

El cálculo me ha permitido ver que de ella resulta una aceleración en los movimientos medios de los planetas alrededor del Sol, y de los satélites alrededor de sus planetas. Yo había ideado este modo de explicar la ecuación secular de la Luna, cuando creía con todos los géometras que era inexplicable en las hipótesis admitidas sobre la acción de la gravedad. Deducía yo que si dimanaba de esta causa, para sustraer á la Luna enteramente al influjo de su gravedad hacia la Tierra, era preciso suponerla dotada de una velocidad hacia el centro de nuestro globo por lo menos *siete millones de veces mayor que la de la luz* (1). Siendo hoy perfectamente conocida la verdadera causa de la ecuación de la Luna, estamos seguros de que la actividad de la gravedad es todavía mucho mayor. Esta fuerza obra, pues, con una velocidad que podemos juzgar infinita: debiendo deducir de ello que la atracción del Sol se comunica en un instante casi indivisible á los límites del sistema solar.,

CAPÍTULO VIII

¿QUÉ ES LA GRAVITACIÓN?

I

IDEAS DE NEWTON SOBRE LA ATRACCIÓN

Después de haber enumerado los principales fenómenos de la gravedad, y expuesto las leyes en virtud de las cuales se hacen patentes, ya en la superficie de la Tierra, ya en el interior del globo ó bien en la atmósfera; después de haber demostrado la identidad de su principio con el de los movimientos de los astros, así en nuestro sistema solar como en los sistemas sidéreos que el telescopio descubre en el seno de los cielos, ocúrrase inevitablemente una pregunta:

¿Qué es la gravedad, qué la gravitación ó atracción universal?

Fácil nos sería pasar adelante respondiendo que la cuestión planteada de esta suerte no es del dominio de la ciencia, la cual se da por satisfecha con haber llegado á conocer, á medir los efectos de la causa que ha recibido el nombre de gravedad. Conócese una fuerza tanto cuanto puede serlo si sus efectos están claramente indicados por la definición misma, si todas las circunstancias de los fenómenos son consecuencias necesarias del principio, si la observación experimental y la teoría concuerdan siempre.

Esto es muy cierto; y considerándolo así, nada tendríamos que añadir á los capítulos precedentes, no abrigando el propósito de abordar esa cuestión de metafísica que tendría por objeto determinar la *esencia* de la gravitación, ó según el lenguaje escolástico, averiguar lo que la gravitación es *en sí*.

Pero podemos acometer de otro modo la solución del problema, como la han acometido varias veces lo mismo los sabios de los dos últimos siglos que los contemporáneos. Se ha reflexionado si la gravitación sería un caso particular de una fuerza más general, ó lo que es casi igual, si tendría con tal ó cual fuerza física una correlación que

(1) Si esta cantidad expresara la verdadera velocidad de la transmisión de la fuerza de la gravitación, se propagaría en 15 segundos hasta la estrella más próxima á nosotros, por ejemplo hasta *alfa* del Centauro. La luz invierte tres años y medio en recorrer esta distancia.

permitiera considerar á ambas como efectos de una misma fuerza. Así por ejemplo, ¿no existirá una conexión parecida entre la gravedad y la electricidad? ¿No estará relacionada la gravitación con el movimiento ondulatorio del éter? Las ondas que producen la luz y el calor radiante, ¿no pueden también explicarnos los fenómenos de la gravedad?

Digamos desde luego que hasta el presente sólo se ha iniciado muy ligeramente una teoría de esta naturaleza; pero tal vez no esté de más el dar una idea de estos conatos, aunque sólo sea para que se comprenda cuán lejos estamos aún de la solución del problema. Al propio tiempo aprovecharemos la ocasión para disipar algunas ideas erróneas, de esas que tan fácilmente se abren paso en la imaginación á causa de la ambigüedad de ciertas palabras.

Por esto solemos formarnos una falsa idea de la atracción. Sin embargo, cuando Newton se valía de esta palabra, tenía mucho cuidado de prevenir al lector contra una interpretación que hubiera asemejado la causa de los fenómenos de gravitación y de gravedad á las *cualidades ocultas* de los filósofos antiguos. Véase lo que dice en su inmortal obra titulada *Principios matemáticos de la filosofía natural*:

“Entiendo por la palabra *atracción* el esfuerzo que hacen los cuerpos para acercarse unos á otros, ya resulte este esfuerzo de la acción de los cuerpos que se buscan mutuamente ó que se agitan uno á otro con sus emanaciones, ó bien proceda de la acción del éter, del aire ó de cualquier otro medio, corpóreo ó incorpóreo, que impela de un modo cualquiera á todos los cuerpos que flotan en él hasta llegar á reunirse.”

Y en otra parte añade:

“Hasta aquí me he valido de la fuerza de la gravitación para explicar los fenómenos celestes y los del mar; pero en ninguna parte he asignado la causa de esta gravitación. Dicha fuerza dimana de alguna causa que penetra hasta el centro del Sol y de los planetas, sin perder nada de su actividad; obra según la cantidad de la materia, su acción se extiende por todas partes á distancias inmensas, decreciendo siempre en razón doble de las distancias. Todavía no he podido deducir de los fenómenos la razón de estas propiedades de la gravedad, y ni siquiera formo hipótesis.....”

Hablando Newton, en la cuestión XXXI de la *Optica*, de las potencias atractivas, como el magnetismo, la electricidad, la gravedad, hace adrede la misma reserva diciendo:

“No examino aquí cuál puede ser la causa de estas atracciones; lo que yo llamo *atracción* puede ser producido por impulso ó por otros medios que desconozco. No me valgo de la palabra *atracción* sino para significar en general una fuerza cualquiera, en virtud de la cual los cuerpos propenden á reunirse, sea cualquiera la causa; porque en los fenómenos de la Naturaleza debemos aprender que los cuerpos se atraen recíprocamente y cuáles son las leyes y propiedades de esta atracción, antes de investigar la causa que la produce.”

Nadie ignora que Newton consideraba la luz como una materia *sui generis* que se propagaba en línea recta en los medios homogéneos, y que en su concepto los espacios celestes tan sólo oponían una resistencia nula ó insensible á los movimientos de los astros. Y sin embargo, no creía que estos espacios estuviesen absolutamente vacíos; antes al contrario, los suponía llenos de un medio al cual da el nombre de *medio etéreo* ó *éter*, atribuyéndole precisamente las cualidades que hoy le conceden los físicos para explicar los movimientos de la luz. Parécele probada la existencia de tal medio, entre otros experimentos, por uno que consiste en hacer el vacío en un globo que tiene en su centro la bola de un termómetro, y en demostrar que el instrumento se calienta ó se enfría casi con la misma rapidez que cuando el globo está lleno de aire. Parece

resultar de este experimento que el calor no se puede transmitir ó “comunicar á través del vacío sino por las vibraciones de un medio mucho más sutil que el aire.” (*Cuestiones de óptica*). “Este medio, añade, ¿no es muchísimo más tenue y sutil que el aire, y también mucho más elástico y activo? ¿No penetra fácilmente todos los cuerpos, y en virtud de su fuerza elástica no se difunde por todas partes?”

Cosa rara: Newton, que niega al éter en movimiento la propiedad que hoy se le atribuye universalmente de ser el propagador de las ondas luminosas, lo considera susceptible de explicar los fenómenos de la gravitación y de la gravedad.

“Este medio, dice en la cuestión XXI de la *Óptica*, ¿no está más enrarecido en los cuerpos densos del Sol, de las estrellas, de los planetas y de los cometas, que en los espacios celestes vacíos que median entre dichos cuerpos? Y pasando de éstos á espacios muy remotos, ¿no va haciéndose ese medio progresivamente más denso, y no es por esto mismo causa de la gravitación recíproca de esos vastos cuerpos, y de las de sus partes hacia estos cuerpos mismos, haciendo cada uno de ellos un esfuerzo para ir de las partes más densas del medio á las más enrarecidas?”

Esto probablemente no pasa de ser una hipótesis; basta para demostrar que Newton estaba muy lejos de considerar la atracción como una especie de *qualidad occulta* que obrara á cualquier distancia, por cuanto asigna á los fenómenos de gravitación una causa análoga á la que influye para impeler á los cuerpos leves sumergidos en un medio fluido más denso. “Porque si este medio está en el interior del cuerpo del Sol más enrarecido que en su superficie, y más aún en ésta que á $\frac{1}{100}$ de pulgada de su cuerpo, y todavía más aquí que á $\frac{1}{50}$ de pulgada de su cuerpo, y más enrarecido á este $\frac{1}{50}$ de pulgada que en el orbe de Saturno, no veo la razón de que se detenga en ningún punto el aumento de densidad, y de que no continúe á cualquier distancia, desde el Sol hasta Saturno y aun más allá. Y aunque este aumento de densidad pueda ser sumamente lento á grandes distancias, con todo, si la fuerza elástica de este medio es extraordinariamente grande, puede bastar para impeler á los cuerpos desde las partes más densas de este medio hacia las más enrarecidas, con toda esa pujanza á la que damos el nombre de GRAVEDAD.”

Por último, en una carta escrita á Bentley, Newton protesta de un modo nada equívoco contra la idea de que la causa de la gravedad pudiera ejercerse á cualquier distancia, al través del vacío absoluto, como pudiera creerse en vista del enunciado de la ley de la atracción universal: “Que la gravedad sea innata, inherente y esencial á la materia, de suerte que un cuerpo pueda influir sobre otro á cualquier distancia, al través del vacío y sin que otro cuerpo intermedio transmita esta acción ó esta fuerza de uno á otro, es en mi concepto un absurdo tan grande que me parece imposible que pueda incurrir en él ningún hombre capaz de tratar cuestiones filosóficas. La gravedad debe dimanar de una causa que obre constantemente con arreglo á ciertas leyes; en cuanto á si este agente es material ó inmaterial, lo dejo al juicio de mis lectores.”

II

HIPÓTESIS CONTEMPORÁNEAS SOBRE LA NATURALEZA DE LA ATRACCIÓN

Faraday, uno de los físicos más eminentes de nuestra época, ha emprendido bajo un nuevo punto de vista la crítica de la idea de que la gravitación pueda ser una fuerza que se ejerce á cualquier distancia y sin mediación alguna. En su concepto, existe con-

tradición entre la idea de una variación de esta fuerza por el simple hecho de los cambios de distancia, y el principio de la conservación de la fuerza, hoy universalmente reconocido.

Si dos partículas se atraen con menor energía cuando ha aumentado su distancia, ¿no prueba esto que ha debido de haber en alguna parte, dentro ó fuera, el efecto de otra fuerza equivalente á la disminución de la atracción? Y recíprocamente, si á consecuencia de una disminución de la distancia de las dos masas la fuerza de atracción ha aumentado entre ellas, ¿no es evidente que este aumento ha debido ocurrir á expensas de alguna otra forma de fuerza? Pero no podemos apreciar el modo de manifestarse estas fuerzas supuestas, y la cuestión se reduce á saber si la teoría y la observación llegarán á averiguar la realidad de su existencia.

Algunos sabios contemporáneos han hecho varias tentativas para plantear una nueva teoría de la gravedad. Los más notables han acogido la idea emitida por Newton en su *Óptica*; sus autores atribuyen los fenómenos de gravedad y de atracción á los movimientos del éter.

El ilustre Lamé les abrió además el camino para esta suposición en sus *Lecciones sobre la elasticidad*.

“La existencia del fluido etéreo, demostrada incontestablemente por la propagación de la luz por los espacios planetarios y por la explicación tan sencilla como completa de los fenómenos de la difracción en la teoría de las ondas, y, según hemos visto, las leyes de la doble refracción prueban con no menor certidumbre que el éter existe en todos los medios diáfanos. Así pues, la materia ponderable no es única en el Universo; sus partículas flotan en cierto modo en medio de un fluido. Si este fluido no es la causa única de todos los hechos observables, debe cuando menos modificarlos, propagarlos, complicar sus leyes. No es posible por lo tanto llegar á una explicación racional y completa de la naturaleza física, sin hacer intervenir este agente, cuya presencia es inevitable. No es posible dudar de que, estudiando con acierto esta intervención, se dará con el secreto ó con la causa verdadera de los efectos que se atribuyen al calórico, á la electricidad, al magnetismo, á la *atracción universal*, á la cohesión, á las afinidades químicas; porque todos esos seres misteriosos é incomprensibles no son en el fondo sino hipótesis de coordinación, útiles sin duda para nuestra ignorancia actual, pero que los progresos de la verdadera ciencia acabarán por destronar.”

¿Qué relación puede haber entre los fenómenos de atracción y las propiedades del medio etéreo, cuya existencia es necesaria para explicar los fenómenos de la luz? En el libro dedicado á la *Luz* veremos que estos fenómenos reconocen por causa las ondulaciones suscitadas en el éter por las vibraciones de los focos luminosos; que estas ondulaciones se propagan con una velocidad de 300,000 kilómetros por segundo y tienen efecto en un sentido perpendicular á la dirección de los rayos de luz, sin que la densidad del medio varíe. Pero los géometras han demostrado que toda conmoción excitada en un medio elástico homogéneo engendra dos sistemas de ondas que se propagan esféricamente: unas son las vibraciones transversales que constituyen la luz; otras son vibraciones longitudinales que producen condensaciones y dilataciones alternativas.

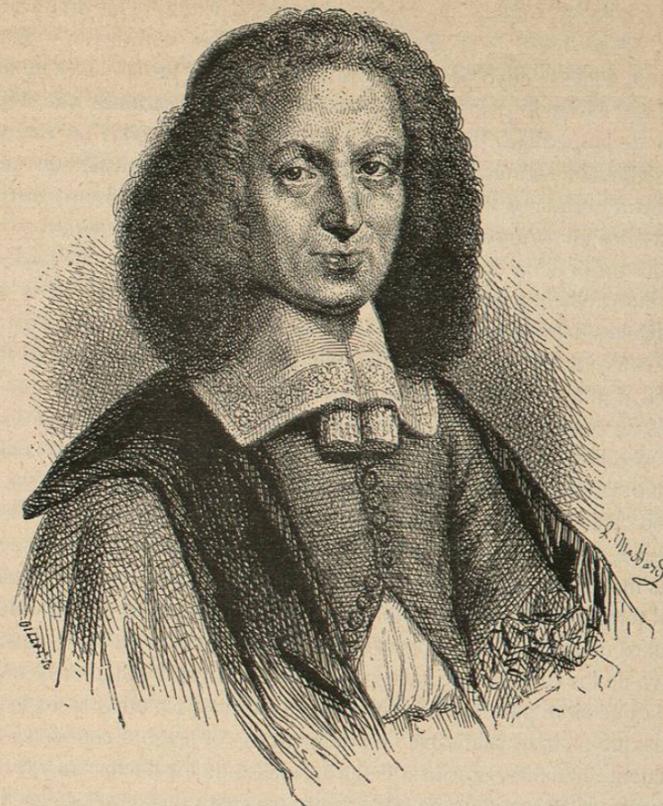
Dos físicos, MM. F. y E. Kéller, han recurrido á estas ondas longitudinales, cuyos efectos no los ha comprobado hasta ahora la observación de ningún fenómeno conocido, para hallar la explicación de los fenómenos de gravitación ó de gravedad. Dichos físicos comparan la acción de las ondas longitudinales con la de las ondas líquidas que arras-

tran á los buques por el exceso de la fuerza viva de su flujo sobre la de su reflujó; de sus impulsos y de sus reacciones resulta un exceso de fuerza en el sentido de la propagación de las ondas que, comunicándose á las moléculas de los cuerpos resistentes, los empujan unos hacia otros. Las ondas se cruzan en todas direcciones en el seno del éter, y dos moléculas ó dos cuerpos que á alguna distancia reciban los choques de unas y otras, actúan mutuamente como pantallas que absorben los impulsos, resultando de aquí para dichos cuerpos una tendencia á acercarse, que sería la gravitación. Los señores Kéller opinan que de esta hipótesis podría deducirse la ley de la atracción inversa del cuadrado de las distancias y proporcional á las masas, es decir, al número de moléculas.

Más adelante ha propuesto M. Leray una hipótesis análoga, y M. Lecoq de Boisbaudrán la ha propuesto también, aunque en forma algo distinta. El primero atribuye la gravitación á la acción de las corrientes de encontradas direcciones que atraviesan el éter y que se debilitan al encontrar un cuerpo ó quedan absorbidas en él. El segundo, como los señores Kéller, parte del principio de las vibraciones longitudinales del éter.

Para unos y otros, la fuerza viva absorbida es la causa de las vibraciones interiores que producen el calor y la luz.

Nos limitaremos á este incompleto resumen de hipótesis que nos han parecido interesantes, pero que, no habiendo salido aún del terreno de las conjeturas, no han podido contar todavía con la adhesión de los hombres de ciencia. Recordaremos que Lamé, prediciendo con la autoridad de su alta competencia el papel que habría de desempeñar en las teorías científicas el fluido etéreo, "segunda especie de materia, decía, infinitamente más extendida,, hacía sus reservas sobre la legitimidad de las tentativas que no dejarían de practicarse en este concepto. "Hace mucho tiempo que he llegado á deducir dos conclusiones nuevas: primera, que la ciencia futura reconocerá en el éter el verdadero *rey* de la naturaleza física; segunda, que si se le quisiera coronar desde luego, se retardaría infinitamente su sólida instalación.,,



HUYGENS

SEGUNDA PARTE

APLICACIONES DE LA GRAVEDAD Á LAS CIENCIAS,
Á LA INDUSTRIA Y Á LAS ARTES

No hay trabajo humano de cuantos tienen la materia por objeto en el que no entre el peso de los cuerpos como elemento, ya se presenten éstos en estado sólido, en el líquido ó en el de vapor ó gas, siendo por tanto preciso tener en cuenta los efectos de la gravedad y calcularlos, cosa tan indispensable respecto del movimiento como respecto del equilibrio. Así pues, podríamos considerar justamente las construcciones fijas, como monumentos, edificios públicos ó privados, casas, puentes, acueductos; las construcciones móviles de las vías de transporte terrestres, fluviales y marítimas; las máquinas, aparatos, artefactos y herramientas de todas clases; podríamos considerar todo esto, repetimos, desde el punto de vista del equilibrio ó de la estabilidad y del movimiento, como