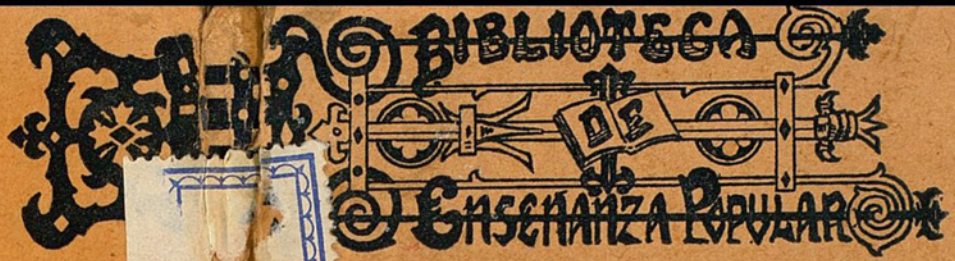

Amigues

Excursiones celestes

EXCURSIONES CELESTES

Escuela Nor

FR
521
AMI
exc

F. GRANADA Y C.ª
EDITORES
Barcelona

UCCI Hermanos é Hijos
Rivadavia, 1435
BUENOS AIRES

MAUCCI Hermanos
1.ª del Relox, 1
MÉXICO

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

FAD-9
FR
521
AMI
exc

Escuela Normal del Magisterio Primario
BADAJOZ
BIBLIOTECA
ESTANTE
TABLA
NUMERO

EXCURSIONES CELESTES

Escuela Normal del Magisterio Primario
BADAJOZ
BIBLIOTECA
ESTANTE F
TABLA
NUMERO 24

ESCUELA NORMAL DE MAESTROS
BADAJOZ

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de Enseñanza Popular

OBRAS PUBLICADAS

Huxley.—Introducción al estudio de la Ciencia.
Meunier.—Historia del Arte.
Dufour.—Diccionario de las falsificaciones.
Ferriére.—El darwinismo.
F. Paulhan.—La fisiología del espíritu.
L. Brothier.—Historia de la Tierra.
P. Secchi.—Las estrellas.
Flammarión.—Astronomía popular.
Id. —A través del espacio.
Id. —¿Qué es el Cielo?
Id. —Los terremotos.
J. Lemonnier.—Higiene de la cocina.
Zaborowski.—Los mundos desaparecidos.
Serieux y Mathieu.—El alcoholismo y sus estragos.
Amigues.—Excursiones celestes.

EN PREPARACIÓN

Mahaffy.—La antigüedad griega.
Wilkins.—La antigüedad romana.

X-94-031403-6
Biblioteca de la Universidad de Extremadura

BIBLIOTECA DE ENSEÑANZA POPULAR

AMIGUES

EXCURSIONES CELESTES

VERSIÓN ESPAÑOLA

POR

D. DE BERAZA

R. 32806

FACULTAD DE EDUCACION EX BIBLIOTECA

F. GRANADA Y C.ª, EDITORES
BARCELONA

MAUCCI HERMANOS É HIJOS
RIVADAVIA, 1435
BUENOS AIRES

MAUCCI HERMANOS
1.ª DEL RELOX, 1
MEXICO

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Tip. El Anuario.—Diputación, 344.—F. Granada y C.ª
(Obra compuesta con máquinas LINOTYPE)

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

ÍNDICE

Capítulos — Págs.

Prefacio. 9

LIBRO PRIMERO

Descripción del Universo.—El sistema solar y las leyes que le rigen

I.—El Universo 11
II.—El sistema solar. 18
III.—Képler. 24
IV.—Las leyes de Newton 30
V.—Galileo 33
VI.—Hipótesis de la atracción universal. 38
VII.—Problema de los dos cuerpos 42

LIBRO SEGUNDO

El peso de los mundos.—Los cometas

VIII.—Newton pesa los mundos. 47
IX.—El problema de los tres cuerpos. 53
X.—El cometa de Halley 57

LIBRO TERCERO

El movimiento de los planetas y de sus satélites

XI.—Un nuevo camino 61
XII.—Un cataclismo espantoso. 63
XIII.—Estabilidad del sistema solar 66
XIV.—Una empresa colosal 68
XV.—¿Caerá la Luna algún día sobre la Tierra? . . . 71
XVI.—Un cálculo de Laplace. 75

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Capítulos Págs.

XVII.—Urano. 77
XVIII.—Ceres. 81
XIX.—Pallas. 85

LIBRO CUARTO

El descubrimiento de Neptuno

XX.—Un problema difícil. 91
XXI.—Examen del problema de Leverrier. 95
XXII.—Solución de Leverrier. 99
XXIII.—Los elementos de Neptuno. 102

LIBRO QUINTO

La forma de los planetas

XXIV.—Forma de los cuerpos celestes. 107
XXV.—Clairant y sus sucesores. 111
XXVI.—La forma de la Tierra. 114
XXVII.—Aplastamiento de la Tierra. 117
XXVIII.—El aplastamiento de Marte. 120
XXIX.—Los anillos de Saturno 124
XXX.—La pluma y el telescopio. 127
XXXI.—Experiencia de M. Plateau. 130

LIBRO SEXTO

Las mareas

XXXII.—De las mareas. 133
XXXIII.—A propósito de las mareas 137
XXXIV.—Las mareas subterráneas. 141

LIBRO SÉPTIMO

La rotación de la Tierra

XXXV.—Los polos de la Tierra. 143
XXXVI.—La duración del día sideral. 147

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Capítulos Págs.

XXXVII.—Una nota de Delaunay. 149
XXXVIII.—Enfriamiento de la Tierra y del Sol. 153
XXXIX.—Un fenómeno extraño. 156

LIBRO OCTAVO

La precesión de los equinoccios

XL.—Precesión de los equinoccios 159
XLI.—Tentativa de Newton. 162
XLII.—D'Alambert. 164

LIBRO NOVENO

La propagación de la luz

XLIII.—La luz. 167
XLIV.—El sistema de las ondulaciones y la mecánica celeste. 171

LIBRO DÉCIMO

La formación de los mundos

XLV.—Origen de los mundos. 175
XLVI.—Formación del sistema solar 178
XLVII.—Examen de la hipótesis de Laplace. 180
XLVIII.—Nuevo examen de la hipótesis de Laplace. . . . 185
XLIX.—Conclusión. 188

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

PREFACIO

Hay una hermosa y poderosa máquina, que colocada constantemente ante nuestra vista, nos deja casi indiferentes: es la máquina del mundo, quiero decir, ese gigantesco aparato cuyo motor principal es el Sol y cuyos rodajes secundarios son la Tierra y la Luna. Y, sin embargo, á propósito de esta máquina, podemos hacernos una pregunta que interesa al porvenir de la especie humana; podemos preguntarnos si está bien construída, es decir, si está organizada de manera que dure indefinidamente; ó si desformándose á diario, sufriendo el ultraje irreparable de los siglos, marcha á una ruina inevitable. He ahí uno de los principales problemas de la Mecánica celeste. *Me propongo exponer aquí los resultados más interesantes de esta ciencia, la más difícil, pero también la más hermosa de todas. Habré obtenido todo el éxito que deseo, si ese trabajo satisface á los lectores, á la vez que les inspira un sentimiento de agradecimiento y de admiración hacia los geómetras franceses, que, con sus descubrimientos han legado á nuestra patria una gloria imperecedera.*

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO PRIMERO

Descripción del Universo
El sistema solar y las leyes que le rigen

CAPITULO PRIMERO

EL UNIVERSO

El sistema solar.—Si nos fuera dad penetrar en los abismos del espacio, atravesaríamos inmensos desiertos. Aquí y allá veríamos grupos de cuerpos celestes, cual pequeños oasis. Esos grupos son innumerables. Hay uno en medio de ellos, que nos interesa por derecho propio: es aquel del cual formamos parte. Además de la Tierra, comprende el Sol, la Luna y algunos otros astros notables, como Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Ese grupo lleva el nombre de sistema solar, porque el Sol representa en él el papel principal.

He ahí algunos números que darán una idea de las dimensiones del sistema solar. Todo el mundo sabe que la circunferencia del globo terrestre es de 40 millones de metros. Entre el Sol y la Tierra se podría poner en línea doce mil globos terrestres. Un tren expreso, andando 50 kilómetros por hora, necesitaría para ir de la Tierra al Sol, tres siglos y medio.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

La luz recorre el mismo trayecto en 8 minutos solamente. En ocho horas atraviesa el sistema solar en el sentido de su mayor dimensión.

Distancias que nos separan de las estrellas.—La estrella que se encuentra más próxima del sistema solar no nos manda su luz sino al cabo de tres años.

De suerte que, si una estrella llegara á apagarse ó á estallar, no cesaríamos de verla hasta después de varios años.

Ya que la luz atraviesa el sistema solar en ocho horas, mientras emplea tres años en recorrer la distancia que separa á ese sistema de las estrellas más vecinas, estamos autorizados para decir que el sistema solar, no es, en efecto, más que un pequeño oasis en un inmenso desierto.

Así, pues, este sistema solar, cuya inmensidad aplastaba nuestra imaginación, nos confunde ahora por su pequeñez. Ha sido suficiente cambiar el punto de vista.

Las estrellas son soles.—Transportémonos con el pensamiento á una de las estrellas más cercanas y miremos el sistema solar. El Sol á pesar de su esplendor y de sus dimensiones, se encuentra reducido á un simple punto luminoso. Tanto á simple vista, como con el anteojo, nos ofrecerá el aspecto de una estrella ordinaria. Tal vez con un excelente telescopio pudiéramos percibir á Júpiter, que es un astro mil cuatrocientas veces mayor que la Tierra. En cuanto á nuestro globo, ni siquiera sospecharíamos su existencia.

Hemos, pues, llegado á la conclusión de que, las estrellas esparcidas en el cielo son otros tantos soles alrededor de los cuales circulan tierras y lunas, que la distancia oculta á nuestra vista. Cada estrella resulta así el centro y el hogar de un mundo, y esos mundos innumerables, son oasis en el desierto infinito que se llama Cielo.

Esta concepción no es una simple hipótesis. Algu-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

nos de los soles esparcidos en el espacio, están rodeados de tierras que brillan por sí mismas, lo que ha permitido comprobar su existencia por medio del telescopio. Estos astros constituyen una estrella doble. De 120,000 estrellas observadas hasta hoy, se conocen próximamente 3,000 estrellas dobles.

Se conocen además próximamente 50 estrellas triples, compuestas de un Sol, de una Tierra, que gira alrededor del mismo y de una Luna que gira alrededor de esta tierra. Los tres astros no pueden distinguirse sino merced á excelentes telescopios.

Análisis químico de diversos soles.—Se construye hace ya muchos años, un instrumento de óptica llamado espectroscopio, que se compone de un sistema de cristales tallados en prismas triangulares y convenientemente dispuestos. Cuando se mira la llama de una lámpara á través de ese sistema de cristales se percibe una especie de bandera formada por siete bandas de colores diversos, y á la cual se ha dado el nombre de espectro. Los colores del espectro son muy pálidos. Si se introduce entonces en la llama de la lámpara una substancia química, tal como la cal, inmediatamente se ve aparecer en el fondo pálido del espectro rayas muy estrechas y muy brillantes, que por su número, por su color y, sobre todo, por el sitio que ocupan, caracterizan la substancia introducida en la llama. Y si ponemos en la llama varias substancias á la vez, se ve formarse al mismo tiempo en el espectro los diferentes sistemas de rayas que caracteriza cada una de esas substancias.

Así, pues, el espectroscopio es eminentemente propio para señalar las diversas substancias químicas que entran en la composición de un cuerpo; así es que ha llegado á ser el instrumento de un nuevo método de análisis conocido bajo el nombre de análisis espectral.

Este método es tan fecundo, que en muy pocos años ha conducido al descubrimiento de varios me-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

tales desconocidos. Tiene además la ventaja de que permite encontrar la composición química de todos los cuerpos luminosos, por muy alejados que estén; de suerte que su dominio se extiende hasta el cielo.

Pero si se quiere comprender bien como ha permitido este método determinar la composición química de los astros, es necesario hacer una advertencia, y es que se puede obtener en el espectro las rayas que caracterizan una substancia, sin introducir esta substancia en la llama de la lámpara. Es suficiente que esta llama esté rodeada de una atmósfera que contenga vapores de esta substancia. Es verdad que entonces todas las rayas pierden su color y se vuelven negras; pero su número y su sitio bastan para hacer conocer la naturaleza de los vapores que rodean la llama.

Preguntémonos ahora, con M. Kirchhoff, qué es el Sol. A juzgar por el calor que nos envía, este astro está á una temperatura muy elevada. Las materias que encierra son, pues, en parte transformadas en vapor y forman alrededor del Sol una atmósfera muy compleja. Si examinamos el Sol con el espectroscopio, como hacíamos antes con la llama de la lámpara, veremos en el espectro gran número de rayas negras, que nos hará conocer la composición de la atmósfera solar, y, por consiguiente, la del Sol entero.

Así es como se ha conocido en el Sol la presencia del cobre, del plomo, del estaño, del antimonio, de la cal, en una palabra, de la mayor parte de las substancias químicas que encontramos en la Tierra.

Se ha examinado también en el espectroscopio cierto número de estrellas; y se ha comprobado que algunas de ellas contienen substancias que no se encuentran en nuestro globo, ó que por lo menos, no son aún conocidas de nuestros químicos. Se entiende que la composición de cada estrella debe ajustarse al matiz de su luz. Se observa, en efecto, que los in-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

numerables soles sumergidos en las profundidades del espacio, ofrecen los colores más variados. El Universo es una inmensa y espléndida iluminación.

Así, pues, la ciencia ha sobrepujado todos los obstáculos, y el hombre, sujeto invenciblemente á la Tierra, ha podido, sin embargo, conocer los elementos que constituyen los cuerpos celestes.

La luz que sus astros nos envían, ha sido para el químico un indicio suficiente, y cada rayo luminoso ha dado á conocer su naturaleza, la naturaleza del hogar de donde emana. Cuando el hombre ha querido hacer el análisis químico de un sol, ha tomado un rayo de su luz y lo ha interrogado. Lo ha sometido á la experiencia, ó como suele decirse, al tormento. Y ese rayo ha revelado los secretos de sus mundos de los cuales nos separa un abismo.

Cómo mueren los mundos. — Durante una larga consecuencia de siglos, la luz y el calor del Sol no disminuirán sensiblemente.

Pero un día esta disminución se manifestará de una manera decisiva, y falto de alimento, ese hogar que mantiene la vida en todo el sistema solar, acabará por apagarse. Probemos el representarnos las circunstancias de ese gran acontecimiento. El Sol cansado, los días sombríos, los climas rigurosos; la Tierra entorpecida siempre más de sus dones; las zonas atemperadas y hasta las regiones ecuatoriales invadidas por los hielos de los polos; en fin, después de siglos, nuestro globo inanimado, todas las tierras y todas las lunas convertidas en otros tantos cadáveres, el Sol apagado, los planetas y sus satélites para siempre invisibles; por todas partes el frío, la noche, el silencio, la muerte.

Esta catástrofe que el porvenir reserva al sistema solar, otros sistemas la han experimentado ya.

Algunas veces una estrella desaparece para siempre. Es un sol que se apaga, un mundo que muere.

Ciertas estrellas disminuyen su esplendor. Son so-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

les agotados; mundos envejecidos, helados por el frío de la muerte.

¿Quién nos contará el fin de esos mundos? ¿Quién nos dirá las angustias de esos inmensos navíos perdidos en el Océano del Cielo? El silencio eterno de esos espacios infinitos me asusta.

De las nebulosas.—Hemos visto de una parte que cada estrella es un sol en la vecindad del cual circulan cierto número de tierras y de lunas; de otra parte, que las estrellas están situadas en el cielo como oasis en un desierto.

Probemos de recorrer ese desierto en todos sentidos y de contar las estrellas que encierra. Encontraremos próximamente cincuenta millones. Después, si queremos sumergirnos más en los abismos del espacio, veremos por todas partes un desierto privado de oasis, hallando incomparablemente, más vasto el conjunto de las regiones, ya recorridas.

Los cincuenta millones de estrellas que hemos contado forman pues un grupo. Ese grupo es llamado nebulosa. Esta nebulosa tiene la forma de un disco aplastado, como una moneda. Nuestro Sol forma parte de las estrellas que ocupan la región central de ese grupo. A causa de esta forma de la nebulosa y del sitio que ocupamos en ella vemos en el cielo una banda á lo largo de la cual las estrellas son más numerosas. Esta banda es naturalmente muy brillante y deja un rastro de luz. Se llama la Vía láctea.

¿Cuáles son las dimensiones de esta nebulosa? Herschell supone que la luz tarda más de diez mil años en atravesarla. ¡Y bien! Esta nebulosa no es más que un punto imperceptible á causa de la inmensa soledad que la envuelve.

Imaginemos una nebulosa de formas diversas esparcidas en el espacio y separadas las unas de las otras por vacíos incomparablemente más grandes que sus dimensiones, y tendremos así una idea del universo visible.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Se conocen hoy 6,000 nebulosas próximamente. Ofrecen la apariencia de manchitas blancas sobre el fondo azul del cielo. Algunas están tan lejos que no nos envían su luz más que al cabo de un millón de años. Se puede, sin embargo, con buenos telescopios, ver distintamente las estrellas que forman esas nebulosas.

Los mundos invisibles.—Más allá de esos mundos visibles están los que la distancia oculta á nuestra vista. ¿Quién se atreverá limitar el número de nebulosas? ¿Quién se atreverá á afirmar que no forman entre ellas nuevos grupos, y siempre así, multiplicándose hasta lo infinito?

Pero si nuestra vista se detiene aquí, que la imaginación pase más allá: se cansará más pronto de concebir que la naturaleza de suministrar. Todo ese mundo visible no es más que un rasgo imperceptible en el amplio seno de la naturaleza. Ninguna idea se le aproxima. Por más que exageremos nuestras concepciones hasta rebasar los límites de los espacios imaginables, no concebiremos más que átomos en proporción á la realidad de las cosas. Es una esfera infinita de la cual el centro está en todas partes y la circunferencia en ninguna.

(Pascal, edición Havet).

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO II

EL SISTEMA SOLAR

El Sol.—El Sol es aproximadamente mil trescientas veces mayor que la Tierra. Está situado en el centro del sistema solar, como para regular los movimientos. Gira sobre sí mismo y da una vuelta completa en veinticinco días.

Así es que no nos presenta siempre la misma faz. Con un potente anteojo se nota que las manchas sembradas sobre toda la superficie del Sol, se esconden y se muestran alternativamente con una regularidad perfecta.

La Tierra.—Todos los años la Tierra describe un círculo alrededor del Sol, como si este astro fuera el centro de un remolino hacia el cual la Tierra fuera arrastrada.

El círculo que describe la Tierra es inmenso. La distancia que la separa del Sol es tal que entre esos dos cuerpos celestes se podrían colocar doce mil globos como el nuestro.

He aquí la causa de que el Sol nos parezca tan pequeño á pesar de sus enormes dimensiones.

La Tierra gira sobre su eje, mientras describe un círculo alrededor del Sol.

Un día tarda nuestro planeta en dar una vuelta completa sobre sí mismo. A causa de este movimiento de rotación, la Tierra presenta sucesivamente sus di-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

versas fases al Sol, debiéndose á ello, la corta duración del día solar. Por idéntica causa las tinieblas de la noche envuelven á una parte del mundo, mientras en la otra brilla con todo su esplendor el astro del día.

¿En qué forma se verifica la rotación de la Tierra? Del mismo modo que la del Sol. Es el sentido que se ha convenido en llamar directo, y podemos decir de antemano que casi todos los movimientos del sistema solar son directos.

La Luna.—Después de la Tierra que nos lleva y el Sol que nos alumbra, la Luna llama primeramente nuestra atención. Y sin embargo, la Luna, es uno de los más modestos órganos del sistema solar.

Su volumen no es más que una quincuagésima parte del de la Tierra. Si parece poco más ó menos tan voluminosa como el Sol, es porque está mucho más cerca de nosotros.

En efecto, entre la Tierra y la Luna no se podría alinear más que treinta tierras como la nuestra.

La Luna acompaña á la Tierra en su viaje anual alrededor del Sol. Pero á pesar de acompañarle, describe un círculo alrededor de ella en 27 días próximamente. La Luna describe su círculo alrededor de la Tierra y gira al mismo tiempo en el mismo sentido que el Sol y la Tierra: es decir, en sentido directo.

Planetas y satélites.—Si el lector ha entendido bien lo que precede, todo el mecanismo del sistema solar le será familiarísimo.

No hay más que figurarse otras siete tierras, semejantes á la nuestra, circulando como ella alrededor del Sol, y dando vueltas sobre ellas mismas como nuestro globo. Se les llama planetas. He ahí sus nombres, empezando por aquellos planetas que describen los círculos más pequeños:

Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Esos planetas, salvo los dos últimos, son visibles á

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

simple vista. Se les creería estrellas á pesar de que son muy diferentes. En primer lugar, mientras las estrellas forman figuras invariables, que se han llamado constelaciones, los planetas se cambian en medio de esas constelaciones. En segundo lugar, cuando se miran con un anteojo, parecen tan voluminosos como la Luna, mientras que las estrellas, hasta vistas con los más potentes anteojos, se las distingue como puntos imperceptibles. Los planetas, formando parte del grupo solar, están relativamente cerca de nosotros, mientras que las estrellas están á una distancia que desafía á nuestros mejores instrumentos ópticos. En fin, mientras las estrellas brillan por sí mismas, como el Sol, los planetas tienen, como la Luna, un esplendor prestado, son visibles porque están alumbrados por el Sol.

Algunos de esos planetas van seguidos en su marcha, de una ó varias lunas. Así el planeta Júpiter tiene cuatro lunas circulando alrededor de él, dentro de círculos desiguales. Esas lunas llevan el nombre de satélites. Son siempre mucho más pequeños que su planeta, y se hallan relativamente á corta distancia de él.

Se observa por una parte, que los círculos que describen los planetas, como los satélites, están aproximadamente en un mismo plano; girando los planetas alrededor de ejes poco más ó menos perpendiculares á los planos de esos círculos. No olvidemos, en fin, que los movimientos son casi todos directos, sea por la marcha ó sea por la rotación.

Todos los planetas no emplean el mismo tiempo para realizar ese viaje circular alrededor del Sol. Los que están más lejos de este astro, es decir, los que tienen que recorrer el camino más largo, son naturalmente los que invierten más tiempo en efectuar el viaje. Ese viaje determina las estaciones para los diversos planetas, y por consecuencia señala en cada uno la duración del año. Así es que el año de

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

los habitantes de Mercurio, dura solamente tres de nuestros meses. Para los habitantes de Júpiter, el año es doce veces mayor que el nuestro. Para los habitantes de Neptuno, los años son 165 veces mayores que los nuestros. Esto, suponiendo que esos planetas estén habitados, lo que parece bastante probable.

En cuanto á su movimiento de rotación, unos planetas invierten veinticuatro horas en dar una vuelta completa alrededor de su eje y otros sólo emplean diez horas, habiendo por consiguiente planetas con día largo como la Tierra y Marte, y otros cuyo día es dos veces más corto como sucede á Júpiter.

Dimensiones del sistema solar.—Entre el Sol y la Tierra se pueden alinear doce mil globos terrestres. Neptuno, que es el planeta más distanciado del Sol, dista de él treinta veces la distancia que nos separa á nosotros del astro solar.

Júpiter es el planeta más grande del sistema solar. Su volumen es mil cuatrocientas veces mayor que el de la Tierra, y la milésima poco más ó menos el del Sol.

Cuadro del sistema solar.—En resumen, el Sol ocupa el centro del sistema solar.

Alrededor de él giran planetas acompañados algunos de satélites á los cuales vierte á torrentes el calor, la luz y la vida. Esas tierras, son imperceptibles al lado del inmenso globo solar, y siendo la que habitamos una de las más modestas. Así pues, lejos de ser el centro del mundo, la Tierra no es más que un grano de arena perdido en el *desierto de la naturaleza.*

Pero ese grano de arena ha servido de base para medir los cielos.

Si estuviéramos colocados encima del Sol, el movimiento de las diferentes tierras y de sus diversos satélites nos parecerían muy sencillos. Pero como no estamos en el centro del mecanismo, y la Tierra arrastra nuestros observatorios en su doble movimien-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

to, la marcha de los planetas, á despecho de su simplicidad, nos ofrece apariencias extrañas.

En 1543, Copérnico derribó de una manera atrevida el sistema de Ptolomeo, *probó que la Tierra giraba alrededor de su eje, la lanzó sobre su órbita, con una velocidad espantosa y colocó el Sol inmóvil en medio de los planetas en movimiento.*

De la fuerza que retiene la Luna en su órbita.—Supongamos que se haga girar una honda que contenga un plomo en su extremo. Si se llegara á romper el cordón, el plomo sería lanzado á lo lejos. ¿Qué es lo que retiene á ese plomo, y le obliga á girar en círculo? Una fuerza que atrae el plomo hacia la mano, es decir, hacia el centro del círculo.

El mismo caso vamos á presentar en otra forma. ¿Por qué describe la Luna un círculo alrededor de la Tierra? ¿Por qué está retenida constantemente en su órbita?

Porque es atraída por una fuerza dirigida hacia la Tierra. Es verdad que aquí ya no hay cordón. Pero cuando un pedazo de hierro se precipita hacia el imán, tampoco lo hay. La atracción de la Luna hacia la Tierra no es un hecho aislado. Cuando se abandona un cuerpo cae. ¿Por qué? Porque es atraído por la Tierra. La Luna está sometida á la ley común y por lo tanto es atraída hacia la Tierra. Esta atracción retiene á la Luna en su órbita.

De las fuerzas que regulan los movimientos del sistema solar.—Es evidente que las cuatro lunas de Júpiter, son atraídas por este planeta.

En cuanto á la marcha circular de los diferentes planetas alrededor del Sol, el lector ya habrá adivinado que se debe á la atracción del astro del día. De este modo cada uno de los astros que forman el sistema solar es atraído hacia el centro alrededor del cual circula. He ahí una explicación respecto á las fuerzas que regulan los movimientos del sistema solar. Pero, si se quiere conocer esas fuerzas con más

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

precisión, es indispensable estudiar con cuidado los efectos, ó sea, esos mismos movimientos.

En ese punto de vista, la obra de Copérnico era del todo incompleta. Después de su muerte, quedaba por conocer, la naturaleza exacta de esas curvas que se asemejaban á círculos, la velocidad de cada planeta en los diferentes puntos de su órbita y las dependencias de esos diferentes elementos. ¡Esta fué la obra de *Juan Képler!*

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO III

KÉPLER

Juan Képler, que nació el 27 de Diciembre de 1571, resumió la armonía de los mundos en tres leyes inmortales, á las cuales ha agregado su nombre; consagró diez y siete años de labor continua á la averiguación de una sola de esas leyes, y murió el 15 de Noviembre de 1630, dejando á su viuda vientidós escudos, un frac y dos camisas.

El movimiento de los planetas.—El problema que Képler se propuso desentrañar de un modo preciso, es el que concierne á los movimientos de los planetas alrededor del Sol. Primero resolvióse Képler á estudiar un solo planeta reconcentrando en él todos sus esfuerzos. Así es como el planeta Marte fué el objeto de sus observaciones.

¿Cuál es la curva descrita por este planeta? Esta es la primera pregunta precisa que se hizo Képler. Para encontrar la respuesta, será practicable un solo método—se dijo.—Habrá que hacer sucesivamente diferentes hipótesis sobre la naturaleza de esta curva, deducir por el cálculo ciertas consecuencias de cada hipótesis y comparar esas consecuencias á los resultados de la observación. Cuando señale esta comparación un acuerdo que satisfaga, será la señal de la buena hipótesis.

Képler, empezó por las más sencillas suposiciones, fijándose en si describía Marte un círculo, teniendo por centro el centro del Sol. Reconoció sin dificultad,

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

que esta hipótesis estaba en manifiesta contradicción, con las observaciones astronómicas. ¿Estaría el centro del círculo colocado en otra parte que no fuese el centro del Sol? Tampoco. ¿Estaría el centro del círculo movible á su vez á lo largo de otro círculo? En otros términos, ¿describiría el planeta Marte una de esas curvas que los geómetras llaman epiciclos?

Aquí Képler multiplicó los ensayos. Durante ocho años se entregó á tentativas infructuosas. Puso á prueba cerca de veinte sistemas epiciclos. Apuró todas las combinaciones del movimiento circular que concibió su imaginación sin obtener resultado práctico. Pero Képler no se desalentó. Pretende que procediendo por exclusión tarde ó temprano acabarán los astrónomos por encontrar la verdad.

Después del círculo, la curva más sencilla es la elipse. Es un óvalo imaginado, según dicen, por Platón, cuyas propiedades han sido estudiadas por los geómetras griegos.

De cada lado del centro de la elipse salen dos puntitos llamados hogares.

Képler, ensayó elipses, suponiendo al Sol colocado en el centro de la curva. Este ensayo no obtuvo éxito. Entonces colocó al Sol en uno de los hogares. Esta tentativa fué coronada por el éxito. ¡La naturaleza de la órbita fué en lo sucesivo conocida!

Era preciso estudiar entonces el movimiento de Marte á lo largo de su órbita. ¿Cuál es la ley que regula su velocidad? ¿Gira este astro á diario en el mismo ángulo alrededor del Sol? ¿Describe á diario curvas del mismo diámetro? Se encontró Képler de ese modo impulsado á examinar una nueva serie de hipótesis, siendo resultado de ese examen el descubrimiento de la ley siguiente, llamada *ley de los aires:* la línea ideal que coloca al Sol *fijo* junto al planeta *movible*, describe á diario una superficie plana. Reconoció Képler sin dificultad que las dos leyes que

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

ha aplicado para el planeta Marte se pueden aplicar á todos los demás planetas. Desde entonces el movimiento de cada planeta es conocido en todos sus detalles, y el cálculo permite regular por adelantado la marcha de todos los astros.

La concepción del sistema solar.—Fué entonces cuando tuvo Képler una inspiración de genio. Comprendió que el sistema solar componía un solo mecanismo y que por lo tanto los movimientos de los astros que le componen debían ser *solidarios;* por consiguiente, bastaba con conocer *individualmente* la marcha de cada planeta, siendo preciso buscar una relación matemática entre los elementos de los planetas diferentes. La existencia de esta relación no era después de todo más que probable. Sin embargo, Képler se entregó á sus pesquisas con un ahinco que nada pudo desalentar.

¿De qué naturaleza era la relación buscada? Siempre dispuesto á apoderarse de las particularidades del sistema solar, observó Képler, que la duración del movimiento parecía unida en cada caso al diámetro de la órbita; que, cuanto más vasta era la órbita, la duración de la revolución era más larga, y que cuando había un gran vacío entre dos órbitas, había también una gran diferencia en la duración de las revoluciones.

Entre la duración de las revoluciones de dos planetas cualquiera y el diámetro de sus órbitas había que buscar una relación matemática.

Estando el problema planteado, se puso Képler á trabajar. Ensayó todas las relaciones sencillas entre las duraciones y las longitudes. Para dar una idea de sus averiguaciones, debemos definir dos términos. Llamaremos cuadro de un número el producto que se consigue multiplicando ese número por sí mismo; y cubo de un número el producto que se consigue multiplicando ese número por su cuadro.

Ensayó Képler todas las relaciones simples entre

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

los cuadros y los cubos de las duraciones y los diámetros. Todo en vano. En una nueva serie de ensayos, comparó los múltiples de las duraciones y los cuadros de los diámetros. Después los múltiples de los cuadros de las duraciones y los cuadros de las longitudes. Tampoco dió resultado. Volvió á la comparación ya hecha entre las longitudes y los cubos de las duraciones. No encontró ninguna ley sencilla. En fin, probó si los cuadros de las duraciones no eran proporcionales á los cuadros de las longitudes. Este ensayo debiera haber tenido éxito y entregar á Képler el secreto de la naturaleza. Pero por una extraña fatalidad, un error numérico equivocó el cálculo, y el gran filósofo rechazó como falsa una hipótesis que era la expresión misma de la verdad.

El triunfo de Képler.—Sin embargo, á la postre, triunfó la obstinación de Képler. Acostumbrado á rehacer varias veces todos sus cálculos, algunos meses más tarde repitió el anterior ensayo. Y esta nueva tentativa fué coronada por un éxito completo. El 15 de Mayo de 1618, Juan Képler consiguió conocer el gigantesco mecanismo del universo. Su alegría fué tan grande que se creyó víctima de una ilusión. Volvió á empezar sus cálculos, comprimiendo la emoción de su corazón: ¡la ley fué reconocida exacta! Los cuadros de las duraciones estaban en la misma relación que los cubos de las longitudes. ¡Qué grito de triunfo! La suerte está echada—dijo,—yo escribo mi libro. Que lo lean en el tiempo presente ó en la posteridad, poco me importa. Puede esperar su lector.

Es sin duda un gran espectáculo la contemplación de la verdad científica en su austera hermosura. Pero hay un espectáculo aun más grande; es el que ofrece un hombre de genio al abordar con decisión uno de los principales problemas de la naturaleza, reduciendo cada cuestión á una forma precisa, esforzándose en presentir las respuestas, multiplicando las hipótesis, clasificándolas con método, rechazando las unas,

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

después de un examen sumario, sometiendo las otras al registro de una ciencia rigurosa, en fin, desgarrando uno de los velos que nos ocultan al universo. Ese es el espectáculo que Juan Képler nos ofrece.

La vida de Képler.—Su obra es el fruto de una perseverancia que parece propia de la raza sajona.

No es sólo con la naturaleza con la que luchó Juan Képler. Su vida en todos los órdenes fué una lucha perpétua.

En casa de su padre trabajó como mozo de taberna. Luego se dedicó á la agricultura, trabajando en las faenas del campo, pero su débil cuerpo se resintió con tan ruda labor y hubo de abandonar los trabajos corporales.

Estudió teología protestante, pero su espíritu demasiado curioso no se satisfizo con este estudio.

Teniendo el cuerpo demasiado débil para ser agricultor, y el espíritu demasiado vigoroso para dedicarse á la carrera eclesiástica, se dedicó al profesorado de matemáticas y astrónomo. Esto en una época en que Galileo, profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa, tenía un sueldo ¡de un franco diario! El de Képler fué más elevado, pero no se lo pagaban. Con lo precedente se ve que Képler conoció todos los horrores del *combate por la vida.*

Una de sus tías fué quemada por crimen de brujerías. Su madre fué á sufrir la misma suerte, salvándose merced á él.

Advertido Képler, de que á la autora de sus días se la iba á quemar, acusada del delito de hechicería, se avistó con los jueces y tanto suplicó que logró enternecerles. Convienen los jueces en asustar á la delincuente mostrándole los instrumentos del tormento, para que confesara su crimen contritamente, y se la pudiese perdonar. Pero no se deja ella intimidar; resistió á todas las amenazas y terminó diciendo: «Si yo dijera ante el tormento que soy hechicera, mentiría descaradamente». Ya se ve que la infeliz mujer

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

tenía también *genio*. Los verdugos compadecidos á la postre, la perdonaron.

Católicos y protestantes persiguieron al gran filósofo con sin igual ensañamiento. Para librarse de su furor, tuvo Képler que huir varias veces. Es preciso confesar que ese siglo fué bastante ingrato para con los sabios. Próximamente por la misma época, el profesor Ramus, descubierto en el Colegio de Francia por las bandas católicas de la Saint-Barthelemy, era precipitado sobre picas, desde lo alto de sus ventanas, arrastrado moribundo por las calles de París y por último lanzado al Sena; Giordano Bruno fué quemado vivo por decir que bien pudieran ser las estrellas otros tantos soles; y Galileo no sufrió la misma suerte pero hubo de humillar su ciencia y sus cabellos blancos ante media docena de estúpidos teólogos.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO IV

LAS LEYES DE NEWTON

El conocimiento exacto de los movimientos de los planetas debía conducir al conocimiento de las fuerzas que los producen. Todo se reducía, pues, á un problema de mecánica, es decir, á una cuestión de cálculo. Esta cuestión que no nos ofrece hoy ninguna dificultad, era á la muerte de Képler poco menos que inabordable. Pero los progresos incesantes de la ciencia no tardaron en preparar la solución; en el año mismo en que murió Galileo, nacía Juan Newton, que debía arrancar al firmamento el secreto de su poderosa armonía.

De la ley de los aires, Newton dedujo la consecuencia de que cada planeta es atraído por el Sol.

De la naturaleza elíptica de la órbita y del lugar notable del Sol respecto de esa órbita, dedujo que la fuerza que atraía á cada planeta hacia el Sol varía de intensidad; acrecentando esa intensidad cuando el planeta se aproxima al Sol; que disminuye cuando el planeta se aleja de él, y, que esa intensidad está en razón inversa del cuadrado de la distancia de los dos astros; es decir, que si esta distancia fuera siete veces más grande, la intensidad de la fuerza sería cuarenta y nueve veces (7 veces 7) más pequeña.

Tales son las dos primeras leyes de Newton, consecuencia necesaria de las dos primeras leyes de Képler, de las cuales no son más que deducciones matemáticas.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

La tercera ley de Képler, que permite *comparar* entre sí los movimientos de los diversos planetas, debía necesariamente conducir á una relación matemática permitiendo *comparar* las fuerzas que obran sobre cada uno de esos astros. Esta relación no es otra que la tercera ley de Newton. Para comprender el sentido de esta ley, es necesario adquirir la noción de la *masa*. Se dice que dos cuerpos tienen la misma masa, cuando sometidos sucesivamente y en las mismas condiciones á un mismo sistema de fuerzas, toman el mismo movimiento. Se dice que un cuerpo tiene una masa diez veces más grande que otro cuerpo, cuando se puede dividir el primero en diez cuerpos cada uno de los cuales tiene la misma masa que el segundo.

La tercera ley de Newton consiste en que si se colocaran todos los planetas en círculo alrededor del Sol, á la misma distancia de este astro, las fuerzas que los atraerían hacia el Sol, serían proporcionales á sus masas. Así, pues, el planeta Saturno, cuya masa es 92 veces más grande que la de la Tierra, sería atraído hacia el Sol por una fuerza 92 veces mayor que la que atrajera á nuestro globo.

Imaginemos que se colocan todos los planetas en círculo alrededor del Sol. Consideremos en particular la Tierra y Saturno. Siendo la masa de Saturno 92 veces más grande que la de la Tierra, será atraído hacia el Sol el planeta Saturno con una fuerza 92 veces mayor que la de la Tierra (Tercera ley de Newton).

Pero en cambio, el planeta Saturno será 92 veces más pesado de arrastrar. De suerte que en definitiva la Tierra y Saturno se dirigirán hacia el Sol con la misma velocidad. Se puede pues, enunciar el principio siguiente:

Si se ordenaran todos los planetas alrededor del Sol á la misma distancia de ese astro, y si se les abandonara á ellos mismos simultáneamente y sin

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

ningún impulso, se dirigirían todos hacia el Sol con la misma velocidad y caerían todos sobre él en el mismo instante.

Ese principio no es más que una nueva fase de la tercera ley de Newton; es la misma verdad expresada bajo otra forma.

Si se observan los cuatro satélites de Júpiter y si se someten al cálculo los resultados de las observaciones, se deduce que sus movimientos son conformes á las tres leyes de Képler. De ese modo, cada satélite describe una elipse casi circular uno de cuyos focos ocupa Júpiter y cuales elipses están descritas según la ley de los aires.

En fin, los cuadrados de las duraciones de las revoluciones de los satélites son proporcionales á los cubos de las longitudes de sus órbitas. Ya que las leyes de Képler se aplican á los satélites de Júpiter, lo mismo ocurre con las leyes de Newton, que son sus consecuencias matemáticas.

Se aplican las leyes de Képler y Newton también á los satélites de Urano, y en general á todos los sistemas de satélites.

Debemos, sin embargo, hacer una observación: la tercera ley de Képler y la tercera ley de Newton sirven para comparar entre sí los satélites de un mismo sistema. Por consiguiente, no debe hacerse mención de esas leyes para los planetas que sólo tienen un satélite, por ejemplo, Neptuno.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO V

GALILEO

De la caída de los cuerpos.—En el capítulo II hemos dicho que la causa que determina la caída de los cuerpos hacia la Tierra, guarda mucha analogía con la que retiene á la Luna en su órbita.

En efecto, si esas fuerzas son de la misma naturaleza, los cuerpos colocados á nuestro alcance sobre la superficie de la Tierra, deben ser atraídos como otros tantos pequeños satélites, es decir con arreglo á las leyes de Newton.

¿Qué nos dicen esas leyes?

Nos afirma, la primera, que todos los cuerpos deben ser atraídos hacia el centro de la Tierra. En efecto, es lo que muestra la dirección de todos los movimientos en caída libre.

La segunda nos dice que la atracción ejercida por la Tierra, sobre cada cuerpo está en razón inversa del cuadro de la distancia de ese cuerpo al centro de nuestro globo. Pero dentro de los límites estrechos en que podemos observar la caída de los cuerpos, su distancia al centro de la Tierra puede ser considerada como invariable. Resulta de esto, que la atracción ejercida por la Tierra sobre un cuerpo que cae, puede ser considerada como constante, y por consiguiente el movimiento de los cuerpos en caída libre, debe ser un movimiento uniformemente acelerado. Luego, la experiencia justifica esta consecuencia de las leyes Newton.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Galileo había experimentado ya ese hecho valiéndose para sus estudios de un plano inclinado.

En fin, la tercera ley de Newton, nos enseña, que los cuerpos terrestres, colocados como están, á la misma distancia del centro de la Tierra, deben tomar todos el mismo movimiento cuando se les abandona en caída libre. Así pues, todos los cuerpos, tanto los más pesados como los más ligeros, deben caer con la misma velocidad. La verdad, esta solución parece desde luego poco conforme á los resultados de la observación; cada uno sabe que una pluma cae más lentamente que una bola de plomo, pero hay que atribuir la tardanza de la pluma sólo á la resistencia del aire, resistencia que es mayor en ella que en el plomo; en un tubo de cristal vacío de aire, la bola de plomo y la pluma caen al mismo tiempo.

Es una experiencia que hacen los alumnos en los cursos elementales de física. Por los hechos está pues establecido que todos los cuerpos abandonados en caída libre tienen en el vacío idéntico movimiento. De ahí que se encuentre confirmada una vez más esta hipótesis de que la fuerza que hace caer los cuerpos es análoga á la que obliga á la Luna á girar alrededor de nosotros.

Una comprobación célebre.—Supongamos que se aplica á cuerpos de la misma masa fuerzas de desigual intensidad. Cuanto más grande sea la fuerza aplicada, más rápido será el movimiento, y más considerable será también el número de metros recorrido durante el primer segundo. El doble de ese número de metros se llama aceleración del movimiento; y se demuestra en mecánica que cuando se aplica á cuerpos de la misma masa, fuerzas diferentes, los aceleramientos de los movimientos producidos son proporcionales á esas fuerzas. Ese principio va á sernos útil.

Los físicos han comprobado de varias maneras que una bala abandonada en el vacío, en caída libre, re-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

corre 4 metros 89 centímetros durante el primer segundo. Transportemos esa bala á la distancia donde se encuentra la Luna, es decir, pongámosla 60 veces más lejos por causa del centro de nuestro globo. Según la segunda ley Newton, como el cuadro de 60 es 3,600, la Tierra atraerá la bala 3,600 veces menos que antes. Así pues, si después de haber transportado la bala á esa altura se la abandona á su propio peso, caerá hacia la Tierra mucho más lentamente que los cuerpos terrestres ordinarios: para hablar con precisión, en vez de recorrer 4 metros 89 centímetros durante el primer segundo de caída recorrería solamente un milímetro y 36 décimas de milímetro. Por otra parte, según las dimensiones de la órbita lunar y la duración de la revolución de la Luna, el movimiento circular de nuestro satélite equivale á una caída continua de ese astro hacia la Tierra, caída que es de un milímetro y 36 décimas de milímetro por segundo.

En otros términos, según la naturaleza del movimiento de la Luna, si se detuviese en su carrera ese astro para abandonarse á sí mismo, caería hacia la Tierra recorriendo un milímetro y 36 décimas de milímetro durante el primer segundo. Así nuestra bala y la Luna colocadas inmóviles á la misma distancia de la Tierra, caerían hacia ella con el mismo *movimiento*. Hay pues completa analogía entre la fuerza que hace caer á un cuerpo terrestre y la fuerza que retiene á la Luna en su órbita.

La explicación que precede es célebre en los anales de la ciencia.

Ensayada por vez primera por Newton, defraudóle en sus esperanzas, porque como las dimensiones de la Tierra, y por consiguiente la de la órbita lunar, no le eran bien conocidas, de ahí resultaba un número falso respecto al recorrido que haría la Luna durante el primer segundo de su caída á la Tierra. Cuando hubo medido Picard un arco meridiano y ave-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

riguado las verdaderas dimensiones de la Tierra, volvió Newton á sus experimentos. Esta vez el éxito fué completo. Se cuenta que la emoción del gran geómetra fué tan grande que no le permitió realizar el cálculo, teniendo que recurrir para ello á la oficiosidad de un amigo.

La experiencia de la torre de Pisa.—La identidad de todos los movimientos en caída libre es una de esas verdades que, teniendo en contra suya la apariencia, no triunfan de las falsas teorías, sino con la evolución de los tiempos. Aristóteles no la admitía.

Creía que la velocidad adquirida por el cuerpo era proporcional á su peso. Lucrece, al contrario, declara francamente que todos los cuerpos, aunque de pesos desiguales, deben correr con la misma velocidad á través del vacío, y que los más pesados no podrán nunca caer sobre los más ligeros que se hallen debajo de ellos. Añadió Lucrece, que la misma ley rige en el aire que en el agua. Así, sucede necesariamente que los cuerpos aceleran su caída en proporción de su peso, por razón de que el agua y el aire no pueden retardar igualmente la marcha de todos los objetos y ceden más pronto delante de los más pesados.

De modo que en la antigüedad, las dos opiniones contrarias han sido sostenidas, una después de la otra.

Lanzando una triste mirada á la esterilidad de la Edad Media, pinta Bacon con un rasgo esos luengos siglos de ignorancia. Hay, dice, tan inmensos desiertos en el tiempo como en el espacio!

Cuando fueron despejadas las tinieblas de esa triste época, y Grecia renaciente *apareció al mundo*, se volvieron los espíritus hacia la ciencia con un ardor inenarrable. Desgraciadamente se siguió primero una mala senda; se sabe que durante largo tiempo toda la filosofía consistió en adoptar sin examen las opiniones de Aristóteles, y sostenerlas con tanta obstinación como ceguedad.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

¡No podía ser esa filosofía la de Galileo! Espíritu libre y atrevido, no tarda el filósofo florentino en sacudir el yugo del filósofo griego. Reflexionando en la caída libre de los cuerpos, supone que todos los objetos, caen de la misma manera. Para dilucidar la cuestión, recurre á la experiencia, resolución bien natural, pero repleta de amenazas para la ciencia oficial. La experiencia confirma plenamente las sospechas de Galileo. Seguro de confundir á los discípulos de Aristóteles, les propone una prueba en público para mostrarles el valor de su sistema.

El reto es aceptado. La torre inclinada de Pisa se eligió como sitio adecuado para los ensayos. El día convenido, comenzaron el experimento con las balas de plomo, que pesaron con cuidado. El peso de una era doble que el de la otra. Los discípulos de Aristóteles sostenían que si se dejaban caer las dos balas simultáneamente desde lo alto de la torre, la más pesada llegaría abajo en el tiempo que la ligera tardase en recorrer la mitad del trayecto. Galileo, al contrario, asegura que las dos balas llegarían al suelo al mismo tiempo. Se dió la señal. Se dejaron caer las dos balas juntas desde la cúpula de la torre. Bajaron ambas rápidamente y chocaron á un mismo tiempo contra el pavimento. Se repitió el experimento varias veces ofreciendo idéntico resultado. ¡El triunfo de Galileo fué completo!

Desde ese día data una nueva era en la historia de la ciencia.

Los serviles discípulos de Aristóteles abrumados por el testimonio de los hechos, pierden insensiblemente su crédito. La filosofía escolástica retrocede ante la filosofía natural. Al espíritu de autoridad se substituye poco á poco el espíritu de la ciencia, ó sea el espíritu crítico y de examen libre.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO VI

HIPÓTESIS DE LA ATRACCIÓN UNIVERSAL

Principio de la reacción.—Cuando un imán y un pedazo de hierro están en presencia el uno del otro, el hierro atrae al imán tanto como el imán atrae al hierro. Se puede asegurar el hecho fijando tan pronto el uno como el otro de esos dos cuerpos; el que se mantiene libre se pone en movimiento hacia el que no lo está. En general nos enseña la observación que, cuando un cuerpo atrae á otro, es atraído por él con la misma fuerza. Eso es lo que constituye el principio de la *igualdad de acción y de reacción.* No se conoce ninguna excepción de ese principio.

Hipótesis de la atracción.—Según las leyes de Newton, el Sol atrae á la Tierra. Y así debemos creer que la Tierra atrae al Sol con una fuerza igual. El Sol y la Tierra están sometidos á fuerzas iguales; pero la Tierra es incomparablemente más pequeña que el Sol y obedece mucho más fácilmente á la atracción que sufre. He ahí porque es la Tierra la que gira alrededor del Sol y no el Sol alrededor de la Tierra.

¿Pero estamos bien autorizados para extender hasta los cielos el principio de la reacción? Las leyes de Newton nos enseñan que la Tierra atrae la Luna. Eso no tiene duda. ¿Por qué esa misma Tierra no ha de atraer al Sol? Sería imposible dar á esta pregunta una contestación razonable. La Tierra atrae al Sol lo mismo que atrae á la Luna; y si esas dos atracciones se manifiestan por efectos tan diferentes, ello se debe á la importancia relativa de los tres astros;

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

la Tierra obedece al Sol porque es más débil que el Sol y coloca á la Luna bajo sus órdenes, porque es más fuerte que la Luna. Y así se ve que el principio de la igualdad de acción y de la reacción constituye para los astros una clase de igualdad civil y política que no impide de ningún modo á los más fuertes el hacer sentir su influencia á los más débiles.

Estamos, pues, obligados á reconocer que la Tierra atrae al Sol tanto como el Sol atrae á la Tierra.

Sabemos por otra parte, según la tercera ley de Newton, que si la masa de la Tierra se triplicara, esa atracción mutua se triplicaría también. Tenemos á la fuerza que admitir, por analogía, que si la masa del Sol fuese doble ó triple, esa atracción mutua, sería también doble ó triple.

Una atracción mutua se ejerce pues, entre el Sol y la Tierra. Esta atracción es proporcional á la masa de cada uno de esos astros y varía con su distancia, de tal suerte, que, cuando esa distancia es multiplicada por un número, la atracción es dividida por el cuadro de ese mismo número.

Recordemos, en fin, que las dimensiones de la Tierra y hasta las del Sol, pueden ser consideradas como muy pequeñas á causa de la distancia que separa á esos dos astros, y así la Tierra y el Sol pueden ser considerados como simples moléculas materiales. Con ello nos vemos obligados á admitir á *título de hipótesis* el principio siguiente:

Dos moléculas de cualquier materia son atraídas mutuamente; esa atracción mutua es proporcional á la masa ó á cada molécula y varía con su distancia, de tal suerte que, cuando esta distancia es multiplicada por un número cualquiera, la atracción es dividida por el cuadro de ese mismo número.

Tal es la hipótesis de la atracción universal que por analogía, ensayó Newton y al cual se debe el inmortal trabajo sobre los *Principios*.

Esa hipótesis parece absolutamente contraria á la

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

verdad; en efecto, si se colocan dos cuerpos pequeños en una mesa, no se les ve precipitarse el uno contra el otro. Como conclusión se podría deducir que esos dos cuerpos no se atraen; pero esa conclusión no sería exacta, pues lo único que se puede afirmar en ese respecto es que la atracción que se desarrolla entre los dos cuerpos no es bastante grande para vencer las dificultades que opone á su movimiento el sitio donde descansan.

Cuélguense dos bolitas con cordones y colóquense á poca distancia la una de la otra y se las verá aproximarse. Es porque el peso de cada bola obliga al cordón que las sostiene á permanecer vertical, y esos pesos son incomparablemente mayores que la atracción mutua de las dos bolas. Un atento análisis descubre siempre la causa que impide su desenvolvimiento; la atracción mutua de los cuerpos.

La Tierra no nos ofrece ninguna objeción inmediata contra la hipótesis de Newton, y lo mismo podemos decir respecto al firmamento. Allí se mueven los astros del sistema solar á los que por el momento podemos considerar como moléculas. Los planetas cuyas masas son más débiles que la masa del Sol, obedecen á ese astro, quien regula su movimiento y les obliga á girar alrededor de él. Los satélites de Júpiter cuya masa es inferior á la del Sol y á la de Júpiter, obedecen al astro del día, acompañando á Júpiter en su viaje circunsolar, y girando alrededor de este planeta.

Mecánica celeste.—La mecánica celeste toma por primer punto de partida la hipótesis de la gravitación universal, deduce todas las consecuencias de ese principio por medio de cálculos rigurosos, predice todos los movimientos del sistema solar, y pregunta luego á la observación si ese mundo, construído con los únicos recursos de la geometría, es igual que el que nos ofrecen los cielos.

Esa ciencia, bosquejada por el autor de los *Prin-*

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

cipios, estuvo á punto de alcanzar la perfección de un solo golpe, merced á los geómetras franceses del siglo XVIII. Todas sus predicciones se han cumplido, de suerte, que cada uno de sus progresos ha sido una nueva justificación de la hipótesis Newton. De ahí que esa hipótesis haya adquirido visos de realidad.

Es fácil notar la superioridad de la mecánica celeste sobre la Astronomía, que le ha dado nacimiento. Esta, observando los cielos, ha descubierto las leyes de Képler, de donde el cálculo ha deducido las leyes de Newton. Luego las leyes de Képler y las de Newton que dimanan de las anteriores, tienen las ventajas y los inconvenientes inherentes á todo lo que se revela en la observación: son principios sólidamente establecidos, pero los cuales no representan más que un bosquejo grosero de la verdad.

La Astronomía no puede pues conducir á la verdad absoluta. La mecánica celeste, al contrario, parte de una hipótesis, es decir de un principio incontestable. Pero ese principio tiene un carácter tal de sencillez y de precisión, que es imposible ver en él una imagen grosera de la verdad. Y ese principio es absolutamente verdad, ó es absolutamente falso. Se considera por sus consecuencias, como se juzga á un árbol por sus frutos.

El cálculo permite deducir esas consecuencias, hasta las más lejanas y las más desligadas. Señala en los movimientos del sistema solar, detalles tan minuciosos, irregularidades tan pequeñas, que la observación, capaz de verificarlos, hubiera sido impotente á descubrirlos. Pues bien, todas esas circunstancias que el cálculo determina de antemano, el anteojo las confirma, y se ha visto recientemente á un calculador descubrir un mundo desde el fondo de su despacho.

La Geometría, dice Arago, ha tenido el atrevimiento de disponer del porvenir. Y los siglos desarrollándose han venido á rectificar sus decisiones.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO VII

PROBLEMA DE LOS DOS CUERPOS

Problema preliminar.—Imaginémonos que se ponen frente á frente dos esferas materiales, compuestas de capas esféricas concéntricas y homogéneas. Habrá atracción mutua entre las moléculas de la primera esfera y las moléculas de la segunda. ¿Tienden todas esas fuerzas á un mismo resultado? En otros términos, ¿se puede concebir una fuerza ideal única, produciendo por sí sola el mismo efecto que todas esas atracciones reunidas? Sí. Partiendo Newton de la hipótesis de la atracción, demuestra que todo pasa como si la masa de cada esfera se encontrara reunida en su centro: es decir, que los centros de las dos esferas son atraídas la una hacia la otra, como simples moléculas, cuyas masas serían iguales á las masas de esas dos esferas.

Los cuerpos celestes, como lo veremos más tarde, pueden ser considerados como compuestos de capas esféricas concéntricas y homogéneas. Estamos pues autorizados para suponer que su masa se encuentra reunida á su centro, es decir á mirar sus dimensiones como nulas. Esa conclusión es tanto más rigurosa cuanto las dimensiones de los astros son más débiles, á causa de sus distancias mutuas.

Un problema teórico.—Supongamos que no haya en el espacio más que dos cuerpos celestes, y que esos dos cuerpos se encuentran en presencia el uno del otro sin ningún impulso. En virtud de la atracción mutua que tiende á aproximar sus centros, esos dos

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

cuerpos se precipitan el uno hacia el otro; y, como la atracción mutua aumentará rápidamente á medida que la distancia disminuya, la velocidad del movimiento, en lugar de crecer de un modo uniforme, como en la caída de los cuerpos, crecerá con una rapidez extremada. En fin, los dos cuerpos acabarán por encontrarse, y el choque los hará estallar.

Cada uno de ellos habrá recorrido una parte de la distancia que los separaba primero. La mayor parte habrá sido recorrida por el cuerpo de menor masa; pero los caminos descritos por los dos cuerpos, deben de estar en razón inversa de sus masas.

Concibamos, por ejemplo, que no se dejen en el espacio más que la Tierra y el Sol, y que se abandonase esos á sí mismos privados de todo impulso, y separados el uno del otro por una distancia igual á la que les separa hoy día. Los planetas correrían el uno hacia el otro y se encontrarían al cabo de 68 días. En ese movimiento, la Tierra habrá recorrido 330 mil veces más camino que el Sol; porque su masa es 330 mil veces más débil.

Si no se deja en el espacio más que la Tierra y la Luna, privadas ambas de toda su inicial velocidad, y separadas por su distancia actual, esos dos cuerpos marcharán el uno hacia el otro, y se encontrarán en cuatro días y medio próximamente. Teniendo la Tierra una masa 75 veces más fuerte que su satélite, habría la Luna recorrido un espacio 75 veces mayor que el recorrido por la Tierra.

De los cónicos.—Se llama sección cónica, ó simplemente cónicos á las curvas que se obtienen cuando se corta un cono por un plano. Imaginados por los platónicos, estudiados por los filósofos de la escuela de Alejandría, renovada y hasta rejuvenecida por la geometría cartesiana, y más recientemente por las teorías de la geometría superior, serán durante mucho tiempo objeto de interesantes pesquisas. Tienen los cónicos un número de propiedades generales; es

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

así como poseen todos unos puntos notables llamados hogares. Esas curvas están divididas en tres géneros.

Se encuentran primero óvalos que se llaman elipses. En el interior de toda elipse, en la línea de mayor longitud se encuentran dos hogares, á cada lado del centro. En las elipses redondas, esos hogares están muy cerca del centro, y en el círculo, que es la más sencilla de las elipses, los hogares están confundidos con el centro. En las elipses muy alargadas, los hogares, quedando en el interior del óvalo, están muy cerca de sus extremidades.

Los otros dos géneros de cónicos se llaman parábolas é hipérbolas. Esas curvas no están cerradas y tienen ramas ilimitadas.

Problema de los dos cuerpos.—Se ponen frente á frente dos cuerpos celestes, dando al de menor masa un impulso inicial en cualquier dirección. ¿Cuál será el movimiento de esos dos astros? Tal es el célebre problema de los dos cuerpos, resuelto por Newton. Se encuentra con un fácil cálculo que el centro del cuerpo de menor masa debe describir un cónico teniendo por hogar el centro del otro cuerpo, y esa curva debe ser descrita con arreglo á la ley de los aires; si la curva es una elipse, será descrita indefinidamente por el centro del cuerpo móvil, cuyo movimiento se reproducirá en cada evolución.

El género, la forma y las dimensiones del cónico descrito se deducen por el cálculo de los datos del problema.

De los cometas.—Todos los planetas conocidos en tiempo de Newton, así como sus satélites, describen elipses casi circulares. Cuando el geómetra resolvió el problema de los dos cuerpos, se preguntó si no había en el sistema solar astros obligados á describir elipses y hasta parábolas é hipérbolas. Pensó que los cometas podrían muy bien ofrecer esa particularidad. Se explicaba sin trabajos con esa hipótesis el que un cometa, visible durante varios días, fuese luego

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

invisible, alejándose á lo largo de un óvalo muy alargado ó de una curva de ramas ilimitadas.

Quedaba por someter esa teoría al registro de la observación. Esperó Newton la ocasión con impaciencia, y esa ocasión no tardó en presentarse.

En 1680, apareció un cometa muy brillante, que se *cambiaba* rápidamente á causa de las estrellas. Le observó Newton con cuidado, y vió que describía una elipse muy larga cuyo sol ocupa un hogar moviéndose á lo largo de esa órbita conforme á la ley de los aires. Los elementos de la órbita fueron calculados; y la longitud de esa curva, (gracias á la tercera ley Képler), permitió á Newton encontrar la duración de la revolución.

Observó que esa duración era de seiscientos años, lo que le autorizó á pronosticar la vuelta del cometa hacia el año 2280. Fué la primera predicción de ese género.

No es solamente por la naturaleza de la curva descrita por lo que los cometas se diferencian de los planetas. Los planos de sus órbitas pueden además tener todas las inclinaciones. Por otra parte, varios cometas marchan en el sentido retrógrado; la única diferencia consiste en que muchos cometas ofrecen una forma rara. Con frecuencia, tienen un núcleo central rodeado de una atmósfera brillante, que forma á su alrededor una especie de cabellera: de ahí el nombre de cometa, que significa astro cabelludo. La mayor parte de esos astros extraños tienen una cola colocada en el lado opuesto al del Sol y ligeramente encorvada, de manera que su extremidad se inclina en la región que abandona el cometa.

Si un cometa describe una hipérbola ó una parábola, ó aun una elipse tan larga que se extiende hasta la región de las estrellas, este cometa concluye por encontrar algunos centros poderosos de atracción, y deja nuestro sistema solar para entrar en el cortejo de algún otro sol.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

No pasa lo mismo sin duda á los cometas, que describen elipses alargadas, pero que no se extienden hasta la región de las estrellas. Esos cometas describen indefinidamente su elipse y á cada vuelta que dan á intervalos de tiempo iguales, se aproximan al Sol y á la Tierra siendo visibles durante varios días. Son cometas periódicos.

La duración del período se reduce á la longitud de la elipse en virtud de la tercera ley Képler. Esa duración, que no es más que de tres años para ciertos cometas, puede ser también muy grande. El cometa de 1844 no volverá más hasta dentro de ¡cien mil años!

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO II

El peso de los mundos
Los cometas y sus vueltas periódicas

CAPITULO VIII

NEWTON PESA LOS MUNDOS

Nota de Newton.—El problema de los dos cuerpos, es relativamente fácil. Pero cuando se considera á todos los astros del sistema solar y todas sus mutuas atracciones, no se puede determinar los movimientos que resultan de esas fuerzas múltiples más que por métodos muy delicados y cálculos extremadamente penosos. A pesar de su genio, fué detenido Newton por las dificultades que ofrecía esa empresa.

Observó que las atracciones mutuas de los cuerpos del mundo solar, no permitían ni al sistema de los planetas ni á ningún sistema de satélites el obedecer con todo rigor á las leyes de Képler.

Vió también Newton que todo planeta tenía una masa mucho más débil que la del Sol. Esta circunstancia explica que los movimientos de los planetas no se aparten más que débilmente de las leyes de Képler.

Como los movimientos de los diferentes sistemas de satélites, no violan demasiado abiertamente las leyes de Képler, Newton dedujo también, que cada

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

satélite tenía una masa mucho más débil que su planeta.

Pero el autor de los *Principios* no podía contentarse con esos resultados, un poco vagos. No tardó en entregarse á investigaciones más precisas, y bien pronto estuvo en estado de encontrar la relación exacta entre la masa de ciertos planetas y la masa del Sol.

Pesos y masa.—Las mutuas atracciones que se desarrollan entre las moléculas de la Tierra y las de un cuerpo terrestre, pueden ser reemplazadas por una fuerza ideal única ó *resultante:* ese *resultante* se llama peso del cuerpo. Dos cuerpos abandonados en caída libre siguen el mismo movimiento: si son de pesos iguales, esos idénticos movimientos son producidos por fuerzas iguales, y se debe reconocer que los dos cuerpos tienen una misma masa. También podremos sin inconveniente representar aquí, por un mismo número el peso y la masa de un cuerpo. El peso y la masa de un cuerpo son cosas bien distintas: el peso es una fuerza, y la masa es la cantidad de resistencia opuesta á la acción de las fuerzas.

Cuando se trata de un astro, como el Sol, la palabra peso está propiamente hablando, vacía de sentido. Pero aun aquí, la emplearemos como sinónimo de masa.

Masa del Sol.—Propongámonos buscar la relación entre la masa del Sol y la de la Tierra.

¿Una bala de cañón, colocada á 24 mil radios terrestres, del Sol, caería hacia ese astro durante el primer segundo de su movimiento? La respuesta es fácil. Observemos primero que la Tierra está justamente á esa distancia del Sol y que su movimiento de revolución alrededor de ese astro equivale á un aproximamiento que sería de tres milésimas de milímetro durante cada segundo.

En otros términos, si se detuviera en su movimiento á la Tierra para abandonarla á sí misma, se pre-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

cipitaría hacia el Sol con un movimiento acelerado, recorriendo tres milésimas de milímetro durante el primer segundo. Con arreglo á la tercera ley Newton, ocurriría lo mismo, á todo cuerpo terrestre, especialmente á nuestra bala de cañón.

Preguntémonos ahora con qué velocidad la bala de cañón, colocada á 24 mil radios terrestres de nuestro globo, caería hacia él durante el primer segundo. Si esa bala de cañón estuviera en la superficie de la Tierra, su *caída* sería de 4 metros 9 décimas. Si se la transportara 24 mil veces más lejos, esa caída llegaría á ser mucho más débil y habría que dividirla por el cuadro de 24,000.

Una bala de cañón, atraída tan pronto por el Sol como por la Tierra, á la distancia de 24 mil radios terrestres, recorre durante el primer segundo, 3 milésimas de milímetro, en un caso, y 9 *millardécimas* de milímetro en el otro. Dividiendo esos dos números el uno por el otro, se tendrá la relación de las aceleraciones, es decir, el de las fuerzas, ó tal vez la relación entre la masa del Sol y la masa de la Tierra.

Se encuentra por cociente 330,000 aproximadamente; lo que prueba que la masa de Sol es poco más ó menos 330,000 veces mayor que la de la Tierra.

Masa de la Tierra.—Para comparar la masa de la Tierra á la de un cuerpo terrestre, Mitchell colocó una bala pequeña de metal, entre la tierra y un montón de plomo de peso conocido. Comparando entonces la atracción terrestre ó peso de la bala á la atracción que sufría esa misma bala por parte del plomo, debía encontrar sin dificultad la relación de la masa de la Tierra á la del plomo. Esa experiencia ha sido ejecutada por Cavendish, y luego continuada por M. Baily, á petición de la Sociedad Astronómica de Londres.

Se ha empleado, para pesar la Tierra, un segundo método.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Bouguer, comparó la masa de la Tierra á la de una montaña, midiendo la desviación que la atracción de esa montaña debía causar en un hilo á plomo colocado en su vecindad. Las experiencias no dieron resultados muy concluyentes. Maskeline practicó el mismo experimento en Escocia, al pie del monte Sheallien, el cual está bien aislado, es de una forma regular, y de una construcción geológica bien conocida, y siendo por lo tanto su peso fácil de calcular.

Maskeline escogió dos estaciones sobre un mismo meridiano, al Norte y al Sur de la montaña. Había dos métodos para calcular la diferencia de latitud de las dos estaciones. El primero consistía en medir la longitud del arco meridiano que los separaba. El segundo, más directo, consistía en medir la altura del polo ó latitud de cada una de las estaciones, estableciendo sencillamente la diferencia. Pero en las condiciones particulares en que *operaba* Maskeline, el segundo método resultaba inexacto.

En efecto, la medida de la altura del polo es una operación que supone el empleo de un baño de mercurio, ó en otros términos el empleo de un hilo á plomo. Luego, el hilo á plomo era desviado en cada una de las dos observaciones por la atracción de la montaña, y el error cometido sobre la diferencia de las latitudes resultaba doble de la desviación producida en cada caso.

¿Qué hizo pues Maskeline? Calculó la diferencia de latitud de las dos estaciones, por el método exacto, y también por el método inexacto. La *diferencia* de los resultados le dió el doble de la desviación del hilo á plomo y por consecuencia la relación entre la masa de la tierra entera y la masa de la montaña.

Masa de los planetas.—Ha conseguido Newton reconocer la masa de Júpiter comparando el movimiento de ese planeta al movimiento de uno de sus satélites. El mismo método se aplica á todo planeta que tiene un satélite.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Hemos visto que si los planetas tuvieran masas comparables á la masa del Sol, sus movimientos se apartarían mucho de las leyes de Képler, mientras que esos movimientos están marcados en esas leyes, porque las masas de los planetas son muy pequeñas á causa de la masa del Sol. Se comprende, desde luego, que su tamaño depende del tamaño de las masas, y, que observando los primeros, se puede calcular éstas.

Del peso de un mismo cuerpo en los diferentes mundos.—Para levantar un cuerpo, tal como una bala de cañón, un habitante de Júpiter se vería obligado á hacer un esfuerzo casi tres veces mayor que un habitante de la Tierra. Pues, por una parte, la masa de Júpiter es 309 veces mayor que la de la Tierra, y por otra su radio es once veces mayor que el radio terrestre. A causa de la primera consideración el peso de los cuerpos es 309 veces mayor. La segunda 121 veces menor, ya que 121 es el cuadro de 11.

Se ve que no hay compensación y que finalmente un mismo cuerpo es casi tres veces más pesado en la superficie de Júpiter que en la superficie de la Tierra.

Si los habitantes de Júpiter se pelean, lo que es probable, y su material de guerra se parece al nuestro, lo que es posible, sus proyectiles deben recorrer la tercera parte de la distancia que en idéntico caso recorren los nuestros.

Masa de los cometas.—La masa de los cometas es muy débil. La observación prueba, que cuando un cometa pasa cerca de un planeta, tal como Júpiter, la marcha del planeta no experimenta la menor alteración, mientras que la del cometa es profundamente modificada.

Se preguntó varias veces con inquietud lo que sucedería si algún cometa llegara á chocar con la Tierra. Es fácil contestar. El choque sería insignificante; pasaría inadvertido. Pero el cometa podría dejar en nuestra atmósfera gases peligrosos para la respiración.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

¿Es probable semejante encuentro? He ahí lo que dice Laplace en su *Exposición del sistema del mundo:* Ese choque, aunque posible, es difícil, pues sería una casualidad muy rara, que se encontrasen dos cuerpos tan pequeños en la inmensidad del espacio. Pero el hombre está tan dispuesto á recibir la impresión del temor, que en 1773 el pánico hizo presa de los franceses, solamente porque Lalande en un folleto determinaba los cometas que más se pueden acercar á la Tierra; ¡los errores, las supersticiones, los vanos terrores y todos los males que encierra la ignorancia, se reproduciría bien pronto si la luz de las ciencias llegara á extinguirse!

Sin embargo, reconoció Laplace que «la pequeña probabilidad de semejante encuentro puede ser muy grande á través de los siglos».

Lo que hay de cierto, es que en 1832 el cometa de Biela estuvo á punto de chocar con la Tierra.

De otra parte, según M. M. Giais, Hind y Valry, la Tierra ha sido rozada por la cola del gran cometa de 1861.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO IX

EL PROBLEMA DE LOS TRES CUERPOS

Movimiento elíptico y movimiento turbado.—Imaginemos dos cuerpos del sistema solar, uno de los cuales gira alrededor del otro, por ejemplo la Luna y la Tierra. Hemos visto que si esos dos cuerpos estaban solos en el espacio, el centro de la Luna describiría rigurosamente una elipse, en la cual el centro de la Tierra ocuparía un hogar; ese movimiento estaría absolutamente conforme con la ley de los aires y en cada revolución la elipse descrita y el paso de la Luna no sufrirían ninguna modificación. Ese movimiento perfectamente regular, que se produciría en nuestra hipótesis, será llamado en lo sucesivo movimiento elíptico. Tengamos presente que ese movimiento elíptico no existe más que en nuestro espíritu, pues el Sol, Júpiter, Saturno y los otros astros imponen su influencia á la Luna. El efecto de esas influencias es turbar el movimiento elíptico, é introducir irregularidades ó *perturbaciones.* El cálculo y la observación demuestran igualmente que esas irregularidades son poco considerables; pero no por eso dejan de existir. De suerte que el verdadero movimiento de la Luna no es el movimiento elíptico, sino el *movimiento turbado.* Calcular el movimiento turbado para los diferentes astros del sistema solar, es el principal problema de la mecánica celeste.

Los temores de Newton.—Una de las cuestiones que entraña ese problema, preocupabà á menudo el ánimo de Newton.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

¿Las perturbaciones acumulándose á través de los siglos, debían conducir nuestro mundo solar á una ruina cierta? El secreto de nuestro destino estaba encerrado por completo en el principio de la atracción universal. Pero ello pertenecía al cálculo, y los métodos matemáticos, aun demasiado indecisos, no permitieron á Newton resolver la cuestión. Reducido entonces á débiles conjeturas, supuso que un sistema de fuerzas tan complicadas no podría conducirnos más que al caos. Extraño suplicio infligido al genio: el autor de los *Principios* murió con el convencimiento de que su descubrimiento era una amenaza suspendida en el universo.

Problema de los tres cuerpos.—Ese problema de las perturbaciones, del cual no había podido encontrar Newton la solución, ese problema amenazador del cual apenas se atrevía uno á considerar las formidables consecuencias, se resolvió en el siglo XVIII. Fué la obra de cinco geómetras: Euler, de Alembert, Clairant, Lagrange y Laplace.

Recordemos bien la descripción del problema. Al centro, un cuerpo inmóvil. Alrededor de él circula un segundo cuerpo. Si estuvieran solos esos dos cuerpos en el espacio, marcharía el segundo según las reglas del movimiento elíptico. Pero todos los otros cuerpos del sistema solar obrarían sobre él y esas influencias, aunque secundarias, degenerarían ese movimiento elíptico en movimientos turbados. Calcular sobre ese movimiento turbado.

En medio de los cuerpos que turban el movimiento elíptico, hay uno, con frecuencia, cuya influencia es preponderante. Aunque así sea, se concibe fácilmente que toda la dificultad estriba en tratar el caso en que el movimiento elíptico es turbado por un solo astro. Se obtiene así el famoso *problema de los tres cuerpos.*

Método de las aproximaciones sucesivas.—La solución del problema de los tres cuerpos integra un

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

sistema de seis ecuaciones diferentes. Pero como no se conoce procedimiento exacto para hacer esa operación, se ha de utilizar el método de las aproximaciones sucesivas.

¿En qué consiste ese método? Imaginémonos á un dibujante haciendo un retrato. Indicará primero por algunas líneas derechas los principales rasgos. Luego corregirá los ángulos y trazará algunos rasgos secundarios. Seguidamente pasará á nuevos detalles; y así, por una serie de retoques hábilmente calculados, obtendrá un retrato cada vez más fiel, sin conseguir nunca un parecido perfecto.

Tal es la imagen del método de las aproximaciones sucesivas, al cual los calculistas se ven á veces obligados á recurrir. En el problema de los tres cuerpos, ese método revela como primer bosquejo el movimiento elíptico. El segundo bosquejo pone en claro las principales perturbaciones; y á cada nueva operación, el movimiento se muestra con más exactitud.

Historia del problema de los tres cuerpos.—Han resuelto Clairant, Euler y D'Alambert, casi á un mismo tiempo, el problema de los tres cuerpos por el método que acabamos de definir, y he aquí sus trabajos con algunos detalles.

En una memoria premiada por la Academia de Ciencias de París (1748), estudia Euler las perturbaciones de Júpiter y de Saturno debidas á la acción mutua de esos planetas. Ese mismo año estudiaban Clairant y D'Alambert el movimiento de la Luna, dirigida, como se sabe, por la Tierra y turbada por el Sol.

Los resultados presentados por Euler fueron contradichos por la observación. Poco más ó menos por la misma época igual desventura sucedió á Clairant, á propósito de sus cálculos sobre la Luna.

Esos dos geómetras engañados en su esperanza, creyeron primero que la hipótesis de la atracción no era rigurosamente exacta y que era preciso introdu-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

cir en ella una modificación. Pero no había de inexacto más que sus cálculos. No tardó en darse cuenta de ello Clairant, reconociendo que se había equivocado y que los nuevos resultados que lograba se encontraban conformes á las observaciones. Fué un gran acontecimiento en el mundo de la ciencia; desde entonces, la hipótesis de Newton reinó con el mayor esplendor.

En 1752, Euler, respondiendo al llamamiento de la Academia de Ciencias de París, presentó una nueva memoria sobre Júpiter y Saturno. Esa memoria fué premiada. Se encontró en ella una primera idea de la estabilidad del sistema del mundo. Se notó también con extrañeza que Euler se enredaba en una ecuación algebraica del segundo grado. ¡Cosa extraña! Lo mismo debía suceder al ilustre Monje, en su análisis sobre las ecuaciones de las diferencias parciales. Inexplicable debilidad del genio, la cual confunden nuestro orgullo y justifica la terrible ironía de Pascal al exclamar: *¡Humillaos, razón impotente; callaos, naturaleza imbécil!*

En 1754, D'Alambert publicó los dos primeros volúmenes de sus *Averiguaciones sobre el sistema del mundo*, y aplica su solución del problema de los tres cuerpos á la acción mutua de los planetas.

En 1758, Clairant aplica su solución del problema de los tres cuerpos al cálculo de la vuelta del cometa de Halley. Pero esa cuestión merece ser estudiada aparte.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO X

EL COMETA DE HALLEY

Halley.—En 1680, Newton observó un cometa, vió que su movimiento era elíptico y conforme con la ley de los aires, y calculó los elementos de su órbita fijando en seiscientos años la duración de su revolución. Podía pues declarar á ese cometa periódico y predecir su vuelta en el año 2280. Esa predicción no podía excitar un vivo interés. Afortunadamente en 1682, se vió aparecer un nuevo cometa, al cual Halley debía bien pronto dar su nombre.

Ese gran astrónomo siguió ese astro en su marcha, reconoció que su movimiento era elíptico, calculó todos los elementos de su órbita y llegó á la conclusión de que la duración de su revolución era próximamente de 75 años.

He ahí, pues, un nuevo cometa periódico, cuya vuelta podía ser anunciada con cierta exactitud.

No dejó Halley de hacer esa predicción, y anunció la vuelta del cometa para fines del 1758 ó á principio del 1759. Cuando vuelva ese astro, dijo, hará mucho tiempo que habré muerto; deseo entonces que recuerde la posteridad que la primera predicción relativa á los cometas ha sido hecha por un inglés.

La comprobación que un porvenir demasiado lejano le roba, va Halley á pedírsela al pasado. Aconsejado por Newton, examina las antiguas colecciones para sumar los cometas señalados desde los tiempos más remotos. Había por otra parte, clasificado los cometas de su catálogo, siguiendo el orden de las

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

fechas. Examinó Halley ese catálogo pasando un intervalo aproximadamente de 75 años, encontrando apuntes sobre cometas que se asemejan al que ha observado, no solamente por el aspecto, sino también por la órbita descrita.

Así encontró primero un cometa cuyo movimiento fué observado en 1607 por Képler y Langomontanus: la órbita de ese cometa se asemeja mucho á la órbita del cometa de 1682. Encuentra después el cometa de 1531, que parece ser el mismo, luego el de 1456, cuya aparición había sembrado el espanto por todas partes.

Ve luego los cometas de 248, 324, 399, separados por un intervalo próximamente de 75 años, y por un segundo intervalo doble que el primero.

Clairant.—Cercano el año 1758, el cometa de Halley era esperado con el más vivo interés: se trataba de comprobar la asombrosa predicción del astrónomo inglés. Pero, para dar más valor á esa comprobación, convenía anunciar con precisión la época de la vuelta del cometa y trazar por adelantado, con todo el rigor posible, el camino que debía seguir. Para alcanzar ese doble fin, era menester un largo cálculo. En efecto, el cometa de Halley debía pasar muy cerca de Júpiter y de Saturno.

En ese vecindario, debía necesariamente experimentar una turbación profunda. Era preciso también calcular las perturbaciones producidas, á fin de conocer en sus menores detalles el movimiento del cometa. Emprendió Clairant esa tarea, para poner á prueba su solución del problema de los tres cuerpos.

Ayudado por Lalande, se propuso determinar las perturbaciones producidas en la marcha del cometa durante sus dos últimas revoluciones, es decir, durante un período de ciento cincuenta años.

Declara Lalande que Clairant y él calcularon, durante seis meses desde la mañana hasta la noche; causándoles ese trabajo forzado, una enfermedad

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

cuyos resultados sufrieron durante el resto de su vida; y además sin el socorro de madame Lepante, la empresa no hubiera sido llevada á buen fin.

En 14 de Noviembre de 1758, presentó Clairant los resultados de sus cálculos, á la Academia de Ciencias. Anunció que Júpiter debe retardar la vuelta del cometa, 518 días y Saturno 100. Por consiguiente fijó para mediados de Abril de 1759 el paso del cometa al perihelio.

Declaró además Clairant que podía equivocarse en sus cálculos, pero que su equivocación sería en cuestión de un mes más ó menos. Añadió que el cálculo podía haber sido más preciso, pero apremiado por el tiempo, había tenido que descuidar ciertos elementos secundarios.

El cometa pasó al perihelio el 12 de Marzo. El error de Clairant fué de un mes aproximadamente. Ese error no debe extrañarnos, pues los cometas, á causa de su débil masa son sensibles á la menor influencia perturbadora. Por otra parte, la masa de Saturno era mal conocida en aquella época. Además, no siendo aún conocida la existencia de Urano, la influencia que sobre el cometa pudiera ejercer ese planeta había sido necesariamente descuidada.

La aparición del cometa de Halley es un gran acontecimiento en la historia de la ciencia. Desde ese día el cálculo iba á dictar leyes al firmamento.

Los cometas despojados en adelante de toda influencia misteriosa, no despertaban á su paso más que una curiosidad puramente científica. Nada de locos terrores, ni de vanas supersticiones.

El hombre amedrentado hasta entonces por vanas supersticiones, recobra el dominio sobre sí mismo, auxiliado por la ciencia. ¡Es la hora de la libertad!

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO III

El movimiento de los planetas y sus satélites

CAPITULO XI

UN NUEVO CAMINO

El método de las aproximaciones sucesivas, dará á conocer las perturbaciones de un cuerpo celeste en ciertas circunstancias. Pero era incapaz de descubrir en su conjunto, tanto en el pasado como para lo porvenir, las diferentes modificaciones sufridas por el sistema solar.

Un nuevo método permitiría á los sabios explorar con sus miradas la inmensidad del espacio y la inmensidad del tiempo. Se trata del método de la variación de las *constantes*, imaginado por Euler y perfeccionado más tarde por Lagrange, Laplace, Hamilton, Jacobi y Delaunay.

Sería difícil dar una idea aunque grosera de ese método. Limitémonos á decir que ha permitido en seguida dividir las perturbaciones en dos categorías: A las perturbaciones de corta duración, que no turban más que de un modo pasajero el movimiento elíptico, se las llama desigualdades periódicas; las perturbaciones que persisten durante muy largo tiempo se denominan desigualdades seculares.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Un ejemplo para comprender mejor esa distinción: Imaginemos la elipse que recorrería un planeta si no estuviera turbado el movimiento de ese astro. El planeta describe una curva muy complicada, pero que se aparta poco de la elipse considerada. Cada sinuosidad de la curva constituye en el movimiento una desigualdad periódica.

Pero sucede á veces que el movimiento elíptico sufre turbaciones más duraderas. Tanto es así, que la elipse, cuyo planeta se aparta poco á cada vuelta, puede aplastarse de una revolución á otra, conservando la misma longitud; y esa tendencia de la elipse, á alejarse de la forma del círculo, puede durar centenares de siglos. Esta perturbación constituye una desigualdad secular.

La primera idea del método de la variación de las constantes, se encuentra en una memoria dirigida por Euler á la Academia de Berlín, en 1748. Pero la exposición completa de ese método no ha sido dada por ese geómetra hasta el año 1756, en una memoria premiada por la Academia de Ciencias de París. Es preciso reconocerlo; esa memoria, tan notable relativamente, deja mucho que desear en lo que respecta al cálculo. Pues en esta cuestión todos los resultados de Euler son inexactos. Por su método de la variación de las constantes, ese gran geómetra acababa de abrir en el campo de la mecánica celeste un camino real; y sobre esa vía iban á lanzarse Lagrange y Laplace, los verdaderos legisladores de los cielos.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XII

UN CATACLISMO ESPANTOSO

Primer peligro que amenaza al sistema solar.— ¿Las desigualdades seculares, que afectan de un modo durable á los movimientos de los cuerpos celestes, deben inspirar temores respecto al porvenir del sistema solar? Un ejemplo mostrará la importancia de esta pregunta.

Supongamos que el óvalo descrito por la Tierra alrededor del Sol crece todos los años, y que esa desigualdad persiste indefinidamente á través de los siglos; nuestro globo, privado de calor, de luz y de vida, acabará por escapar de la atracción del Sol y entonces la Tierra no sería más que un cadáver helado errando á la ventura á través de los abismos del espacio.

Imaginemos al contrario que las dimensiones de la órbita terrestre no cesa de disminuir en la serie de los años. Nuestro globo se transformará poco á poco en un verdadero horno y acabará por precipitarse sobre el Sol. Y lo que acabamos de decir concerniente á la Tierra puede aplicarse á todos los demás planetas.

En los ríos profundos, se ven á veces restos flotando, arrastrados hacia un torbellino: los círculos se estrechan, se hace el movimiento más rápido; y todos esos restos, el uno después del otro, desaparecen en el fondo del abismo. Es permitido preguntarse si el sistema solar no es un torbellino gigantesco; y si todas las tierras, todas las lunas, arrastradas en

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

un movimiento vertiginoso, no irán la una después de la otra á abismarse en la masa del Sol alimentando á esa inmensa hoguera.

Se había hecho Newton esa pregunta formidable. Laplace tuvo la gloria de contestarla.

Las órbitas de los planetas tienen una longitud invariable.—En 1773, ese gran geómetra demostró que la longitud de los óvalos descritos por los planetas, es siempre la misma.

En 1780, Lagrange probó que el hecho enunciado por Laplace sería una verdad aunque el sistema solar ofreciera órbitas muy aplastadas. Poisson ha reconocido y completado la obra de Laplace y de Lagrange.

La gran desigualdad de Saturno y de Júpiter.—Las observaciones parecían contradecir las conclusiones de Lagrange y de Laplace, á lo menos respecto á Saturno y Júpiter. Así pues había notado Halley que la duración de la revolución de Saturno iba en aumento, mientras que la del planeta Júpiter iba disminuyendo.

Los geómetras dedujeron de ello que la longitud de los óvalos descritos por esos planetas, en lugar de ser constante como pretendían Lagrange y Laplace, aumentaba en Saturno mientras que disminuía en Júpiter.

¿Debía el planeta Saturno alejarse continuamente del Sol, abandonando con el tiempo el sistema solar? ¿Estaba por el contrario el planeta Júpiter destinado á acercarse sin cesar al Sol hasta precipitarse sobre él? ¿Por qué no había previsto el cálculo perturbaciones tan profundas? Todas esas cuestiones eran muy comentadas en el mundo científico. En vano, Euler y Lagrange, contestando al llamamiento de la Academia de París, habían procurado solventar la cuestión. Estaba reservada á Laplace su solución.

Observa Laplace que la relación entre la *rapidez* de Júpiter y la *lentitud* de Saturno, tenían el mismo

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

valor númerico que una expresión matemática simple formada con los únicos elementos de esos dos planetas, conociendo que la atracción mutua de esos dos astros era causa de las graves perturbaciones señaladas por Halley. Estando el problema así circunscrito, no tardó Laplace en notar que el quíntuplo de la duración de la revolución de Júpiter difería muy poco del doble de la duración de la revolución de Saturno.

Se dió cuenta casi en seguida que gracias á esa circunstancia fortuíta, términos que se habían creído muy pequeños y que se habían descuidado en los cálculos debían ejercer una influencia muy sensible sobre los resultados.

«Yo miraba pues esos términos como una causa muy verosímil de las variaciones observadas. La probabilidad de esta causa y la importancia del asunto me determinaron á emprender el cálculo largo y penoso necesario para asegurarme completamente. El resultado de ese cálculo confirmó plenamente mi conjetura.» (Laplace, *Mecánica celeste)*.

Probaba el cálculo de Laplace, que la atracción mutua de los dos planetas era la sola causa de las turbaciones observadas, debiendo Júpiter acercarse al Sol, mientras Saturno se alejaba. Mas cada 929 años esas perturbaciones debían producirse en sentido inverso. Así pues las órbitas de Júpiter y de Saturno aumentan y disminuyen tan pronto una como otra.

El análisis matemático daba cuenta de las perturbaciones de Saturno y de Júpiter, al mismo tiempo que limitaba la estación y la duración. En adelante, esos astros rebeldes, siendo esclavos del cálculo, no podían permitirse más que extravíos periódicos.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XIII

ESTABILIDAD DEL SISTEMA SOLAR

Forma de las órbitas.—Cuando hubo reconocido Laplace que la longitud de las órbitas planetarias eran invariables, se preguntó si esas órbitas conservaban también la misma anchura; ó si, al contrario, cambiaban de forma ya sea para redondearse en círculo perfecto, ó para aplastarse.

Importaba saber sobre todo si la anchura de las órbitas podría limitarse mucho. Pues si se realizara esa idea, tarde ó temprano los astros se precipitarían sobre el Sol.

En 1784, probó Laplace que las órbitas planetarias no conservan siempre la misma anchura, pues tan pronto se redondean, como se aplastan, no siendo nunca muy considerables esas deformaciones, y no comprometiendo en nada la estabilidad del sistema solar; las alteraciones se producen muy lentamente, de modo que un período completo abarca centenares de siglos.

Los períodos durante los cuales las órbitas pasan por todas las deformaciones que les son permitidas, no tienen nunca una duración inferior de sesenta mil años.

Actualmente la órbita terrestre se redondea. Se redondeará aún durante veinte y cuatro mil años.

Desde ese momento se aplastará, durante una larga serie de siglos, luego se redondeará de nuevo, y así sucesivamente.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Lentas oscilaciones de los planos de las órbitas.—Todos los planos de las órbitas son poco inclinados sobre el plano del ecuador solar. Y siempre será así. La mecánica celeste demuestra que esos planos, sin tener una dirección invariable, no experimentan más que oscilaciones muy débiles, muy lentas y periódicas.

Dirección de la longitud de la órbita.—La longitud de cada órbita cambia de dirección en el plano de esa curva. La mecánica celeste permite calcular esos movimientos.

Estabilidad del sistema solar.—Gracias á los resultados precedentes, establecidos por primera vez por Laplace, la estabilidad del sistema solar se encuentra demostrada, y el principio de la atracción que se había iniciado como un elemento de desorden, asegura á la máquina del mundo una duración indefinida.

La estabilidad del sistema solar es debida á dos circunstancias: 1.ª, á la forma de la órbita; 2.ª, á la débil inclinación de los planos de la órbita.

¿Pero por qué maravilloso azar se presentan esas dos circunstancias en los movimientos de todos los planetas del sistema solar? La hipótesis *cosmogónica* de Laplace nos dará la explicación de ese fenómeno extraño.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XIV

UNA EMPRESA COLOSAL

Dificultades de la teoría sobre la Luna.—Estaba establecido que el movimiento de los planetas alrededor del Sol, no podía sufrir otras perturbaciones que las periódicas y extremadamente lentas. ¿Era lo mismo para cada sistema de satélite?

De todos los sistemas de satélites, el más interesante para nosotros es el que acompaña la Tierra, aunque no esté compuesto más que de un solo astro, que es la Luna.

Naturalmente se tiene curiosidad de saber si la Luna, alejándose de la Tierra, acabará por abandonarla, ó sí, acercándose á nuestro planeta, se precipitará sobre él y por último, si las dimensiones de su órbita, no experimentarán nunca más que variaciones muy débiles y periódicas.

Desgraciadamente los cálculos relativos al movimiento de la Luna, son muy complicados. La Luna, obedeciendo á la atracción de nuestro globo, describe su órbita alrededor de él. Pero está sometida á la influencia perturbadora del Sol. Por otra parte, esa influencia es considerable, porque el Sol no está muy alejado; y siendo pequeña la masa de la Tierra, la Luna, no recibe de este planeta una impulsión vigorosa, que la defienda enérgicamente contra la acción del Sol. Resulta de ahí que el movimiento de la Luna debe experimentar turbaciones profundas. Entonces se concibe que ese movimiento así desfigurado, no conservando nada de la simplicidad del movimiento

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

elíptico, no pueda ser estudiado más que con la ayuda de los más laboriosos cálculos.

Los satélites de Júpiter.—Los satélites de Júpiter no exigen ni con mucho, un análisis tan completo como la Luna. El astro perturbador, es decir, el Sol, está más lejos de Júpiter y de sus satélites que de la Tierra y de la Luna; y además Júpiter, en virtud de su gruesa masa, ejerce sobre sus satélites una acción enérgica, que la Tierra no puede desarrollar sobre la Luna. Los movimientos de los satélites de Júpiter han sido estudiados por Laplace de un modo magistral, mientras que la teoría de la Luna es aun hoy día del todo incompleta. Así, pues, estamos muy seguros de que los satélites de Júpiter no caerán nunca sobre los habitantes de ese planeta, mientras ignoramos si caerá la Luna sobre la Tierra.

Cantidades de los diversos órdenes.—Para dar una idea más precisa de las dificultades que se encuentran en la teoría de la Luna, vamos á definir las cantidades de los diversos órdenes. Notemos primero que ningún número es pequeño ó grande por sí mismo, sino que tiene para ello que ser comparado con otro. Imaginémos desde luego que, en un cálculo de cierta naturaleza, un millón puede ser mirado como un número pequeño. Se le llamará una cantidad de primer orden. La millonésima parte de esa cantidad será de segundo orden; y la millonésima de la cantidad del segundo orden, se llamará cantidad de tercer orden, y así sucesivamente.

Se ve en esto que, cuando la cantidad del primer orden es muy débil, se pueden descuidar las del segundo, y con más razón las siguientes.

Al contrario, si la cantidad de primer orden tiene un valor relativamente bastante fuerte, no se pueden descuidar más que las cantidades de un orden elevado. Es ese último caso el que se presenta en la teoría de la Luna.

Así es que Laplace en los cálculos de las pertur-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

baciones de la Luna, ha tenido en cuenta las cantidades del primero, segundo y tercer orden.

Empresa de Delaunay.—Pues bien, la teoría de la Luna de Laplace es mirada hoy como insuficiente del todo. Para completar los conocimientos sobre la mecánica celeste emprendió Delaunay su gigantesco trabajo sobre la teoría de la Luna. El primer volumen en que daba cuenta de sus observaciones, vió la luz en 1860. Se sabe que una sola fórmula algebraica ocupa *más de cien páginas.* El segundo volumen ha sido imprimido en 1867. La publicación del tercero ha sido suspendida por la muerte del autor, víctima de un accidente, acaecido en la rada de Cherbourg el 5 de Agosto de 1872. Ese tercer volumen debía contener él solo la reducción de las fórmulas en números.

Para dar una idea de la tentativa de Delaunay, se puede decir que deja detrás de ella, las más grandes empresas industriales de nuestro siglo, por ejemplo, la abertura del istmo de Suez.

Esa última obra, resultante de un número determinado de millones, susceptible de ser llevada á buen fin por todos los ingenieros dignos de ese nombre, no exigía ni el atrevimiento de concepción, ni la indomable tenacidad, ni sobre todo, el vigor intelectual que es necesario para abordar el problema de Delaunay.

Pero la gente no juzga las obras más que por sus resultados tangibles y el filósofo, entregado á sus preocupaciones, desdeña el desengañarla.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XV

¿CAERÁ ALGÚN DÍA LA LUNA SOBRE LA TIERRA?

Una contradicción entre la teoría y los hechos.—Cuando los geómetras del último siglo quisieron estudiar la teoría de la Luna, se encontraron en seguida frente á una dificultad casi insuperable. Por una parte, el cálculo parecía probar que la órbita de la Luna tenía una longitud invariable.

Las observaciones, al contrario, mostraban claramente que la duración de la revolución de la Luna iba disminuyendo y que, por consiguiente, su órbita se hacía cada vez más corta. La cuestión era grave. Se hacía preciso someter á un registro severo los cálculos de la teoría de la Luna, y descubrir la causa de la perturbación observada, viendo si la desigualdad señalada debía producirse indefinidamente y en el mismo sentido, y de ello se deduciría si la Luna, debía tarde ó temprano caer sobre la Tierra. Este era un problema, sobre el cual la Academia de Ciencias llamaba la atención de los geómetras.

Trabajo de Laplace (1787).—Respondiendo Laplace á ese llamamiento, explicó la acelaración del movimiento de la Luna por el aumento de *anchura* que experimenta la órbita terrestre. Ya hemos dicho que esa órbita debe redondearse aún durante veinticuatro mil años, después de lo cual se aplastará para redondearse de nuevo, y siempre así en la serie de los siglos. Probaba Laplace que, cuando la órbita terrestre se redondea, el movimiento de la Luna debe ace-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

lerarse, mientras que ese movimiento es más lento cuando la órbita terrestre se aplasta.

Era pues permitido suponer que la aceleración de la Luna tenía por única causa el cambio de forma sufrido por la órbita terrestre.

Y desde entonces, era preciso admitir que el movimiento de la Luna debía alternativamente acelerarse y disminuir, no teniendo que temer la caída de nuestro satélite.

La contradicción subsiste.—No iban las cosas muy mal. Los sabios tenían confianza, el público se inquietaba muy poco por lo que podía suceder en algunos millones de años; y celebraba Arago pomposamente las maravillas de la mecánica celeste, cuando se dió cuenta de que la aceleración del movimiento de la Luna era demasiado rápida para que la explicación dada por Laplace fuera satisfactoria.

La Academia de Ciencias de París hizo un llamamiento á los sabios del mundo entero y se hicieron detenidos estudios sin solventar la cuestión.

Un cálculo de Delaunay.—Calcula Delaunay á su vez la rapidez que imprime en el movimiento de la Luna el cambio de forma de la órbita terrestre.

El 25 de Abril de 1859 comunicó á la Academia de Ciencias el resultado de su cálculo. ¡Había tenido en cuenta hasta las cantidades del octavo orden! Doce años más tarde, repite este cálculo Delaunay aunque bajo otra forma. Esta vez empleaba fórmulas del capítulo X de su teoría del movimiento de la Luna, y tenía en cuenta ciertas cantidades del noveno y hasta del décimo orden: encontraba así un número un poco más fuerte que la primera vez (Academia de Ciencias, sesión del 25 de Abril de 1871).

Los resultados de esos dos cálculos no concuerdan con los datos de la observación. Consultando las tablas de las antiguas elipses, se comprueba claramente que la aceleración efectiva del movimiento de la Luna, es sobre poco más ó menos el doble de la que

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Delaunay ha calculado con arreglo á la teoría de Laplace.

Así pues la Luna parece burlarse de los esfuerzos de los geómetras.

Tentativa de Puiseux.—Se le preguntó á Puiseux si el aceleramiento de los movimientos de la Luna no sería debido á las lentas oscilaciones del plano de la órbita terrestre.

En todos los cálculos sobre la mecánica celeste, la orientación del plano de la órbita terrestre desempeña el mismo papel que su anchura, anchura cuya influencia había sido revelada por Laplace. Cuando no se tiene cuenta más que de las cantidades del primer orden, se ve sencillamente que las oscilaciones del plano de la órbita terrestre, no ejercen ninguna influencia en el aceleramiento del movimiento de la Luna. Pero Puiseux, profesor de mecánica celeste en la Sorbonne, discípulo y sucesor de Cauchy, sabía mejor que nadie, que en la teoría de la Luna, las inducciones prematuras pueden ser peligrosas. Se propuso llevar las experiencias bastante lejos para que no quedase ninguna duda sobre la influencia de las oscilaciones del plano de la órbita, ó de la aceleración del movimiento de la Luna.

La memoria de Puiseux presentada en la Academia de Ciencias, fué objeto de una información leída por Delaunay, en la sesión del 17 de Enero de 1870.

No entraremos en detalles sobre la marcha que ha seguido el autor para alcanzar el fin propuesto. Nos contentaremos con decir que, en los largos y penosos cálculos que tuvo que hacer, se encuentra la limpieza y la precisión que son el carácter distintivo de sus trabajos. En cuanto al resultado, es el mismo que ya había alcanzado limitándose á las primeras aproximaciones: el cambio de posición del plano de la eclíptica en el espacio, no tiene ninguna sensible influencia sobre la aceleración del movimiento de la Luna. Aunque sea negativa, esa consecuencia, no deja de

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

ser de gran importancia, y todos los amigos de la ciencia se felicitarán de que la duda que podía quedar sobre ese punto sea completamente desvanecida.

Proponemos á la Academia que la memoria de M. Puiseux se inserte en la *Colección de los sabios extranjeros.*

Así pues, con arreglo al trabajo de Puiseux, la segunda mitad de la aceleración del movimiento de la Luna no puede explicarse más que por el balance secular del plano de la órbita terrestre.

Todas las tentativas que se han hecho para encontrar la causa de esa aceleración han sido hasta hoy infructuosas.

Conclusión.—A esta pregunta: ¿Caerá la Luna algún día sobre la Tierra? el geómetra no puede dar más que una contestación: Yo no lo sé.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XVI

UN CÁLCULO DE LAPLACE

Distancia entre la Tierra y el Sol.—Cuando se conoce una de las dimensiones del sistema solar, todas las demás se deducen por simples medidas de ángulos; es una aplicación del principio geométrico de la similitud. Con arreglo á esto se ve, cuánto importa conocer exactamente la distancia que media entre dos astros, tales como la Tierra y el Sol.

Tienen los astrónomos varios métodos para valuar la distancia del Sol á la Tierra. Los lectores que quisieran conocerlos con alguna precisión podrían leer el «Anuario de Bureau de las Longitudes» de 1866. No entrando semejante estudio en el cuadro que nos hemos trazado, nos limitaremos, á decir que el más perfecto de esos métodos consiste en observar los tránsitos de Venus sobre el disco del Sol.

Desgraciadamente, esos fenómenos son raros.

Dos tránsitos se siguen muy de cerca, con ocho años de intervalo.

Es eso que los dos últimos se han verificado el 8 de Diciembre de 1874 y el 6 de Diciembre de 1882. Pero para que ese fenómeno se reproduzca, han de transcurrir 108 años y medio ó 121 años y medio.

Así pues, los dos que han precedido al de 1874 datan de 1761 y 1769.

Ya se ve, que solamente de siglo en siglo pueden los astrónomos observar el tránsito de Venus sobre el disco del Sol. Es verdad que á ocho años de distancia se produce el mismo fenómeno. Pero de esas dos observaciones consecutivas, la primera no es más que una repetición general.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

La raridad de los tránsitos de Venus sobre el disco del Sol no es el único defecto del método astronómico al cual han dado nacimiento.

Para que ese método dé buenos resultados, es indispensable observar el fenómeno en varios puntos del globo, alejados los unos de los otros.

Es preciso organizar costosas expediciones científicas y enviar á cada estación hábiles observadores. Puede decirse que el concurso de todas las naciones civilizadas puede sólo asegurar el éxito de tal empresa.

Método extraído de la mecánica celeste.—Así pues la Astronomía, no puede revelarnos la distancia que media entre el Sol y la Tierra. Al contrario, la mecánica celeste, permite deducirlas con un simple cálculo.

Se comprende que las perturbaciones introducidas por la acción del Sol en el movimiento de la Luna, deben ser más ó menos grandes según lo cerca que se halle el Sol de nuestro planeta y por lo tanto del satélite que le acompaña. Así la importancia de las desigualdades de la Luna y el tamaño de la distancia que separa la Tierra del Sol, tienen una dependencia mutua. La mecánica celeste da á conocer esa dependencia y permite calcular uno de los elementos, cuando se conoce el otro.

Las observaciones astronómicas ordinarias nos informan exactamente sobre las desigualdades de la Luna. Luego es posible calcular la distancia de la Tierra al Sol.

Tal es el método seguido por Laplace. ¿Es el número calculado por ese geómetra el más exacto de todos los calculados por los astrónomos observadores? La cosa no es imposible.

Sería chistoso, decía Lagrange, que los astrónomos se permitiesen sacar de sus anteojos, números diferentes de los que hemos calculado.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XVII

URANO

Descubrimiento de Galileo.—Galileo, ya célebre á principios del siglo XVII, sabe que un holandés ha construído un instrumento que presta á la vista un poder extraordinario, y él á fuerza de paciencia y habilidad, consigue un telescopio que aumenta considerablemente el tamaño de los objetos.

Armado de ese instrumento, observa la Luna. ¡Cuál no fué su extrañeza! Percibe en ese astro llanuras y montañas. Siempre en guardia contra las ilusiones de sus sentidos, duda de lo que ven sus ojos. Pero, reparando que las sombras de las montañas de la Luna cambian de sitio, creciendo y disminuyendo según la dirección de los rayos solares, se ve obligado á rendirse á la evidencia.

Seguidamente observa Galileo el Sol, adaptando á su telescopio un cristal negro, para debilitar el resplandor de la luz. Percibe manchas sombrías sobre el disco brillante. Después comprueba que las manchas, se han cambiado todas en el mismo sentido. No más duda, el Sol gira sobre sí mismo.

El 8 de Enero de 1610, dirige Galileo su telescopio hacia el planeta Júpiter. Descubre un disco bastante ancho, de un brillo plateado, atravesado por tiras sombrías. Muy cerca brillan estrellas invisibles á simple vista. Releva Galileo el sitio de ellas, para seguir mejor la marcha del planeta en el cielo. A la noche siguiente vuelve á emprender sus observacio-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

nes. Los astros de la víspera habían cambiado de posición, los unos respecto de los otros.

¡Esos astros no eran estrellas, sino lunas! ¡El telescopio acababa de revelar los satélites de Júpiter! Presto Galileo observa á Venus, y descubre que ese planeta tiene fases como la Luna.

En fin nota cierta cosa extraña en Saturno que no sabe definir. Pero no tarda Huygens en manifestar que ese aspecto raro es debido á la presencia de un anillo que rodea el planeta.

Como se ve, las revelaciones más inesperadas se suceden sin interrupción. Todos los descubrimientos que acabamos de enumerar y que debían seguir de cerca á la construcción del primer telescopio, han hecho popular el nombre de Galileo, sin añadir mucho al mérito del filósofo florentino.

Descubrimiento de Urano.—El descubrimiento de los planetas invisibles á simple vista estaba subordinado á muchos azares; y se explica sin trabajo que, durante más de *ciento cincuenta años* no haya revelado el telescopio la existencia de ninguno de esos astros. El 13 de Marzo de 1781 observa William Herschell una pequeña estrella que entra en el radio de acción de su telescopio. Cree notar que tiene el aspecto de un disco pequeño y anota su posición respecto á las estrellas conocidas que le cercan. Al día siguiente, procura ver *su* estrella. ¡Ha cambiado de lugar! Es pues un astro errante.

¿Sería un planeta? Anuncia Herschell que ha descubierto un cometa, y en seguida los calculadores procuran determinar la órbita del astro. Una dificultad les detiene: ninguna órbita alargada puede dar cuenta del movimiento observado. Se prueba una elipse redondeada. El éxito es completo. El nuevo astro era pues un planeta. Se le dió el nombre de Urano.

Es el planeta Urano por lo menos 80 veces mayor que la Tierra. Su órbita es casi circular, poco inclinada sobre la órbita de la Tierra, y aproximada-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

mente, dos veces mayor que la órbita de Saturno, la cual hasta entonces había sido la mayor de todas. El movimiento era directo, como el de los planetas visibles á simple vista.

Una idea de Képler.—Se sabe que Képler fué ayudado en el descubrimiento de su tercera ley, por la consideración de que el tamaño de la órbita de un planeta parecía regular la duración de su revolución. Fué siempre guiado ese gran filósofo por un instinto maravilloso. Es así que comparando con cuidado las distancias de los planetas al Sol, fué llevado á una conclusión de las más atrevidas. Notó que los rayos de las órbitas parecían aumentar de un planeta á otro, siguiendo una ley simple, y que sin embargo, había un intervalo demasiado grande entre las órbitas de Marte y de Júpiter, encontrándose así violada la ley. Además, á menos de suponer rota la armonía del sistema solar, era preciso admitir la existencia de un planeta invisible, circulando entre las órbitas de Marte y de Júpiter.

Ley de Bade.—Buscaron los astrónomos la ley supuesta por Képler. El profesor Titius tuvo el mérito de descubrirla; y el profesor Bade, director del observatorio de Berlín, tuvo la gloria de aplicarla su nombre.

He aquí en qué consiste la ley de Bade:

Se parte del número 3, que se dobla varias veces, hasta que se llega á 192. Se consigue así una primera serie de números 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192.

Se añade 4 á todos esos números, lo que da una nueva serie, á la cabeza de la cual se coloca el número 4. Se consigue así: 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196. Se dividen entonces todos esos números por 10, lo que dará: 0'4, 0'7, 1, 1'6, 2'8, 5'2, 10, 19'6. Considerando entonces esa última serie, se le tacha el quinto número, á saber: 2'8; y se escribe debajo de los otros los nombres de los planetas por orden, alejándose del Sol,

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Si se coge entonces como unidad de longitud el rayo de la órbita terrestre, el número escrito encima de cada planeta representará su distancia del Sol.

Llega á ser verosímil la hipótesis de Képler.—Así pues, la ley entrevista por Képler adquiere una forma precisa; y la excepción señalada por ese gran astrónomo se traducía por la inutilidad del quinto número de la serie. ¿Era preciso admitir, como él, la existencia de un planeta desconocido circulando entre las órbitas de Marte y de Júpiter á una distancia del Sol representada por el número tachado? El carácter matemático de la ley de Bade parecía justificar esa hipótesis; y hacia el fin del siglo XVIII, la mayor parte de los sabios se habían adherido á la opinión de Képler.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

NORMAL DE MAESTROS BADAJOZ

CAPITULO XVIII

CERES

El congreso de Lilienthal.—En 1800, la existencia del planeta hipotético de Képler fué discutido en Lilienthal, en una reunión de astrónomos. Se convino en que se buscaría el planeta desconocido con una perseverancia notable. Pero como observaciones hechas al azar hubieran quedado probablemente infructuosas, se acordó aunar todos los esfuerzos y someter todas las pesquisas á una disciplina rigurosa.

El zodíaco.—Para exponer claramente el método que fué adoptado, es necesario definir esa faja del cielo que los astrónomos llaman Zodíaco. Los planos de las órbitas planetarias están poco inclinados los unos sobre los otros. Resulta, de ahí, que el Sol y los planetas, en sus movimientos aparentes, respecto á la posición de las estrellas fijas, siguen rutas muy vecinas. Esas diversas rutas están pues contenidas en una faja bastante estrecha. Es esa faja que se llama Zodíaco. Contiene el Zodíaco doce constelaciones, ó grupos de estrellas, poco más ó menos regularmente distanciadas. Son las doce constelaciones enumeradas por orden en dos versos de Ausone.

El método adoptado.—Supusieron los astrónomos de Lilienthal, que el planeta desconocido, debía viajar en el Zodíaco, si no durante toda su carrera como los otros planetas, al menos durante la mayor parte. Dividieron pues el Zodíaco en veinticuatro compartimientos iguales, y distribuyeron esos compartimientos entre un número igual de observadores.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Tenía cada observador un plano de la región del firmamento, cuyo estudio le había tocado en suerte, y el cual había sido trazado con arreglo á los mejores catálogos. El observador miraba al *cielo* con el telescopio y lo comparaba con su carta.

¿Veía en el radio de su instrumento una estrella no representada en el papel? Era un astro sospechoso. Los días siguientes, observaba atentamente ese astro, para procurar sorprenderle en flagrante delito de *vagancia*. Si ese astro no se cambiaba, era una estrella fija. El observador la apuntaba en su carta. Luego volvía á empezar.

Encuentra Piazzi un planeta.—Piazzi, de Palermo, era uno de los observadores ocupado en esa investigación. La noche del 1.º de Enero de 1801, vió el astrónomo una estrella en la constelación de Toro; consulta su catálogo y el de Mayer. Esa estrella no se encuentra allí. Al día siguiente busca Piazzi la estrella. Se da cuenta de que ha cambiado un poco de posición. Los días siguientes observa con cuidado la marcha de ese astro errante. Pero de repente cae enfermo Piazzi, llega el mes de febrero, se halla el nuevo astro poco más ó menos sobre las mismas estrellas que el Sol, y se pierde entre el resplandor de la luz solar.

Era tal en esa época la dificultad de las comunicaciones, que en el momento en que el astro de Piazzi se hacía invisible, no estaba aún su existencia indicada á los astrónomos.

Es el planeta de Képler.—Sin embargo, acabó la noticia por extenderse. Los calculadores se pusieron á la obra, y, con arreglo á las observaciones de Piazzi, determinan los elementos del nuevo astro. Observan que su órbita es casi circular y que está comprendida entre las órbitas de Marte y de Júpiter. Era pues un planeta ese astro; ¡el planeta adivinado por Képler!

Se perdió el planeta.—Siendo conocidos los elementos del planeta, permite el cálculo trazar su ruta

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

á través del cielo, y de anotar día por día su posición verdadera. En fin llega el día en que según los cálculos, el planeta ya se habrá alejado lo bastante del Sol para ser visible.

Se dirigen los telescopios hacia el punto designado. ¡Nada!

Los observadores del mundo entero, buscan el planeta perdido; son inútiles todos los esfuerzos.

¿Cómo encontrarlo?—Mientras los profanos reían de la mala ventura de los observadores, éstos se aplicaban á descubrir la causa de la desaparición del planeta. Esa causa fué bien pronto conocida. Las observaciones de Piazzi no habían durado ni un mes. Esas observaciones, así estrechadas en un tiempo demasiado corto, se prestaban bastante mal al cálculo de los elementos del planeta. Era probable que los calculadores no hubiesen deducido de esos datos incompletos más que resultados imperfectos. Por consiguiente, la marcha del planeta á través del cielo debió estar mal determinada; y no tenían los observadores ningún guía seguro para orientar sus telescopios.

He ahí porque no se encontraba el planeta perdido.

Ya se ve cual era la dificultad. De un lado las investigaciones no podían ser fructuosas más que á condición de ser dirigidas por el cálculo; y por otra parte el cálculo había sido hasta entonces impotente para dirigir las averiguaciones.

Un cálculo de Gauss.—Entre tanto, descubre un joven geómetra, un método de cálculo que permite conocer con exactitud los elementos de un planeta, hasta en el caso en que ese astro no haya sido observado más que durante un tiempo bastante limitado; aprovecha la ocasión que se ofrece y prueba su método sobre el planeta perdido. Está terminado por fin el cálculo; el lugar del planeta es también determinado. Dirige el joven sabio, el telescopio hacia el

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

punto deseado. Mira, ¡y contempla el planeta de Piazzi!

¡Ha encontrado ese nuevo mundo, perdido desde hacía un año!

El calculador que acababa de señalarse con ese éxito, debía ser un día uno de los mayores geómetras de nuestro siglo: se llama Gauss.

Ceres.—Recibió el nuevo planeta el nombre de Ceres. Se pusieron los astrónomos á observarle durante un tiempo larguísimo, á fin de calcular los elementos del nuevo astro con la mayor exactitud.

Se distinguía el planeta Ceres de los planetas conocidos hasta entonces, por sus cortas dimensiones, por el ángulo considerable que describía el plano de su órbita con el plano de la órbita terrestre, por una atmósfera muy densa de la cual parecía rodeado.

La distancia que le separaba del Sol, estaba representada por el número 2'8, como lo exigía la ley de Bade.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XIX

PALLAS

Descubrimiento de Pallas.—Mientras se felicitaban los astrónomos por ver establecida la armonía en el sistema solar, el doctor Olbers, de Baemes, creaba otro problema, descubriendo un nuevo planeta, que recibió el nombre de Pallas (28 de Marzo de 1802).

Tenía el nuevo planeta sobre poco más ó menos el volumen de Ceres. Era su órbita bastante alargada. El plano de esa órbita describía un ángulo bastante débil con el plano de la órbita terrestre. En cuanto al radio de su órbita, era poco más ó menos el mismo que el radio de la de Ceres.

Esta última circunstancia, que estaba en contradicción manifiesta con la ley de Bade, causó la más viva extrañeza.

Hipótesis de Olbers.—Para explicar esta extraña particularidad, se hizo Olbers la hipótesis siguiente:

1.º Un planeta cuya dimensión es comparable á la de la Tierra, ha debido circular anteriormente á nuestra época á una distancia del Sol representada por el número 2'8.

2.º Una conmoción interna ha quebrado ese planeta en fragmentos, los cuales obedeciendo á la vez á su velocidad original y á la atracción del Sol, se pusieron á describir cónicos teniendo por hogar al astro solar.

3.º Ceres y Pallas son dos fragmentos de esos.

Examen de esa hipótesis.—Para saber si esa hipó-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

tesis merecía alguna atención, era preciso calcular la fuerza de proyección que había sido necesaria para dar lugar al movimiento elíptico de Ceres y de Pallas; además era preciso preguntarse si esa fuerza podía ser razonablemente atribuída á una conmoción.

El cálculo de la fuerza de proyección, dimanaba de la interpretación del problema de los dos cuerpos. No era pues difícil ese cálculo

No desdeña Lagrange el hacerlo y he aquí los resultados obtenidos. Una fuerza ciento cincuenta y seis veces mayor que la del cañón hubiera producido un movimiento parabólico retrógrado. Una fuerza ciento una vez mayor que la del cañón hubiera tenido por consecuencia un movimiento parabólico directo. Una fuerza veinte ó treinta veces mayor que la del cañón, había debido bastar para dar lugar á los movimientos elípticos de Ceres y de Pallas. Tales fueron las conclusiones de Lagrange.

¿Podía la conmoción sospechada por Olbers dar nacimiento á fuerzas veinte ó treinta veces mayores que la fuerza del cañón? No era un disparate creerlo; y por lo tanto era digna de atención la hipótesis.

Quedaban por examinar las consecuencias, para saber si estaban conformes, ó desmentidas por los hechos.

1.ª consecuencia de la hipótesis.—No tardó una de esas consecuencias en presentarse al espíritu de Olbers. Designemos con la letra A el punto del espacio donde se verificó la conmoción. Los diversos fragmentos deben describir diferentes órbitas. Pero todas esas órbitas deben evidentemente pasar por el punto A. Así pues cada fragmento ha de volver periódicamente al punto A. Verdaderamente, el período no es el mismo para cada uno de ellos, puesto que depende de la longitud de la órbita descrita.

Se conocen ya dos de los fragmentos: Ceres y Pallas, así como igualmente sus órbitas. Estas órbitas se dividen en dos puntos, de los cuales está una en

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

la constelación de la Virgen y la otra en la constelación de la Ballena. Uno de esos dos puntos era el punto A.

De aquí deducía Olbers que, si el planeta primitivo se había dividido en más de dos fragmentos, lo que era bastante probable, los otros fragmentos debían pasar periódicamente por un punto conocido de la Virgen ó en un punto conocido de la Ballena. El medio de descubrir nuevos mundos, era pues, dirigir los telescopios hacia uno ú otro de dichos astros. Inspiraba tanta confianza la teoría de Olbers que no se titubeó para escudriñar las regiones del cielo que había designado. No fueron vanas esas pesquisas. El 2 de Septiembre de 1804, descubrió M. Harding, de Lilienthal, un nuevo y pequeño planeta. Se le llamó Juno. En fin, el descubrimiento de Vesta (29 Marzo de 1807) afirmó la hipótesis de Olbers.

Durante cuarenta años, ningún otro pequeño planeta fué señalado. Pero desde el descubrimiento de Astrée, por M. Encke (8 de Diciembre de 1845), el número de los planetas conocidos aumenta todos los años.

Actualmente ese número es superior á ciento. Tienen todas las órbitas, su radio medio comprendido entre 2'2 y 3'36. Con arreglo á Leverrier, la suma de las masas de los planetas conocidos ó desconocidos, que circulan alrededor del Sol entre las distancias 2,2 y 3,16, no puede sobresalir de la cuarta parte de la masa de la Tierra. El sabio geómetra ha llegado á esa conclusión, considerando las perturbaciones experimentadas por el planeta Marte *(Manifiesto de la Academia de Ciencias, Noviembre de 1853)*.

Segunda consecuencia.—Otra consecuencia de la hipótesis de Olbers, es que los fragmentos de mayor masa han debido seguir sobre poco más ó menos la misma ruta del planeta primitivo, es decir, han debido describir órbitas poco inclinadas sobre la órbita terrestre, mientras que los fragmentos más ligeros

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

han sido lanzados sobre órbitas inclinadas de todas las maneras. Esa consecuencia de la hipótesis de Olbers se encuentra confirmada por las observaciones.

Tercera consecuencia.—Si la hipótesis de Olbers es la expresión de la verdad, si un grueso planeta se ha roto en fragmentos en una época muy lejana de nosotros, la conmoción ha debido dar nacimiento á corpúsculos de dimensiones del todo reducidas. Esos corpúsculos, dada la extrema pequeñez de su masa, deben describir órbitas muy diversas, cuya mayor parte tienen al Sol por hogar. Pero á causa de su pequeño volumen, son invisibles al telescopio.

Así pues, una consecuencia de la hipótesis de Olbers, es que fragmentos invisibles al telescopio, deben circular en todos sentidos á través del sistema solar. Parece que semejante consecuencia, escapa al registro de la observación, ya que los corpúsculos en cuestión desafían los mejores instrumentos de óptica. Pero hay que notar, que esos corpúsculos pueden estar á veces en unas condiciones bastante favorables para manifestar su existencia. Y, en efecto, se revelan á nuestros ojos bajo dos formas diferentes: 1.º, como *estrellas brillantes*, 2.º, como *bólidos ó aerolitos.*

Conclusión. — Habíamos llegado en los capítulos precedentes, á la conclusión de que el sistema solar, respecto á los cálculos de Laplace, está exento de todo trastorno.

Debemos ahora afirmar que ese sistema no queda menos expuesto á accidentes locales que merecen ser señalados, tal como la caída de los bólidos sobre nuestro globo. La hipótesis de Olbers en particular, es de naturaleza que inspira inquietud respecto á la suerte de los nuevos planetas. ¿Quién se atreverá á afirmar que la Tierra no volará nunca en astillas? Por más que hagan los sabios, el porvenir les ocultará siempre desconocimientos formidables. Jamás hallarán sus ojos la verdad exacta. ¿Deben por eso abandonar sus pesquisas? No.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

¡Si se desplomara el mundo, dice un contemporáneo, sería aún preciso filosofar! Y creo que si algún día fuese víctima nuestro planeta de un cataclismo, en ese momento formidable se encontrarían hombres que en medio del trastorno y del caos, tendrían un pensamiento científico, desinteresado, y olvidando su próxima muerte, discutirían el fenómeno, para hacer deducciones sobre el sistema general del universo.

(Ernesto Renan, *Cuestión contemporánea*).

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO IV

El descubrimiento de Neptuno

CAPITULO XX

UN PROBLEMA DIFÍCIL

Elementos de Urano.—En cuanto hubo descubierto William Herschell el planeta Urano (1781), los astrónomos observaron su marcha, y apoderándose los geómetras de los resultados obtenidos por los astrónomos calcularon todos los elementos de la órbita del planeta. Desgraciadamente la revolución de Urano dura aproximadamente ochenta y cuatro días. No habían observado los astrónomos más que una muy pequeña parte de la órbita del astro, y no teniendo los geómetras á su disposición más que observaciones insuficientes, no habían podido hacer más que cálculos imperfectos. Los elementos de Urano no eran pues conocidos con exactitud.

Un método ingenioso.—En vez de esperar pacientemente á que el porvenir trajese á los calculadores observaciones convenientes, es decir, separadas las unas de las otras por un tiempo bastante largo, se resolvió dirigir esas observaciones hacia el pasado. Era, en suma, el planeta Urano bastante bien conocido para que fuera posible trazar groseramente su ruta á través del Cielo, de seguir poco más ó menos

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

su marcha á lo largo de esa ruta durante todo el siglo que había precedido á su descubrimiento. Durante ese siglo, debía haber sido observado Urano y anotado en el catálogo como estrella fija. Era pues necesario coger los catálogos redactados cien años atrás y buscar en ellos las estrellas situadas en la ruta trazada; escoger de entre ellas las que ocupaban el lugar asignado por el cálculo á Urano, y no conservar entre esas últimas, más que aquellas de las cuales, el telescopio aprobase la desaparición. Era permitido esperar, que después de esas sucesivas eliminaciones, quedara aún cierto número de astros.

Si no era fallida esa esperanza la identidad de todos esos astros con el planeta Urano era evidente. Se estaba entonces en posesión de observaciones precisas hechas sobre Urano en fechas bien conocidas y muy alejadas las unas de las otras. Ese fué el método seguido, el cual tuvo un éxito completo. No se encontraron menos de 19 observaciones, hechas por cuatro astrónomos diferentes.

Desgracia de Bouvard. — Contando Bouvard con esos nuevos datos, se propuso determinar con exactitud los elementos de Urano; conseguidos esos elementos, se proponía, calcular de antemano los movimientos del planeta, creando tablas escritas. Pero sus primeros pasos, fueron detenidos por una dificultad insuperable. Ninguña elipse podía pasar á la vez por las posiciones que se habían observado desde Herschell y por las que se habían revelado en los catálogos. Sin duda estaba Urano turbado por Júpiter y Saturno, y su órbita, extremadamente atormentada, no se parecía lo suficientemente á ninguna elipse.

Expediente de Bouvard.—Dejando Bouvard al porvenir el cuidado de aclarar esa cuestión, determina los elementos de Urano por las únicas observaciones hechas desde Herschell. Se sirve luego de esos elementos imperfectamente determinados para construir sus tablas del movimiento de Urano. Tenían esas ta-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

blas un vicio de origen; y aun que en ellas figuraban las perturbaciones introducidas en la marcha de Urano por Júpiter y Saturno, sin embargo, fueron acogidas con cierta desconfianza.

En efecto, bien pronto, prueba la observación que la marcha de Urano no estaba conforme á las previsiones de las tablas.

Un planeta desconocido.—Pero cuando se notó el tamaño y la naturalèza de los descartes que se manifestaban entre los resultados dados por las observaciones y los resultados indicados por las tablas, la gente se sorprendió. Así fué que en 1838, un gran astrónomo inglés, M. Airy, dice que según sus observaciones, está Urano á 60 radios terrestres de la ruta que le trazaban las tablas de Bouvard. Era precisamente una distancia igual á la que media entre la Tierra y la Luna. No se podía apenas admitir que Bouvard hubiese cometido semejante error, á pesar de los elementos tan imperfectos con que había realizado sus trabajos.

Pero he aquí otra cuestión mucho más extraña. Según las observaciones de M. Airy, se apartaba Urano de su ruta elíptica, *alejándose* del Sol, mientras que la acción de todos los otros planetas conocidos debían tender á *aproximarlo* á ese astro.

Ese último hecho no dejaba ninguna duda. No se podían explicar los *descartes* de Urano más que admitiendo la existencia de un planeta desconocido que, por el momento, alejaba á Urano del Sol.

Explicación del problema.—El problema siguiente preocupó á los geómetras. Se cree que las perturbaciones producidas en la marcha de Urano se deben á un planeta desconocido; así se debe determinar el sitio de ese planeta en un momento dado, como igualmente los elementos de su órbita. Ya se ve; la cuestión ordinaria de mecánica celeste ha sido anulada. En vez de buscar las perturbaciones producidas por un astro del cual se conocen los elementos, era pre-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

ciso deducir de las perturbaciones conocidas, los elementos del astro perturbador. En vez de ir de la causa al efecto, se trataba de llegar del efecto á la causa.

Leverrier.—No era ciertamente un problema fácil el calcular las posiciones sucesivas de un astro, con el solo conocimiento de las turbaciones que provoca en el sistema solar. Un joven geómetra francés, Leverrier, tuvo la gloria de resolverlo. Era ya conocido Leverrier por sus trabajos notables sobre diversas cuestiones de la mecánica celeste y en esta cuestión impulsado por Arago, usó de todos los recursos del análisis para descubrir á los observadores la marcha del planeta desconocido.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXI

EXAMEN DEL PROBLEMA DE LEVERRIER

No era nuevo ese problema.—El problema de Leverrier no era del todo nuevo. Ciertas irregularidades inexplicables, observadas en el movimiento de Saturno, habían hecho sospechar la existencia de Urano. Verdaderamente Herschell tuvo la buena fortuna de prevenir á los calculadores y de ver á Urano en el campo de su telescopio (1781). Pero estaba demostrado que el primer planeta descubierto desde Newton había sido señalado, ya que no determinado, por la teoría de las perturbaciones.

No fué la teoría de las perturbaciones de ninguna utilidad para la investigación de los pequeños planetas. De ningún modo hay que extrañarse de ello.

Cada uno de esos astros tenía una masa muy débil, de suerte que su acción perturbadora no podía manifestarse por efectos decisivos. Esa acción no daba lugar más que á turbaciones insensibles, incapaces de señalar ó de caracterizar al astro perturbador.

Pero pronto afirma claramente la geometría su poder. Se sabe que en 1759, la época del paso del cometa de Halley había sido determinada por Clairant con un error de un mes aproximadamente. El paso siguiente se realizó en 1835.

Esta vez, el instante de la vuelta al perihelio había sido calculado con más exactitud y la marcha del astro había sido fijada de antemano con el mayor cuidado. Además habían afirmado los geómetras que llegaría un día *en que el atento estudio de las per-*

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

turbaciones del cometa de Halley permitiría descubrir á los planetas que estuvieran escondidos en las profundidades de los cielos.

Era, el problema de Leverrier, con cierta diferencia, que las perturbaciones sufridas por el cometa de Halley reemplazaban las perturbaciones sufridas por el planeta Urano.

Plano de la órbita del planeta desconocido.—El problema de Leverrier, aunque muy difícil, era más determinado de lo que parece de momento.

Notemos en primer lugar que el planeta desconocido, por las mismas turbaciones que producía, se anunciaba como si tuviese una masa bastante considerable. Luego todos los planetas conocidos tenían sus órbitas sobre poco más ó menos en un mismo plano. Se podía, pues, suponer, para una primera aproximación, que la órbita del planeta desconocido, estaba en el mismo plano que la órbita de Urano.

Forma de esa órbita.—En segundo lugar, todas las órbitas de los grandes planetas conocidos, eran casi circulares. Se podía admitir sin temeridad que sucediera lo mismo respecto al planeta desconocido. De ese modo, había razón para suponer, en un primer cálculo, que la órbita del planeta desconocido era un círculo.

Diámetro de la órbita.—Una primera pregunta se ofrecía entonces al espíritu: ¿Cuál es el diámetro de esa órbita? En otros términos, ¿cuál es la distancia que separa al planeta desconocido del Sol? La naturaleza de las perturbaciones sufridas por Urano indicaba claramente que la órbita del planeta desconocido era mayor que la de Urano. Suponiendo entonces que el planeta que turbaba á Urano era el más aproximado del Sol, en medio de los que estaban más alejados que Urano, la ley de Bade indicaba por el diámetro de su órbita el número 38'6. Pero como la ley de Bade no es más que una ley empírica, y por otra parte nada probaba que entre los planetas des-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

conocidos más alejados del Sol que Urano, el planeta buscado fuese el más cercano al Sol, el número 38'6 no era rigurosamente exacto.

No es difícil comprender cómo se podía encontrar exactamente la distancia del Sol al planeta desconocido. Supóngase la órbita del planeta buscado, ligeramente mayor que la de Urano; el planeta desconocido *alzará* mucho más sobre Urano que sobre Saturno. Imaginémonos por el contrario, la órbita del planeta buscado extremadamente mayor: entonces el planeta desconocido obrará poco más ó menos lo mismo sobre Saturno que sobre Urano. Ya se ve, el planeta desconocido obra á la vez sobre Urano y sobre Saturno, y la relación entre esas dos acciones depende del diámetro de la órbita del planeta buscado. Como por otra parte la observación da á conocer esa relación, la mecánica celeste debe calcular el diámetro, es decir la distancia del Sol al planeta desconocido.

Una vez encontrada esa distancia, la tercera ley de Képler daba la duración de la revolución.

Lugar del planeta en el cielo en un día determinado.—Como el movimiento era supuesto en forma circular, exigía la ley de los aires que aquél fuese uniforme. Quedaba por conocer ahora que se conocía el círculo descrito,—la naturaleza uniforme del movimiento y la duración de la revolución; así faltaba determinar en una fecha dada, el lugar del planeta sobre su órbita.

Una vez resuelta esta última cuestión nada más fácil que seguir día por día la marcha del astro.

Pero, ¿cómo encontrar en una fecha dada el lugar del planeta sobre su órbita? La mecánica celeste permitía resolver esta cuestión. Se sabía que en esa época el astro perturbador alejaba á Urano del Sol. Estaba pues sobre poco más ó menos en la prolongación de una línea recta tirada desde el Sol hacia Urano. ¿Estaba rigurosamente sobre esa línea? En

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

ese caso su único efecto debía ser alejar á Urano del Sol, sin acelerar ni acortar la marcha del planeta. Si por el contrario, el astro perturbador, en sus movimientos directos alrededor del Sol, estaba un poco adelantado sobre Urano, el movimiento de este planeta debía ser más rápido, siendo mayor esta rapidez en cuanto el adelanto del astro desconocido sobre Urano fuese más considerable. En otros términos, el planeta desconocido, atrayendo á Urano, desempeñaba el oficio de *remolcador*. Admitamos que el astro perturbador estuviera retrasado sobre Urano en el movimiento directo. Entonces ese astro debía acortar el movimiento de Urano y en vez de un remolcador sería un *freno*. Se ve que el análisis atento de las perturbaciones sufridas por Urano podía indicar el lugar exacto del astro perturbador.

Una circunstancia feliz.—Hacia el año 1840 el planeta desconocido se hallaba sobre poco más ó menos en la prolongación de una línea tirada desde el Sol hacia Urano. A causa de esta circunstancia, el planeta Urano, en vez de seguir su ruta, se encontraba apartado del Sol, lo que había permitido á M. Airy, afirmar la existencia de un planeta desconocido. Gracias á esa misma circunstancia, se sabía que el planeta desconocido estaba más lejos del Sol que Urano. En fin, se ha visto que la misma circunstancia permitía encontrar con relativa facilidad, la posición exacta del planeta sobre su órbita.

Es preciso deducir de ahí que la época en que se propuso Leverrier resolver su problema, era la más favorable de todas. La circunstancia feliz que caracteriza esa época no se reproduce más que cada 171 años.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXII

SOLUCIÓN DE LEVERRIER

Primera memoria en 1845.—Después de haber indicado la senda que debía conducir á la solución del problema de Leverrier, conviene seguir paso á paso los trabajos de ese gran geómetra.

Primero toma Leverrier la resolución de no aceptar hasta después del examen las conclusiones de sus predecesores. Así fué como el 10 de Noviembre de 1845, presentó en la Academia de Ciencias de París una memoria en la que determinaba exactamente las acciones de Júpiter y de Saturno sobre Urano. Esa determinación había sido bastante difícil de realizar porque los elementos de Urano eran conocidos muy imperfectamente.

Segunda memoria, 1846.—El 1.º de Junio de 1846, presentaba Leverrier á la Academia una segunda memoria en la cual probaba que era imposible precisar las perturbaciones de Urano, á menos de admitir la existencia de un nuevo planeta que, por el momento, estaba sobre más ó menos en la prolongación de una línea tirada desde el Sol hacia Urano.

Hasta entonces, no había hecho Leverrier más que confirmar las conclusiones de los otros geómetras. Pero no se limitaba á eso su memoria.

Partiendo del principio de que la órbita del planeta desconocido estaba poco inclinada sobre las otras órbitas, y que esa órbita podía además ser mirada como un círculo, determinaba Leverrier el radio de ese círculo. Encontraba también el lugar que

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

el planeta desconocido ocupaba, en ese círculo en una fecha dada. Desde luego, podía seguir día por día la marcha del astro buscado. Así es que anunció que, el 1.º de Enero de 1847, debía encontrarse el planeta desconocido á 325 grados de longitud heliocéntrica.

Tercera memoria, 1846.—Ese resultado junto á la consideración de que el planeta desconocido debía, como los otros, moverse en el Zodíaco, hubiera podido bastar en rigor para dirigir las investigaciones de los observadores. Pero se propone Leverrier conseguir resultados más precisos. Por consiguiente trata la órbita desconocida en forma de elipse, y, poniendo en obra todos los recursos de la mecánica celeste, determina el gran eje de esa elipse, su excentricidad, y el lugar que ocupa el planeta en un momento dado. Así posee todos los elementos necesarios para seguir día por día la marcha del planeta desconocido.

Anuncia que, el 1.º de Enero de 1847, el planeta buscado debe encontrarse por 326 grados 52 minutos de longitud heliocéntrica.

No es inútil remarcar que el nuevo análisis de Leverrier daba además á conocer la masa del astro desconocido. Todas esas investigaciones y los resultados á los cuales conducen, forman el texto de una tercera memoria, presentada á la Academia de Ciencias el 31 de Agosto de 1846.

Descubrimiento del planeta.—El 18 de Septiembre de 1846, escribió Leverrier á Galle, de Berlín, rogándole dirigiera su telescopio hacia la región del cielo donde el cálculo señala la presencia del astro. Accede Galle al deseo de su amigo, y desde la primera noche, percibe una estrella de 8.º tamaño que no está señalada por los catálogos (23 Septiembre). No está esa estrella ni á un grado de distancia del lugar que la teoría asigna al planeta buscado. Al día siguiente, se apresura á mirar Galle. ¡La estrella ha

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

cambiado de sitio! La dirección y la velocidad del movimiento concuerdan con los cálculos de Leverrier.

¡Es hallado el planeta!

Cuarta memoria, 1847.—El 5 de Octubre de 1847, presenta Leverrier á la Academia de Ciencias una cuarta memoria, en la cual determinaba la posición del plano de la órbita del planeta.

El registro de las longitudes decidió que el nuevo astro llevaría el nombre de Neptuno.

Solución de M. Adams.—Un joven geómetra inglés, M. Adams, de Cambridge, había intentado resolver el mismo problema de Leverrier.

Desde el año 1841, daba cuenta de sus intenciones al profesor Challis, de Cambridge. Habiendo conquistado todos sus *grados*, en 1843, conseguía míster Adams bien pronto una solución aproximada sobre el problema de Neptuno.

Pero siguiendo sus investigaciones, daba á conocer á Challis los elementos del planeta desconocido antes que esos elementos fuesen *conseguidos* ó por lo menos *publicados* por Leverrier. Desde el 29 de Julio de 1843, comenzaba M. Challis sus observaciones por las indicaciones de M. Adams: había ya registrado un gran número de posiciones de estrellas, cuando, el 1.º de Octubre, supo que Galle había descubierto el planeta el 23 de Septiembre.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXIII

LOS ELEMENTOS DE NEPTUNO

Son inexactos los elementos calculados por Leverrier.—Desde que el planeta Neptuno fué descubierto, fué observado con el mayor cuidado.

Era preciso saber con qué exactitud había Leverrier determinado los elementos. Desgraciadamente, el nuevo planeta, á causa de la gran distancia que le separa del Sol, tiene un movimiento angular muy lento; de suerte, que para determinar esos elementos con alguna exactitud, era indispensable conocer sus posiciones en el cielo á varios años de distancia. Se acordó obrar como se hizo respecto á Urano, es decir, se pensó en interrogar al pasado.

Con ese objeto comenzó M. Adams á calcular aproximadamente los elementos de la órbita de Neptuno, por las observaciones recientes; de ese modo, esperaba poder determinar aunque groseramente la marcha del planeta durante el siglo que había precedido á su descubrimiento. Fué seguido en ese camino por varios calculadores, y especialmente por M. Walker, del observatorio de Wáshington. Calcula M. Walker aproximadamente las posiciones del nuevo planeta desde más de cincuenta años atrás. Luego examina los últimos catálogos, con la esperanza de que Neptuno hubiese sido observado á lo largo de su ruta á título de estrella fija. Y fué despertada su atención por una estrella de octava clase, que Lalande había observado el 10 de Mayo de 1795.

Esa estrella ocupaba sobre poco más ó menos la

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

posición que el cálculo asignaba á Neptuno para aquella época. Así pues supuso M. Walker que la estrella de Lalande era el planeta Neptuno. Para asegurarse de ello, miró al cielo, buscando en vano la estrella de Lalande.

Esa estrella no estaba en su sitio. No era pues más que un astro movible, sin duda el planeta Neptuno.

Fundándose entonces en las observaciones recientes y en las observaciones hechas por Lalande en 1795, pudo M. Walker calcular con precisión, los elementos de Neptuno. ¡Oh sorpresa! la longitud de la órbita así calculada difería notablemente de la que Leverrier había consignado anteriormente al descubrimiento del planeta.

Se recurre al manuscrito original de Lalande. Este astrónomo había observado una estrella de octavo tamaño el 8 de Mayo de 1795. Dos días después, es decir, el 10, no la había encontrado, pero había visto otra del mismo tamaño muy cerca de la primera. Entonces había desechado la observación del 8 como inexacta y conservado la del 10 como dudosa. Evidentemente el astro que Lalande había observado el 8 como el 10, no era otro que el planeta Neptuno. Las deducciones de M. Walker estaban pues justificadas.

Sin embargo, el descubrimiento de Leverrier había de tal modo sorprendido las imaginaciones y sus cálculos inspiraban á los sabios tal confianza, que éstos titubearon mucho tiempo antes de decidirse. Esa indecisión se explicaba además por dos circunstancias: la primera porque el resultado de M. Walker estaba en contradicción verdadera con la ley de Bade y la segunda porque el error de Leverrier en cuanto á la posición del planeta en el firmamento no había sido más que en un grado.

Hoy, el planeta es conocido desde hace cerca de cuarenta años, y la duda no es permitida. Los elementos calculados por Leverrier son reconocidos como inexactos.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Así indica la ley de Bade que la distancia de la Tierra al Sol es proximamente 39 veces el diámetro de la órbita terrestre. *Concluyó* Leverrier que esa distancia no podía ser inferior á 36 veces ese diámetro. En realidad, no es igual más que 30 veces.

El error de Leverrier tuvo por consecuencia nuevos errores sobre los elementos de Neptuno.

Para la duración de la revolución, encontró 217 años en vez de 165. Para el cambio angular anual alrededor del Sol, consiguió así 1 grado 42 minutos, en vez de 2 grados 24 minutos.

Causa del error de Leverrier.—Es permitido creer con M. Liais, que Leverrier en sus investigaciones se ha fijado demasiado en la ley de Bade. La confianza que inspiraba esa ley, aunque bien empírica, el deseo bien natural de simplificar y de abreviar cálculos fastidiosos y hasta impracticables, debió lanzar á ese geómetra fuera de los límites de la prudencia y del rigor matemático.

Una cuestión incidental.—Aquí es natural hacerse una pregunta. ¿Cómo es qué habiendo conseguido Leverrier resultados completamente falsos sobre los elementos de Neptuno, no se ha equivocado más que en un grado respecto á su posición sobre su órbita?

Eso se debe á dos causas. En primer lugar, á que, hacia el año 1840, estaba el planeta Neptuno sobre poco más ó menos en la prolongación de la recta que va del Sol á Urano. En segundo lugar, á la gran duración de la revolución de Urano, el cual todos los años no describe alrededor del Sol más que un ángulo de 2 grados 24 minutos.

A causa de esas dos circunstancias, los errores considerables cometidos por Leverrier, no influían sensiblemente en la posición del planeta.

Nueva cuestión.—Durante mucho tiempo se ha creído que Saturno era, de todos los planetas, el más alejado del Sol. El descubrimiento de Urano á fin del siglo XVIII, le privó de su posición. El planeta

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Urano fué á su vez suplantado por Neptuno. Y aquí se puede uno preguntar si el sistema solar no tiene planetas más alejados aún del Sol, que Neptuno.

El estudio atento de los movimientos de Neptuno y de los principales cometas puede que descubra nuevos planetas, centinelas avanzados, y perdidos en las inmensidades del firmamento.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO V

La forma de los planetas

CAPITULO XXIV

FORMA DE LOS CUERPOS CELESTES

Primera idea del problema.—Hasta ahora, hemos considerado los diversos cuerpos del sistema solar como simples puntos materiales. Si se quiere tener cuenta de sus dimensiones, se llega inmediatamente á la pregunta siguiente: ¿Cuál es su forma?

El aspecto del Sol, que se asemeja siempre á un disco, aunque se muestre á nosotros sucesivamente bajo todas sus fases, indica evidentemente que ese astro es, sobre poco más ó menos, esférico. Lo mismo puede creerse respecto de la Luna, aunque su disco no esté enteramente iluminado y no sea por consiguiente visible, más que en la época de la Luna llena. En fin, como los planetas vistos con el telescopio tienen siempre la forma de discos, aunque no presenten alternativamente todas sus fases, debemos admitir que se asemejan también á esferas. No forma excepción la Tierra. Resulta de ello, que en alta mar el horizonte está siempre limitado por un círculo.

Pero desde Newton, que los astrónomos se han propuesto conocer más exactamente la forma de los cuerpos celestes. Mucho tiempo antes de Newton se había

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

supuesto ya que los cuerpos celestes habían sido *flúidos* en el origen.

Queriendo el autor de los *Principios* comprobar esa última hipótesis con la hipótesis de la atracción, fijó el problema siguiente: admitiendo que los cuerpos del sistema solar hayan sido *flúidos* en el origen, ¿qué forma debieron tomar bajo la doble influencia de esa rotación sobre sí mismos y las atracciones mutuas que se ejercen entre sus moléculas?

Así como lo hace notar Laplace, ese problema es sumamente difícil, atendido á que la forma del cuerpo depende de las fuerzas que obran sobre las moléculas, y que esas fuerzas á su vez dependen de la disposición de las moléculas, es decir, de la forma del cuerpo.

No deja Newton de abordarlo en su famoso libro de los *Principios*, y, desde entonces los más grandes geómetras, desde Clairant y D'Alambert hasta Legendre, Laplace y Paisson, lo han estudiado.

Un número notable.—Se sabe que la Tierra gira sobre sí misma, en 24 horas, alrededor de una línea ideal que pasa por su centro y agujerea su superficie en dos puntos llamados polos.

Esa rotación tiene por efecto disminuir el peso de todos los cuerpos. En el ecuador esa disminución es muy sensible, porque la velocidad que resulta de la rotación de la Tierra es mayor que en los demás puntos del globo. Sin embargo, hasta en el ecuador, el peso de cada cuerpo no está disminuído más que en $^1/_{289}$ de su valor. Esa fracción es un número notable que desempeña un gran papel en la cuestión actual, y que Laplace representa por la letra griega pronunciada *fi*.

Si la Tierra girara más de prisa, el valor del número *fi* aumentaría rápidamente. Si girara 17 veces más de prisa de lo que lo hace, los cuerpos colocados en el ecuador perderían todo su peso. Si girara 20 veces más de prisa, los cuerpos colocados en el ecua-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

dor serían lanzados al espacio, y el Océano invadiría la Tierra, formando alrededor de ella un anillo análogo al de Saturno.

Es fácil calcular el número *fi* por cada planeta. Ese número no es nunca muy grande. Sin embargo, para Júpiter, tiene el valor $^1/_{10}$.

Solución de Newton.—Se da cuenta luego Newton de que los cuerpos celestes, á causa de su rotación deben ser aplastados por los polos, es decir, que yendo el radio del centro al polo debe ser menor.

Para calcular el aplastamiento de un cuerpo celeste, emplea Newton un procedimiento muy ingenioso. Supone que ese cuerpo celeste ha llegado á su forma de equilibrio y que es sólido en todo y en parte. Se le supone sólido, salvo dos canales líquidos que parten del centro para tocar el uno en el polo y el otro en un punto del ecuador. Esas dos columnas líquidas se mantienen en igual equilibrio, ejercen la misma presión sobre el centro del cuerpo celeste. Es así como Newton consigue la relación, entre el radio que llega al polo y el que va á un punto del Ecuador.

Esa relación da entonces el *aplastamiento* de los polos. Operando así llega Newton á la conclusión de que el aplastamiento de todo cuerpo celeste debe ser los 5/4 del número *fi* relativo á ese cuerpo.

¿Es igual el aplastamiento de un cuerpo celeste á los 5/4 del número *fi*, como dice Newton? No. He aquí porque Newton, en su teoría imaginaba que la masa flúida de los planetas, antes de hacerse sólidos, eran homogéneas. Eso no puede ser. En un mismo vaso, se puede ver el mercurio en el fondo, el agua sobre el mercurio y el aceite sobre el agua. Pues bien, así las materias más densas de la masa flúida han debido colocarse en el centro del cuerpo celeste y la más ligera en la superficie.

Solución de Huygens.—No habían pasado aún dos años, cuando Huygens abordaba á su vez el problema de la forma de los cuerpos celestes. Partía ese geó-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

metra de falsos principios que simplificaban singularmente la cuestión, y encontraba por valor del aplastamiento, $^1/_2$ del número *ft*. Los falsos principios que servían de punto de partida á Huygens hicieron creer á éste que las capas centrales de la masa flúida eran sumamente densas y las capas superficiales sumamente ligeras. Como esta hipótesis no era más admisible que la de Newton, fué también considerada como inexacta.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXV

CLAIRANT Y SUS SUCESORES

Lo que quedaba por hacer. — Hemos demostrado como Newton y Huygens, calculando el aplastamiento de los cuerpos celestes, habían llegado á números falsos. Sin embargo, no dejaban de tener interés esos números. En efecto, como la masa flúida, sin ser homogénea no ha podido ser, sin embargo, infinitamente más densa en el centro que en la superficie, el aplastamiento verdadero de un cuerpo celeste debe ser comprendido entre el número dado por Newton y el número dado por Huygens, es decir, entre los cinco cuartos y la mitad del número *ft.*

Es así que se puede afirmar, por los únicos resultados conseguidos por Newton y Huygens, que el aplastamiento de la Tierra está comprendido entre el número $^1/_{579}$ y $^1/_{230}$.

En suma, el problema del aplastamiento había sido apenas bosquejado.

En cuanto á la forma de los cuerpos celestes, admitía Newton que esos globos aplastados eran *elipsòides de revolución.* Pero no justificaba su opinión.

En 1737, demostró Clairant que los cuerpos celestes, supuestos homogéneos, podían tener esa forma *(Transacción filosófica).* Y Maclaurin, en una memoria premiada por la Academia de Ciencias de París, llegaba á los mismos resultados de Clairant (1740). Sin embargo, no probaban esos dos geómetras que la forma de la *elipsoide* fuera la única posible.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

En resumen, el verdadero problema estaba aun por resolver, y á Clairant le estaba reservada la gloria de dar sobre el mismo una solución exacta.

Clairant.—La mayor parte de las personas que, en los cursos elementales de los colegios, han estudiado la geometría de Clairant, creerán que el autor de ese librito era uno de los mayores geómetras franceses. En 1731, á los 16 años, publicaba su famoso tratado de las curvas á doble *curvatura*. La publicación de ese libro señala una gran fecha en la historia de la geometría. La revolución que Descartes había operado en la geometría plana se extendía en lo sucesivo á la geometría del espacio.

Hemos encontrado varias veces el nombre de Clairant en el problema de las turbaciones. Pero el verdadero dominio de ese gran geómetra, es sobre el problema de la forma de los cuerpos celestes.

Para hacerse cargo de las condiciones físicas de ese problema, es preciso imaginar una masa flúida con poca diferencia de una esfera, girando alrededor de un eje llevado al centro de esa esfera, y compuesto de capas concéntricas homogéneas, disminuyendo la densidad de las capas del centro á la superficie.

No es eso todo. Nada prueba que los cuerpos celestes no han empezado á hacerse sólidos por el centro. Era, pues, preciso estudiar el caso en que las capas superficiales no llegaban á ser sólidas hasta después de serlo las capas centrales.

En 1743, á la edad de veintiocho años publicó Clairant su teoría de la figura de la Tierra.

He aquí el juicio de Laplace sobre ese hermoso trabajo. «La importancia de todos esos hermosos resultados y la elegancia con la cual son presentados, colocan ese trabajo en el rango de las más bellas producciones matemáticas.» Esa es la conclusión del examen detallado al cual se entrega el autor de la *Mecánica celeste.*

Los sucesores de Clairant.—Abordó D'Alambert el

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

problema con más generalidad que Clairant en sus *Investigaciones sobre el sistema del mundo* (1754 á 1756). No haremos la historia de los hermosos trabajos de Legendre, Laplace y Poisson. Nos contentaremos con dar á conocer los resultados que han producido esos trabajos.

Una masa *flúida* difiere poco de una esfera. Está compuesta de capas concéntricas y homogéneas cuya densidad disminuye del centro á la superficie, siguiendo una ley desconocida. Esa masa gira alrededor de un eje pasando por el centro de la esfera; el movimiento es lento, es decir, la fracción *ft* relativa á ese globo es muy pequeña. La masa puede además contener un núcleo interior sólido. En esas condiciones se pregunta la forma exacta que tomará la masa flúida.

He aquí la solución:

La masa flúida debe tomar la forma de una *elipsoide* de revolución aplastada por el polo.

El aplastamiento debe ser comprendido entre la mitad y los cinco cuartos del número *ft*. La materia *flúida* que se halla en el interior debe disponerse en capas homogéneas concéntricas, separadas las unas de las otras por *elipsoides* de revolución. Y en medio de esas elipsoides, las mayores son también las más aplastadas.

Estas son las conclusiones de la teoría. Vamos á compararlas con los resultados de la observación.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXVI

FORMA DE LA TIERRA

Se trata ahora de comprobar si la observación confirma los resultados indicados por la teoría y relativos á la forma de los cuerpos celestes. De todos esos cuerpos, el que mejor se presta á esas comprobaciones, es el que podemos recorrer en todos sentidos, es decir, la Tierra. En efecto, para conocer la forma y las dimensiones de nuestro globo, no hay más que medir las longitudes de algunos arcos de meridiano y de algunos arcos de paralelos. Esas medidas, no pueden ser hechas más que por medio de una operación muy delicada que se llama *triangulación*. En una *triangulación* bien hecha, el error cometido no debe alcanzar cinco centímetros por kilómetro. De ese modo la longitud de Francia entera es conocida con un error menor de 50 metros.

El geómetra Picard ha imaginado la operación conocida con el nombre de triangulación. Tuvo también la suerte de efectuarla el primero. En 1669 midió el arco del meridiano que se extiende desde Amiens á Malvoisine. Esta operación dió á conocer por primera vez con exactitud las dimensiones de la Tierra, y por consiguiente las de la órbita lunar. Permitiendo de ese modo á Newton comprobar, que la fuerza que obliga á la Luna á girar alrededor de la Tierra no es otra que el peso de nuestro satélite.

Transcurrió más de medio siglo, sin que fuese efectuada ninguna *triangulación*. Acababan Clairant y D'Alambert de determinar por el cálculo la forma de los cuerpos celestes.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Había impaciencia por saber, si, con arreglo á esos cálculos, estaba la Tierra aplastada en los polos. Era fácil asegurarse de ello. No había más que medir la longitud de un arco de meridiano de un grado á diferentes latitudes. Si esa longitud era cada vez menor á medida que se alejaba uno del ecuador, era preciso admitir que la Tierra es aplastada en sus polos. «La Academia de Ciencias, en el seno de la cual esa gran cuestión fué vivamente agitada, juzgó con razón que la diferencia de los grados terrestres, si es real, se manifestaría principalmente en la comparación de los grados medidos en el ecuador y hacia el polo.» (Laplace, *Exposición del sistema del mundo)*. Resolvióse pues enviar hábiles observadores á Laponia y al Perú.

En 1756, *Bouguer*, *Lacondamine* y *Codin* fueron á medir un arco de meridiano al Perú. Al mismo tiempo, *Clairant*, *Maupertuis*, *Camus* y *Lemonnier*, llegaban á Laponia para hacer allí una operación análoga. A ese viaje hace Voltaire alusión en su *Micromegas*.

En fin, *Cassini de Thury* y *Lacaille* tenían el encargo de comprobar en Francia el trabajo de Picard.

Comparando los resultados de esas diversas medidas, llegó á ser evidente que la Tierra era aplastada en los polos.

En 1790, *Delambre* y *Méchain*, tuvieron el encargo de la Asamblea Constituyente de medir el arco del meridiano comprendido entre Dunkerque y Monjuich de Barcelona. Esa operación tenía por objeto dar á conocer con más exactitud las dimensiones de nuestro globo, á fin de escoger la nueva unidad de longitud, ó sea el metro. Ese trabajo ha sido perfeccionado más tarde por Biot y Arago.

Desde el principio de este siglo, fueron efectuadas las *triangulaciones* por los alemanes en el punto de vista de la mecánica.

¿Es la Tierra un elipsoide de revolución?—De to-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

das las *triangulaciones* hechas, resulta que la Tierra, aun haciendo abstracción de las montañas, no tiene la forma de un elipsoide de revolución, pero que no se aparta mucho de esa forma.

Es fácil prever ese resultado. El cálculo que impone á la Tierra la forma de una elipsoide, supone que nuestro globo, en el momento en que se solidificaba, era compuesto de capas concéntricas homogéneas. Además, esa condición no era rigurosamente cumplida, ya que en esa masa flúida, acciones interiores, provocadas por fenómenos *físicoquímicos*, producían las agitaciones de las montañas.

Segundo método.—No son indispensables las *triangulaciones* para estudiar la forma de la Tierra. La observación de la marcha del péndulo á diversas latitudes, permite alcanzar el mismo fin. Es fácil darse cuenta de ello.

Por causa de la rotación de la Tierra, el peso de los cuerpos disminuye, sobre todo en el ecuador. Resulta de esto que un péndulo de longitud dada, oscila cada vez más á medida que se aleja uno del ecuador. Esas variaciones en la duración de las oscilaciones deben ser más ó menos mayores, siguiendo la forma de la Tierra.

Las experiencias hechas con el péndulo, dando una idea de la forma de la Tierra, no han permitido decidir si nuestro globo era ó no un elipsoide. No resulta ese método bastante preciso para atajar la cuestión. Laplace explica sabiamente las razones que tiene para rechazarlo en su tratado de mecánica celeste.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXVII

APLASTAMIENTO DE LA TIERRA

Definición.—No siendo la Tierra un elipsoide de revolución, es imposible definir su aplastamiento de un modo riguroso. Se puede decir, bajo una forma un poco vaga, que el aplastamiento de nuestro globo no es otra cosa que el aplastamiento del elipsoide, que más se le parece. Por eso mismo, el único medio de conocerlo con alguna exactitud consiste en calcularlo varias veces con datos diferentes cogiendo la mediana de los números así obtenidos.

Primer método.—El primer método es el de las triangulaciones. He aquí algunos resultados de este método.

Comparando el arco del Perú al de Delambre, se halla por aplastamiento $^1/_{310}$. Prolongando Biot el arco de Delambre, hasta la isla de Formentera, ha encontrado $^1/_{334}$. Una hermosa triangulación hecha por los ingleses en la India ha dado el número $^1/_{120}$. Se ve que el globo terrestre es bastante irregular.

Segundo método.—Hemos dicho que observando la marcha del péndulo en diversas latitudes, se podía estudiar la forma de la Tierra. Ese método que no es bastante preciso para afirmar que la Tierra es un elipsoide de revolución, da por el contrario buenos resultados para calcular el aplastamiento de nuestro globo.

M. Baily, en una memoria publicada por encargo de la Sociedad Astronómica de Londres, da á cono-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

cer las experiencias hechas con el péndulo por el capitán Forster en catorce puntos del globo.

Resulta de esas experiencias que el aplastamiento de la Tierra puede mirarse como una *mediana* entre los números $^1/_{298}$, $^1/_{294}$, $^1/_{293}$, $^1/_{290}$.

Discutiendo los resultados conseguidos por otros observadores, es llevado M. Baily á admitir por *mediana* el número $^1/_{285}$.

Tercer método. — Esa *mediana*, que representa el aplastamiento de nuestro planeta, quiso Laplace conseguirla con los solos recursos de la mecánica celeste. Se propuso el geómetra encontrar la forma de la Tierra, sin recurrir al péndulo y sin hacer ninguna *triangulación*. Esa atrevida tentativa fué coronada por un éxito completo; y entonces se comprendió que para calcular las *curvaturas* de nuestro globo, bastaba con mirar al cielo.

He aquí en qué términos da cuenta Arago del trabajo de Laplace:

«La Tierra *señorea* á la Luna en su carrera. Un cuerpo aplastado no atrae como una esfera. Debe haber pues en el movimiento, ó sea en el paso de la Luna, una serie de señales del aplastamiento terrestre. Tal fué el pensamiento de Laplace.

»Quedaba aún por decidir—ahí estaba sobre todo la dificultad,—si los rasgos característicos que el aplastamiento de la Tierra debía dar al movimiento de nuestro satélite, eran bastante sensibles y aparentes para no confundirse con los errores de observación; era preciso también encontrar la fórmula general de ese género de perturbación, á fin de poder *despejar* lo desconocido.

»El ardor y el poder analítico de Laplace, sobrepujaron todos los obstáculos descubriendo á la postre el geómetra que en el movimiento lunar obraban dos perturbaciones, netas y características, dependiendo la una de la otra del aplastamiento terrestre.

»La primera afectaba á la porción del movimiento

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

de nuestro satélite que se mide con el instrumento conocido en los observatorios con el nombre de anteojo astronómico; la segunda, efectuándose sobre poco más ó menos en las direcciones Norte y Sur, no debía distinguirse más que con las observaciones de un segundo instrumento: el círculo mural. Esas dos desigualdades, de valores muy diferentes, medidas con instrumentos enteramente distintos, unidos á la causa que los produce, por las combinaciones analíticas más diversas, han llevado, sin embargo, la una y la otra al mismo resultado».

Añadamos algunos detalles á la exposición de Arago:

Laplace, en sus fórmulas, ha considerado la Tierra como un elipsoide. Su método debe pues dar el aplastamiento del elipsoide que se asemeja más á nuestro globo. Reduciendo, Burkardt en números las fórmulas de Laplace, ha encontrado que las desigualdades de la Luna en longitud, indican para la Tierra un aplastamiento de $^1/_{304}$, mientras que las desigualdades en latitud conducen al número $^1/_{305}$.

Conclusión.—Se ha discutido con cuidado los resultados dados por los tres métodos que preceden. Se admite hoy generalmente que el aplastamiento de nuestro globo es un poco superior á $^1/_{300}$. Es de notar que ese número está comprendido entre los límites asignados por la teoría.

Una nota histórica.—La comisión del sistema métrico, para conseguir las dimensiones de la Tierra, y escoger la nueva unidad de longitud, ha adoptado el número $^1/_{334}$ para representar el aplastamiento de nuestro globo. Es muy débil ese número. Resulta de ello que el cuarto de la longitud de un meridiano, en vez de contener 5.130,740 toesas del Perú, como pensaba la comisión, contiene 400 toesas más. El marco adoptado por la comisión al cual se llama metro es demasiado pequeño.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXVIII

EL APLASTAMIENTO DE MARTE

Una contradicción aparente.—Como podemos recorrer la superficie de la Tierra y medirla en todos sentidos, ha sido posible comprobar que nuestro globo, con arreglo á las indicaciones de la teoría, tiene rigurosamente casi la forma de un elipsoide. No sucede lo mismo cuando se trata de otro planeta, de Saturno, por ejemplo.

Lo único que se comprueba con un anteojo es que el disco de Saturno no describe un círculo perfecto, sino un óvalo. Se puede también con delicados procedimientos, medir la longitud y la anchura del óvalo, y deducir de esas dos medidas el aplastamiento de Saturno. Ya no queda más que comprobar si el aplastamiento así medido está comprendido entre los dos límites asignados por las teorías de los geómetras, y calculadas por primera vez, por Newton y por Huygens.

Esta operación tiene éxito para todos los planetas, á excepción de uno sólo; el planeta Marte. El aplastamiento de este planeta sobresale mucho del límite fijado por Newton, siendo contrario á la geometría.

Esa circunstancia ha sido mucho tiempo mirada como incompatible con las ideas generalmente admitidas, y en particular con la hipótesis cosmogónica de Laplace. Pero en 1874, en una nota que Puiseux presentó á la Academia manifestaba que esa incom-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

patibilidad no es más que aparente, y que es fácil darse cuenta del aplastamiento de Marte por medio de una hipótesis muy sencilla. Voy á exponer los principales *resultados* consignados en esa nota.

Hipótesis relativa á la formación de Marte.—Todos los geómetras que han estudiado la forma de los cuerpos celestes, han deducido que su aplastamiento debe ser mayor que el número de Huygens, y menor que el número de Newton. Es que han supuesto todos que las capas del planeta eran cada vez más densas, desde su superficie hasta su centro.

Tratando el problema independientemente de esa hipótesis, se ve que si la densidad de las capas superficiales era menor que la densidad media, el aplastamiento debía ser superior al número de Huygens é inferior al número de Newton; pero, *si la densidad de las capas superficiales era superior á la densidad media, en el aplastamiento debía sobresalir el número de Newton.*

Basta pues, para explicar la forma de Marte demostrar que las capas superficiales de ese planeta pueden ser más densas, que las capas centrales. Para eso no hay más que suponer que el planeta Marte se ha formado en dos ó más veces; que un primer núcleo central se ha enfriado ó endurecido, y que un montón de materias cósmicas pasando cerca se ha precipitado sobre él y se ha esparcido en su superficie como un océano de lava. Está bien demostrado que si el astro que nos ocupa, se ha formado así, en dos ó más veces, la densidad de las capas superficiales pueden ser mayores que la densidad mediana.

De ese modo, para explicar el aplastamiento de Marte, basta admitir, á título de hipótesis, que ese planeta haya sido formado en varias veces.

Primera prueba en pro de esta hipótesis.—Con lo anterior, he dado una fórmula que permite, cuando se conoce el aplastamiento de un planeta, así como la disminución que sufre el peso de un cuerpo cambián-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

dose desde su polo hasta su ecuador, calcular la relación entre la densidad de las capas superficiales y la densidad media.

Aplicando esta fórmula á la Tierra, se ha notado que la densidad de las capas superficiales es aproximadamente los cuatro quintos de la densidad mediana. Ese resultado concuerda con las experiencias del péndulo hechas por M. Airy, en las profundas minas del país de Galles.

Aplicando la misma fórmula al planeta Marte, se ha visto que la densidad mediana de ese astro es los dos tercios de la densidad de sus capas superficiales. Desde el punto de vista físico-químico, la constitución del planeta Marte no tiene nada que nos deba extrañar.

Si, por el contrario, el resultado del cálculo, en vez de ser dos tercios, hubiese sido, por ejemplo, un vigésimo, hubiera sido preciso, sin duda, rechazar la hipótesis por no corresponder á ninguna realidad física.

Segunda prueba en pro de esta hipótesis.—Con arreglo á la hipótesis cosmogónica de Laplace, sobre la cual volveremos más tarde precisando detalles, los diversos planetas del sistema solar se han formado sucesivamente con masas de materia cósmica desprendidas del Sol. Además, es seguro que los planetas más alejados del Sol se han formado los primeros. Podemos pues clasificar los planetas con arreglo á su edad, empezando por los más antiguos, á saber: Neptuno, Urano, Saturno, Júpiter, Marte, la Tierra, Venus y Mercurio.

Se ve que el planeta formado en seguida después de Marte, no es otro que la Tierra. Así la masa cósmica que ha formado la Tierra, es la misma que ha debido dotar á Marte de capas superficiales.

Dicho esto, tomemos por unidad la densidad de la Tierra. Desde entonces, las capas superficiales de Marte tienen por densidad el número 1. Pues, por

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

los resultados dados por la fórmula, la densidad mediana de Marte debe ser igual á $^2/_3$.

Que se abra el *Anuario del Registro de las longitudes*. Que se lea en él la densidad de Marte, tal como ha sido calculada por la teoría de las perturbaciones. El número que se encuentra apenas difiere de $^2/_3$.

Me parece esa prueba decisiva.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXIX

LOS ANILLOS DE SATURNO

Principio de Laplace.—Todo lo que hemos dicho de la forma de los cuerpos celestes no se aplica más que á aquellos que se asemejan á esferas. Ese es el caso de todos los cuerpos del sistema solar, á excepción de los anillos de Saturno, de los cuales nos vamos á ocupar.

Se sabe que el planeta Saturno está rodeado de tres anillos concéntricos situados en el plano de su ecuador. ¿Son sólidos esos anillos? ¿Son líquidos? ¿Están compuestos de pequeños asteroides sólidos, como se cree desde algún tiempo?

No puede Laplace contestar, á esa pregunta, pero lo que afirma, es que el equilibrio de la materia de los anillos es independiente de su solidez; es decir, que, en el caso de que esos anillos fueran sólidos, podrían fundirse ó pulverizarse sin que su forma actual fuera alterada en nada.

¿Sobre qué se funda esa afirmación de Laplace? Es fácil comprenderlo. Supongamos, en efecto, que la materia de los anillos no estuviera en equilibrio más que gracias á la solidez de ese cuerpo. En ese caso las diversas partes de los anillos se encontrarían sometidas á fuerzas que no estarían equilibradas más que por la resistencia de los materiales. Pero, como esta resistencia tiene un límite, los anillos deberían poco á poco caer en ruinas; para hablar más exactamente, no quedarían hoy más vestigios. Les hubiera

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

sucedido lo que acontece á los edificios más sólidos. Cuando son nuevos, la resistencia de sus materiales los mantiene en equilibrio. Pero, andando el tiempo, esos materiales no resisten á su propio peso, y no queda piedra sobre piedra.

He aquí otra consideración en apoyo de la afirmación de Laplace. Si los cuerpos celestes han sido *flúido* en el origen, los anillos de Saturno pueden ser hoy sólidos, pero seguramente no lo han sido siempre. Luego, en el momento en que iban á hacerse sólidos, tomando su forma definitiva, estaban en equilibrio bajo esa forma.

De ese modo, el principio que sirve de punto de partida á Laplace en su estudio de los anillos de Saturno, es el siguiente: los anillos de Saturno pueden ser mirados como una masa *flúida* en equilibrio.

Condición de equilibrio de los anillos.—Del principio que precede, concluyó Laplace inmediatamente que los anillos deben girar alrededor del planeta, como una verdadera cadena de satélites. Porque sin eso, el flúido que parece formarlos caería sobre Saturno como una tromba. Esa es la primera idea de Laplace. Era preciso someter esta idea al cálculo. Se sabía que los anillos estaban aplastados y se ignoraba si eran regulares, es decir si tenían el mismo tamaño en toda la circunferencia.

Guiado por esas notas, se pregunta Laplace si un anillo flúido, aplastado, girando alrededor de Saturno y teniendo una sección elíptica variable no podría estar en equilibrio bajo la triple influencia de la atracción mutua de sus moléculas, del peso de esas mismas moléculas por causa de Saturno y de la fuerza centrífuga proveniente de la rotación de los anillos. Encuentra posible ese equilibrio; y de las mismas condiciones del equilibrio deduce la velocidad de rotación del anillo, así como el aplastamiento de las elipses de sección, las cuales se parecen todas, aunque puedan ser de tamaños diferentes.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Es verdad, que el análisis de Laplace supone, que la anchura del anillo es bastante pequeña.

No es necesario entrar en los detalles de un análisis para comprender como dió á conocer Laplace la velocidad de rotación de cada anillo. Ya que esta velocidad regula la fuerza centrífuga, esta regulación ha de ser hecha de tal modo que la fuerza centrífuga de las moléculas equilibren el *peso* que les precipita hacia Saturno.

Ha demostrado Laplace que la duración de la revolución de cada anillo es sobre poco más ó menos la misma que la de la revolución de un satélite que siguiera un canal abierto en la masa misma del anillo. Esa duración es aproximadamente de cuatro horas y un tercio, para el anillo mediano.

Las observaciones de Herschell han confirmado ese resultado del cálculo.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXX

LA PLUMA Y EL TELESCOPIO

Una memoria de Laplace (1789).—Se sabe que el Sol imprime á la órbita de la Luna ligeras oscilaciones. Parece que debe ejercer la misma acción sobre los satélites de Saturno y sobre los anillos. La observación prueba que no hay tal cosa y que los anillos así como los seis primeros satélites de Saturno están en un mismo plano, no pudiendo ese plano sufrir oscilación alguna. ¿Cómo explicar esa contradicción? ¿Cuál es la causa capaz de tener en jaque la acción del Sol? Esa es la pregunta que se hizo Laplace.

Admirado, este geómetra, de que los anillos y los seis primeros satélites estén en un mismo plano, supone que ese plano es el del ecuador del planeta. Desde luego, no le queda más que admitir que Saturno tiene un movimiento de rotación muy rápido, y que, por consiguiente, su aplastamiento es considerable.

Un globo fuertemente aplastado, debe mantener en el plano de su ecuador los anillos y las órbitas de los seis primeros satélites, y la acción del Sol, combinada con la de los otros satélites, no puede tener por efecto más que oscilamientos en el movimiento común del plano del ecuador de Saturno, con los anillos y las órbitas de los seis primeros satélites.

Esos notables resultados, conseguidos por Laplace, están consignados en una memoria publicada en Febrero de 1789.

Desde el mes de Noviembre del mismo año, Hers-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

chell, gracias á un poderoso telescopio, comprobaba que en efecto el planeta Saturno giraba sobre sí mismo con gran rapidez.

Así es que el mayor observador de los tiempos modernos se limitaba á registrar los resultados del cálculo. ¡Porque ya los mundos invisibles relevaban del análisis matemático!

Los anillos están en equilibrio estable.—Todo el mundo sabe que hay dos clases de equilibrio; el equilibrio estable, y el equilibrio inestable. Es llamado estable, el equilibrio de un cuerpo, cuando cambiando ligeramente de lugar ese cuerpo, vuelve á recobrar su posición primera. Ese es el caso de un hilo á plomo que se aparta muy poco de la vertical. Se dice que el equilibrio de un cuerpo es inestable, cuando apartándose muy poco de su posición primera, se ve que no puede por sí mismo recobrar su anterior posición.

No deja Laplace de preguntarse cuál es la naturaleza del equilibrio de los anillos de Saturno, conociendo en seguida que ese equilibrio no puede ser más que estable. En efecto, los anillos han debido estar muchas veces apartados ligeramente de su posición de equilibrio, ya que la menor circunstancia, por ejemplo, el paso de un cometa ó la acción de un satélite de Saturno, es capaz de determinar ese débil extravío. Si el equilibrio no fuera estable, los anillos, ligeramente turbados, en lugar de volver á tomar su posición primera, se hubieran precipitado sobre el planeta Saturno.

Consecuencias de ese hecho.—De modo que la estabilidad del equilibrio de los anillos de Saturno es un hecho indiscutible. Pero esa estabilidad supone que los anillos tienen ciertas *condiciones;* y la investigación de esas condiciones por medio del análisis matemático revela nuevos detalles sobre el movimiento de esos cuerpos extraños. A Laplace cabe la honra de haber emprendido esa investigación.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Para comprender bien los resultados á que ese geómetra ha sido conducido, es indispensable saber que todo cuerpo nos ofrece un punto notable que se llama su centro de gravedad; y que en ciertos cuerpos, como los anillos, el centro de gravedad, en lugar de formar parte de la masa del cuerpo, se encuentra en la parte vacía.

Ha probado Laplace que cada anillo, por la sola razón de que su equilibrio es estable, debe llenar dos condiciones. Primeramente su espesor debe variar á lo largo de su contorno, ó en su defecto, su densidad no debe ser la misma en los diversos puntos del circuito. En segundo lugar, el centro de gravedad del anillo no debe coincidir con el de Saturno, pero debe describir alrededor de él una pequeña órbita con una velocidad igual á la velocidad de la rotación del anillo mismo.

Aun aquí, la observación ha confirmado los resultados de los cálculos de Laplace. Así se ha convenido que los anillos no tienen el mismo espesor á lo largo de sus contornos. Struve y Bessel, en medidas muy delicadas, han establecido que los centros de gravedad de esos anillos circulan alrededor del centro de gravedad de Saturno.

Conclusión.—Por maravillosos que sean los descubrimientos que preceden, hay una cosa aun más maravillosa: Es la forma en que aquéllos se han hecho.

Imaginémonos por un lado, observadores con telescopios gigantescos y por otro un geómetra, sin mirar al firmamento y teniendo por todo instrumento una pluma.

¿Quién sorprenderá primero los secretos del mundo de Saturno? ¿Será un observador ó el geómetra? En esa rivalidad de esfuerzos, ¿quién obtendrá la victoria? ¿la astronomía ó la mecánica celeste? ¿la pluma ó el telescopio?

La historia nos contesta: ¡Es la pluma!

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXXI

EXPERIENCIA DE M. PLATEAU

Principio de esa experiencia. — En lo sucesivo es imposible hablar de la forma de los cuerpos celestes sin hablar de las hermosas experiencias de M. Plateau, de Bruselas.

El aceite es más ligero que el agua; pero es más pesado que el alcohol. Se concibe pues que mezclando agua con alcohol en proporciones convenientes, se puede conseguir un líquido que tiene el mismo peso que el aceite. Si se pone aceite en esa mezcla, en lugar de subir á la superficie, como haría en el agua ó caer al fondo como le sucedería con el alcohol, quedará suspendido en medio del líquido. Ese es el principio de las experiencias de M. Plateau.

Las experiencias.—El ingenioso físico de Bruselas compone una mezcla de agua y de alcohol; luego con las precauciones debidas, introduce aceite en medio de esa mezcla: el aceite forma una bola que queda suspendida en medio del líquido. La *bola* que forma ese aceite es además perfectamente esférica, como lo prevé la teoría de la atracción universal.

Hace M. Plateau otra experiencia. Se arregla de manera que la bola de aceite sea atravesada por un alambre vertical. Luego hace girar ese alambre sobre sí como una espita. El aceite que se adhiere al alambre por su viscosidad, gira con él. En seguida se aplasta la bola por sus polos. Representa en ese estado un planeta semejante á la Tierra ó á Venus.

Si se hace girar al alambre más de prisa, la bola

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

gira también más de prisa y se aplasta cada vez más, conforme á las indicaciones de la teoría. Representa entonces un planeta á rotación rápida, como Júpiter ó Saturno.

Cuando se le hace girar aún más de prisa, la masa de aceite se aplasta más y se separa á veces en dos partes, á saber, un núcleo en forma de bola que se queda al centro, y un anillo horizontal que rodea ese núcleo. El núcleo y el anillo giran con el alambre y en el mismo sentido que él. Ese pequeño sistema en equilibrio representa Saturno y á uno de sus anillos. Que cese el movimiento del alambre. Poco á poco el núcleo y el anillo giran más despacio; y, luego que la rotación es bastante lenta, el anillo se destruye, y el aceite que lo forma se une al del núcleo central. Eso prueba que los anillos de Saturno no están en equilibrio más que gracias á su rotación.

Es raro que haciendo girar el alambre, se consiga desprender un anillo de aceite. La mayor parte de las veces no se desprenden más que gotitas, que se ponen á circular en la mezcla de agua y de alcohol, *remolineando* alrededor del alambre.

Algunas veces se desprende también un anillo, que no llena las condiciones de equilibrio y que se rompe en gotitas: esas gotitas circulan entonces alrededor de la bola central.

Conclusión.—Las experiencias de M. Plateau confirman en todos los puntos los resultados conseguidos por los geómetras. Nos enseñan también esas experiencias cómo el Sol, girando sobre sí, ha podido desprender de su masa las materias de los diversos planetas; cómo los planetas han dado á su vez nacimiento á sus satélites; y cómo el planeta Saturno, en particular se ha rodeado de sus anillos; de suerte que asistimos á la formación del sistema solar, lo mismo que resulta de la hermosa hipótesis cosmogónica de Laplace.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO VI

La teoría de las mareas

CAPITULO XXXII

DE LAS MAREAS

Descripción del fenómeno.—El estudio del fenómeno de las mareas se relaciona naturalmente con el estudio de la forma de la Tierra. Ese fenómeno consiste en un movimiento periódico de las aguas del Océano, que, en un mismo paraje, suben y bajan alternativamente por encima ó por debajo de un mediano nivel: se comprueba sin dificultad ese movimiento á todo lo largo de las costas.

El Mediterráneo no tiene mareas muy sensibles: es porque la extensión de ese mar es poco considerable y las costas son profundamente recortadas.

En un punto cualquiera de la costa del Océano, se desarrollan dos altas y dos bajas mareas en un día lunar, es decir en 24 horas 50 minutos. Cada período del flujo y reflujo dura pues en ese punto 12 horas 25 minutos; es decir, el Océano se hincha durante una parte de esa duración y baja durante la otra parte. No son iguales esas dos partes. De ese modo, en el Havre el mar tarda 2 horas 8 minutos más en bajar que en subir; lo mismo sucede en Boulogne. En Brest la diferencia no es más que de 16 minutos.

Causa de las mareas.—Los antiguos no han conoci-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

do la causa del fenómeno de las mareas. Hubieran podido, sin embargo, notar que se producen dos períodos de flujo y reflujo en un día lunar, y, que por consiguiente, el paso de la Luna al meridiano tiene una relación evidente con ese movimiento de las aguas del mar. La verdad es que la alta marea no se muestra más que después del paso de la Luna al meridiano.

Los que saben con qué facilidad se escapan á nuestro espíritu las ideas más sencillas, no se extrañarán de la profunda ignorancia de los antiguos, respecto de las mareas.

Además de esto, veamos lo que los modernos, han pensado primero respecto á ese gran fenómeno.

Képler fué el primero en sospechar la verdadera causa del fenómeno de las mareas, es decir, la atracción ejercida por la Luna sobre las aguas del Océno. ¡Pues bien! en 1631, un *sabio*, en uno de sus trabajos, trataba de visionario á Képler. Y sin embargo, ese sabio pertenecía á la raza de los espíritus atrevidos, de las inteligencias libres. ¡Se llamaba Galileo!

Newton cuando descubrió el principio de la atracción universal, vió que el fenómeno de las mareas tenía por causa principal la acción de la Luna sobre las aguas del mar. Pero la teoría completa de las mareas no debía ser definida más que por Laplace.

No será difícil apoderarse de los rasgos principales.

Teoría de las mareas.—La Luna atrae el conjunto de la Tierra como si toda la masa de nuestro globo estuviera reunida en el centro. Cuando la Luna se halla en el meridiano de un paraje, está más cerca de las aguas de ese paraje que del centro de nuestro globo. Entonces, ejerce una atracción sobre las aguas de ese paraje más violenta que la que desarrolla sobre el conjunto de la Tierra. De donde resulta necesariamente que esas aguas deben *levantarse*. En otros términos, el mar debe *hincharse* hacia la Luna, constituyendo lo que llamamos marea alta.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Debe de haber igualmente alta marea en los antípodas del supuesto paraje, pero por una razón contraria.

En los antípodas del paraje donde la Luna está en el meridiano, las aguas están más alejadas de la Luna que el centro de la Tierra y son menos atraídas por la Luna, que el conjunto de nuestro globo.

Establecimiento de un puerto.—Esta teoría explica bien porque se observan dos altas mareas en cada paraje durante un día lunar, es decir durante el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos de la Luna al meridiano de ese paraje.

Pero parece que la alta marea debería producirse en el momento mismo en que la Luna está en el meridiano, mientras que en realidad, está siempre retrasada.

¿Cómo explicar esta circunstancia? Por los frotamientos que experimenta la masa líquida, frotamientos que tienden á oponerse al movimiento del mar y que tienen por efecto el retrasarlo. Este retraso depende de la configuración de las costas y se muestra muy diferente algunas veces en dos puertos muy vecinos. En un puerto dado, ese retraso es siempre el mismo en la época de los equinoccios ó con Luna nueva ó Luna llena: ese retraso constante se llama el establecimiento del puerto. Es de 6 horas 10 minutos en Saint-Malo y de 3 horas 46 minutos en Brest. En Dunkerque, alcanza 12 horas 13 minutos.

Mareas de la Luna llena.—Todo el mundo sabe que las mareas son más fuertes en la época de la Luna nueva ó de la Luna llena. Es preciso que la teoría dé cuenta de ese hecho.

Es evidente que todos los astros tienen, como la Luna, el poder de agitar las aguas del mar. La verdad es que, la influencia de los planetas y de sus satélites es despreciable, á causa de la gran distancia que los separa de la Tierra. Pero no podría ser lo mismo respecto de la influencia del Sol, cuya enorme

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

masa compensa el alejamiento: la acción de este astro es, en efecto, el tercio del de la Luna.

Vemos, pues, que el fenómeno de las mareas es debido á la doble influencia de la Luna y del Sol.

Según esto, en la Luna nueva, nuestro satélite y el Sol pasan los dos el meridiano á las doce del día. Por consiguiente sus fuerzas se unen para mover las aguas; entonces la marea debe ser fuerte. En la época de la Luna llena, nuestro satélite pasa al meridiano á las doce de la noche y el Sol á las doce del día, es decir, que esos dos astros estás en los antípodas el uno y el otro. Se juntan pues aún sus acciones para producir una fuerte marea.

¿No podría suceder lo mismo en la época de los cuartos, es decir, cuando brilla solamente una parte de la Luna? Entonces, en efecto, la Luna está adelantada ó retrasada en seis horas respecto al Sol, de suerte, que la acción del Sol, es contraria á la de la Luna y disminuye el efecto. De ese modo se tiene una marea débil.

Mareas de los equinoccios.—Nadie ignora que las mareas de los equinoccios, es decir las del mes de Marzo y del mes de Septiembre, son las más fuertes. Veamos como la teoría da cuenta de ese hecho. En la época de los equinoccios, el Sol se halla en el plano del ecuador terrestre y la Luna no debe estar muy alejada. Es la posición más favorable que pueden tener esos dos astros, para producir las fuertes mareas. Para convencerse de ello, no hay más que preguntarse lo que pasaría si el Sol y la Luna podían encontrarse algún día, enfrente de la estrella polar; es evidente que en esas condiciones, no se observaría ningún movimiento periódico de las aguas del mar.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXXIII

Á PROPÓSITO DE LAS MAREAS

Una idea de Bernoulli.—Es de notar que las mareas más fuertes, las de la Luna nueva y las de la Luna llena, no son producidas en el momento indicado por la teoría, sino únicamente uno ó dos días después. La explicación de ese retraso es la misma que la del retraso de la alta marea. Es que los efectos de la atracción de la Luna y del Sol sobre las aguas del mar no pueden sentirse en nuestros puertos más que después de un tiempo bastante largo.

Ha tratado de explicar Daniel Bernoulli ese retraso, admitiendo que la atracción mutua de dos cuerpos no se transmitía instantáneamente del uno al otro. Por él, si un nuevo cuerpo se introducía de repente en medio del sistema solar, no se manifestaría su influencia más que al cabo de algún tiempo, y no en seguida. Y lo mismo si un cuerpo del sistema solar se encontrara de repente aniquilado; su acción se dejaría sentir aún algún tiempo después de su aniquilamiento.

La teoría de Daniel Bernoulli, no ha sido nunca aceptada por los geómetras. Y, desde luego, el retraso máximum de la marea puede explicarse sin dificultad, independientemente de toda hipótesis. Es preciso reconocer, en segundo lugar, que la fuerza de atracción se transmitiría con una extraña lentitud, si la acción de la Luna no se sintiera sobre nuestro globo, más que al cabo de uno ó dos días.

Un cálculo de Laplace.—Pero que la teoría de Ber-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

noulli, relativa á las mareas, se encuentra inaceptable, no quiere decir que la fuerza de atracción que se ejerce entre dos cuerpos se transmita instantáneamente del uno al otro. Puede, al contrario, suceder que esa transmisión no se haga más que sucesivamente, con una velocidad determinada.

Se recuerda que Laplace ha indicado la deformación de la órbita terrestre como causa de la aceleración del movimiento de la Luna. Antes de hacer ese descubrimiento, que después de todo no explica más que en parte el paso de nuestro satélite, se había preguntado ese geómetra si no se podía dar cuenta del fenómeno, suponiendo que las atracciones mutuas de los cuerpos, en vez de hacer sentir su influencia instantáneamente, se transmitieran con una velocidad determinada. Y dedujo que por medio de esta hipótesis, se podía dar cuenta de las turbaciones del movimiento de la Luna, á condición de suponer á la transmisión de las fuerzas atractivas una velocidad ocho millones de veces mayor que la de la luz. Se sabe que la luz del Sol tarda en llegar á nosotros ocho minutos próximamente. La fuerza atractiva sería pues comunicada del Sol á la Tierra en un millonésimo de minuto. Se habría transmitido del Sol á las estrellas más vecinas en un quinto de minuto aproximadamente.

Masa de la Luna.—El fenómeno de las mareas es debido á las acciones combinadas de la Luna y del Sol. Por consiguiente, estudiando con cuidado, sus diversas circunstancias, será posible determinar las fuerzas que para ello presta cada astro y por ahí mismo determinar la relación de sus masas. Es así, con las tan numerosas como delicadas observaciones hechas en el puerto de Brest, durante veinte años, ha podido Laplace obtener la masa de la Luna. Se sabe que esa masa es aproximadamente $^1/_{75}$ de la Tierra.

¿Es estable el equilibrio del Océano?—¿El equilibrio de los mares, es equilibrio estable? Vale la pena

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

de examinar la pregunta. Supongamos, que á consecuencia de algún temblor de Tierra, los mares cambien su posición de equilibrio. Si es estable ese equilibrio, la masa líquida, después de haber sufrido algunas oscilaciones, acabará por volver á su lecho. Si al contrario es inestable este equilibrio, invadirán las aguas de repente inmensos continentes. Laplace, ha sometido á un análisis riguroso la cuestión de la estabilidad del equilibrio de los mares, obteniendo el resultado siguiente. Para que el equilibrio de los mares sea estable, es preciso y suficiente que la densidad de sus aguas sea inferior á la densidad mediana del globo. De ese modo, sabemos que la materia de nuestro planeta es aproximadamente cinco veces más pesada que las aguas del mar.

Podemos pues estar sin inquietud. Pues estaríamos expuestos á espantosos diluvios si el líquido de los mares fuera mercurio, ya que la densidad de ese cuerpo es por lo menos doble de la densidad media del globo.

Profundidad de los mares.—¿Son muy profundos los mares? Es fácil contestar á esa pregunta, fundándose en lo dicho por Clairant en su *Teoría de la faz de la Tierra.*

Hay que tener presente que un cuerpo, cambiado desde el polo hasta el ecuador, pierde $^1/_{289}$ de su peso. Esa fracción está representada como de costumbre por la letra griega que se pronuncia *fi*. Clairant demostró que si de los $^5/_2$ de ese número *fi*, se suprime un cierto número deducido de observaciones hechas con el péndulo, se encuentra el aplastamiento que tendría la Tierra, si estuviera privada de mares y compuesta de capas homogéneas regulares. El valor del aplastamiento así calculado, es igual á $^1/_{310}$.

Por otra parte, el verdadero aplastamiento mediano de la Tierra debe ser representado por el número $^1/_{294}$.

Como difieren poco esos números uno del otro, es

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

preciso admitir que nuestro globo está sobre poco más ó menos, compuesto de capas homogéneas, y por consecuencia la profundidad de los mares es poco considerable.

De las mareas atmosféricas.—Es evidente que la Luna debe agitar el aire de la atmósfera como agita el agua del Océano.

No es pues posible negar la existencia de las mareas atmosféricas. Toda la cuestión estriba en saber si esas mareas son sensibles, ó si, ya débiles por sí, desaparecen completamente en las grandes oscilaciones de nuestra atmósfera.

Resulta de los cálculos de Laplace que la acción de la Luna sobre el aire que rodea la Tierra, es demasiado débil para que el barómetro pueda señalarla.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXXIV

LAS MAREAS SUBTERRÁNEAS

Observaciones interesantes. — El examen de una cuestión relativa á la física del globo nos ha conducido á concebir mareas de una nueva especie.

La experiencia prueba que, bajo el suelo, en todo punto cuya profundidad es superior á treinta metros, la temperatura es la misma todo el año. Pero, esta temperatura, invariable con las estaciones, varía con la profundidad, y aumenta aproximadamente de un grado centígrado, cada vez que se desciende treinta metros. Ello se ha probado penetrando en las minas y cavando pozos artesianos.

Tales son los hechos. He aquí las teorías:

Teoría de Fourier.—Se dijo á sí mismo Fourier: si la temperatura se eleva rápidamente á medida que se desciende al interior de la tierra, pronto debe ser de tres mil grados esa temperatura. Luego á tres mil grados, todos los cuerpos conocidos están en estado líquido ó gaseoso.

Por consiguiente, la Tierra no es otra cosa que una masa en fusión, cubierta de una corteza sólida bastante delgada.

Examen de esa teoría.—La teoría de Fourier concuerda con la teoría de que los astros han sido primeramente *flúidos*. Con arreglo á ese geómetra, la Tierra ha sido en su origen una masa flúida incandescente.

Las capas superficiales se han enfriado las primeras. Esas capas se han solidificado, mientras que

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

el núcleo central ha quedado en fusión. He ahí por qué se eleva la temperatura á medida que se desciende al interior de la Tierra y he aquí también por qué ciertas aguas termales, sacadas de las profundas capas del suelo, llegan á flor de tierra, á una temperatura de cincuenta grados.

Mareas interiores.—Si se aceptan las ideas de Fourier, es preciso admitir que se ha formado un vacío entre la corteza sólida del globo y la masa líquida que existe en el interior; que la corteza gira alrededor del núcleo en fusión como hacen los anillos de Saturno alrededor de su planeta, y que la lava de ese núcleo, sometida como las aguas del Océano á la atracción de la Luna y á la del Sol, debe experimentar, ese movimiento periódico que constituye el fenómeno de las mareas.

Teoría de Poisson.—La teoría de Fourier ha sido atacada por Poisson. Admite, ese geómetra, como todos los sabios, que los cuerpos celestes han sido flúidos en su origen. Pero asegura que las partes centrales se han solidificado las primeras. Para él, la Tierra actual es una masa compacta; el calor de los manantiales termales y los fenómenos volcánicos, no son más que efectos de reacciones químicas puramente locales. No tiene nuestro globo calor interno que le sea propio.

¿De qué manera concilió Poisson sus ideas con el crecimiento de temperatura que se comprueba á medida que se penetra en las profundas capas del suelo? Helo aquí: Se sabe, dice el ilustre geómetra, que el Sol se mueve en el espacio, arrastrando con él su comitiva de planetas y de satélites. El sistema solar después de haber atravesado regiones cálidas, se encuentra ahora en regiones frías. La Tierra que había hecho provisión de calor, pierde algo de él, y he aquí por qué en las capas profundas es más elevada la temperatura que en las capas superficiales.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO VII

La rotación de la Tierra

CAPITULO XXXV

LOS POLOS DE LA TIERRA

Un trastorno posible. — Los diversos cuerpos celestes cambiándose á través del espacio, deben, en virtud de las leyes de la mecánica, girar al mismo tiempo sobre ellos mismos. Vamos á estudiar ese movimiento de rotación, escogiendo, naturalmente por ejemplo, el globo terrestre.

La Tierra gira sobre sí, en un día, alrededor de una línea ideal que pasa por su centro, y la taladra en dos puntos que se llaman polos terrestres. Esta rotación que nos arrastra con una velocidad espantosa, tiene por efecto pasar, sucesivamente ante nuestra vista, en veinticuatro horas, todas las partes del firmamento; de aquí la sucesión de los días y de las noches.

¿La línea ideal alrededor de la cual se produce la rotación diurna de nuestro globo, taladra siempre la Tierra en los mismos puntos? En otros términos, ¿son fijos los polos de la Tierra, ó se cambian en su superficie?

La pregunta merece ser examinada.

Supongamos, en efecto, que los polos puedan cam-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

biarse sensiblemente en la superficie de la Tierra. Con ello los países templados serían invadidos tarde ó temprano por los hielos polares.

Pero un cambio considerable de los polos tendría una consecuencia aun más formidable. Se sabe, en efecto, por todas las triangulaciones que han sido hechas, que nuestro globo es aplastado en dos puntos diametralmente opuestos y vecinos de los polos actuales.

Supongamos desde luego que los polos puedan sufrir un cambio considerable y que, en la serie de los siglos, uno de ellos llegue á encontrarse cerca de París. Entonces el globo terrestre tendría una tendencia á cambiar de forma. Tendería á aplastarse en París y en los antípodas de esa villa. A causa sin duda, de la resistencia de los materiales, la parte sólida de nuestro globo puede ser que conservara su forma durante algún tiempo.

Pero tomarían los océanos una nueva forma de equilibrio, é invadirían la mayor porte de las villas situadas á lo largo del nuevo ecuador.

Hasta se puede afirmar que las partes sólidas de nuestro globo no estando en lo sucesivo en equilibrio más que gracias á su solidez misma, experimentarían continuos trastornos.

Impotencia de la geografía.—Parece que la pregunta que hemos hecho, nos releva de la geografía. En efecto, por la manera de determinar la latitud de una villa, esa latitud, depende del sitio de los polos en el momento de la *operación.* Y desde entonces, no es evidente que, si los polos son movibles, los ingenieros geógrafos de los diversos siglos deben hallar números diferentes para la latitud de una misma villa. Desgraciadamente, la geografía de precisión data de ayer; de tal suerte que no se conoce convenientemente más que las latitudes medidas por los modernos.

Todo lo que nos enseña la geografía, es que por la

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

forma general que numerosas triangulaciones han asignado á la Tierra, nuestro globo es aplastado en dos puntos diametralmente opuestos, que son vecinos de los polos actuales.

Resulta de ahí que, aunque los polos se cambiasen, se podría afirmar que en la época en que la Tierra se hizo sólida, tenía casi la misma posición que hoy. Pero la mecánica celeste ha sacado de ese mismo hecho una consecuencia más precisa; la de que los polos terrestres no pueden sufrir cambios considerables.

Cálculos de Laplace y de Poisson.—Ese problema de mecánica celeste ha sido estudiado por Laplace y por Poisson. Como ya hemos dicho, esos dos geómetras han tomado por punto de partida de su estudio dos hechos que relevan de la observación, á saber: 1.º, que la Tierra es aplastada en dos puntos diametralmente opuestos; 2.º, que los polos actuales son vecinos de esos puntos. De ese modo han demostrado que los polos no han podido ni podrán nunca apartarse notablemente de su posición actual. El análisis de esos dos geómetras supone que la Tierra es sólida é invariable de forma, añadiendo que la presencia de los océanos sobre nuestro globo parece desmentir las conclusiones del análisis.

Sin embargo, no hay nada de eso, por la razón de que la profundidad mediana de los mares no excede de un kilómetro, mientras que el *bourlet* sólido que constituye el hinchamiento de nuestro globo á lo largo del ecuador tiene un espesor de veinte kilómetros. Así, á pesar de la movilidad de los mares, la forma general de nuestro globo debe ser considerada como casi inalterable.

Si se observa, además, que las partes movibles, del globo, es decir las aguas, tienen una densidad bien inferior á la densidad de las partes sólidas, comprenderáse sin trabajo que la influencia de los océanos puede ser aquí descuidada, y que el análisis de La-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

place, como el de Poisson, es ciertamente aplicable á nuestro planeta.

Poinsot.—De ese modo desde el principio de ese siglo, estaban los geómetras completamente tranquilos respecto á los peligros que debían resultar del cambio de los polos. Sin embargo, no podían estar satisfechos. En el punto de vista de la ciencia pura, el problema no podía ser considerado como enteramente resuelto, mientras se ignoraba si los polos de la Tierra eran *absolutamente* invariables.

Poinsot, sin haber recurrido al análisis, por consideraciones de geometría pura, tan delicadas como ingeniosas, llegó á mostrar que cada polo describe cada día, alrededor de un punto absolutamente fijo de nuestro globo, una circunferencia cuyo radio no tiene más que algunos centímetros.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXXVI

LA DURACIÓN DEL DÍA SIDERAL

Una cuestión interesante.—Resulta de las observaciones astronómicas, que el movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje es casi rigurosamente uniforme; es decir los cambios que pueden sobrevenir en su velocidad son demasiado lentos para ser comprobados, cuando se encierra uno en un período de dos ó trescientos años.

Importa saber si esos cambios, con lo lentos que son, pueden hacerse sensibles acumulándose durante una larga serie de siglos. En efecto, los astrónomos toman por unidad de tiempo la duración del día sideral, es decir, el tiempo que emplea la Tierra en dar una vuelta completa sobre sí misma. Pero no son solamente los astrónomos los interesados en la cuestión.

Supongamos, en efecto, que sea suficiente una cincuentena de siglos, para crear en la velocidad de rotación de la Tierra un cambio sensible. Podría suceder que esa velocidad se encontrase profundamente modificada al cabo de un millón de siglos; de tal suerte que la duración del día fuese completamente alterada. Según esto, semejante acontecimiento, envolvería amenazas terribles para los habitantes de nuestro planeta.

Preguntémonos, por ejemplo, lo que pasaría si el día llegara á ser treinta veces más corto que es hoy. Todos los cuerpos de la zona tórrida y de las zonas templadas que no están sólidamente fijos en el suelo,

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

serían lanzados al espacio del lado del Este y se harían satélites de la Tierra. Los animales, obligados á refugiarse en regiones polares, perecerían de hambre y de frío. En fin, los mares, hinchándose cada vez más hacia el ecuador, se desprenderían sin duda formando anillos, y circularían alrededor de nuestro globo como los anillos de Saturno circulan alrededor de este planeta. Y, si la Tierra giraba cada vez más de prisa, si la duración del día no cesaba de disminuir, los continentes mismos, ya despoblados por la fuerza centrífuga, serían roídos por ella y nuestro globo se convertiría en polvo.

Contestación de la mecánica.—Se ve por esto cuanto importa saber si, durante un período de varios siglos, la duración del día puede variar de una manera apreciable. La mecánica celeste ha contestado á esa pregunta. Han reconocido Laplace y Poisson que la atracción *newtoniana* es incapaz de alterar sensiblemente la duración del día.

Ha probado Laplace que un temblor de tierra no puede de ningún modo modificar la velocidad de rotación de nuestro globo.

La astronomía, sin conducir á resultados tan precisos, permite registrar las conclusiones de la mecánica celeste. He aquí cómo. Las observaciones astronómicas nos enseñan que la marcha de la Luna sobre su órbita es mediana, mientras la Tierra da una vuelta sobre sí, es decir, durante el día sideral actual. Por otra parte, los anales de la astronomía griega y árabe nos dicen cuál era la marcha mediana de la Luna, durante un día sideral. Y bien, comparando los dos resultados, y teniendo en cuenta la aceleración de mediano movimiento de la Luna, llega uno á convencerse de que desde hace dos mil años, la duración del día sideral no ha cambiado de un modo especial, ó en otros términos, que han transcurrido veinte siglos sin que la velocidad de rotación de la Tierra haya sido sensiblemente modificada.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXXVII

UNA NOTA DE DELAUNAY

Se ha debilitado el movimiento de rotación de la Tierra.—Al demostrar Laplace y Poisson que la duración del día sideral es inalterable, han supuesto en su análisis, que nuestro globo es sólido y de forma invariable; mientras que en realidad está cubierto en gran parte por los océanos, cuyas mareas alteran sin cesar *la curvatura*. Vamos á probar que la agitación periódica de las aguas del Océano tiene por efecto acortar el movimiento de rotación de la Tierra, y por consiguiente aumentar la duración del día.

Notaremos, primero, que el Océano no es agitado junto al punto que ocupa la Luna en el meridiano. En efecto, esa agitación, á causa del frotamiento de las aguas, no puede hacerse de un modo instantáneo. Así la prominencia líquida se encuentra á cada instante no en el punto del globo en que la Luna se halla en el meridiano, sino un poco al Este de este punto.

Resulta de esto que la Luna, atrayendo esa prominencia, tiende á estorbar la rotación de la Tierra y disminuir necesariamente la velocidad.

El efecto inverso se encuentra producido por la prominencia líquida que figuró en los antípodas de la primera.

Pero ese efecto es menor, á causa de la distancia, que es mayor. De ese modo el movimiento de rotación

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

de la Tierra se disminuye poco á poco y la duración del día aumenta.

Delaunay fué quien demostró que esa acción ejercida por las mareas, no es de ninguna manera despreciable, puesto que aumenta la duración del día *en un segundo cada cien mil años.* Con arreglo á esto, probablemente la duración del día no ha aumentado ni en un minuto desde que nuestro globo dió vida al hombre. Se sabe que los hombres anteriores, los de la época terciaria, se parecían más á los grandes monos antropoides, que á los hombres modernos.

Hace notar Delaunay además que, si la Luna atrae á cada una de las prominencias líquidas de nuestro globo, en cambio por un efecto de reacción inevitable, es atraída por cada una de ellas. Esa última atracción tiene por efecto acelerar el movimiento de la Luna sobre su órbita, y reducir las dimensiones de esta órbita; quizá por esta razón se pueda explicar completamente, esa aceleración del movimiento de la Luna, que parece desafiar á los geómetras y que hace temer la caída de nuestro satélite sobre nuestro globo. Aunque así sea, vemos que el fenómeno de las mareas provoca, como consecuencia necesaria, los tres fenómenos siguientes:

1.º La rotación de la Tierra cada vez más lenta, de tal suerte que la duración del día aumenta un segundo cada cien mil años;

2.º La Luna marcha cada vez más aprisa á lo largo de su órbita;

3.º Las dimensiones de esa curva disminuyen sin cesar.

Lo que nos reserva el porvenir.—Es fácil prever lo que sucedería si las aguas del Océano conservaran indefinidamente su movilidad.

La Tierra da una vuelta sobre su eje en un día, y la Luna que describe su órbita entera en 27 días, acabarían por ir al mismo paso. Llegado ese momento, estaría la Luna todo el día en el meridiano de

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

una misma villa, conmoviendo el Océano á lo largo de ese meridiano y de un modo permanente. En una palabra, ya no habría mareas periódicas. Quedarían, es verdad, las débiles mareas producidas por el Sol; pero, como las prominencias líquidas agitadas por este astro estarían tan pronto al Este como al Oeste de la Luna, su acción sobre nuestro satélite, destruiría por sí misma sus propios efectos; la reacción de la Luna sobre esas prominencias líquidas, corregiría las alteraciones que se introdujesen en la velocidad de rotación de la Tierra.

En cuanto á la acción mutua del Sol y de las prominencias líquidas, se neutralizaría ella misma á cada instante, porque las dos prominencias situadas en los antípodas la una de la otra, están rigurosamente colocadas á la misma distancia del Sol, visto el inmenso espacio que nos separa de ese astro.

De ese modo, si las aguas del Océano conservaban indefinidamente su movilidad, la Luna, andando siempre más de prisa, y la Tierra, girando siempre lentamente, acabarían por regularse la una sobre la otra. Desde ese momento, estaría la Luna siempre en el meridiano de una misma villa y no habría otras mareas más que las mareas solares; la duración del día cesaría de aumentar, la de la revolución de la Luna cesaría de disminuir. En fin, nuestro satélite, conservando en lo sucesivo una órbita invariable, dejaría de acercarse á la Tierra y no la amenazaría más con su caída.

Pero es poco probable que lleguen las cosas á ese punto. En efecto, la duración de la rotación de la Tierra no podría ser igual á la duración de la revolución de la Luna más que al cabo de varios millones de siglos. Luego, antes que semejante período de tiempo haya transcurrido, el calor del Sol habrá disminuído sensiblemente, y se enfriará la Tierra; los océanos no serán más que una masa compacta de hielo, la marea solar y la marea lunar serán por eso

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

mismo suprimidas, y con ellas, las turbaciones que provocan en los movimientos de la Tierra y de la Luna. Es pues el frío el que restablecerá el orden en nuestro mundo *sublunar*. La naturaleza, también ordena á su modo. Los grandes políticos son bien pequeños comparados con ella.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXXVIII

ENFRIAMIENTO DE LA TIERRA Y DEL SOL

La Tierra pierde calor.—Cuando se piensa en el admirable equilibrio del sistema solar, se ve que las especies vivientes que pueblan nuestro globo no serán destruídas más que por el frío. Es pues interesante preguntarse cuál es el enfriamiento de la Tierra y del Sol.

Se sabe que debajo del suelo, más allá de cierta profundidad, reina la misma temperatura todo el año. Se sabe también que esa temperatura, invariable con las estaciones, varía con la profundidad, y que aumenta de un grado centígrado cada vez que se descienden 30 metros. Resulta de esos hechos que *la Tierra pierde actualmente calor, que no procede del Sol.*

Cree Poisson que esa pérdida de calor no es más que accidental. Pero la mayor parte de los geómetras y de los físicos piensan que es permanente. Para ellos la Tierra, primero incandescente y flúida, y luego enfriada y endurecida en su superficie, ha conservado en sus flancos una enorme cantidad de calor: es ese *calor de origen* que se pierde en el espacio, después de haber atravesado las capas superficiales de la Tierra.

Una predicción de Buffon.—¿Es considerable esa pérdida de calor? Arrastrado Buffon por su imaginación de naturalista, creía que era enorme. Aseguraba que en Francia, el calor que se escapa del inte-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

rior de la Tierra, era, según la estación, de veintinueve á cuatrocientas veces mayor que el que reciben del Sol. Dedujo de ahí, que el calor solar no contribuía más que débilmente á sostener la vida sobre nuestro globo, puesto que el calor terrestre que se pierde en el espacio después de haber atravesado el suelo, era por sí solo capaz de producir tales efectos; ese calor, cuya pérdida era tan rápida, acabaría por agotarse, y por consiguiente, *nuestro globo marchaba á una congelación tan próxima como inevitable.*

Un cálculo de Fourier.—No tardó el cálculo en hacer justicia á esas fantasías. Demostró Fourier que era posible evaluar la cantidad de calor perdido por la Tierra en un tiempo dado. No había más que fundarse en el hecho de que la temperatura de las profundas capas del suelo, aumenta de un grado centígrado á cada treinta metros de profundidad. Haciendo la aplicación de ese método, prueba el geómetra que esa cantidad de calor era muy débil y que su influencia se limitaba á aumentar en un trigésimo de grado centígrado la temperatura de las capas superficiales del suelo.

Enfriamiento del Sol.—Está pues establecido, que la Tierra no pierde su calor interior más que con extremada lentitud, y que por consiguiente la temperatura de las capas superficiales del suelo, resulta sobre poco más ó menos, del calor solar. De ese modo es también el Sol quien mantiene la vida en la superficie de nuestro globo. Mientras ese astro vierta á raudales sobre nosotros su calor bienhechor, no tendremos que temer la congelación de nuestro planeta.

Pero los soles se agotan y se apagan. Ninguno de esos astros puede substraerse á esa ley fatal. El que nos alumbra está condenado á enfriarse algún día. ¿Ese acontecimiento, que será la señal de la congelación de la Tierra, está aún muy lejos?

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

La mecánica celeste nos permitirá contestar á esta pregunta.

En efecto, ya que el calor cuya hermosa influencia sentimos, nos llega casi exclusivamente del Sol, toda disminución del poder radiante de ese astro debe traducirse por una disminución de la temperatura de la Tierra. Además todo descenso de la temperatura de nuestro globo debe tener por efecto reducir sus dimensiones, y, por consiguiente, con arreglo á una ley de mecánica llamada principio de los aires, acelerar su rotación. Vemos por ahí que toda extenuación del fuego solar debe manifestarse por una aceleración en el movimiento de rotación de la Tierra.

Hemos visto por otra parte, que desde dos mil años atrás, la velocidad de la rotación de la Tierra no ha cambiado de un modo apreciable. Estamos pues obligados á afirmar que, durante ese largo período, el brillo del Sol no ha disminuído sensiblemente. De ese modo nuestro Sol no ofrece aún signos de agotamiento, y la temperatura mediana de la Tierra varía apenas de un siglo al otro.

Según Laplace esa temperatura no ha descendido siquiera á un centésimo de grado centígrado ¡desde dos mil años! Así, suponiendo que hayan transcurrido un millón de años desde la época de las hachas de sílex de Saint-Acheul y del hombre fósil de Neanderthal, la temperatura de nuestro globo no hubiera bajado de cinco grados centígrados desde esa época pasada.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XXXIX

UN FENÓMENO EXTRAÑO

La rotación de la Luna.—Todo lo que se ha dicho de la rotación de la Tierra, se aplica igualmente á todos los astros del sistema solar. Pero la Luna ofrece una particularidad bien extraordinaria.

Se sabe que la Luna describe su órbita alrededor de la Tierra en veintisiete días aproximadamente. Pues bien, gira al mismo tiempo sobre sí en el mismo sentido; y, circunstancia asombrosa, la duración de su rotación es exactamente igual á la de su revolución, de suerte que *ese astro nos presenta siempre la misma faz.* Es lo que es fácil notar, comparando los antiguos mapas de la Luna á las más recientes fotografías.

El cálculo de las probabilidades no permite admitir que esa igualdad rigurosa entre la duración de la rotación y la de la revolución sea un *efecto del azar.*

Explicación de Lagrange.—En su origen, la masa de la Luna era flúida. Lo mismo que la Luna agita nuestros océanos y produce las mareas, así agitaba la Tierra la masa flúida de la Luna y tendía á producir mareas en la superficie de nuestro satélite.

Es imposible admitir que la rotación de la Luna sobre sí misma durase tanto como su revolución alrededor de la Tierra, es decir, veintisiete días. No se pueden hacer pues más que dos hipótesis. O duraba más ó duraba menos.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Tomemos la primera hipótesis.

Siendo la rotación más rápida que la marcha, tendía la Luna á ocultar á la vista del observador el borde que estaba á la derecha de ese último; la prominencia líquida agitada por la Tierra en la masa lunar, en lugar de estar en medio de la Luna, se hallaba á la derecha, y la atracción de la Tierra sobre esa prominencia tendía á acortar la rotación de la Luna. Así la duración de la rotación de la Luna sobre sí, tendía á ser igual que la duración de su revolución alrededor de la Tierra.

La conclusión es pues la misma en las dos hipótesis.

Supongamos desde luego que cuando la Luna se ha apartado de la Tierra, la duración de su rotación haya sido poco diferente de la duración de su revolución alrededor de la Tierra, es decir 27 días. Al cabo de cierto número de siglos, esas dos duraciones se han hecho iguales; á partir de ese momento la Luna ha girado siempre la misma faz hacia la Tierra y su prominencia líquida ha estado en medio de su disco. En otros términos: no hubo más mareas en la Luna.

Fué entonces cuando la masa de la Luna, enfriándose poco á poco, se solidificó, conservando una forma *abombada*, en medio del disco que nos muestra y también en medio del disco que nos oculta.

A causa de esa forma, las desigualdades seculares de la marcha de la Luna sobre su órbita, se introducen en su movimiento de rotación. Ese último hecho ha sido establecido por Laplace. Resulta de esto que *jamás* girará la Luna hacia la Tierra la parte de su superficie que, actualmente, es invisible para nosotros.

Vuelta á la Tierra.—Después de haber examinado esa particularidad de la Luna, vamos á seguir el estudio de la rotación de los cuerpos celestes sobre ellos mismos, tomando la Tierra por ejemplo.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Esos movimientos de la Tierra además del interés que tienen para todos los hombres, encierran una extremada importancia para la astronomía. En efecto, nuestros observatorios toman parte en ello, de lo que resulta que no se pueden interpretar los resultados ofrecidos por los instrumentos, más que conociendo á fondo los diversos movimientos de la Tierra y su influencia sobre las observaciones astronómicas.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO VIII

CAPITULO XL

PRECESIÓN DE LOS EQUINOCCIOS

El eje del mundo.—Se ha visto que la Tierra gira sobre sí, y que cada veinticuatro horas da una vuelta completa sobre un eje que pasa por su centro y la perfora en dos puntos invariables que se llaman polos. Evidentemente ese eje no es más que una línea geométrica, es decir ideal. Pero, para ayudar á nuestra imaginación, la consideraremos como una espita material atravesando la Tierra de parte á parte y prolongada indefinidamente en los cielos.

¿Cómo no nos dan cuenta nuestros sentidos del movimiento directo en el cual la Tierra nos arrastra?

Nos parece que todos los astros del cielo tienen un movimiento en sentido inverso y dan una vuelta completa en un día.

Considerado el punto de vista de ese *movimiento aparente*, el eje de la rotación de la Tierra es un eje alrededor del cual todo el universo visible parece girar cada día. Así es que se le llama muchas veces el *eje del mundo*. Pero no hay que olvidar que esa gran palabra designa sencillamente la espita hipotética alrededor de la cual gira nuestro modesto globo.

Movimiento del peón.—Para concebir bien los di-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

versos movimientos de la Tierra, no hay más que observar un peón bien lanzado.

Primeramente, la punta del peón describe una curva sobre el suelo. La Tierra, describe todos los años su órbita alrededor del Sol.

En segundo lugar, el peón gira sobre sí con gran velocidad alrededor de la línea que va de uno á otro de sus extremos.

De la misma manera gira la Tierra sobre sí misma en veinticuatro horas alrededor de la espita que la taladra en sus polos.

Pero no es eso todo. Un observador atento se apercibe de que el eje del peón, es decir, la línea que junta sus extremos no conserva siempre la misma dirección, sino que sufre un movimiento muy lento, en sentido inverso del movimiento de rotación del peón. Estamos obligados á admitir que la espita alrededor de la cual gira la Tierra no está dirigida siempre hacia las mismas estrellas del cielo, sino que, parecido á un lápiz gigantesco, traza lentamente una curva secular á través de las estrellas que pueblan el espacio.

Ese tercer movimiento de la Tierra que nos queda por estudiar, es causa del fenómeno de la precesión de los equinoccios, descubierto por el mayor astrónomo de la antigüedad ó sea Hipparque.

Nutación de los polos celestes.—La espita alrededor de la cual gira la Tierra, va á taladrar el cielo en dos puntos llamados polos celestes. Actualmente el polo del hemisferio Norte de la Tierra, es muy vecino de la estrella *Alfa, de la pequeña Osa*, que, por ese motivo, se llama estrella polar. También esa estrella nos parece fija en el cielo, mientras que todas las demás parecen describir círculos alrededor de ella en veinticuatro horas.

A causa de la nutación de los polos celestes á través del cielo, la estrella polar no será siempre *Alfa de la pequeña Osa*, y esas estrellas polares sucesivas

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

marcarán, en el cielo, la ruta seguida por el polo celeste y la velocidad de la nutación de ese polo. Es así como se puede estudiar el movimiento secular de los polos celestes.

¿Cuál es la naturaleza de ese movimiento?

Se sabe que el plano de la órbita terrestre no experimenta más que oscilaciones extremadamente lentas y encerradas en estrechos límites. Su *nutación* no es ni de un minuto de ángulo por siglo. Se puede pues creer que ese plano conserva una orientación invariable. Resulta de eso que una perpendicular á ese plano va á taladrar el cielo en dos puntos que se pueden mirar como absolutamente fijos. Se llaman esos puntos los polos de la órbita terrestre. Y la observación demuestra que el polo celeste, cambiándose á través de las estrellas del cielo, queda siempre á la misma distancia de ese punto fijo describiendo un círculo alrededor de él en veintiséis mil años. Las estrellas situadas sobre ese círculo son, todas estrellas polares. Desde Hipparque (127 años antes de nuestra era), el polo celeste no ha descrito aún la décimatercia parte de su círculo. Pero desde el hombre fósil del período cuaternario, el círculo entero ha sido descrito un gran número de veces.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XLI

TENTATIVA DE NEWTON

De la fuerza que cambia los polos celestes.—Se ha visto que la Tierra tiene un movimiento triple.

Primeramente, describe todos los años su órbita alrededor del Sol. Ese movimiento tiene por causa la atracción que el Sol ejerce sobre nuestro globo.

En segundo lugar, gira sobre sí en un día. Siendo uniforme, ese movimiento, persistirá indefinidamente, sin la intervención de ninguna fuerza.

La espita alrededor de la cual gira, cambia de dirección en el espacio, lo que significa el cambio de los polos celestes por el fenómeno de la precesión. Debemos preguntarnos cuál es la fuerza que produce ese último movimiento.

Se sabe que la Tierra está aplastada en sus polos; ó si se quiere, mejor dicho, que está rodeada de un *bourlet* á lo largo de su ecuador.

Por otra parte, el plano del ecuador terrestre no pasa por el Sol más que en la época de los equinoccios, es decir en el mes de Marzo ó en el mes de Septiembre.

Es claro ahora que la atracción ejercida por el Sol sobre el *bourlet* de la Tierra, tiene tendencia á orientar hacia el Sol el plano del ecuador terrestre. Ese plano cambia de dirección, arrastrando en su movimiento la Tierra y la espita alrededor de la cual gira: de ahí el cambio de los polos celestes.

Si la Tierra fuese una esfera perfecta, no tendría

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

el Sol ninguna tendencia á orientar el plano de su ecuador.

Si tuviera la Tierra su forma aplastada, y si el plano de su ecuador coincidiera con el plano de la órbita que describe alrededor del Sol, ese último astro, en lugar de modificar la orientación del ecuador terrestre, tendería á mantener esa orientación invariable.

En ambos casos, los polos celestes serían fijos. No habría precesión.

Descubrimiento de Bradley.—Los geómetras del siglo XVIII no habían aún publicado nada sobre esa materia, cuando un observador inglés, Bradley, descubrió el fenómeno de la *nutación* (1748).

He aquí en que consiste ese fenómeno. El círculo que describe el polo celeste no es regular, sino *festoneado*. Cada pequeño *festón* es descrito en diez y ocho años, de un movimiento irregular. Pero cada diez y ocho años, el movimiento se reproduce sobre el *festón* suguiente, idéntico á él.

¿A qué fuerza hay que atribuir el fenómeno de la *nutación?*

Consideremos, por una parte, que la Luna debe desviar el eje de la Tierra, lo mismo que el Sol, aunque de un modo menos sensible. Notemos en segundo lugar, que el período de la nutación, tiene una duración de diez y ocho años, como la revolución completa de los nodos de la Luna. Desde luego, será fácil atribuir la nutación á la atracción que ejerce la Luna sobre la parte hinchada de la Tierra.

De ese modo la acción del Sol produce la precesión, y la acción de la Luna introduce en la precesión una desigualdad periódica llamada *nutación*.

Esa era la opinión de Bradley. Pero, siendo la nutación muy débil, era preciso un análisis delicado para deducirla del principio de la atracción.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XLII

D'ALAMBERT

Tratado de la precesión de los equinoccios.—El problema de la precesión, del cual Newton no había podido encontrar la solución, pasaba casi por insoluble, cuando un vidriero, haciendo su expedición por los alrededores de la iglesia de Notre Dame recogió un niño que se hallaba bajo el pórtico de la iglesia de Saint-Jean-le-Bond. ¡Generosa inspiración, y que debía tener las más dichosas consecuencias!

Ese ser débil, prohijado por un pobre vidriero, se convirtió pronto en un hombre; y ese hombre fué uno de los mayores geómetras de los tiempos modernos; enriqueció el análisis matemático con métodos tan fecundos como elegantes, encerró la mecánica entera en un solo principio, estudió la teoría de las perturbaciones y la de la forma de los cuerpos celestes, resolvió el problema de la precesión, que Newton no había podido resolver, escribió el prefacio de la Enciclopedia, preparó la ruina de todas las supersticiones, y para decir todo en una palabra, fué uno de los precursores de la Revolución. ¡Se llamó D'Alambert!

Cuando llegó á ser célebre, su madre, la señora de Tencin, quiso reconocerle. Pero él no reconoció nunca otra madre que la que le había cuidado, la humilde mujer del pobre vidriero.

Hemos hablado en otra parte de los trabajos de D'Alambert, relativos al problema de los tres cuerpos, y á la forma de los cuerpos celestes. Es aquí

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

ocasión de entretener al lector con su tratado sobre la precesión de los equinoccios.

Solución del problema.—El tratado de la precesión de los equinoccios, daba la solución completa del problema de la precesión. Teniendo D'Alambert en cuenta las atracciones ejercidas por el Sol y por la Luna, sobre el *bourlet* ecuatorial de la Tierra, determinaba en sus detalles los cambios de orientación del plano del ecuador terrestre y los cambios que se debían operar sobre los polos celestes.

Como consecuencia de esas atracciones, hallaba no solamente el gran movimiento del polo celeste que dura veintisiete mil años, sino también esa *desigualdad* de diez y ocho años conocida bajo el nombre de nutación y varias otras desigualdades periódicas de menos importancia que la observación no había aún revelado.

Desigualdad secular de la precesión.—El fenómeno de la precesión además de manifestarse con desigualdades periódicas, tales como la nutación, está sujeto también á desigualdades seculares.

El radio del círculo, descrito por el polo celeste en veintiséis mil años, varía á través de los siglos con notable lentitud. En 1850, ese radio correspondía á un ángulo de 23 grados 27 minutos 32 segundos. Desde entonces, disminuye cada año un vigésimo de segundo, aproximadamente componiendo un minuto en 1200 años. Esa disminución continuará durante siglos. Pero, antes que ese círculo se estreche demasiado, el radio aumentará, y el tamaño de ese círculo oscilará eternamente alrededor de una mediana. Demostró Laplace que las variaciones de ese radio no alcanzarían nunca tres grados. Aun no es todo. El centro de ese círculo no está absolutamente fijo en el cielo. Se aparta de él muy lentamente y no se mueve de una posición mediana absolutamente invariable.

Influencia del Océano.—Quedaba por examinar si las partes movibles de nuestro globo, ó sean el agua

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

y el aire, ejercían influencia sobre el fenómeno de la precesión.

Probó Laplace que los resultados debían ser los mismos que los del mar y la atmósfera formando, con la Tierra, una sola masa sólida.

Una cuestión de historia.—Algún tiempo después de la aparición del tratado D'Alambert, publicaba Euler una solución del problema de la precesión de los equinoccios. El trabajo de Euler era nada menos que original.

En efecto, D'Alambert, había dado en su tratado dos soluciones diferentes del problema de la precesión; la primera muy completa y muy sabia, y la segunda, mucho más sencilla, pero también menos precisa.

¿Pero, había descubierto de nuevo Euler ese método elemental? No, ese geómetra ha confesado que había hecho su trabajo después de leer el tratado de D'Alambert.

Es pues un geómetra francés el único que resolvió el difícil problema de la precesión. Es á él solo á quien la posteridad debe conceder la gloria del *descubrimiento.*

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO IX

Las leyes de propagación de la luz

CAPITULO XLIII

LA LUZ

Teoría de la emisión.—Es imposible mirar al cielo sin preguntarse en seguida qué cosa es la luz.

Cree Newton que los cuerpos luminosos lanzan alrededor de ellos, en todos sentidos y en línea recta, corpúsculos animados de una gran velocidad: el choque de esos corpúsculos con nuestros órganos visuales produce la sensación de la luz. Esta hipótesis constituye la teoría de la emisión.

Esa teoría es impotente para explicar ciertos fenómenos de la ciencia moderna, la cual se halla en contradicción con algunos resultados de la observación. Así es que hoy está completamente abandonada. Pero á ella, los mejores espíritus se han unido largo tiempo, á causa de la sencillez de su principio, y de la facilidad con que se presta á la teoría matemática de la luz.

Consecuencia de esa teoría.—Si es verdad que los cuerpos luminosos lanzan constantemente corpúsculos alrededor de ellos, la masa del Sol debe disminuir cada día, y por consiguiente la órbita terrestre se ensancha, resultando el año cada vez más largo.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Pero si se admite el sistema de la emisión, hay que deducir que las órbitas de los planetas no cesarán de crecer, y que con el tiempo la Tierra y las lunas del sistema solar, abandonadas á ellas mismas, irán á su decaimiento á través del cielo. La Tierra que habitamos estaría pues privada de calor y de luz, y todas las especies vivientes serían destruídas.

Laplace, para tranquilizar á los partidarios del sistema de la emisión, ha demostrado que la catástrofe que nos amenaza, tendrá un vencimiento muy lejano. Por eso pregunta á la observación, cuánto ha podido variar el año desde hace veinte siglos. Encuentra para ese máximum, un valor muy débil, y afirma que en dos mil años la masa del Sol no ha disminuído ni en dos millonésimas partes de su valor. Así, hasta suponiendo fundada la hipótesis de la emisión, el Sol será aún mucho tiempo, un centro poderoso de atracción. Durante millones de siglos, sentirán su poder los planetas á quienes los mantendrá á su servicio.

Teoría de las ondulaciones.—Hay otra teoría de la luz, imaginada por Huygens y admitida generalmente hoy.

Esa teoría es conocida con el nombre de sistema de las ondulaciones. Pero, para que la comprenda bien el lector, vamos á hacer una digresión sobre el sonido.

Todo sonido es producido por las vibraciones de un cuerpo; las experiencias más sencillas lo prueban sin dificultad. Esas vibraciones se transmiten á los medios ambientes, que son, el aire, el agua, y los cuerpos sólidos. Se comunica así á la membrana de nuestro oído, produciendo la percepción del sonido. El sonido no se transmite á través del vacío. Lo demuestran los sabios con experiencias indiscutibles. De ese modo, si los cuerpos celestes chocasen violentamente, no oiríamos ningún ruido, porque nuestra atmósfera no se eleva más que á sesenta kilómetros, y desde ahí, el espacio celeste carece de aire.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

El calor es producido por las vibraciones de los cuerpos calientes, la luz por las vibraciones de los cuerpos luminosos, y el sonido por las vibraciones de los cuerpos sonoros. Esa analogía entre los fenómenos tan diferente en apariencia, introduce en la física moderna una notable unidad de miras.

Pero la analogía no es completa, debiendo señalarse dos diferencias capitales.

Primeramente, las vibraciones de los cuerpos sonoros son relativamente lentas y extendidas, mientras que las de los cuerpos calientes y las de los cuerpos luminosos, son extremadamente rápidas y de una amplitud muy débil.

En segundo lugar, mientras que el sonido no se transmite á través de un espacio privado de aire, el calor y la luz nos llegan del Sol, á través de los espacios celestes.

Pero, si esas vibraciones luminosas y caloríficas se transmiten á nosotros á través de los espacios celestes, es preciso que esos espacios estén llenos de un flúido cualquiera al que se llamará éter.

La hipótesis de las ondulaciones supone la existencia de un flúido muy ligero, el éter, uniformemente esparcido en el espacio, así como en los cuerpos homogéneos, pero irregularmente distribuído en los cuerpos no homogéneos.

Consecuencia del sistema de las ondulaciones.—Se ve fácilmente que ese éter, si existe, ha de dificultar la circulación de los planetas. Se preguntó Laplace cuál podría ser su efecto sobre la marcha de los cuerpos celestes.

Ha observado Laplace que el éter tiene por efecto reducir las dimensiones de las órbitas del sistema solar, disminuyendo las duraciones de las revoluciones. También ha observado que ese doble efecto sería sobre todo sensible en el movimiento de la Luna.

Haremos dos advertencias sobre ese tema. La primera, es que la acción del éter podría ser en parte

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

causa de esa irregularidad de la Luna, cuya mitad solamente ha sido explicada por Laplace. La segunda, que á pesar del principio conservador de la atracción, y á pesar de los cálculos de Lagrange, de Laplace, de Poisson, todos los cuerpos del sistema solar se aproximarían sin cesar al Sol y acabarían por precipitarse sobre él.

Desde el punto de vista de la estabilidad del mundo, el sistema de las ondulaciones es poco más tranquilizador que el de la emisión.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XLIV

SISTEMA DE LAS ONDULACIONES Y MECÁNICA CELESTE

El éter y los cometas.—Hemos visto que la hipótesis de las ondulaciones consiste en considerar la luz como un movimiento vibratorio y en admitir que el espacio esté lleno de un flúido llamado éter, á través del cual las vibraciones luminosas de los cuerpos celestes se transmiten hasta nosotros.

Hemos visto igualmente que la existencia de ese éter debe tener por efecto acelerar el movimiento de los planetas, y sobre todo el de la Luna. De suerte que la mecánica celeste ofrece el medio de registrar el sistema de las ondulaciones.

Desgraciadamente la teoría de la Luna, presenta tantas dificultades que las perturbaciones sufridas por ese astro son aún imperfectamente conocidas.

Un día vendrá, sin duda, en que nuestro satélite no podrá ocultar nada al análisis matemático. Si entonces demuestra el cálculo que la segunda mitad de la aceleración en el movimiento de la Luna no puede absolutamente explicarse por el principio de la atracción universal, habrá que atribuir esa perturbación á la existencia de un *medio* eterizado, resistente, esparcido en las regiones interplanetarias; de ahí mismo el sistema de las ondulaciones recibirá una confirmación brillante.

El sistema solar nos ofrece cuerpos, que, más aun que la Luna, pueden señalar, en las regiones interplanetarias, la presencia de un medio resistente; son los cometas. Esos astros, en efecto tienen una masa

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

muy débil, de suerte que el éter, por ligero que se le suponga, debe dificultar su circulación de un modo apreciable.

Por consiguiente, si el sistema de las ondulaciones es la expresión de la verdad, la duración de la revolución de un cometa, debe—independientemente de toda otra causa perturbadora,—tener una tendencia manifiesta á la disminución.

¿Qué nos enseña sobre esa consideración, la historia de los cometas?

El cometa de Encke.—En 1818, descubre Pons un cometa invisible á simple vista. El profesor Encke, de Berlín, calcula sus elementos y nota con sorpresa que su órbita es una elipse bastante corta, y que por consiguiente la duración de su revolución no es más que de tres años aproximadamente.

El nuevo astro era evidentemente un cometa por la pequeñez de su masa y por la circunstancia de que escapaba del telescopio durante una parte de su revolución. Pero, por otra parte, su órbita bastante corta, le daba cierta semejanza con los planetas y permitía calcular muy exactamente todas las turbaciones que podía sufrir.

En cuanto los elementos del cometa de Encke fueron conocidos, se examinaron los catálogos para ver si ese cometa había sido observado en sus precedentes revoluciones. Habiendo demostrado Olbers, que un cometa observado en 1795 era el mismo cometa de Encke, no se tardó en adoptar la misma conclusión respecto de un cometa visto en 1786, y cuyos elementos no habían podido ser calculados porque no se le había observado más que dos veces. Así se encontraron pronto huellas de los diez últimos tránsitos del cometa.

Entonces el profesor Encke, discutiendo todas esas antiguas observaciones, descubrió, que la longitud de la órbita y la duración de la revolución iban sin cesar disminuyendo.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

¿Era preciso atribuir esas graves perturbaciones á la acción de los planetas? Correspondía á la mecánica celeste el estudio de esta cuestión. Los geómetras comenzaron á trabajar y pronto declararon que el principio de la atracción no era causa de la disminución sufrida por la órbita del cometa. Así se llegó á admitir la existencia de un medio resistente, capaz de estorbar la circulación de los cometas, pero demasiado ligero para producir un efecto sensible sobre los movimientos de los planetas y de sus satélites.

Nueva dificultad.—Era preciso saber si esa hipótesis daba cuenta de todas las particularidades del movimiento. Para eso era preciso esperar las apariciones siguientes.

En 1822, el cometa de Encke tenía una declinación austral en el momento de su paso al perihelio. Por ello no fué observado más que en el hemisferio austral de la Tierra. Las observaciones así conseguidas no pudieron concordar con la hipótesis de un medio resistente de densidad homogénea. Esa nueva dificultad no tardó en ofrecerse más claramente; y, desde el tránsito de 1828-1829, el movimiento del cometa de Encke fué para los astrónomos un verdadero enigma.

Se sospechó, sin embargo, la causa de las *huídas* señaladas entre la observación y la teoría. La órbita de Júpiter y la órbita del cometa de Encke se colocan de suerte que en cierta época esos dos astros se hallan muy cerca el uno del otro. Justamente esa circunstancia se había presentado, de 1828 á 1829, y durante ese período, el planeta Júpiter había ejercido sobre el cometa de Encke una acción perturbadora enorme. Esa acción fué calculada con los procedimientos habituales de la mecánica celeste. Se presentaba bajo la forma de un producto de dos factores de los cuales uno era muy grande y el otro representaba la masa de Júpiter. Con arreglo á esto el menor error cometido sobre el valor de esa masa arrastraba un error mucho más considerable en el valor de la

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

acción perturbadora. Había pues motivo para preguntarse si no se había adoptado para la masa de Júpiter un valor inexacto y si el error así cometido, transmitiéndose al céntuplo del valor de la acción perturbadora, no alteraba los resultados del cálculo hasta el punto de hacerle inconciliable con los resultados de la observación.

La masa de Júpiter había sido deducida de la *elongación* de sus satélites. Midió de nuevo M. Airy esas *elongaciones*, volvió á hacer cálculos, y demostró que el error cometido por Bouvard sobre la masa de Júpiter, alcanzaba los cuatro centésimos de su valor. Al mismo tiempo otros calculadores llegaban á la misma conclusión estudiando las perturbaciones de Junón y de Vesta.

Adoptando el nuevo valor obtenido para la masa de Júpiter, fué posible conciliar las observaciones relativas al cometa de Encke con la hipótesis de un medio resistente de densidad conveniente.

El cometa de Halley.—Pero la densidad así calculada no pudo absolutamente dar cuenta del movimiento del cometa de Halley en 1836.

En presencia de esta nueva dificultad, algunos sabios creyeron, que la masa del éter, arrastrada en el movimiento de los planetas, debía revolotear alrededor del Sol, y que, por consiguiente, los cometas que marchan en el sentido directo debían experimentar menos resistencia que los otros.

Esa hipótesis no era absolutamente inverosímil. Pero no tendrá un valor científico hasta que resista la prueba del cálculo y de la observación.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

LIBRO X

La formación de los mundos

CAPITULO XLV

ORIGEN DE LOS MUNDOS

De las nebulosas.—Se sabe que las nebulosas se ofrecen á nuestros ojos como manchas blancas tan pequeñas como variadas en sus formas.

La primera que ha sido señalada es la de la cintura de Andrómeda. Fué descubierta en 1612 por Simón Marino. Ese astrónomo compara su luz, á la candela vista al través de una hoja de cuerno. En 1656, vió Huygens la gran nebulosa de la constelación de Orión. Se asignó su sitio en la Espada de Orión y describió su apariencia en términos bastante poéticos. Se hubiera creído — dice en su *Sistema saturnium*,—ver en el cielo una abertura que esparcía luz sobre una región más luminosa.

En el siglo XVIII, descubrió Lacaille en su viaje al cabo de Buena Esperanza, un cierto número de nebulosas. Sin embargo, en 1784 no se conocían más que 103.

Entonces apareció William Herschell. Este ilustre astrónomo publicó, en 1786, en las *Transacciones filosóficas*, un catálogo de mil nebulosas. Tres años

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

después, con gran extrañeza de los sabios, publicó un segundo catálogo tan extenso como el primero. En fin, en 1802, señaló aún quinientas nebulosas nuevas.

Dos clases de nebulosas.—Todo hacía creer que esas nebulosas eran vastos tropeles de estrellas sembrados en el cielo. En efecto, á medida que Herschell empleaba telescopios más fuertes, se convencía más de que la mayor parte de las nebulosas son grandes conjunciones de estrellas. Así pues—decía,—si algunas de entre ellas, persisten en conservar su apariencia de nubes es porque nuestros instrumentos no son bastante poderosos.

No razonaba muy mal Herschell. Pero se engañaba. Había ya Lacaille emitido una opinión contraria del todo, y Herschell mismo no tardó en reconocer su error.

Apresurémonos á decir que descubrimientos recientes han justificado plenamente las previsiones de Lacaille. En efecto, examinando con el espectroscopio las diversas nebulosas, se ve que éstas, descompuestas ya por el telescopio, presentan espectro continuo; mientras que en medio de las otras, algunas ofrecen uno de esos espectros discontinuos, compuestos únicamente de algunas rayas brillantes, que caracterizan á los cuerpos gaseosos.

Hay, pues, dos clases de nebulosas. Las unas son un tropel de estrellas; tal es la Vía láctea de la cual nuestro Sol forma parte. Pero las otras son verdaderas nubes, aglomeraciones de vapor.

Formación de los mundos.—Las nebulosas propiamente dichas tienen apariencias muy variadas. Ofrecen según la expresión de Arago, las formas de las nubes atormentadas por el viento; algunas presentan núcleos brillantes.

¿Serían esos núcleos, centros de atracción alrededor de los cuales se condensarían poco á poco materias gaseosas? ¿Asistiríamos á la formación de nuevos mundos?

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Esta idea ha atormentado mucho tiempo el espíritu de los astrónomos. Estaba reservado á Herschell este descubrimiento. Observó este ilustre sabio la nebulosa de Orión desde 1783 hasta 1811 y notó que había cambiado de forma; las observaciones de Herschell eran concluyentes. Así es que, el año 1811, no titubeó Herchell en escribir en las *Transacciones filosóficas: He probado, cambios.* En efecto, Herschell, los había probado.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XLVI

FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

Hipótesis cosmogónica de Laplace.—Hemos dicho que las nebulosas, condensándose, dan lugar á la formación de nuevos sistemas solares.

Es pues natural admitir que el sistema solar del cual formamos parte no ha sido en su origen más que una gigantesca aglomeración de vapor. Tal es el punto de partida de la hermosa hipótesis cosmogónica de Laplace.

Dos principios de mecánica.—Cuando se viaja en coche por un camino mojado por la lluvia, se nota, por poco rápido que sea el movimiento, que las ruedas lanzan salpicaduras de barro en el sentido del movimiento. Se comprueba así, en un caso particular, la verdad de una ley general de la mecánica, que se puede explicar en estos términos: Cuando un cuerpo gira sobre sí mismo con una velocidad grande, las materias que no tienen con él más que una débil adherencia se desprenden y son lanzadas á lo lejos, en el sentido del movimiento.

Ese es el primer principio. He aquí el segundo: Cuando un cuerpo se mueve en el espacio, siguiendo una ruta, gira sobre sí mismo. Esto ocurre á la bomba que lanza el cañón.

Exposición de la hipótesis de Laplace.—Concibamos ahora en el espacio una nebulosa inmensa que gira sobre sí. Esa masa de vapor, perdiendo calor en todos los sentidos, como un hierro candente que sale de la fragua, acaba como él, por enfriarse. La física

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

nos enseña que ese enfriamiento debe producir una condensación. En virtud de una ley de la mecánica, conocida bajo el nombre de *principio de los aires*, el movimiento de rotación de nuestra nebulosa es cada vez más rápido, y lo mismo que la rueda del coche, girando cada vez más de prisa, acaba por lanzar salpicaduras, nuestra nebulosa lanzaría en el espacio fragmentos de materia. Lo que quedara de la nebulosa formaría el Sol, y los fragmentos desprendidos serían los planetas.

¿Dónde irán esos planetas? Parece que deban marchar derechos hacia adelante. Pero no es así. Atraídos constantemente por el Sol, según las leyes de Newton, no podrán ni alejarse de él por causa de su atracción, ni precipitarse sobre él, á causa de la impulsión que han recibido. Deberán, según las leyes de la mecánica, describir una elipse, de la cual el Sol ocupa un hogar. Además, cada uno de ellos deberá describir una elipse siempre en el mismo sentido y sin pararse nunca. (Problema de los dos cuerpos).

He ahí, pues, que nuestros planetas describen sus órbitas elípticas alrededor del Sol. Pero esos planetas no están aún en estado de solidez. Son acumulaciones de vapores; verdaderas nebulosas. Como la bomba que lanza el cañón, esas nebulosas, siguiendo su ruta, giran sobre ellas mismas. Como la nebulosa principal que les ha dado nacimiento, esas nebulosas secundarias se enfriarán á su vez, se condensarán, girarán más de prisa; y entonces lanzarán alrededor de ellas fragmentos de su masa. Esos fragmentos serán satélites, que seguirán al planeta en su marcha, y describirán una elipse alrededor de él.

Tal es, reducida á su mayor sencillez, la hipótesis por medio de la cual, Laplace ha explicado la formación del sistema solar.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XLVII

EXAMEN DE LA HIPÓTESIS DE LAPLACE

Masa y volumen del Sol.—Si quiere uno darse cuenta del valor científico de la hipótesis de Laplace, es indispensable examinar las consecuencias que de ella dimanan.

Con arreglo á esa hipótesis, los planetas no son más que salpicaduras del Sol. Esta conclusión, por extraña que parezca, resulta muy natural si se tiene en cuenta que el Sol es muy superior á los otros planetas, ya por su masa, como por su volumen.

Recordemos algunos números. La masa del Sol es ella sola seiscientas veces mayor que las masas de todos los planetas reunidos. En cuanto al volumen de ese astro, es trece mil veces mayor que el de la Tierra.

Imaginemos ciento doce globos como la Tierra, colocados los unos encima de los otros; la altura de esa columna representará la altura del Sol.

O bien, figurémonos la distancia que separa el centro del Sol de un punto de su superficie. Esa distancia es sobre poco más ó menos doble de la que separa á la Tierra de la Luna.

Y, si nuestro globo no parece aun bastante ruín, que se busquen otras imágenes. A medida que sean estas más materiales, mostrarán más la pequeñez de la Tierra. Por si se conservara alguna duda respecto á esa consideración, reflexionemos el hecho siguiente, relatado por el ilustre autor de la *Astronomia popu-*

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

lar: Queriendo dar un profesor de Angers, á sus discípulos una idea sensible de la relación que existe entre el tamaño del Sol y el de la Tierra, tuvo la paciencia de contar el número de granos de trigo contenido en un litro. Se aseguró de ese modo de que trece mil granos representaban un volumen de catorce decalitros. Colocó en montón en un extremo de la sala catorce decalitros de trigo, y puso después un grano sobre su mesa. Luego, dirigiéndose á sus auditores dijo: «He aquí el Sol, y he aquí la Tierra», señalando el montón y el grano, respectivamente.

Naturaleza de la curva descrita por los planetas.— Según los resultados que ofrece el problema de los dos cuerpos, todos los astros que circulan alrededor del Sol deben describir una de las tres curvas del segundo orden. El sistema solar, nos ofrece la particularidad notable de que los cometas sólo describen indistintamente una de las tres curvas del segundo orden, mientras que los planetas describen todos elipses, teniendo hasta los más voluminosos órbitas casi circulares.

Laplace da cuenta de esta particularidad por medio de su hipótesis. Supone que la materia desprendida de la nebulosa primitiva ha formado primero anillos, los cuales, rompiéndose, han dado nacimiento á los planetas.

La explicación de Laplace está rigurosamente conforme con los principios de la mecánica, siendo además, confirmada por los hechos.

Es así que ciertos anillos desprendidos del planeta Saturno han podido gracias á condiciones de equilibrio del todo especiales, conservar su primitiva forma.

Así también, reproduciendo las experiencias de M. Plateau, se consigue muchas veces desprender de la bola de aceite un anillo, que se rompe casi en seguida, y se vuelve á soldar en un torbellino de pequeñas bolas.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Sentido del movimiento del sistema solar.- Como el Sol gira sobre sí en sentido directo, los planetas á los cuales ha dado nacimiento, deben marchar en el mismo sentido. Además los planos de las órbitas planetarias deben confundirse con muy poca diferencia con el plano del ecuador solar.

Del mismo modo, que Júpiter gira sobre sí en sentido directo, los satélites de ese planeta deben marchar en el mismo sentido. Además, los planos de las órbitas de esos satélites deben estar poco inclinados sobre el plano del ecuador de Júpiter.

Esas previsiones de la teoría están confirmadas por la observación. Es preciso, sin embargo, señalar algunas excepciones. Ciertos cometas tienen un movimiento retrógrado, que parecería conciliarse difícilmente con la hipótesis de Laplace. Se ha explicado esta anomalía diciendo que esos cometas han sido introducidos en nuestro sistema después de su formación. Esos astros errantes habrían escapado así de la atracción de alguna estrella para engrosar la comitiva del Sol. La naturaleza de las curvas descritas por los cometas parece, en efecto, justificar esta explicación.

Se ha descubierto en esos últimos tiempos un cierto número de pequeños planetas ó asteroides que tienen también un movimiento retrógrado. Ese descubrimiento ha tenido una gran resonancia porque amenazaba la hipótesis de Laplace. He aquí lo que Sir John Herschell escribía sobre ese caso en las *Noticias mensuales* (Monthly Notices): «¿Cómo es compatible el movimiento retrógrado de esos asteroides alrededor del Sol con la hipótesis de la nebulosa? Dejamos la respuesta á los defensores de esta hipótesis.» Con arreglo á Leverrier, esos nuevos asteroides se habrían introducido fuera de tiempo en el sistema solar, igual que los cometas retrógrados.

Pero el planeta Urano nos ofrece dificultades más graves; sus satélites tienen un movimiento retrógrado,

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

No se puede, sin embargo, admitir que esos satélites hayan sido introducidos fuera de tiempo en el sistema solar. Probemos de dar una explicación plausible. Si el planeta Urano gira sobre sí en el sentido retrógrado, es muy natural que sus satélites marchen también en el sentido retrógrado. Queda pues por demostrar que los planetas, formados por los anillos de Laplace, pueden girar sobre ellos mismos, los unos en sentido directo y los otros en sentido retrógrado.

A este efecto, consideremos un anillo de Laplace girando alrededor del Sol en sentido directo. Si la materia de ese anillo, sin ser sólida, tiene cierta resistencia, el anillo gira sobre poco más ó menos en una *pieza* y por consiguiente las partes exteriores del anillo describen á un mismo tiempo más camino que las partes interiores. En esas condiciones, si este anillo forma un planeta, está claro que ese planeta girará sobre sí en sentido directo.

Imaginemos al contrario, otro anillo girando alrededor del Sol en sentido directo, como el precedente, pero formado de una materia aun más *flúida*. La parte exterior y la parte interior del anillo no girarían con un movimiento común. La parte interna tendrá más fuerte velocidad angular. En ese estado si el anillo llega á romperse, se formará un planeta girando sobre sí en sentido retrógrado y por consiguiente susceptible de crear satélites con movimiento retrógrado.

Veamos si esa teoría está confirmada por los hechos. La nebulosa solar, que primero era inmensa, se ha estrechado poco á poco, abandonando en sus fronteras, anillos sucesivos, cada vez más pequeños, que han dado nacimiento á los planetas.

Resulta de ahí que, cuanto más alejado esté un planeta del Sol, es más antiguo. Por otra parte, cuanto más antiguo es, la materia que le ha formado debe ser también más flúida. Así pues los movimien-

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

tos deben ser retrógrados para los satélites de los planetas alejados del Sol, y directos para los satélites más aproximados á este astro.

Prueba la experiencia que en efecto los satélites retrógrados son los de Urano y de Neptuno, es decir, los planetas más alejados del Sol.

Forma de los planetas.—Si la hipótesis de Laplace es la expresión de la verdad, los planetas han sido *flúidos* en su origen. Por consiguiente, deben tener la forma que les asigna la geometría. Se ha creído durante algún tiempo que el planeta Marte constituía una excepción, y que su forma era una poderosa objeción contra el sistema cosmogónico más acreditado.

Partiendo de la hipótesis cosmogónica de Laplace, se ha calculado la densidad mediana de Marte no defiriendo el número hallado del conseguido por los métodos ordinarios de la mecánica celeste. De suerte que la forma de Marte, que parecía una objeción contra la hipótesis de Laplace, es hoy la confirmación.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XLVIII

NUEVO EXAMEN DE LA HIPÓTESIS DE LAPLACE

Hemos expuesto las pruebas y las objeciones que los geómetras han hecho en pro y en contra de la hipótesis de Laplace.

Interroguemos ahora á los geólogos, á los naturalistas, á los químicos y á los físicos.

Los geólogos.—La mayor parte de los geólogos creen que la Tierra ha sido en su origen una masa flúida é incandescente, y que hoy mismo nuestro globo no es más que un inmenso horno cubierto por una corteza sólida.

Entre los hechos que apoyan esta teoría, citaremos simplemente las erupciones de los volcanes y los temblores de tierra.

La relación íntima que existe entre la teoría de los geólogos y la hipótesis de Laplace, es tan manifiesta que nos parece inútil señalarla.

Los naturalistas.—A medida que se han estudiado los restos de plantas halladas en los diversos depósitos de hulla, se ha ido reconociendo que durante el período geológico llamado *época carbonífera*, las especies de las regiones tropicales prosperaban hasta cerca de los polos. Es verdad que el calor necesario para esa rica vegetación podía provenir de las entrañas mismas de la tierra.

Pero se sabe hoy que las plantas tienen necesidad de luz tanto como de calor. Es preciso pues admitir que, durante el período carbonífero, el Sol tenía un diámetro tan grande que la luz alumbraba todo el

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

año las regiones vecinas al polo. Así llegamos á la hipótesis de la nebulosa, que, estrechándose todos los días, ha acabado por reducirse á las dimensiones actuales del Sol.

Los químicos.—El análisis espectral ha suministrado una nueva prueba en pro de la hipótesis de Laplace.

Si la Tierra no es más que un fragmento apartado del Sol, esos dos cuerpos celestes deben tener la misma composición química.

Pero, ¿cómo comprobar la consecuencia de la hipótesis de Laplace? ¿Cómo hacer el análisis químico del Sol?

El gigante Micromegas, que viajaba de un mundo á otro en la cola de un cometa, no se hubiera apurado. Se hubiera colocado sobre el Sol instalando allí un laboratorio. Desgraciadamente olvidóse Voltaire de confiar su secreto.

Y hay que reconocerlo, no han hecho los sabios nada para encontrarlo.

Pues ya que era imposible aproximarse al Sol, había que aprender á hacer el análisis químico de un cuerpo situado fuera de nuestro alcance. Así se ofrecía el problema á las investigaciones de los sabios.

Al fin se ha construído un instrumento de óptica, llamado espectroscopio, que permite analizar químicamente un cuerpo luminoso por alejado que esté.

Mediante ese instrumento se ha podido conocer la composición química del Sol, encontrándose en ese astro hierro, plomo, cal, en una palabra, la mayor parte de los elementos que constituyen nuestro globo.

Es así que un nuevo método, abriendo un campo inmenso á las investigaciones de la química, ha confirmado la hipótesis de Laplace de una manera brillante.

La ciencia ha allanado todos los obstáculos, y el hombre, sujeto á la Tierra, ha podido conocer los elementos que constituyen los cuerpos celestes. La luz

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

que esos astros nos envían ha sido para el químico un indicio suficiente, y cada rayo luminoso ha dado á conocer por su naturaleza, la naturaleza del hogar del cual emana. Cuando el hombre ha querido hacer el análisis químico del Sol, ha cogido un rayo de luz solar y le ha interrogado. Le ha sometido á la experiencia, lo ha torturado. ¡Y ese rayo, dócil en sus manos, ha revelado los secretos de esos mundos del cual nos separa un abismo!

Los físicos.—Recordemos las experiencias de monsieur Plateau, la bola de aceite que gira en una mezcla de agua y de alcohol; los anillos que se separan de la bola, y las gotitas formadas á costa de los anillos.

La masa de aceite que queda al centro nos representa el Sol; las gotitas que circulan alrededor, son los planetas y la bola primitiva, que da nacimiento á ese pequeño sistema solar, no es otra cosa que la nebulosa de Laplace.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

CAPITULO XLIX

CONCLUSIÓN

Hemos expuesto los maravillosos resultados obtenidos por los geómetras. Pues bien, hay una cosa más asombrosa aún que esos grandes descubrimientos: es la rapidez con la cual se han sucedido. Antes de Newton, el firmamento parecía guardar sus secretos con un cuidado celoso. Pero cuando ese gran hombre dió á conocer su fecunda hipótesis, la ciencia cambió de faz. Planetas, cometas, satélites, todos los astros del sistema solar se ven forzados á describir curvas de segundo orden. Marchan, y su movimiento da á conocer su peso; giran y su rotación da la medida de su aplastamiento.

Sus irregularidades mismas están sujetas á leyes regulares. Aparece Laplace, y los planetas reducidos á no experimentar más que huídas periódicas, no producen inquietudes respecto al porvenir del sistema solar; los polos son siempre inmóviles en la superficie de nuestro globo, el día será en adelante de una duración invariable; los mares están condenados á permanecer eternamente en su lecho.

Con D'Alambert, los polos celestes se prestan al cálculo y se estrechan para regular sus cambios sobre las fórmulas de la geometría.

En fin, los mundos invisibles son explorados por los sabios; y lo mismo que Laplace señaló las particularidades de Saturno, así reveló Leverrier la existencia de Neptuno.

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

La mecánica celeste nacida ayer, ya nos ha entregado la mayor parte de los secretos del sistema solar. Pronto, sin duda, á consecuencia de la Astronomía, poseerá el mundo de las estrellas, pesará los diferentes soles y regulará su marcha.

Pero sería temeridad querer predecir el porvenir de la ciencia. Mi tarea está terminada. He explicado los principios y los resultados de la mecánica celeste. En esa exposición he sido sobrio en reflexiones; porque quería dejar al lector frente á frente de la verdad científica.

Y, sin embargo, la inmensidad del universo, la armonía de los mundos, la pequeñez del hombre perdido en el espacio, la grandeza de la razón que ha sabido sondar los abismos, todos esos grandes espectáculos que nos descubren la ciencia, me causan emociones profundas.

«Pero dichoso entre todos, el que, colocado entre las alturas serenas donde la Sabiduría ha construído su templo, puede ver bajo sus pies el común de los mortales perderse acá y acullá, buscando á tientas el camino que es preciso seguir, consumiéndose día y noche en esfuerzos dolorosos, para elevarse á la fortuna y poner la mano sobre el poder».

(Lucrece, II).

Escuela del Magisterio «Arias Montano» BADAJOZ

FIN

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

Biblioteca de la Universidad de Extremadura

EX E 9403240423

Biblioteca de la Universidad de Extremadura