente producida por el aumento en la duracion del dia.

El mismo Mr. Fonvielle concluye sus consideraciones preguntando: si cada una de las causas citadas es mas activa, mas enérgica que la accion de la atraccion lunar sobre la ola-marea; ¿por qué se señala ésta como la mas apropósito para explicar el fenómeno? A nuestro juicio es otra y de difícil solucion la cuestion que en primer término se presenta: si tales y tantas son las causas que pueden alterar ó que realmente alteran la duracion del dia, ¿cómo su efecto no se hace patente de un modo sensible é incuestionable? Si la ola-marea es por sí sola suficiente para la explicacion del fenómeno, las demás reunidas, y que se dicen mas activas, debian pro-

ducir un desacuerdo que en nada se manifiesta. Una de dos, ó estas causas no tienen valor real alguno, ó si le tienen es preciso que haya otra que constante ó periódicamente las anule, y restablezca el movimiento de rotacion de la Tierra, dándole una invariabilidad perfecta ó haciendo que sus variaciones se conserven entre límites reducidos.

Estas consideraciones adquieren mayor valor si las referimos á los grandes planetas Júpiter y Saturno, en los que por analogía debe suponerse que existen las mismas causas, pero en mucho mayor escala. En ellos habrá mareas en la parte líquida y en su revuelta atmósfera; aumentos de masa producidos por la caída de materia cósmica, y variaciones en sus volúmenes por cambios sobrevenidos en sus temperaturas; resistencia en el éther, y efectos del magnetismo en movimiento.

Todas estas causas afectan mas ó menos tanto los movimientos de rotacion de los planetas como los de traslacion de sus satélites, y aunque de los primeros pueda decirse que el poco tiempo transcurrido desde las primeras observaciones exactas, no permite que se haga sensible tan mínima alteracion, no sucede lo mismo respecto de los movimientos de los satélites, cuyas alteraciones no escaparían á la precision de las observaciones modernas.

Así, supuesta la acción de la Luna para retardar el movimiento de rotación de la Tierra, preciso es también admitir una reacción sobre aquella que altere su movimiento de traslación, y como ambos movimientos, el de rotación de la Tierra y el de traslación de la Luna, son en el mismo sentido, la ola-marea sobre la que la Luna ejerce su acción para detener el movimiento diario de la Tierra, la ejercería sobre ella misma aumentando su velocidad tangencial, lo que en final resultado causaría un aumento en la distancia lunar y por lo tanto en el tiempo de su revolución: así, el efecto de las mareas produciría aumento en el día sideral y retardo en el movimiento medio de la Luna.

Si ésta en un tiempo tuvo mares, y no existía primitivamente la igualdad de sus movimientos angulares de traslación y rotación, ha debido tener retardos mucho más sensibles que la Tierra, al paso que los efectos de la reacción sobre el movimiento de traslación de esta, fueran comparativamente muy pequeños: así la Luna, mientras en ella existieran mares, ha debido pasar por disminuciones progresivas en su movimiento de rotación hasta igualarle con el de su traslación, por el solo efecto de las mareas que en ella produjera la atracción terrestre. Tal

seria, segun por algunos se pretende, la verdadera causa del equilibrio que hoy presentan aquellos dos movimientos.

Pero no es posible limitar este razonamiento á nuestro globo y su satélite, y no extenderlo á los demas cuerpos del sistema planetario que debemos suponer en análogas circunstancias. Los satélites de Júpiter habrán igualado sus movimientos de rotacion y traslacion por las grandes mareas que en ellos levantase la poderosa atraccion del cuerpo central, y á su vez las producirían en los mares de éste, deteniendo su movimiento de rotacion y retardando al mismo tiempo los suyos de traslacion. A mas de dos siglos, sin embargo, remontan las observaciones exactas de los eclipses de los satélites de Júpiter, y pudiera decirse que la acumulacion del retardo en sus movimientos medios debia haberse observado y héchose patente en este espacio de tiempo. La notable ley que liga los movimientos medios de los tres primeros satélites de este planeta, de tal suerte que el del primero mas dos veces el del tercero es igual á tres veces el del segundo, no parece que sea compatible con las nuevas perturbaciones que las mareas introducen en estos movimientos. Laplace mira esta ley como consecuencia de la atraccion,

suponiendo que primitivamente los movimientos eran tales que se diferenciaban poco de aquella relacion, y que *entonces circulaban, no en el vacio*, sino en un rarísimo medio de diferente resistencia para cada uno de ellos.

Los planetas Mercurio y Vénus habrán debido sufrir grandes disminuciones en sus velocidades de rotacion, por causa de las mareas que en ellos levantaría la atraccion del Sol, y no decimos en sus movimientos de circulacion, por no equiparar la constitucion y superficie de este astro luminoso con la de los cuerpos que forman su séquito. Todos los planetas tenderian á igualar sus movimientos de rotacion y traslacion, lo que aun sin tener en cuenta otras perturbaciones, bastaria para dar una nueva faz al sistema planetario. En vano está este dispuesto por el tamaño de sus masas, forma y situacion de sus órbitas y direccion comun de sus movimientos, para asegurar su estabilidad ó hacer que oscile entre reducidísimos límites á uno y otro lado de un estado medio: bastaría la sencilla y natural hipótesis de considerar los planetas cubiertos en parte por mares, á semejanza de nuestra tierra, para destruir aquel magnífico equilibrio. Esos pequeñísimos movimientos oscilatorios en su superficie, esa reducida alteracion

de forma en su parte líquida, serian suficientes para producir en el trascurso de los siglos un inmenso trastorno en nuestro sistema planetario, y cambiar totalmente la especial vida y modo de sér de cada cuerpo.

Este resultado, que es muy dudoso llegue nunca á ser comprobado, es sin embargo consecuencia precisa de la teoría de la atraccion y el vacio. Hasta ahora puede decirse que tal efecto solo se ha hecho notar en nuestro satélite, y esto del modo casi insensible que hemos visto; mas prescindiendo de la duda que deja en el ánimo la pequeñez del aumento del dia, de un centésimo de segundo en mil años, ¿puede mirarse como tan indudablemente conocidas todas las causas capaces de perturbar el movimiento de la Luna, que sea preciso atribuir á la variacion del dia, medida del tiempo, la no concordancia de los antiguos eclipses citados? ¿No pudiera mas bien sospecharse una desigualdad secular debida á causas aun no conocidas?

El célebre documento de que vamos á ocuparnos justifica esta duda: es éste la carta de Mr. Leverrier al Mariscal Vaillant sobre la constitucion del sistema planetario. Despues de un laborioso estudio durante muchos años, de los cuatro planetas Mercurio, Ve-

nus, la Tierra y Marte, el ilustre astrónomo se propone averiguar si es posible, atribuyendo á los planetas masas convenientes, dar razon de todos los movimientos ó variaciones que la observacion hace conocer, ó bien si en alguna parte de nuestro sistema existe alguna cantidad notable de materia, que sea todavia necesario tener en cuenta para la esplicacion completa de aquellas perturbaciones.

Las masas adoptadas para los cuatro citados planetas, deducidas de las alteraciones que sufren los elementos de sus órbitas, no bastan para explicar el exceso de movimiento que se observa en los perihelios de Mercurio y Marte, mientras que, si se variasen las masas de modo que explicasen estos movimientos, se hallarían nuevas discordancias respecto de los otros elementos de las órbitas. Es preciso pues, buscar fuera de los planetas una cantidad de materia, y de tal modo dispuesta, que sin influir en las longitudes, esentricidades etc., produzca el exceso de movimientos de los perihelios, que dá la observacion. Estos efectos se explicarian suponiendo que en los espacios que dejan los cuatro planetas hay anillos de materia cósmica, invisibles totalmente ó solo en parte, que giran al rededor del sol en el mismo sentido que toda la materia planetaria.

Así, según el citado astrónomo debe haber: primero, entre el Sol y Mercurio un anillo de asteroides de una masa comparable con la del mismo planeta; segundo, á la misma distancia del Sol á que se encuentra la Tierra, otro segundo anillo de pequeños cuerpos, cuya masa seria todo lo mas igual á la décima parte de la de la Tierra; tercero, otro anillo ó grupo de pequeños planetas situados entre Marte y Júpiter, cuya masa no exceda de la tercera parte de la terrestre. No es posible fijar mas que límites á estas dos masas, pero ambas deben ser suplementarias, de tal modo que diez veces la del primero mas tres veces la del segundo formen un todo igual á la masa de la Tierra.

Mr. Leverrier concluye diciendo: «el tiempo aclarará estos misterios, y las generaciones futuras no comprenderán nuestra ignorancia acerca de verdades tan sencillas y naturales. En cuanto á nosotros, estudiando la naturaleza, aventuremos algunas conjeturas, sin presumir haber alcanzado la verdad, pero tambien sin desesperar de que se llegará á encontrar.»

Aunque no pueda decirse que se conocen los diámetros de los asteroides que circulan entre Marte y Júpiter, muchos de ellos han sido medidos con

aproximacion bastante para dar una idea de su pequenñez; y modernamente el astrónomo Argelander, partiendo de medidas fotométricas, ha deducido una fórmula por la que pueden calcularse hasta cierto punto dichos diámetros, por el tamaño con que aparecen aquellos cuerpos en una época dada. Calculando con estos rádios los volúmenes de los asteroides conocidos, y suponiéndoles igualmente densos que la Tierra, se encuentra que la masa total de estos cuerpos hasta ahora descubiertos, equivale á las nueve milésimas de la de este planeta. ¿Es probable que los nuevos asteroides que se descubran en esta region, sean tantos que llegue á obtenerse la masa necesaria? Mas difícil parece aun el que la observacion llegue á comprobar la existencia del anillo intra-mercurial.

El tercer anillo situado á la distancia de la Tierra al Sol, y casi en el plano de la eclíptica dentro del cual aquella debe circular, y que segun esta hipótesis produciría las estrellas fugaces que diariamente atraviesan nuestra atmósfera, nos parece menos admisible, y menos aun el que su masa pueda llegar á ser un décimo de la de la Tierra. Lo espuesto anteriormente al tratar de este fenómeno, es suficiente á nuestro entender para poner en duda la hipótesis de este tercer anillo.

Por otra parte, ¿como puede admitirse la accion perturbadora de estos anillos, en razon de su masa, para alterar la situacion de las órbitas de los dos planetas Mercurio y Marte, cuando como hemos visto al esponer las teorías de las estrellas fugaces, los compactos anillos que producen las lluvias de estrellas de Agosto y Noviembre, no causan alteracion alguna en los mas pequeños cuerpos de nuestro sistema planetario? Y sin embargo, ó es preciso admitir con Mr. Leverrier la existencia de aquellos anillos y su accion perturbadora, ó dudar de la suficiencia de la atraccion newtoniana como único origen y causa de todos los movimientos de los cuerpos celestes.

No podemos menos de añadir aquí una observacion, que se liga con lo que hemos indicado alguna vez en esta memoria respecto de los pequeños cuerpos de nuestro cosmos. Los planetas Mercurio y Marte, cuyos movimientos no encuentran perfecta explicacion en la atraccion de los demás cuerpos conocidos, son muy pequeños respecto de los restantes planetas, pues sus masas vienen á ser 0,071 y 0,118 de la de la Tierra, y poco mas de la de Vénus.

VI.

OFRECEN los cometas un fenómeno que de ningún modo puede explicarse por la atracción newtoniana, ya se suponga que se mueven en el vacío perfecto, ó ya se admita un medio resistente; tal es el movimiento de sus colas, en virtud del cual se hallan siempre en la prolongación del radio vector solar. Para que esto se verifique, es preciso que mientras el núcleo del cometa recorre la parte de curva próxima al perihelio, este estensísimo apéndice tome un movimiento de rotación igual al de traslación del núcleo, á semejanza de los satélites respecto de su planeta principal. La velocidad de su extremo excede enormemente á la mayor que nos ofrece el sistema solar, y no es posible imaginar la causa de la velocidad inicial creciente que debe animar las diversas partes de aquella materia, para que describan curvas concéntricas con la del núcleo.

Sir John Herschel, despues de un prolijo estudio de los caractéres que presentó el cometa de Haley en su reaparicion del año de 1835, concluye que ni la forma del núcleo y nebulosidad que le envuelve, ni la de su cola, son ni pueden ser las que exige la sola fuerza de la atraccion, y que es preciso admitir además de esta fuerza otra repulsiva. Reflexiónese, dice, que en el movimiento de las colas de los cometas encontramos fenómenos totalmente incompatibles con las nociones admitidas en la teoría de la gravitacion; si las colas son materiales en el sentido ordinariamente admitido de ser compuestas de materia inerte dotada de la fuerza de atraccion, ¿dónde reside la que las traslada, al pasar el núcleo por el perihelio, conservando siempre una direccion opuesta al Sol, cual si fuese una barra rígida solicitada por una poderosa fuerza directiva, en oposicion con todas las leyes del movimiento planetario, que exigen que los cuerpos se muevan con tanta mayor lentitud cuanto mas lejos se hallan del centro de atraccion? La cola del cometa de 1860 se estendió mas allá de la órbita de la Tierra en los cinco dias posteriores á su paso por el perihelio, habiendo descrito en este corto tiempo un arco de 150 grados: ¿cómo se esplicaría por solo la atraccion del Sol este

extraño giro? Y prescindiendo del movimiento angular; sino se admite otra fuerza que la atraccion, ¿dónde hallar la causa que lanza estas colas en direccion opuesta al Sol? Newton calculaba que las partículas de la materia del extremo de la cola necesitan para llegar desde el núcleo á aquella enorme distancia solo dos dias.

De tanto peso es la opinion del astrónomo Bessel, quien en su análisis del mismo cometa, dice: el cono luminoso y el cuerpo del cometa del que aquel se habia destacado, parecia estar animado de un movimiento de rotacion ó mas bien de oscilacion en el plano de su órbita: estas oscilaciones no pueden explicarse por la atraccion solar y antes bien denotan la existencia de una fuerza polar, es decir, una accion que tiende á poner el cometa en la direccion del Sol, atrayendo uno de sus extremos y repeliendo el opuesto.

Tenemos pues una nueva fuerza polar ó magnética que el estudio de los cometas patentiza, así como por otra parte nos ha hecho ver la existencia de un medio resistente necesario para explicar alteraciones en sus órbitas, que no pueden provenir de atracciones exteriores. Estos dos nuevos elementos destruyen la admirable sencillez con que se presenta

la teoría de la atracción al tratar de los demás cuerpos del sistema planetario, y no es fácil compaginarlos y eludir la complicación, ya que no se diga la contradicción que envuelven, por más que se quiera limitar cada uno de ellos á dar separadamente razón de distintos fenómenos, los que por otra parte se consideran de importancia secundaria y cuya averiguación no sea esencial para la ciencia. Así al *medio resistente indispensable* para explicar la disminución del tiempo de la revolución del cometa Encke, se le da la densidad necesaria y nada más para modificar convenientemente la curva que el núcleo del cometa describiría en el vacío, sin tener en cuenta que dentro del mismo medio había de moverse también aun con mayor velocidad la cola del cometa, cuya rareza ha de igualar por lo menos la de aquel medio por ténue que se le suponga. Tal medio, compuesto sin duda de materia imponderable, mas bien aparece como un artificio analítico apropiado al objeto, que como la realidad de lo que pasa en la naturaleza; y todavía hay que añadir nuevas hipótesis, pues ó bien hay que suponer que aquel medio está en reposo, en cuyo caso afectará del mismo modo los cometas de movimiento directo que los retrógados, ó que toda esa esfera gaseosa

gira al rededor del Sol como todo el sistema, modificando desigualmente las órbitas de unos y otros cometas.

La nueva fuerza polar inherente al Sol, limitada á lanzar las colas en el espacio y mantenerlas en la direccion del rádio voctar, y sin mas eficacia en el sistema planetario que la de producir este fenómeno, podria concebirse admitiendo que la ligerísima materia sobre que obra se mueve libremente en el vacío y sin encontrar resistencia alguna, en cuyo concepto seguramente la imaginan sus autores: pero desde que se admita un medio resistente de igual ó parecida raridad que la materia de la misma cola, es preciso concebir aquella fuerza de una energía mucho mayor y no limitada á producir un efecto pasagero. Encontrando la cola desde un extremo á otro mayor, resistencia que la que sufre el núcleo, su movimiento seria mas retardado, y apenas formada, dejaria de hacer cuerpo con él, sin que para mantener su union pueda decirse que basta la atraccion del núcleo. El efecto pues de esta fuerza magnética es trasladar realmente la cola con una velocidad prodigiosa dentro de un medio cuya densidad es comparable con la suya misma, y para ello es preciso suponérle una poderosa energía, cuyos efectos no

se concibe que dejen de estenderse á todo el sistema planetario á semejanza de la atraccion misma solar.

No es menos singular que la limitacion dada á esta fuerza, el modo de obrar que es necesario atribuirle: su efecto polar en las colas no es en una direccion dada, ó en la de un rádio determinado del Sol, sino que variando á cada instante, se ejerce en direccion de todas las que van á pasar por el centro del núcleo, circunstancia que supone una dependencia ó conexion especial entre este cuerpo y el Sol, no fácil de comprender.

En la imposibilidad de vencer las dificultades ó contradicciones á que dá lugar el fenómeno, aparentemente insignificante, de las colas de los cometas, se hace revivir por algunos la antigua hipótesis imaginada por Cardan sobre estos singulares apéndices. Segun ella, no tendrían nada de real ó material; el núcleo de un cometa sería un cuerpo esférico transparente, especie de gran lente, que los rayos del Sol atraviesan refractándose, y que despues se estienden y hacen visibles por su reflexion en las moléculas del éther ó medio en que circula el núcleo. Mas aparte de la dificultad de explicar por tan estraña hipótesis la diversidad de formas bajo que frecuentemente se presentan las colas, el considerable tiempo

que emplean en formarse, y mas aun la nebulosidad ó barba anterior del núcleo; la reflexion de la luz en el medio, ethereo denotaría una densidad tal en este medio, que haria imposible el movimiento del cometa.

Al considerar la fuerza magnética que el movimiento de las colas revela, y que éste se ejecuta dentro de un medio, cuya densidad no puede imaginarse menor que la de la materia de que están formadas, ocurre á la imaginacion comparar el movimiento de un cometa con el que toma un imán sumergido dentro de un líquido de la misma ó mayor densidad que él, solicitado por corrientes eléctricas que desde un punto céntrico partan en direccion de todos los ródios. Las atracciones y repulsiones de estas corrientes sobre las que constituyen el imán, ponen á este en movimiento, acelerado en un principio, pero que la resistencia del líquido llega á hacer uniforme: el imán supuesto de una materia ténue y de poquísima cohesion, se deformaría por efecto de las mismas atracciones y repulsiones, y se estendería en su mismo sentido, presentando todas las apariencias de un cometa.

Por estraño que parezca atribuir al movimiento de los cometas un origen tan distinto del que es

preciso admitir para los demas cuerpos del sistema planetario, todavia hallamos menos admisible la idea de un medio resistente que explique los retardos observados en los cometas, incompatible con el movimiento de sus colas, y la de dotar al Sol de una nueva fuerza cuya energía se limite únicamente á dar direccion á estas colas y sea totalmente ineficáz en el resto del sistema. Mas ¿dónde reside esta fuerza magnética? ¿Es inherente á la superficie y al estado de incandescencia del Sol, y tiene ó no parte en ella su movimiento de rotacion? Cuestiones son estas que ni se pretende resolver, ni su averiguacion importa mientras el efecto de esa fuerza no haya de pasar de aquel para que se la imagina.

Un reflejo de esta fuerza magnética debe creerse que existe en nuestro globo. Hemos dicho que una de las causas á que se atribuye la aceleracion no explicada de la Luna y el aumento del dia sideral, es el magnetismo terrestre. El autor de este pensamiento Mr. Liais, considera que la Tierra, á semejanza de un gran imán animado de un movimiento de rotacion, ha de afectar por este mismo hecho el de circulacion de la Luna, asi como tambien disminuir su propio movimiento de rotacion: tal sucede á un cuerpo, magnetizado ó no, en presencia de un

imán en movimiento, como lo comprueba la experiencia. El efecto sin embargo que puede decirse se nota, es el pequeñísimo aumento del día sideral, que como hemos visto llegaría á ser de un segundo en cien mil años. Si en experiencias hechas en nuestros gabinetes de física y por consiguiente en reducidísima escala, los efectos del magnetismo en movimiento se hacen sensibles, parece natural, tratándose de un globo como la tierra, animado de una gran velocidad de rotacion, creer que la energía de tal fuerza se manifestase de una manera marcada, y bien puede asegurarse, ó que el magnetismo de la Tierra no tiene absolutamente influencia sobre el movimiento de la Luna ni sobre su rotacion propia, ó que si la tiene ha de ser mucho mayor que el que revelan aquellas pequeñísimas perturbaciones seculares, por mas que no descubramos su modo de obrar.

El estado magnético no debe ser peculiar y esclusivo de nuestro globo, antes bien la analogía induce á creer que sea comun, en menor ó mayor grado, á todos los demás cuerpos del sistema: de cualquier modo que hayan sido formados estos cuerpos, sea cual fuese el origen del magnetismo terrestre, no hay consideracion alguna que se oponga á creer

que tal estado no sea una ley general de todo el sistema planetario. Lo que por esta causa pasa en la Tierra y su satélite, pasará análogamente en Júpiter y los suyos, y demás sistemas secundarios, y por lo menos repugna á la razon el que este agente universal, mas que origen de la armonía y conservacion del sistema solar, lo sea del trastorno y destruccion á que conduciría la disminucion progresiva de los movimientos de rotacion, y la aceleracion en los movimientos medios de los satélites.

Prescindiendo de cual haya sido el estado anterior de nuestro sistema planetario, y de como ha llegado al en que hoy se encuentra, y de indagar las causas que han originado y conservan la incandescencia del Sol, que continuamente derrama una cantidad constante de calor y luz sobre los cuerpos apagados ó á medio apagar que le circundan; en una palabra, tomándole tal cual le vemos, el Sol aparece como un centro de muy distinta naturaleza de la de los demás cuerpos, y como el origen de la vida, de la luz y del calor que sobre ellos derrama, y produce ó hace mas ó menos enérgico el estado magnético en que se hallan.

Si este magnetismo de los planetas puede tener influencia en el movimiento de los satélites que les

rodean, y si sus velocidades de rotacion son causa del modo de ejercerse, parece natural que entre unos y otros movimientos haya una relacion comun á todos estos sistemas.

VII.

DIVERSAS combinaciones dirigidas todas á buscar una relacion entre las velocidades de rotacion de los planetas y las medias de traslacion de sus satélites, nos han conducido á establecer que la fuerza de atraccion, ó bien la masa de los planetas acompañados de satélites, está en razon directa de los cubos de sus velocidades de rotacion y de sus superficies, é inversa de sus distancias al Sol: es decir, que si se toma por unidad la masa de la Tierra, así como su velocidad de rotacion, su rádio y su distancia media al Sol, se tiene para otro planeta la ecuacion $m = \frac{u.^3 r.^3}{d.}$

Y puesto que los cuadrados de las velocidades de traslacion de dos satélites, pertenecientes á dos distintos planetas y situados á igual distancia, son como sus masas, aquella ecuacion pudiera escribirse

del modo siguiente $v. = \frac{u. r.}{d.}$ representando por

v. la velocidad de traslacion de los satélites, supuestas circulares sus órbitas, de cuya forma en efecto se diferencian poco. Podríamos pues decir que las velocidades de traslacion de los satélites son tanto mayores, cuanto lo es la velocidad de rotacion del planeta principal y el tamaño de su superficie, y que disminuyen con la distancia al Sol, ó como si dijéramos, con la influencia ó energía que reciben de este astro.

Veámos ante todo hasta que punto se satisface nuestra ecuacion para los planetas la Tierra, Júpiter y Saturno. Hemos adoptado para las masas y demás elementos de estos planetas, los valores que dá el Baron de Humbold en su cosmos, suministrados por el astrónomo *Encke*.

Masa de la Tierra . . 1,

Idem de Júpiter. . 343,06 ó $\frac{1}{1048,06}$ del Sol.

Idem de Saturno . 102,68 ó $\frac{1}{3301,60}$

Los tiempos de rotacion son respectivamente 23^h 56' 4'', 9^h 55' 27'' y 10^h 29' 17'': los rádios son 1, 11,2540 y 9,0246; y sus distancias al Sol

1, 5,2028 y 9,0246: y haciendo tambien igual á la unidad la velocidad de rotacion de la Tierra, los quebrados $\frac{86164}{35727}$ y $\frac{86164}{37757}$ representarán las de Júpiter y Saturno.

Con estas cantidades se obtiene por valor de la espresion $\frac{u.^3 r.^3}{d.}$

para Júpiter. 343,93 ó $\frac{1}{1043,8}$

para Saturno 101,50 ó $\frac{1}{3542,3}$

Como se vé, la masa que nuestra fórmula dá para Júpiter se diferencia de la señalada anteriormente, y que se admite como cierta, en menos de nueve décimas de la masa terrestre (0,87,) ó bien en 0,0025 de la del planeta: la que se obtiene para Saturno difiere en una y dos décimas de la Tierra, ó una centésima próximamente de la suya. No puede darse mayor exactitud que la obtenida por un medio al parecer tan extraño.

Para juzgar de este notable resultado, conviene observar que hasta hace poco tiempo se daba á la masa de Júpiter, elemento importantísimo en los cálculos astronómicos, el valor de $\frac{1}{1066}$ de la masa solar, ó bien 337,3 veces la terrestre; valor cal-

culado y adoptado por Laplace, y que mas tarde verificó Bouvard: aun deducia aquel astrónomo de un cálculo de probabilidades, que hay once millones contra una para creer que el error cometido no llegaria á la centésima parte del verdadero valor. El error sin embargo excede de dos centésimas. Pero las perturbaciones del cometa de Encke, inesplicables por la sola atraccion, hicieron dudar de la exactitud de esta cifra, y sujeta á un nuevo estudio y buscada por diferentes astrónomos y distintos medios, á saber, Encke por el de las perturbaciones de Vesta, Nicolai por las de Juno, y Airy por medio de los satélites del planeta, llegaron con cortísimas diferencias al valor hoy adoptado de $\frac{1}{1048,06}$. La diferencia entre la masa adoptada por Laplace de 337,30 masas terrestres, y la que hoy se mira como cierta de 343,06, es de 5,76 veces la de la Tierra, de modo que el error corregido es seis y media veces mayor que el que puede atribuirse á nuestra fórmula.

Podemos pues sentar, en primer lugar, que la ecuacion se verifica del modo mas exacto posible para Júpiter, cuyos datos y en particular su masa, son conocidos de un modo indudable.

Respecto de Saturno, la diferencia entre el valor que dá la fórmula y el que hemos adoptado como

cierto, es algo mayor, pues llega á 1,18 de la masa terrestre; pero debe observarse que en aquella masa está comprendida la de sus siete satélites y sus anillos, que debiera rebajarse como hemos hecho respecto de Júpiter; y aunque la masa de los de Saturno no sea conocida, que sepamos, debe creerse que sea una porcion bastante sensible de la del planeta. Por otra parte, tambien podríamos suponer algun error en la masa admitida, si como creemos no se ha sujetado á observaciones y cálculos tan prolijos como la del planeta anterior.

La masa de Saturno adoptada por Laplace es de $\frac{1}{3512,08}$ ó bien 102,38 masa terrestre: si con ella comparamos el resultado de la fórmula, la diferencia seria de 0,88.

Aquí debería terminar la comprobacion de nuestra fórmula, pues que de los dos restantes planetas Urano y Neptuno, que como los anteriores tienen satélites, no han podido medirse las velocidades de rotacion, á causa de la gran distancia á que se hallan de la Tierra. Sin embargo, si invirtiendo el cálculo y partiendo del conocimiento de las masas, se deduce el tiempo de la rotacion de estos dos planetas extremos del sistema, se llega, como luego veremos, á velocidades muy semejantes á las de los dos anteriores.

Estos resultados son, á nuestro juicio, una verdadera prueba de la validez de la ecuacion hallada, pues si bien no se sabe que estos cuerpos giran en muy corto tiempo, hay bastantes motivos para creer que guardan mucha armonía con los dos anteriores, Saturno y Júpiter. El sistema planetario bajo el punto de vista de los movimientos de rotacion, aparece dividido en dos grandes grupos, el interior formado de Mercurio, Vénus, la Tierra y Marte, que sin marcadas diferencias en sus tamaños, giran casi en el mismo tiempo de 24 horas próximamente; y el mas lejano de Júpiter y Saturno, que á distancias cinco y nueve veces mayores, cumplen su rotacion tambien con poca diferencia en el mismo tiempo, algo menor que la mitad del que emplean los primeros. La analogía induce á creer que lo mismo debe suceder respecto á Urano y Neptuno.

En cuanto á Urano, último de los planetas conocidos en tiempo de Kepler, dice este gran astrónomo, como ya indicamos, que el movimiento de sus satélites debe hacer creer que tendrá un movimiento rápido de rotacion, aseveracion que encierra la idea de que entre las velocidades de circulacion de los satélites y la de rotacion del planeta debe admitirse una dependencia necesaria. El achatamiento de este mis-

mo planeta comprendido entre $\frac{1}{10,7}$ y $\frac{1}{9,9}$ mas considerable por consiguiente que el de Júpiter y Saturno, es prueba grandísima de su rápido movimiento de rotacion. Estas consideraciones son bastantes para hacer creer que si algun dia se llega á conocer las velocidades de rotacion de los últimos planetas del sistema, no diferirán mucho de las de Saturno y Júpiter.

Veámos pues qué valores se obtienen por medio de nuestra ecuacion para los tiempos que emplean en su rotacion los citados planetas Urano y Neptuno.

Los datos para Urano son: masa igual á $\frac{359351}{24603}$, distancia al Sol 19,18259, y volúmen 52 veces el de la Tierra.

Para Neptuno: masa $\frac{359351}{14446}$, distancia al Sol 30,03628, y volúmen 108 veces el de la Tierra. De donde resulta para el tiempo de rotacion de Urano 9^h 44' 14'', el mismo próximamente que emplea Júpiter; y para el de Neptuno 7^h 27' 23''

Pudiera considerarse demasiado corto el tiempo que se obtiene para la rotacion de este último planeta, y mirarse como mejor confirmada la ecuacion si se hubiera llegado á un resultado mas próximo al término medio del de los otros tres planetas que

le anteceden. Mas obsérvese la incertidumbre con que se conocen dos de los datos principales, á saber, la masa y el tamaño del rádio.

La masa de Neptuno ha sido valuada desde su reciente descubrimiento, de bien distintas maneras: fijada por Adams en 17,20 masas terrestres, ha ido pasando por los valores siempre crecientes de 18,12, 18,53, 19,14, 23,22 y 24,88 en que la reputa el astrónomo Struve. Su diámetro aparente ha tenido tambien las dos determinaciones de 2",70 y 3",07, que dan para su diámetro real 4,47 y 5,08 veces el de la Tierra. En la aplicacion á nuestra ecuacion se ha dado al rádio un término medio entre aquellos dos valores, y por masa se ha tomado, siguiendo al Baron de Humbold, la mayor de aquellas determinaciones, es decir, la que da para la velocidad de rotacion el máximo valor, ó bien el mínimo para el tiempo en que se verifica. Si dentro de estos límites de las masas tomamos el término medio 20, encontraríamos que el tiempo de rotacion subiría á 8^h 6', y aun tomando el menor valor de la masa 17,20 y el mayor del rádio 5,08, se llegaría á 8^h 52', tiempo poco menor que el deducido para Urano y el conocido de Júpiter. Asi el error que pudiera creerse que dá la ecuacion para el

último de los planetas, está dentro de los límites con que se conocen su radio y masa.

Siguiendo el espíritu que nos ha guiado en la investigación de nuestra ecuación, no debiéramos aplicarla á los tres restantes planetas desprovistos de satélites; pues si hay algo de verdad en los razonamientos que á ella nos han conducido, los resultados á que se llegue no podrán ni confirmarla ni invalidarla.

Los datos para Marte son $r=0,52$ $d=1,5237$ y $t=24^h 37' 20''$

para Vénus. . . $0,98, 0,7223$ y $23^h 21' 21''$, y

para Mercurio. . $0,39, 0,3871$ y $24^h 5'$

Las masas de estos planetas deducidas de la expresión $\frac{u.^3 r.^2}{d.}$ son para Marte $0,162$, para Vénus $1,441$ y para Mercurio $0,395$, mientras que las admitidas son $0,118, 0,888$ y $0,072$ de la masa terrestre.

Como se observa, los resultados que dá nuestra ecuación son mayores que las masas admitidas como ciertas, excediendo la de Marte en $0,04$ de la masa terrestre y las de Vénus y Mercurio en $0,45$ y $0,25$. Aunque estos errores no son mayores en absoluto que los que sin duda se cometen en la evaluación

de tres por lo menos de los restantes planetas, comparándolos con las masas respectivas de cada uno, se obtienen resultados enteramente inadmisibles: en efecto, el error cometido en Marte llega á 0,37 de su masa, el de Vénus á 0,62 y el de Mercurio á 4,49. Aquí pudiera decirse que las determinaciones del tiempo de rotacion de Vénus y muy particularmente el de Mercurio, dan lugar á dudas, por la incertidumbre de las observaciones de que han sido deducidas, y aun la falta de achatamiento en los polos de estos dos cuerpos, sensibles en la Tierra y mucho mas en Marte, induciría á suponerles movimientos de rotacion mas lentos.

Cuando hace tiempo dimos á conocer nuestra fórmula á algunas personas muy competentes en la ciencia, la presentamos sin restriccion alguna, y sin limitarla como debia ser á los planetas acompañados de satélites. De este modo eludíamos indicar el pensamiento que en su investigacion nos habia guiado, y sin entrar en consideraciones de ningun género la enunciábamos como una relacion que de hecho existe; pareciéndonos que la rigurosa exactitud con que se verifica en los tres planetas la Tierra, Júpiter y Saturno, y la comprobacion indirecta, no menos notable, que añaden Urano y Neptuno, debería llamar

la atencion y dar ocasion para discurrir si en la formacion ó estructura de los sistemas secundarios y de todo el sistema planetario, no existe un principio ó causa determinante que haga necesaria la relacion hallada. Pero añadíamos entónces: «no creemos por ahora deber entrar en otras consideraciones, pues no tratamos sino de la verificacion de una ecuacion entre cantidades conocidas para algunos planetas y solo presumibles en otros; si la ecuacion realmente existe, su enunciado y el de los resultados que de ella se deducen son su verdadera demostracion. No podemos sin embargo dejar de emitir una idea que por el momento no hacemos mas que indicar, á saber, que la ecuacion se verifica *exactamente* para todos los planetas acompañados de satélites, y solo *de un modo aproximado* para los que no los tienen.» Entendida esta ecuacion, como una relacion ó ley general para todo el sistema planetario, debia ser lo primero el verificar su exactitud respecto de todos los cuerpos de rotacion conocida; y así, no obstante la muy notable que se obtiene para los planetas acompañados de satélites, debió hacerla poco aceptable el resultado inexacto que dá para los tres planetas Mercurio, Vénus y Marte. En ella no podia verse mas sino el intento de buscar

una relacion que ligase entre si los valores numéricos de las velocidades de rotacion con los demás elementos de tamaño y situacion de cada cuerpo, prescindiendo de la mayor ó menor exactitud con que en algunos se verificase. La cuestion se presentaba bajo el punto de vista mas desfavorable, y naturalmente ocurría equipararla á otras tal como la que dió lugar á la ley de Bode, en la que se pretende representar por una série de números enteros las distancias de cada planeta al Sol. Tratando solo de las distancias planetarias, se concibe la posibilidad de sugetarlas á una espresion mas ó menos sencilla, que las reproduzca prescindiendo de errores notables; mas no sucede lo mismo cuando en la combinacion entran elementos tan diversos, como lo son los tamaños de los planetas, sus distancias solares, sus densidades y velocidades de rotacion.

Por otra parte, como quiera que se imagine la formacion de nuestro sistema planetario, no se alcanza que sea necesaria una colocacion especial de cada uno de los cuerpos respecto del Sol, asi como no hay ley alguna respecto de sus tamaños y densidades: por el contrario, en toda cosmogonía que haga nacer de una misma masa cósmica todos y cada uno de los cuerpos que componen el sistema, es posible,

y podría añadirse es preciso, concebir que entre el movimiento de rotacion del cuerpo central y el de circulacion de los planetas, asi como entre el de rotacion de estos y el de circulacion de los satélites, haya una dependencia fija y determinada. Sea cual fuere el origen de los impulsos primitivos, causa de la circulacion de los satélites, decrecientes de tal manera que en union con la atraccion produjesen sus órbitas casi circulares, no pueden dejar de estar ligados con el que produjo la rotacion misma del planeta central, y con el que hacia circular al rededor del Sol la masa nebulosa de que se formáran el planeta y sus satélites.

Esta relacion ó dependencia espresada de la ecuacion $v^2 = \frac{u \cdot r^2}{d}$ la presentábamos entónces

como lo hacemos ahora bajo la forma $m = \frac{u \cdot r^2}{d}$

porque ésta patentiza mejor la exactitud de los resultados en su aplicacion á cada uno de los planetas. La precision con que hemos visto se verifica en los tres planetas la Tierra, Júpiter y Saturno, para quienes los elementos que encierra son conocidos con la exactitud posible, escluye la idea de que pudiera ser una combinacion numérica fortuita, por la suma

improbabilidad de que así se combinasen cuatro cantidades tan distintas y diversas como las que entran en ella. Esta improbabilidad sube de punto al aplicar la ecuacion á los dos planetas extremos del sistema, Urano y Neptuno, y deducir el tiempo de su rotacion, pues si tal ecuacion no tuviese una razon de ser, era preciso esperar, atendidas sus grandes distancias solares y los tamaños de los rádios, tan distintos de los de los cuerpos que les anteceden, resultados que terminantemente la contradijesen: lejos de eso, ella nos hace ver á estos cuerpos girando en tiempos casi iguales á los dos anteriores, como la analogía lo induce á creer, y de que es prueba para Urano su sensible achatamiento.

Mientras que otras consideraciones, que no alcanzamos, no vengan á probar que nuestra pretendida relacion es incompatible ó contradictoria con los grandes principios de la astronomía, juzgarémos que la demostracion que de ella damos tiene todos los caracteres de certeza que este género de cuestiones permite. Se trata solamente de averiguar, si la relacion especial que enunciamos existe ó no para los cinco sistemas secundarios de nuestro sistema solar. En tres de ellos la ecuacion se verifica de la manera notabilísima que hemos visto, y en los dos restan-

tes, en que uno de los datos es desconocido, los resultados que se obtienen son una prueba indirecta de grandísimo valor.

En nuestro convencimiento de la validez de nuestra fórmula, nos aventuramos á publicarla; y todas nuestras aspiraciones quedarían satisfechas, si conseguimos llamar la atención hácia objeto de tanto interés como el que ofrecen los movimientos de rotación de los cuerpos celestes, dejando de mirarlos como hasta ahora destinados única y exclusivamente á repartir la luz y el calor del Sol sobre su superficie, con completa independencia de los demás movimientos, y sin tener parte alguna en la estructura y armonía del sistema planetario.

