

ATRACCIÓN UNIVERSAL

POR EL

P. ANGEL RODRÍGUEZ

AGUSTINO

DISCURSO

LEIDO EN EL EJERCICIO DEL DOCTORADO

EN LA SECCIÓN DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS



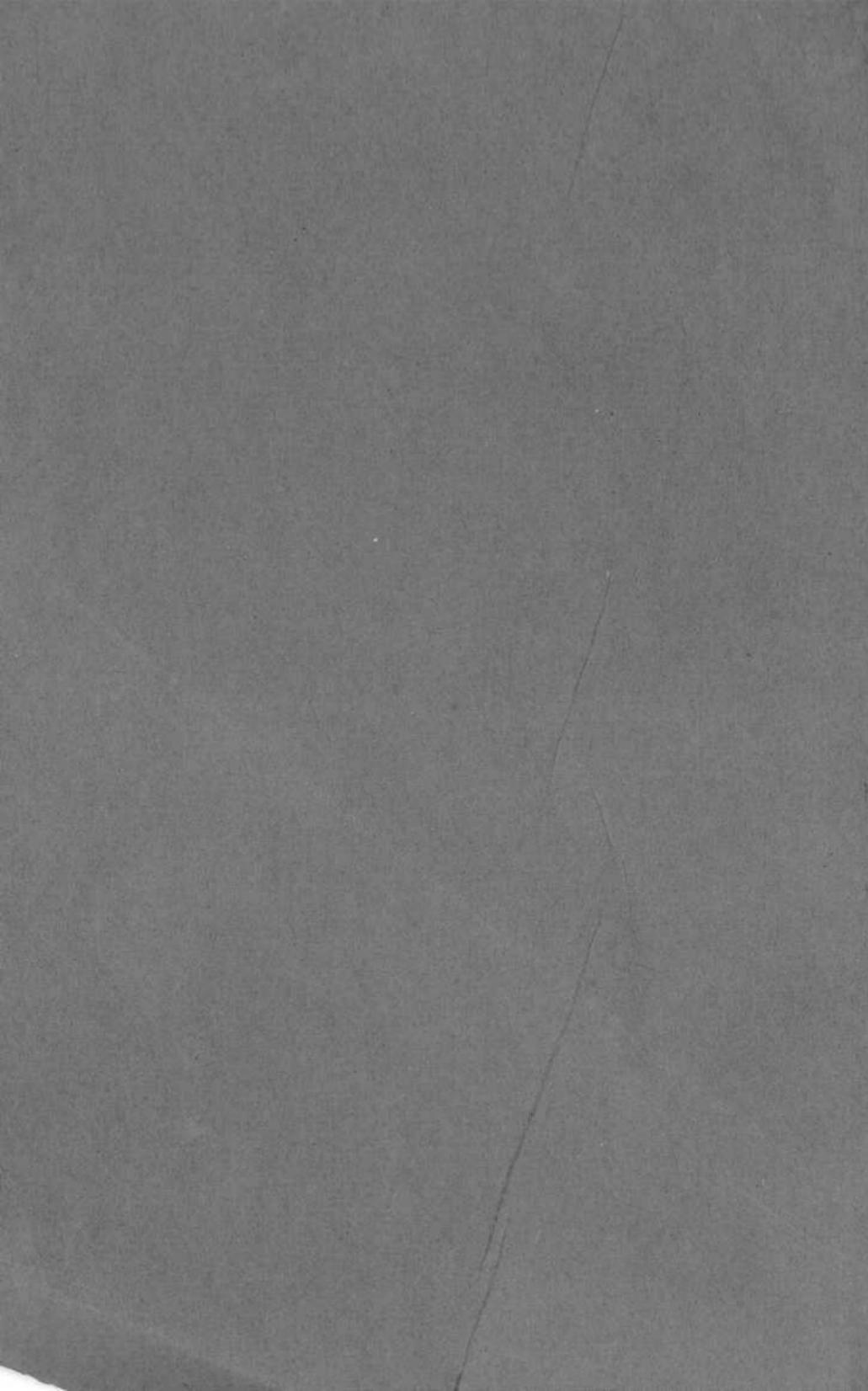
VALLADOLID

FOTO-TIPO-LITOGRAFÍA, ENCUADERNACIÓN Y LIBROS RAYADOS

DE LEONARDO MIÑON,

Acera de San Francisco, 12 y Peru, 17.

1892.



DGCL
A

Atracción Universal

t.177375

A V. Sr. D. Eduardo Torro-
ja. Su discipulo

J. Angel Rodriguez

ATRACCIÓN UNIVERSAL

POR EL

P. ANGEL RODRÍGUEZ

AGUSTINO

DISCURSO

LEIDO EN EL EJERCICIO DEL DOCTORADO

EN LA SECCIÓN DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS



VALLADOLID

FOTO-TIPO-LITOGRAFÍA, ENCUADERNACIÓN Y LIBROS RAYADOS

DE LEONARDO MIÑON,

Acera de San Francisco, 12 y Perú, 17.

1892.



ATRACCIÓN UNIVERSAL

Viribus quibus planetæ primariæ perpetuo retrahuntur á motibus rectilineis et in orbibus suis retinentur, respicere Solem et esse reciproce ut quadrata distantiarum ab ipsius centro —Newtonius in prone secunda libri 3.^o Philosophiæ nat. Princip.

Señores:



AS fuerzas que constantemente cambian en curvilíneos los movimientos rectilíneos de los planetas primarios y las que conservan á éstos en sus órbitas respectivas, dirígense al Sol como á centro y son recíprocamente proporcionales á los cuadrados de las distancias que de dicho centro los separa. Tal es una de las conclusiones que como resultado de sus ímprobos estudios, dejó establecidas el genio inmortal de Newton, al emprender la explicación científica de la constitución del Universo en su tratado *de Mundi Sistematæ*.

Había analizado las fuerzas centrales centrífuga y centrípeta, la resistencia de los fluidos cuando en su seno los cuerpos se mueven, y partiendo de la caída de los cuerpos

y de la gravedad en la superficie terrestre, elevándose luego á las mútuas relaciones atractivas entre nuestro globo y su satélite la Luna, abarcando más tarde con su mirada el conjunto de astros de nuestro sistema planetario, subió como por grados hasta la cumbre del edificio; y desde allí, extendiendo su vista por los vastos horizontes de la Creación, condensó en un sólo principio todo lo que su inteligencia había descubierto, dejándonos como legado el más precioso la síntesis admirable que inmortalizó su nombre. «*Todos los cuerpos del Universo se atraen mutuamente en razón directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias.*»

No hay, á la verdad, en la historia de las ciencias humanas hecho tan admirable, descubrimiento que tanto ennoblezca la actividad de nuestro espíritu, como la conquista de la ley newtoniana que encierra en sí la armonía de los mundos. Á élla se debe, en efecto, la explicación exacta del flujo y reflujo de los mares, la causa de la precesión de los equinoccios, de la nutación del eje terrestre y de los cambios en la oblicuidad de la eclíptica. Por medio de la misma ley recibieron la sanción definitiva las leyes de Kepler y dejaron de ser un misterio las anomalías y perturbaciones, así como el movimiento de los nodos y otros mil fenómenos astronómicos que tanto llaman la atención. Hánse medido las masas de los astros y nos hemos dado cuenta del por qué no tienen la forma completamente esférica.

La trascendencia del principio newtoniano, sin igual en las ciencias fisico-astronómicas, es lo que principalmente me ha movido á elegirlo como tema de esta disertación.

Hablaré de cómo Newton llegó á posesionarse de esta verdad tan trascendental, del impulso que por ella recibió la Astronomía: indicaré algunas hipótesis que acerca de la causa de la atracción se han formulado. Estudiado el asunto de un modo, por decirlo así, directo y empírico, trataré de indagar la razón filosófica, la causa última de esa fuerza atractiva, para de este modo elevarnos á un conocimiento todavía más sintético, á la raíz primordial de la multitud de fenómenos que afectan á nuestros sentidos y que excitan nuestro entusiasmo: que la Química pretende analizar, que

la Física mide y pesa, y que el cálculo encierra en una expresión simbólica. Antes, sin embargo, conviene dejar establecido el hecho de la atracción universal, ya que en el transcurso de los tiempos no han faltado sabios que, al menos aparentemente, hayan pretendido ponerlo en duda.

I.

Es sorprendente el contraste que se observa entre las opiniones de los sabios, cuando se trata de aquilatar la realidad de los principios fundamentales de la ciencia moderna. No parece sinó que la ciencia misma, después de esfuerzos de gigante para afianzarse sobre sólidas bases, se empeña en destruirse á sí propia, minando los cimientos en que estriba. Sirva de ejemplo confirmatorio lo que ha sucedido con la atracción universal desde que Newton formuló su enunciado. Hubo tiempo, pasadas las primeras contiendas, en que la ley de Newton era aceptada por todos sin excepción. La moda y el delirio por la novedad, más que el amor desinteresado á la ciencia, han inclinado después y alternativamente, las opiniones en sentido afirmativo ó negativo. Como resumen de los pareceres opuestos al aserto del sabio británico, oígame al abate Moigno. «Si algo de cierto se sabe en el mundo, decía, es que las moléculas de los cuerpos y los cuerpos mismos no se atraen en realidad, que la atracción en vez de ser una fuerza real, es sólo una fuerza de explicación; que todo sucede como si los cuerpos se atrajeran, por más que no quepa la menor duda de que no se atraen. Newton y Euler y todos los filósofos dignos de este nombre, no han podido ver en la materia sinó dos cosas; la inercia y el movimiento; primitivamente impreso por una voluntad libre, motor primero é infinito. Y sólo con estos dos grandes conceptos, la inercia y el movimiento, la ciencia progresiva ha de poder explicar un día todos los fenómenos del mundo físico.» Siempre ha sido más fácil derribar un edificio que construirlo; sentar una proposición general y absoluta, que demostrarla. Per

mi parte estoy muy lejos de asentir á la rotunda afirmación del ilustre Moigno, aunque pudiera decirse que esta opinión no es propia y exclusiva suya ni convicción resultante de sus particulares estudios. Más que oposición directa al dictamen del filósofo inglés, hay en todo esto una cuestión de nombre en que no sería oportuno detenernos.

Ni el autor de los *Explendores de la fé* hubiese escrito lo que precede, si al mismo tiempo hubiera fijádose en que la idea de movimiento lleva en su íntima naturaleza el concepto de fuerza y de fuerza absolutamente distinta de la inercia. No bastan estos dos conceptos para darnos razón de los fenómenos del mundo físico; ni para opinar como el abate francés nos autoriza la circunstancia de que ya el mismo Newton se guardase de formular su principio en calidad de categórico y absoluto, limitándose á presentarlo como simple hipótesis, aunque con los caracteres de verdad demostrada. Conviene hacer una distinción cuando de esta materia se trate.

Ninguna de las proposiciones establecidas y demostradas por Newton en su obra monumental de: *Principios matemáticos de Filosofía natural*; tiene el carácter de hipotética: están enunciadas en forma absoluta, como la que sirve de lema á este discurso.

Para el mismo Newton existía en su principio esa misma distinción de que acabo de hablar, y que acaso las intrigas de sus émulos llegaron á confundir en un enunciado general. Conocidas son las experiencias realizadas por el gran físico, desde que su atención se fijara en la manzana desprendida del árbol y descendiendo al suelo. Detúvose de una manera especial y estudió atentamente la caída y el peso de los cuerpos, extendió luego sus cálculos á la Luna y á la Tierra con el objeto de explicar la causa de las mareas y llegó, por fin, á persuadirse (porque á ello le forzaban sus observaciones) de que entre los cuerpos terrestres que él directamente podía analizar y entre la Tierra y la Luna existía indudablemente verdadera y mútua atracción: hecho que desde entonces ha venido comprobándose por todos los medios de que la ciencia experimental dispo-

ne y que ha recibido la sanción definitiva con la balanza de Cavendisch. En lo que cabía la hipótesis era acerca de la causa de la atracción y de la extensión que á esta fuerza había de atribuirse. Para Newton, en mi sentir, era indudable la existencia de esta causa; pero nos advirtió, á la vez, que no trataba de indagar su naturaleza. Había no obstante una razón poderosa que le dejaba satisfecho, al prescindir de tal investigación y confesaba de buen grado: «que tan elegante distribución en los astros y tanta armonía en los movimientos relativos de los planetas y cometas en torno del Sol, sólo pudieron tener origen en el consejo y dominio absolutos de un Sér inteligente y poderoso.» (1) Y añadió á renglón seguido que: «hasta entonces había explicado los fenómenos celestes y de las mareas fundándose en la fuerza de la gravedad; pero que no había asignado la causa de esta fuerza (2); por más que estaba persuadido de que había de ser tal que penetrase íntimamente hasta los centros mismos de atracción. De modo que, según lo dicho, en el principio newtoniano hay por lo menos esta parte real y positivamente demostrada «que los cuerpos terrestres y todos los del sistema solar se atraen mutuamente en razón directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias:» verdad tangible que entrando por los sentidos se sale del campo hipotético. Ahora: este mismo hecho que aquí palpamos ¿es tan general que pueda extenderse también al conjunto armonioso de todos los séres del Universo sensible? Tal es la parte hipotética del enunciado de Newton que ni su autor se propasó á sentar como un hecho demostrado: (3) la inducción y argumentos de analogía le

(1) "Elegantissima hæcce Solis, planetarum et cometarum compages non nisi consilio et dominio Entis intelligentis et potentis oriri potuit." Princip. Scolium generale.

(2) "Hactenus fænomena ecelorum et maris nostri per vim gravitatis exposui; sed causam gravitatis nondum assignavi." Ibidem.

(3) Bien sabido es que la ley de atracción se extiende hoy por los físicos no sólo á ser considerada como causa de la caída de los cuerpos en la superficie terrestre y de los movimientos de los astros los unos en torno de los otros, sinó también á la fuerza mútua que une entre sí á las

condujeron á afirmarla y en raciocinios de la misma índole se han fundado sus defensores. En contra suya no hay tampoco pruebas decisivas. La observación directa y la confirmación por el cálculo de las leyes de Kepler, vienen en su apoyo y parece no haber lugar á la duda. Y bien pudiera afirmarse que, si la atracción, extendida á todos los seres del mundo físico, no fuera una realidad, sería necesario suponerla tal, para explicar de alguna manera los fenómenos que tanto nos admiran en la naturaleza. Supongamos, pues, atendido lo que precede, que la atracción universal en el sentido newtoniano es un hecho real y constante sino demostrado *a priori* y con evidencia inmediata, sí admitido por la generalidad de los sabios, tanto naturalistas como filósofos. Partiendo de este hecho, que como tal no es ni puede ser la última razón científica del Universo material, diré, en contraposición al testimonio de Moigno, lo que antes de él había escrito el ilustre Buffón. «Nada hay mejor probado, decía, que la existencia actual de esta fuerza de atracción, en los planetas, en el Sol, en la Tierra y en todas las cosas que tocamos y descubrimos. Todas las observaciones han confirmado el efecto actual de esta fuerza y el cálculo ha determinado su cantidad y proporciones.

La exactitud de los géometras y la atención de los astrónomos, apenas pueden alcanzar la precisión de esta mecánica celeste, ni la regularidad de sus efectos. Ya habeis oído hablar, añadía, de esta fuerza de la gravitación, á la cual obedecen los cielos y á la que Newton encadenó el Universo.

Balmes afirma que «la existencia de la gravitación universal es demostrable *a priori*» y se funda para ello en la noción metafísica de distancia. «La gravitación universal, dice, es una ley de la naturaleza por la cual unos cuerpos se dirigen hácia otros (prescindimos ahora del modo.) Esta

partes, moléculas y átomos de cada uno de los cuerpos. Lo primero se llama gravedad, gravitación ó atracción planetaria lo segundo, y cohesión ó afinidad lo tercero, según las partes unidas sean de la misma ó de distinta naturaleza.

dirección es metafísicamente necesaria si se supone que donde no hay cuerpo no hay distancia; porque en este caso no pueden existir dos cuerpos separados: la ley de contigüidad es una necesidad metafísica, y por consiguiente, la aproximación incesante de unos cuerpos á otros, es una perenne obediencia á esta necesidad.» Difícil es sin más explicación hacerse cargo de la fuerza que entraña el raciocinio de nuestro filósofo. Está basada en la suposición de que el universo físico forma un todo continuo de materia corpórea y, por lo mismo, que para todo el conjunto no hay distancias sinó entre las partes del todo.

Balmes opinaba, además, que en la naturaleza sensible no puede existir el vacío absoluto; opinión que no carece de dificultades y que tampoco es del caso analizar ahora. Mi objeto no es otro que hacer constar el hecho de la atracción ó gravitación universal que hoy por hoy no puede negarse ni pueden impugnar los descontentos. Admitámosla, pues, y pasemos á analizar sus notas características y sus manifestaciones externas.

Que esta fuerza de atracción sea proporcional á las masas es también un hecho de experiencia, corroborado por el cálculo y cuyo conocimiento es anterior al mismo Newton. La mayor ó menor cantidad de masa en los cuerpos puede concebirse como la mayor ó menor capacidad para receptáculo de la fuerza, sin detenernos ahora en si esa fuerza ha de ser considerada como elemento intrínseco ó como agente extrínseco á la misma materia, como propiedad ó como accidente de su naturaleza. A medida que dicha capacidad aumenta ó disminuye con el aumento ó disminución de masa, aumentará ó disminuirá proporcionalmente la fuerza misma. La igualdad de velocidad con que los cuerpos caen en el vacío, es una prueba decisiva de la exactitud de la primera parte del principio de Newton. Si referimos esto mismo al sistema planetario, resulta idéntica conclusión. Sábese por una de las leyes de Kepler, que la aceleración que comunica el Sol á los planetas colocados á la unidad de distancia es constante para todos ellos; y que si dos planetas se suponen colocados á igual distancia del

Sol y ambos los imaginamos sin velocidad inicial, los dos se dirigirían con la misma velocidad y en línea recta hácia el centro de atracción y en el mismo tiempo recorrerían espacios iguales; pero una de las leyes de las fuerzas centrales nos dice que á igualdad de aceleración, las fuerzas son proporcionales á las masas: luego es evidente que las fuerzas atractivas entre el Sol, la Tierra y los demás planetas son del mismo modo proporcionales á las masas.

Una consideración geométrica puede servirnos para demostrar la segunda parte del principio newtoniano. Cuando una fuerza arranca de un centro atractivo y ejerce su acción en derredor del mismo, repártese hácia todas direcciones, pues, no hay razón para que se dirija en una sola y determinada dirección, no de otro modo que los radios de una esfera arrancan del centro hácia todos los puntos de la superficie. La fuerza central así repartida queda, pues, sujeta á las relaciones de los ámbitos de los círculos máximos. Las áreas guardan entre sí la relación de los cuadrados de las líneas homólogas, de los radios y de los diámetros. Es evidente que á doble radio corresponde área cuádruple en que la fuerza se reparte: la intensidad de ésta se reduce, pues, á la cuarta parte en cada dirección, aunque la totalidad de la fuerza ejercida por el centro sea siempre la misma. Esta ley admirable se nos presenta á cada paso en la naturaleza creada como un hecho constante, como una necesidad á que obedecen ciegamente los fenómenos del mundo material. El calor dilatando los cuerpos y disgregando sus moléculas y propagándose de unos á otros, la luz iluminando los espacios y vivificando la creación; la electricidad sacudiendo las nubes y recorriendo los circuitos de uno á otro polo; el magnetismo, en fin, ejerciendo su influencia á distancias considerables, acaso relacionando unos con otros los astros, rinden parias á ese gran principio que ha inmortalizado á Newton.

Aunque queda ya indicado, cómo este sabio, gloria de la humanidad, llegó á convencerse de la exactitud de su principio, no estará demás insistir acerca de lo mismo para convencernos más y más de los esfuerzos realizados

por aquel gran genio en favor de las ciencias humanas. Antes, sin embargo, de reseñar más detalladamente los estudios realizados desde Kepler y Newton acerca del principio de la atracción y el impulso que sus aplicaciones han comunicado á las ciencias físico-positivas, no será fuera del caso recordar aunque á la ligera algunos datos históricos de Astronomía antigua y medioeval hasta que con el invento de Guttenberg comenzaron las ciencias positivas á despertar del antiguo marasmo en que yacían. Natural parece que desde los primitivos tiempos de la humanidad se viese el hombre sorprendido por el grandioso espectáculo que los cielos cuajados de brillantes presentaban á su vista. De ahí que la bóveda celeste con su manto de perlas fuese, como la historia de los pueblos testifica, el objeto principal del estudio de los antiguos sabios: y no otra cosa indica el conjunto de ideas astrológicas, bien que inconexas y las más de las veces absurdas, transmitidas hasta nosotros desde la China y la Caldea, de la India y el Egipto, Grecia y la Arabia, siendo la escuela de Alejandría la que mas tarde compendió los pocos conocimientos verdaderos y las muchas preocupaciones que en la observación de los astros el hombre había conquistado.

En tiempos posteriores, iniciada la gran revolución social que en el mundo produjo el cristianismo, aparece Ptolomeo en los fastos históricos, como representante de la entonces mal llamada ciencia de los astros. Careciendo los antiguos del poderoso auxiliar del análisis que en el estudio de la Astronomía ha suministrado después la ciencia de la cantidad, y no poseyendo los medios de observación con que hoy contamos, no son de extrañar ni la escasez de verdades conquistadas ni la multitud de errores admitidos.

Poco más adelantó la Astronomía durante la edad media; por mas que hayan querido ensalzar hasta lo increíble los conocimientos astronómicos de los árabes y los judíos. Sin embargo, por lo que á España toca, no dejaré de consignar que no sólo los árabes sino también los cristianos

cultivaron cuanto les fué posible el estudio de esta ciencia. Es más; puede decirse que España fué acaso la única nación en que no decayeron las aficiones hácia las artes astrológicas; en general, más purgadas de fábulas y supersticiones, que en lo restante del mundo conocido. Alfonso el Sabio sobresale como figura gigantesca en medio de aquellos siglos, no de barbarie como muchos han querido calificar, sino de relativa ilustración, atendidas las circunstancias todas que deben tenerse muy en cuenta. Dícese de este Sabio Rey que conoció muy bien la deficiencia y lo infundado no sólo del sistema de Ptolomeo, sinó de todos los demás sistemas hasta entonces conocidos, pareciéndole que el orden de cosas, tal como se suponían entonces no se adaptaba bien con la elevada idea y el sublime concepto que él se había formado del poder de Dios, Creador del mundo; y del orden que la Divina Providencia debía de haber establecido en la creación. Por eso se afirma también del Sabio Rey español que opinó (aunque no lo dejara consignado en sus obras) en contra de las ideas admitidas, y resucitando la opinión de algunos filósofos antiguos, que la tierra, lejos de estar en reposo, se movía en el espacio. Así permaneció la Astronomía hasta que en el siglo XV con la invención de la imprenta, inicióse una gran revolución en las ideas y comenzaron á despertarse las aficiones al estudio más directo de la naturaleza, desarrollándose más todavía en el siglo siguiente y dándose principio á la constitución de la ciencia moderna.

No fué ciertamente España la que menos influyó en este movimiento científico: y si en aquella época de nuestras grandes conquistas nacionales ni en los siglos posteriores contamos con figuras tan salientes como Copérnico, Kepler y Newton en Astronomía; Galileo y Pascal en Física; Descartes, Fermat y Bernoulli en Matemáticas, bien merece la pena un estudio serio y fundamental para demostrar que España durante el siglo XVI hallábase con justificado derecho á la cabeza de la civilización no sólo en cuanto á los estudios teológicos y filosóficos y al arte de la

guerra concierne, sino también respecto de las ciencias naturales. (1).

A mediados del siglo XVI afirmaba Copérnico en su obra de *Cælestium Orbium revolutionibus* (1543) que no estaba demostrado, ni mucho menos, que la tierra fuese el centro del Universo, y estableció su sistema colocando ese centro en el Sol y haciendo que en torno de éste girasen la Tierra y demás planetas. Apareció más tarde Tycho-Brae que rechazó las aserciones de Copérnico y volviendo la vista hácia la antigüedad, volvió también á detener la tierra en

(1) Me permito recordar con este motivo los nombres ilustres de Hugo de Omerique, Pedro Ciruelo, Juan Pérez de Moya entre los matemáticos: Jerónimo Muñoz, F. Juan Salón, Francisco Sánchez de las Brozas y Andrés García Céspedes en Astronomía; los agustinos Urdaneta y Rada y Alfonso de la Cruz entre los Cosmógrafos. Sabido es que este último fué el primero que trazó una carta de variaciones magnéticas, trabajando además con incansable constancia, en la determinación de longitudes y latitudes y que se adelantó á Gerardo Mercator en el método que lleva el nombre de este último, para la construcción de los mapas. En Meteorología sobresalió Alonso Pérez, como Antonio de Najera, en navegación, mereciendo puesto muy principal en todos los ramos citados D. Juan Caramuel, Regiomontano y el P. José Zaragoza, ya del siglo XVII estos dos últimos, y no faltaron tampoco lumbreras muy brillantes en los demás ramos del saber humano.

Llamo muy especialmente la atención sobre Hugo de Omerique, insigne matemático andaluz, que por su *Análisis Geométrica* mereció los elogios de Newton, como Joaquín de Ferrer y Cafranga los mereció de Laplace. El *Análisis Geométrica* de Omerique en que expone métodos completamente nuevos para resolver las cuestiones matemáticas, físicas y astronómicas entonces conocidas, es una obra de tanta importancia, como grande ha sido el abandono en estudiarla á fin de resucitar una de las glorias de la ciencia española. Se publicó en (1698) y hay quien afirma que tiene analogías con la Aritmética universal de Newton. No he hecho más que hojear muy á la ligera un ejemplar en latín que se encuentra en la biblioteca del Escorial; y á mi entender, haría una obra de mucho mérito quien lo analizase é hiciese un estudio comparativo entre él y las obras de Descartes. Estoy seguro que resultaría una prueba convincente de que hasta en Matemáticas no todo se lo debemos á los extranjeros.

su curso y á fijarla en un punto de espacio. Así quedaron las cosas por entonces sin grandes ni ruidosas contiendas, hasta que se suscitó la famosa algarada de Galileo y sus émulos. Respecto de este punto no he de ser yo quien lleve más leña al monte, para deshacer las patrañas inventadas por los enemigos de la iglesia católica, guiados, más por el deseo pueril de zaherir venerandas instituciones, que por amor sincero á la verdad. El asunto hállase suficientemente esclarecido. He de consignar, no obstante, que por aquellos tiempos, hubo también un español, que debía de ser, según susinmorta les obras, gran obscurantista y aferrado retrógrado; porque era un fraile que con el mayor desenfado se adhirió á la doctrina de Copérnico y afirmó (1584) el movimiento de la Tierra. Era este religioso Fr. Diego de Zúñiga, educado en Salamanca en la misma escuela en que lo fueron Santo Tomás de Villanueva, el Beato Orozco y Fr. Luis de León. Véase el testimonio de Zúñiga (que traduzco) escrito con ocasión de exponer aquel pasaje del libro de Job que dice: *Qui conmovet terran de loco suo et columnæ ejus concutiuntur*. Escribe así el sabio agustino: «Este pasaje es de difícil explicación: resultaría más claro si se adoptase la doctrina de la escuela pitagórica, la cual afirmaba que la tierra se mueve por su propia naturaleza: y no de otra manera pueden explicarse satisfactoriamente los movimientos de las estrellas tan desemejantes entre sí; en las unas por sus movimientos rápidos y en las otras por su mayor lentitud en moverse. La misma opinión sostuvo Filolao..... y en nuestros tiempos explica Copérnico el curso de los planetas en armonía con la misma opinión: y no hay duda, añade Zúñiga, que adoptando esta doctrina se determinan con más facilidad y exactitud las posiciones y lugares de los planetas, que siguiendo el complicado sistema de Ptolomeo y sus discípulos. Porque es cierto que Ptolomeo no pudo explicar el movimiento de los equinoccios ni para su explicación consiguió sentar un principio cierto y estable, lo cual confiesa él mismo en el capítulo segundo de su *Magna Composición*, dejando para los astrólogos de los tiempos posteriores el esclarecimiento de

esta dificultad; puesto que con el transcurso de los tiempos podrían reunir más datos y comparar mejor y mayor número de observaciones. Y aunque los discípulos de Alfonso el Sabio y de Thebith-Ben-Core probaron á esclarecer las sombras, consta que nada consiguieron.....

De las observaciones contemporáneas á nosotros resulta que el Sol se ha aproximado y que ha recorrido más de cuatro mil estadios más de lo que los antiguos habían prefijado. Ni Ptolomeo, ni los demás astrólogos se han dado cuenta de la razón de este movimiento del Sol y de los equinocios. Pero con el movimiento atribuido á la tierra explica clarísimamente y demuestra Copérnico la razón de estas cosas y manifiesta que todos los demás fenómenos se adaptan mejor á la realidad.»

En los días de Thyko-Brae vivió también Kepler que en su importante *Astronomía nova* formuló las leyes empíricas que llevan su nombre y en que fundó su sistema astronómico. Kepler siguiendo á Bacón, admitía que el Sol era un poderoso imán cuya fuerza sostenía á los planetas en sus órbitas y los hacía girar en torno del centro atractivo, obedeciendo á la vez á otra fuerza impulsiva según las tangentes, desarrollada en virtud del movimiento, como en todos los sometidos á las fuerzas centrales. En cuanto á la caída de los cuerpos y á sus pesos, es necesario, decía Bacón, ó admitir que los graves tienden naturalmente y en virtud de su constitución hácia el centro de la tierra ó que son atraídos por la masa terrestre. En este caso último la fuerza y velocidad con que caen, debe de ser inversamente proporcional á la distancia ó hallarse en razón directa de su proximidad. «Tal es también la ley de atracción magnética» (1). Y Kepler añadía por su parte, que la gravedad era una afección propia y mútua entre los cuerpos. De análogas ideas participó Gilbert. No creo oportuno detenerme en el sistema ideado por Descartes para quien el universo

(1) Como se vé el mérito excepcional de Newton, consiste en haber demostrado la falsedad de esta proporcionalidad simple, aunque inversa, admitida hasta entonces.

era un océano de materia sutilísima, en el cual flotaban los astros como en el agua flotan los sólidos ligeros; y á la manera que si en este líquido se forma un remolino, los cuerpos suspendidos en el agua giran unos en torno de los otros y todos alrededor del núcleo principal, así en el espacio sucede con todos los astros arrastrados por el movimiento vertiginoso del océano impalpable de materia sutilísima. Descartes negaba la acción á distancia á través del vacío, siendo necesario un medio de transmisión, un vehículo de fuerzas por decirlo así, para que los cuerpos pudieran influenciarse mutuamente. Mucho debieron auxiliar á Newton estas y otras ideas y especialmente las leyes consignadas por Huygens, referentes á las fuerzas centrales; y los experimentos de Galileo, acerca de la caída de los cuerpos, en las investigaciones que el sabio inglés había emprendido acerca de la fuerza de atracción. Por los enunciados de Huygens debía saber ya Newton que una fuerza central que sostiene á un móvil que gira describiendo una circunferencia, era proporcional al cuadrado de la velocidad y á la masa del móvil y estaba en razón inversa del radio. El análisis del movimiento uniforme y de la caída de los cuerpos libremente en el aire, estudiados en las mejores condiciones que le fué posible, acabaron por convencer al ilustre británico de la certeza de su principio. Sólo que el campo de acción en que él podía moverse, para observar directamente, no le proporcionaba datos tan exactos como él deseaba para dar una demostración decisiva de la segunda parte; de que la atracción se verificaba en razón inversa del cuadrado de las distancias, en vez de realizarse en razón inversa de las distancias simples, como aparecía á primera vista. Por eso le ocurrió la idea de extender sus cálculos hasta relacionar la Luna con la Tierra; encontrándose desde luego, con una dificultad muy seria que, sinó invencible, hallábase entonces sin resolver satisfactoriamente. Faltábale el dato principal, la exacta medida del radio terrestre y por lo mismo la distancia verdadera entre nuestro globo y su satélite. Hiciéronse poco después en Francia nuevas mediciones del arco del meridiano, con tal objeto, y Newton pudo ver en-

tonces con satisfacción que cuanto más exacta era la medida del rádio terrestre y la distancia de la Tierra á la Luna, resultados más exactos deducía también en comprobación de su principio, y ya no abrigó la menor duda acerca de la certeza del mismo.

No tardaron en aparecer émulos de Newton que le disputaban la primacia en el descubrimiento. Entre todos merece citarse Roberto Hooke por las reclamaciones hechas en favor propio, siendo Halley el que intervino á fin de dirimir la cuestión con el veredicto de la Sociedad Real de Londres. Verdad es, que aunque años antes Galileo, Roberval, Borelli y otros habían adelantado algunas ideas referentes á la atracción mútua de los cuerpos, ninguno antes de Newton se había expresado en términos tan claros como Roberto Hooke en un ensayo para probar el movimiento de la tierra. «Yo explicaré, dice, este sabio, un sistema del mundo muy diferente de los demás sistemas, fundándome en las siguientes proposiciones: 1.^a Todos los cuerpos celestes, sin exceptuar á ninguno, poseen no sólo una atracción ó una gravitación de todas sus partes hácia el centro, sinó que los cuerpos mismos se atraen mútuamente unos á otros dentro de su campo de acción. 2.^a Todos los cuerpos que han recibido un movimiento simple y rectilíneo continuarían moviéndose siempre en línea recta si alguna otra fuerza no los obligase á cambiar constantemente de dirección, haciéndoles describir un círculo, una elipse ó cualquiera otra curva más complicada. 3.^a La atracción es tanto más poderosa entre los cuerpos, cuanto estos menos distan entre sí:» pero no llegó á determinar la ley conforme á la cual esta fuerza atractiva, disminuye ó aumenta á medida que la distancia aumenta ó disminuye, como lo hizo su contemporáneo Newton. Y es de notar, siguiendo el hilo de la historia, que hubo sabios de aquel tiempo y de autoridad reconocida que tardaron en decidirse por el principio newtoniano; entre ellos el mismo Huygens, Juan Bernoulli y Leibnitz, especialmente este último que se declaró en abierta oposición y trató de combatirlo.

Las analogías entre las fuerzas de gravedad y caída de

los cuerpos en la superficie de la Tierra, con la fuerza de gravitación universal, no eran, sin embargo, tan claras para Newton que excluyesen toda sombra de duda en su espíritu observador. Tan sólo resultaba la analogía, por no decir identidad perfecta, en el supuesto de que las órbitas de los planetas fuesen circulares y le era preciso demostrar que la ley de gravitación era tan general, que pudieran extenderse al caso en que dichas órbitas fuesen elípticas. Hooke le había propuesto el conocido problema de los proyectiles en el que también se ocupó Galileo: y Newton apoyándose en su principio como punto de partida, demostró con cálculos rigurosos que todo cuerpo que se mueve sujeto á la influencia atractiva de un centro de fuerza que varíe en razón inversa del cuadrado de la distancia, describe necesariamente una elipse y en general una sección cónica, de uno de cuyos focos arranca la fuerza atrayente. La demostración del problema inverso dada poco después por Juan Bernoulli vino á consolidar la exactitud de la demostración directa. A Newton, pues, cabe la gloria de haber condensado en un solo principio las leyes de la caída de los cuerpos en la superficie de la tierra y las que presiden á los movimientos de las esferas celestes.

Los enunciados de Kepler propuestos no más que como resultados empíricos de observaciones directas alcanzaron, con este principio, una explicación racional y, en cuanto cabe, la demostración científica suministrada por el cálculo; pues bien sabido es que no son leyes absolutas, sino solamente aproximadas por fundarse en el supuesto de que la masa de los planetas es sumamente pequeña respecto de la del sol y no teniendo en cuenta el complicado fenómeno de las perturbaciones: ó lo que es lo mismo, suponiendo que solamente existen dos cuerpos en el espacio: aunque las mismas perturbaciones planetarias sean consecuencia inmediata del principio de atracción universal. Newton que la conoció dedicó toda una obra al desenvolvimiento de las consecuencias que de tan admirable principio se deducen y los *Principios Matemáticos de Fi-*

losofía natural, son un monumento perenne levantado por Newton á la gloria de la ciencia humana.

Si bien quedan indicados los esfuerzos de Newton hasta llegar á la demostración definitiva de la ley de atracción universal, la importancia de la obra monumental que acabo de citar, en donde nos dejó consignadas sus maravillosas lucubraciones científicas y la manifestación más brillante de su gigantesco ingenio, merece que nos detengamos más en su análisis: ya que ella fué como la palanca poderosa que removió el edificio científico existente y dió margen á la nueva y sólida construcción determinando el rumbo que debían seguir los sabios en las especulaciones de la ciencia moderna y positiva. Nada á la verdad se había escrito hasta entonces de ciencias naturales con tanta solidez y elegancia de raciocinio, como los *Principios Matemáticos de Filosofía natural*. El autor, prescindiendo de la naturaleza de las causas, según dejamos dicho, y apoyándose en los hechos por aquellas producidos; puesto que atestigüados por la experiencia, eran la base más sólida de los conocimientos humanos, fundó sobre ellos el armazón de su obra, elevándose hasta la cimbra de tan vasta construcción, coronada por la consecuencia general que tanto nos admira.

En sus dos primeros libros *De motu corporum* estudió los problemas fundamentales de Mecánica, de las fuerzas centrífuga y centrípeta, explicando antes lo que entendía por cantidad de materia y cantidad de movimiento. Los axiomas, también hoy admitidos, de que todo cambio de movimiento, es proporcional á la fuerza que lo produce: que la acción es igual y opuesta á la reacción y el principio de inercia sirviéronle de punto de apoyo para el objeto que se proponía. Del movimiento rectilíneo pasa al exámen de los fenómenos en el curvilíneo, deteniéndose con especialidad en el verificado en las secciones cónicas; y antes de entrar en la exposición del sistema del mundo, á la cual dedica el libro tercero, analiza también los problemas del movimiento según sus diversas manifestaciones, ya considerando los móviles en el vacío, bien sometidos á la influencia de los

medios resistentes bajo el título de: *Teorías sobre la resistencia de los fluidos* (1).

Establecidas estas bases, previene al lector con algunas reglas prácticas que deben servir de norma en la investigación de la verdad científica. Así afirma que no deben admitirse como causas de los fenómenos naturales, sinó aquellas que se ajusten á la verdad de los hechos y basten para explicarlos; que los efectos de la misma especie tienen la misma causa; y por último, que las cualidades de los cuerpos, que sometidas á la experiencia no puedan aumentarse ni disminuirse, deben ser consideradas como cualidades generales. Con estos precedentes entra de lleno en la cuestión principal y que más renombre le ha conquistado, en la exposición del sistema del mundo tal como lo había concebido sujeto en sus movimientos á las leyes de la atracción; y en forma clara y concreta demuestra una serie de proposiciones particulares referentes á la atracción mútua entre la Luna y la Tierra, entre ésta y el Sol, entre el Sol y los demás planetas, entre éstos y sus satélites, elevándose de este modo á la conclusión general ya conocida de que: «Todos los cuerpos del Universo se atraen mútuamente en razón directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias.» Tal es á grandes rasgos la síntesis de la obra. *Principia Mathematica Philosophiæ naturalis* de Newton, primer eslabon de la cadena de conquistas científicas que en las tres últimas centurias han venido formando con sus descubrimientos los admiradores de la Creación.

Es famoso en la historia de las ciencias el problema llamado de *los tres cuerpos* que ha ejercitado el ingenio de los sabios más eminentes, sin que hasta hoy hayan podido

(1) At postquam motum lunarium aggressus essem, dice en el prefacio á la obra, deinde etiam alia tentare cœpisse, quæ ad leges et mensuras gravitatis et aliarum virium, et figuras a corporibus secundum datas quascumque leges atractivas, ad motus corporum plurium inter se, ad motus corporum in mediis resistantibus, ad vires densitatis et motus mediorum, ad orbis cometarum et similia spectant.... *Ibidem: loco citato.*

sobreponerse á las dificultades que presenta su completa solución; y es tan importante que de él depende el conocimiento exacto de los accidentes llamados perturbaciones. Hánse llegado á establecer las ecuaciones diferenciales que determinan las condiciones analíticas de dicho problema; pero la integración de las mismas en términos finitos no ha sido posible conseguirla á pesar de los más poderosos esfuerzos. Por eso los astrónomos véense precisados á emplear métodos de aproximaciones sucesivas, sinó difíciles en teoría, complicados y muy penosos en la práctica. Y eso que la solución del problema indicado no zanjaría todas las dificultades, porque muchos más de tres son los globos que ruedan por los espacios y todo ese conjunto de astros en movimiento ejercen su mútua influencia: cada uno sobre todos y todos sobre cada uno. Si, pues, para determinar con exactitud los accidentes del movimiento de un sistema de tres cuerpos solamente, no se ha encontrado un camino espedito, calcúlese el cúmulo de obstáculos con que ha de tropezarse cuando el problema se extienda á mayor número de cuerpos ó al conjunto de todo el sistema planetario.

Ya Newton comprendió las dificultades que el problema de los tres cuerpos ofrecía y hubo de declararse incapaz de vencerlas: y es que ni entonces ni aún ahora el análisis cuenta con elementos suficientes. Como he dicho, llégase con más ó menos facilidad á establecer las ecuaciones diferenciales que expresan las condiciones del movimiento de los tres cuerpos; y aún se consigue simplificarlas disminuyendo el número y rebajando el orden de las mismas. Clairaut en 1759 se detuvo ante las dificultades de la integración. Suponiendo que los tres cuerpos se moviesen en un mismo plano, cosa que no se realiza en el espacio, dedujo seis ecuaciones diferenciales de segundo orden y por simples transformaciones obtuvo de estas seis otras cuatro de primer orden, dos de las cuales pudo integrarlas completamente. Indicó que la hipótesis de que el sistema se moviese todo él en un sólo plano, no era un obstáculo para aplicar sus consideraciones al caso en que los planos fue-

sen distintos. No obstante, convencido de la imposibilidad de que por entonces se llegase á una solución rigurosa, añadió á sus esfuerzos: «Ahora que integre el que pueda.» Y lo cierto es que nadie ha podido.

Trece años más tarde, en 1772, volvió Lagrange sobre el mismo asunto, no empleando para la determinación de cada una de las órbitas de los tres cuerpos, otros elementos que sus distancias respectivas; limitándose por tanto, á considerar un triángulo de elementos constantemente variables. Lo refirió para su estudio á ejes coordenados y llegó á establecer nueve ecuaciones diferenciales que por su simetría se transforman fácilmente las unas en las otras. Hánse ejercitado en la misma cuestión varios otros matemáticos y astrónomos entre los cuales, para terminar esta parte de mi discurso, citaré solamente á Jacobi, Bertrand y Laplace.

Hemos reseñado, aunque muy á la ligera, los esfuerzos hechos por los sabios desde Kepler y Newton, á fin de cimentar sobre terreno firme las bases de la Astronomía actual íntimamente ligada á la síntesis newtoniana. Laplace en su obra monumental *Mecánica Celeste*, y cuantos astrónomos han existido desde Newton, apenas han hecho otra cosa que desenvolver analíticamente la ley de la atracción y fundados en ella han dado explicación satisfactoria de todos los fenómenos astronómicos sujetos á nuestra observación; pero astrónomos y físicos, químicos y naturalistas de los tres últimos siglos han prescindido como Newton de investigar la naturaleza, esencia y origen de esa fuerza atractiva, y si alguno se ha fijado en estos puntos tan capitales, bien puede decirse que no ha pasado del principio. Antes de terminar esta parte, más bien histórica que científica de mi discurso, para pasar á la segunda en la que trataré de internarme algo más en el fondo de la cuestión referente á la causa y origen de la ley de gravitación universal, voy á permitirme recordar brevemente algunas opiniones particulares que si no resuelven la dificultad en forma satisfactoria nos ayudarán, en mi concepto, á comprender mejor, y persuadirnos más y más de que aún

nos falta mucho que andar hasta conseguir la conquista definitiva de verdades tan profundas, cuyo exacto conocimiento, constituiría, sin duda, el foco luminoso que había de disipar las sombras que aun existen en los horizontes de la ciencia humana y especialmente de la Física, Astronomía y Mecánica, si estas ciencias, ya actualmente muy perfeccionadas, habían de considerarse completamente establecidas en el sentido en que al principio decíamos que debía concebirse una ciencia completa. Véanse ahora las opiniones particulares á que nos hemos referido. No insistiré en la ya indicada de los que atribuían esta fuerza al magnetismo como Bacon, Kepler y otros. El hecho conocido de que son relativamente pocos los cuerpos en realidad magnéticos, ha sido bastante para relegar esta opinión al ovido (1).

Han apelado otros á las corrientes eléctricas buscando analogías entre las leyes estudiadas por Ampere y Faraday con los fenómenos de atracción y repulsión entre los astros. Voy á tener la satisfacción de aducir un testimonio acerca de ésto, por ser de un español, actualmente catedrático de Física en el Seminario de León. Cree D. Amancio Saldaña, que así se llama, que supuesto el movimiento dado primitivamente por Dios á la materia, es muy sencillo explicar la atracción universal por medio de la electricidad. «Moviéndose la materia, dice, desarrolla el calor y por ende electricidad; y como la electricidad en estado de tensión produce atracciones ó repulsiones proporcionadas ó en razón directa de la diferencial de potencial eléctrico, y en razón inversa del cuadrado de la distancia, y la electricidad dinámica ó moviéndose produce igualmente atracciones y repulsiones;

(1) Sin embargo, no puede desconocerse la influencia marcadísima del magnetismo solar en la tierra y por analogía puede decirse que también en los demás planetas. Las relaciones entre las manchas solares y las variaciones de la aguja magnética son un hecho completamente demostrado y constituyen en la actualidad un problema importantísimo, cuya solución arrojará, sin duda, torrentes de luz sobre muchos puntos oscuros que existen todavía en la ciencia físico-astronómica.

ya tenemos la causa á que obedece siempre el hecho de la atracción de la materia, supuesto que nunca falta la causa productora de la electricidad estática ó dinámica; pues la materia en cualquier estado en que se halle, siempre está moviéndose. Veamos de aplicar esta hipótesis á la gravitación universal. Si un astro, v. g., la tierra, recibió primitivamente una impulsión en dirección horizontal (1) relativamente al Sol, en virtud de la inercia tendería á seguir moviéndose sin variar la velocidad ni la dirección rectilínea que lleva todo móvil solicitado por una sola fuerza, y describiría una trayectoria recta, alejándose del Sol. Pero al alejarse del sol que es un foco eléctrico enérgico, se desarrolla una corriente inducida en la tierra, en igual dirección que la corriente inductora solar, según la cuarta ley de Faraday: y como las corrientes paralelas y que llevan la misma dirección se atraen, es atraída la tierra por el sol, y combinando esta fuerza atractiva con la de inercia de que he hablado, se engendrará el movimiento curvilíneo y la trayectoria del astro será una curva. Al acercarse la tierra al sol, como toda corriente que se acerca desenvuelve en un circuito inmediato una corriente inducida inversa de la inductora, según la 2.^a ley de Ampere, se repelerán: y en su virtud tiende á alejarse otra vez del sol la tierra, á lo cual contribuirá también la fuerza centrífuga que se desarrolla como consecuencia de la centrípeta; pero al alejarse la tierra, la fuerza centrífuga vá cesando por ser fuerza de reacción, y por otra parte, con el alejamiento, vuelve á desarrollarse corriente inducida, directa y será atraída de nuevo. En una palabra, se cumplirá la ley de Lenz, según la cual, las corrientes inducidas actúan de tal manera, que se resisten al movimiento que trata de imprimírseles, pues al separar la corriente inductora de un circuito próximo, se desarrolla una corriente inducida directa que produce atracción y por lo tanto se resiste á la separación de ambos cuerpos, inductor é inducido.

(1) *Rectilínea* parece que debiera decir, pues "horizontal relativamente al Sol," resulta una expresión sin sentido.

Por lo que respecta á la gravedad y á la atracción molecular, son igualmente producidas por la electricidad, en mi concepto, si bien deben atribuirse á la electricidad, estática. Sabida es la influencia del carácter eléctrico en las combinaciones químicas y que la afinidad es una fuerza atractiva, electiva dependiente del carácter eléctrico, pues no es posible combinar á los cuerpos que tienen igual carácter eléctrico y que están lindando en la escala electroquímica; los que están próximos se combinan difícilmente y forman compuestos poco estables, al paso que hay afinidades enérgicas entre los muy electro-positivos y muy electro-negativos.»

No ha muchos meses que el *Cosmos*, importante revista científica de Francia, ha publicado el *Ensayo de una explicación racional y científica de la atracción universal* cuya síntesis puede reducirse á lo siguiente. Después de analizar el concepto de la extensión concluye que: «tal concepto presenta siempre á nuestro espíritu un lado con sombras oscuras que la inteligencia no ha podido examinar bien por falta de luz: no sabemos con toda claridad hasta qué punto es representación de las realidades externas la imágen que acompaña á las sensaciones ópticas y del tacto, presentadas por los objetos materiales. Sin embargo añade: «que en todo cuerpo y también en un átomo único y aislado, debe reconocerse y admitirse la propiedad de ocupar una porción determinada del espacio: lo cual equivale á afirmar que todos los cuerpos son extensos. La porción de espacio que un cuerpo ocupa no es necesariamente invariable ni tal necesidad exige la naturaleza del sér corpóreo.» Es de notar que en el estudio á que me refiero, firmado por las iniciales R. D., trata de demostrarse el contacto inmediato de los átomos y moléculas en un cuerpo, sin intermedio alguno de espacios vacíos de materia y se rechaza la opinión de los que han dicho que los átomos y áun las moléculas de los cuerpos se conservan aisladas unas de otras sin tocarse, sostenidos en sus posiciones respectivas en virtud de fuerzas especiales, en los mismos átomos existentes, que los atraen y repelen, hacién-

dolos moverse con extraordinaria rapidéz. El autor de este estudio niega, por tanto, la acción á distancia por pequeña é infinitesimal que se la suponga, fundado en el principio, por tantos filósofos admitido, de que ningún sér puede obrar allí donde no está. Además de esto, y para explicar la transmisión de las fuerzas de unas á otras partes de un cuerpo y de los cuerpos entre sí admite el articulista no sólo un contacto inmediato entre los átomos y moléculas materiales, sinó también cierta compenetración de los mismos. Por lo que, resumiendo sus estudios en este punto, deduce las siguientes consecuencias: 1.^a La impenetrabilidad absoluta de los cuerpos no está demostrada ni por la razón ni por la experiencia. 2.^a Se puede y se debe admitir una penetración parcial de unos átomos en otros. 3.^a Esta sola hipótesis basta para explicar satisfactoriamente la mayor parte de los fenómenos naturales.»

Fundado en ella extiéndese en consideraciones acerca de la dilatación de los cuerpos por el calor, del peso de los mismos, de la gravedad, etc., infiriendo de todo que la gravitación, la atracción universal, etc., es una propiedad inherente á la materia y no vé la necesidad de admitir para vehículo de fuerzas, esa otra especie de materia sutil que no es propiamente materia, llamada éter, si por esta substancia que todo lo invade en el mundo, ha de entenderse una substancia distinta y agena completamente á la constitución interna de los cuerpos mismos, distinta, en una palabra del átomo material. Por último, después de analizar cómo puede considerarse el que la esfera de acción ya atractiva ya repulsiva de un átomo, se extienda indefinidamente hácia todas direcciones sin disminuir ni aumentar la totalidad de la misma, termina con el siguiente resumen: «La gravedad ó fuerza de atracción tiene todos los caracteres de una propiedad esencial de la materia. Es constante é invariable y se ejerce sin interrupción en todas las partes y en todo el conjunto del universo. Si no se atiende más que á la acción ejercida sobre cuerpos determinados y situados en distintos lugares del espacio, dicha acción decrece con la distancia obedeciendo á la ley newtoniana. Pero esta forma de expre-

sarse es incompleta. En realidad no hay decrecimiento de fuerza; la energía de su acción sobre un cuerpo determinado disminuye, pero la fuerza en sí misma permanece constante: gana en extensión lo que pierde en energía local y el trabajo útil producido es siempre el mismo. Para convenirse de este resultado, no hay más que considerar las divisiones verdaderas y reales de la esfera de acción de la fuerza de que se trata, las divisiones en grados y en ángulos. En todas estas divisiones, la fuerza de atracción se presenta siempre la misma, siempre igual y adecuada á sí propia, desenvolviendo una acción capaz de producir el mismo trabajo útil. La esfera etérea que le sirve de sostén y de campo forma un todo substancial é indivisible con la periferia central en torno de la cual la fuerza irradia.»

La hipótesis que trata de explicar no sólo la atracción y gravitación y peso, sinó también todos los demás fenómenos de calor, luz, electricidad, magnetismo, etc., por el sistema que se conoce por el nombre de *unidad de las fuerzas físicas*, hállase suficientemente vulgarizada para que me detenga en reseñarla. Sus fundamentos son la inercia de la materia puesta en movimiento por una fuerza externa, por un acto del poder de Dios que la conserva en el mismo estado de agitación á través de los tiempos. Materia y movimiento son los polos sobre que gira la gran máquina del mundo, la fuerza actual, no es más que resultado de esos dos elementos: cuántos fenómenos se pueden observar en la naturaleza con simples transformaciones, distintos modos de obrar esa causa poderosa. Tal es la doctrina corriente, puede decirse que hoy mismo, entre los sabios, menos los materialistas que sólo la admiten en parte. (1) Empieza también á extenderse otra teoría muy distinta debida á M. Hirn completamente opuesta á la de la unidad de las fuerzas físicas.

Este sabio, dedica, en efecto, reflexiones muy profundas

(1) Los materialistas además de poner en las fuerzas y propiedades de la materia la razón de todo, admiten como es sabido, la eternidad de la misma, lo cual no puede admitir la ciencia verdadera.

al estudio de la cuestión: y en su *Análisis de los elementos del universo*, trata de demostrar que la fuerza de atracción, el calor, la electricidad y demás agentes naturales son elementos con sér y substancia propios, específicamente distintos entre sí y distintos también de la materia corpórea. «Una observación profunda de los fenómenos (son palabras de Hirn) nos manifiesta, según he dicho, la falsedad radical de todo sistema que pretenda atribuir la totalidad de fenómenos de atracción, de repulsión, de calor, de luz, de electricidad á simples movimientos de la materia ó de alguna otra substancia que no difiera de la materia, sinó por la carencia de ciertas cualidades..... Lo que llamamos mundo físico, á veces impropriamente mundo material, está constituido por dos familias de elementos distintos: el elemento materia y el elemento intermediario ó dinámico.» Señalando los caracteres de estos dos elementos, atribuye á la materia el carácter de finita y limitada, al paso que para el elemento dinámico exige el atributo de lo ilimitado, de lo infinito. «El elemento materia, añade también, está dividido en séres particulares, distintos entre sí, en átomos, no infinitamente pequeños, pero sí muy pequeños y de magnitud invariable (1). El elemento dinámico que se manifiesta como principio del movimiento y de las relaciones, tanto de los átomos entre sí considerados como séres distintos, como entre los cuerpos constituidos, bajo el imperio de este elemento intermediario y que se manifiesta como fuerza.»

No me es posible detenerme más en el exámen de las teorías de este gran físico. A pesar del placer que he experimentado en la lectura de la obra citada, no he podido evitar el desaliento engendrado en mi espíritu al ver cómo ingenio de tan altos vuelos tropieza ó se detiene ante cuestiones de suma trascendencia. Parece que ha temido también penetrar en el fondo principal del asunto, en el análisis del concepto metafísico de materia y se contenta como

(1) Para que así resalte más la oposición con el parecer del articulista del *Cosmos*, á quien falta poco para negar la impenetrabilidad de los átomos.

todos, con presentárnosla ya constituida y suponiendo sin más, que en ella no cabe la fuerza como propiedad intrínseca é inherente á la misma, se lanza por los campos de la ciencia positiva en busca de razones para presentarnos su elemento dinámico como un sér substancial, existente por sí mismo, independientemente de la materia corpórea. El carácter de infinidad, atribuido por Hirn á esa fuerza, la carencia de límites señalada al espacio en que obra, no veo cómo puedan defenderse en sana filosofía, ni cómo puedan constituir un argumento en contra del Panteísmo que Hirn trata de refutar, á no ser que á la palabra infinito se le de una significación distinta de la que la Filosofía sanciona. El infinito en extensión constituye una idea contradictoria y más aplicada al espacio y al elemento dinámico del físico alsaciano. Hirn habrá intentado destruir lo que en la ciencia actual se admite; pero nada nuevo ha edificado. En cuanto al conjunto de su doctrina, condensada en afirmar que además de la materia hay en el mundo físico otros elementos específicamente distintos entre sí y distintos de aquélla, séres individuales á que llama fuerzas, sean éstas atracción, gravitación, calor, luz electricidad, magnetismo, etc., etc., ni lo rechazo ni lo admito, contentándome con indicar que Hirn con todos sus esfuerzos no ha logrado, en mi concepto, demostrar lo que se propuso. Y aún puede dudarse de la posibilidad de una tal demostración. La ciencia filosófica, reconoce en el conjunto de séres de la creación una división fundamental en la que no cabe medio posible: los divide en simples y compuestos; y Hirn, al menos que yo recuerde, no ha dicho en cual de estas dos categorías coloca el elemento dinámico. La simplicidad verdadera, no la de los simples de la Química, excluye los conceptos de aumento y disminución, como que en ella no caben partes. En las fuerzas de la naturaleza puede haber y en realidad hay sumas y restas, composición y descomposición de partes. Si el inventor de dichas fuerzas como séres independientes, no las considera como séres abstractos, tampoco alcanzo el cómo puedan separarse de la materia. Los séres abstractos no obran en el mundo.

El autor á que me refiero ha pretendido dar el golpe de gracia al materialismo: á pesar de sus nobles intenciones, dudo que lo haya conseguido según se proponía. El materialismo no puede triunfar aunque la fuerza se considere como propiedad de la materia, ni aunque se niegue, como yo la niego, la inercia absoluta de la misma. El materialismo cae por tierra como todo edificio en que faltan cimientos en que apoyarse: y los pretendidos cimientos del materialismo consisten en suponer ó que la materia es eterna ó que se ha dado el sér á sí misma. Con demostrar lo absurdo de esta suposición queda herido de muerte el sistema materialista.

II.

Señores: hallámanos en un punto donde pudiera darse por terminado este discurso, de no emprender desarrollos de Análisis y de Mecánica, como aplicaciones de la ley de Newton (1). Para el desarrollo de las ciencias positivas así mecánicas como matemáticas en que la atracción entra como elemento fundamental y que no se internan en la naturaleza de las causas, atendiendo sólo á los efectos y á las leyes según las cuales las causas obran, pudiera decirse que no hace falta más. Los astrónomos, matemáticos y mecánicos pueden llegar á sus fines peculiares y moverse libremente en sus propias esferas respecto de este punto con sólo el conocimiento de la ley newtoniana y del alcance que puede tener en la naturaleza y en las evoluciones constantes del mundo físico. Pero esto que basta á la ciencia positiva no es suficiente para satisfacer por completo las aspiraciones de nuestro espíritu que anhela por conocer el último eslabón de la cadena científica.

Después de haber recorrido con fruición los campos de

(1) Al final pondremos algún ejemplo demostrando las leyes de Kepler.

la experiencia, gózase sobremanera en penetrar en los horizontes de la razón pura y desligada de lo sensible y material. Por este motivo no satisfacen á la inteligencia los hechos aislados, porque con ellos no puede constituir la ciencia verdadera y completa, aunque sean muchos en número y entre los mismos haya dependencia. Sucede en este caso á la inteligencia lo mismo que sucedería al que quisiera enterarse con toda exactitud de los detalles de un edificio y para ello prescindiese por completo de los cimientos y de la techumbre. Conócese el hecho de la atracción universal: como hecho no puede salir del orden de lo puramente contingente, no puede por sí sólo constituir la base sólida de una ciencia completa en todas sus partes. No faltan los cimientos del edificio científico que estriba en la atracción universal, porque no hay efecto sin causa; pero ¿cuál es esta? ¿cuál la naturaleza de esa fuerza colosal? ¿Dónde está el origen ó cuál es el punto de apoyo de esta inmensa palanca?

Hé aquí cuestiones sin resolver todavía y en las que aún no han penetrado las ciencias modernas. Desde Newton hasta Hirn, de quien acabamos de hablar, casi todos los sabios han prescindido de ellas.

Lavoissier que en sus investigaciones de laboratorio no estudiaba sinó con la balanza en la mano y el calorímetro sobre la mesa, Gay-Lussac, Dulong y Petit que aquilataban las manifestaciones externas del calor y formulaban las leyes de la dilatación de los cuerpos; Descartes y Fermat y todos los que á estos han seguido, cimentando las bases del Análisis matemático; Galileo y Newton buscando un lazo para unir entre sí los séres del mundo estelar; Laplace haciendo surgir de una nebulosa el sistema del mundo: Le Verrier fijando por el cálculo la verdadera posición de astros desconocidos en el fondo de la inmensidad del espacio; Franklin y Edison encauzando el agente más caprichoso de la naturaleza..... todos estos y muchos otros, son en verdad figuras colosales en el gran panorama del campo científico. Los gigantescos esfuerzos de su ingenio anonadan por lo sublimes. Y sin embargo, aunque éstos y

todos los sabios de la misma talla exigirán siempre de nosotros la veneración y los aplausos por lo mucho que han adelantado y por los tesoros que han legado á la humanidad, puede decirse que apenas han dado un sólo paso en este sentido. Ni os sorprenda tal proposición, al parecer atrevida. Lo mismo la Física que las Matemáticas; la Química que la Astronomía, por no citar otras ciencias análogas, puede asegurarse que se han contentado con mirar las cosas exteriormente sin penetrar en el fondo último de las cuestiones.

El químico se da por satisfecho en sus análisis y combinaciones, con llegar al átomo en cuya naturaleza ya no penetra su ciencia: examina el físico los fenómenos tangibles, ó mejor, los cambios del modo de ser externo de los cuerpos y se contenta con establecer enunciados más ó menos generales á que llama leyes y á las cuales están sujetos cierto número de esos mismos fenómenos; pero prescinde de la esencia y naturaleza íntima de esas leyes y no atiende á las últimas causas de que proceden. Copérnico y Kepler, Newton y Laplace no pasaron de este límite; reconocieron los hechos y formularon hipótesis para explicarlos.

Estoy muy lejos de rebajar el mérito de esos faros luminosos del saber y les rindo con entusiasmo el tributo de mi profunda admiración; pero así y todo, la ciencia verdadera y completa debe concebirse de modo muy distinto: porque si causa admiración lo ingenioso de sus teorías y lo elevado de sus concepciones, no satisface la falta de unidad que en el conjunto se advierte, ni el que con tanta frecuencia se haya descuidado la investigación de los últimos eslabones del aérea cadena. La ciencia en mi sentir debe ser racional y para que como racional se considere, ha de ser filosófica y la filosofía aplicable al estudio de la naturaleza, aunque deba partir de los hechos, no ha de pararse hasta llegar á sus últimas causas. Juzgo que la ciencia no debe ser meramente utilitaria y que, sin desdeñar los fines de aplicación, debe también aspirar á regiones más elevadas que las que presenta el grosero positivismo

y el empirismo absoluto. Sólo así puede aspirarse á la unidad científica, objeto nobilísimo de la actividad de nuestra inteligencia.

Laplace con su famosa hipótesis deja el vacío en el alma porque no nos dice de dónde ni cómo vinieron las nebulosas al seno del espacio, ni cuáles sean los elementos constitutivos de aquella materia enrarecida, ni cómo empezó á agitarse, ni en virtud de qué impulso adquirió el movimiento tan regular y constante, tan acompasado y harmónico como las leyes de Kepler nos muestran. Newton con su fecundo principio de la atracción universal no se internó más en el fondo de la cuestión, dejándonos en el mismo vacío y á la misma incertidumbre condenados. Los atomistas y materialistas nada resuelven respecto á la esencia de materia corpórea. Y no es extraño, es verdad, el que los sabios citados y los que á sus nombres van unidos, hayan como abstenídose de entrar en materia. Trátase de asuntos en que la afinidad y cohesión moleculares son palabras varias de sentido, en que el microscopio no presenta imágenes, á donde el poder del anteojo no alcanza y en que la imaginación misma se detiene, cediendo, vencida, el campo á la razón pura, que si al principio de la carrera le sirvieron de apoyo los hechos sensibles, los abandona después, tan luego como la sirven de estorbo, como el aereonauta arroja el lastre para elevarse á mayores alturas.

Tal manera de concebir la ciencia es, sin duda, la más natural para todos aquellos que en la ciencia misma ven algo más que un conjunto de acontecimientos sujetos á ineludible fatalismo; para todos los que, más allá de la esfera de acción de nuestros sentidos divisan horizontes más amenos y dilatados. Para los que así conciben el frondoso árbol de los conocimientos humanos, la ciencia positiva, la ciencia moderna no puede presentarse á su razón, sinó como contingente, así en el conjunto como en sus mínimos detalles. Las ansias de nuestro espíritu no pueden satisfacerse con lo contingente: aspiramos á lo absoluto, á lo que por razón de su ser es necesario.

Y ved por qué aún á riesgo de abusar de vuestra indul-

gencia, me permito hacer un esfuerzo para elevarme á las esferas de la Metafísica á fin de completar, en cuanto lo permitan las circunstancias, el estudio de la atracción universal. Y para analizar cual conviene la cuestión, mirada desde tan elevado punto de vista, necesario se hace dirigir nuestra atención hácia problemas intrincadísimos del orden ultrasensible, á que no acostumbran á aficionarse la mayor parte de los que se dedican al estudio de las ciencias positivas. Y á la verdad, no podemos prescindir en absoluto de analizar aquellos *elementos últimos* que constituyen la esencia de la materia corpórea, ni de estudiar cómo se enlazan entre sí para constituirla. Del esclarecimiento de estas cuestiones, podríamos obtener una explicación verdaderamente científica de lo que constituye la esencia del principio newtoniano, de lo que es en realidad la fuerza de atracción universal.

¿Qué es la materia? La ciencia actual dáse por satisfecha con decirnos que *es todo aquello que afecta ó que afectar puede nuestro organismo*: á lo más añade que *la materia no es otra cosa que la reunión de átomos*. Respuesta que podrá tranquilizar á los que no ven sinó lo que palpan; pero que deja en la sombra y en el vacío á los espíritus que desean remontarse á otras esferas. Privan hoy los sistemas atómico y atómicodinámico para explicar la constitución de los cuerpos. Según estos sistemas, «la existencia del átomo finito é indivisible, es un hecho tan real y tan *evidentemente* demostrado, que nadie lo pone en duda.» A poco que se profundice en el asunto, échase de ver la insuficiencia de esta afirmación para dar cima y resolver el problema, porque, en armonía con los mismos sistemas, «los átomos tienen necesariamente extensión y dimensiones reales» y yo no alcanzo á concebir seres de esta índole, por infinitamente pequeños que los imponga, que no sean ya préviamente materia, que no sean cuerpos. Con la afirmación de los atómicos y de los químicos, no hemos adelantado un paso siquiera en la cuestión fundamental. La dificultad permanece en pié y preguntando ¿cuáles son los elementos consti-

tutivos de esos átomos materiales? ¿Qué es la materia de que constan?

Si por un esfuerzo de la imaginación, los reducimos á centros de fuerza, á puntos geométricos é inextensos, sin realidad objetiva, minamos por su base no sólo el edificio atómico como sistema, sinó también el mundo corpóreo y nos quedaremos simplemente con relaciones geométricas, pero sin séres relacionados entre sí; tendremos que abrazarnos con la extensión pura y abstracta que en manera alguna puede confundirse con la real y corpórea; hallaríamos sólo frente á frente con una geometría pura, sin objetos á los cuales pudiera aplicarse; resultaría absurdo cuanto la conciencia del yo y el sentido íntimo y la persuasión indestructible de la humanidad nos enseñan del mundo externo, de aquel mundo real, tangible, distinto de nuestra propia é individual personalidad. La necesidad de rechazar el sistema atómico y el puramente dinámico, se impone, pues, á nuestro espíritu, como se impone la de admitir algo externo, específica y numéricamente distinto de nosotros.

Ciertamente, lo mismo de la materia corpórea en general, que del átomo en particular, no puede decirse lo que es: la inteligencia del hombre no ha llegado todavía á mirar de frente y en todos sus detalles las notas características, esenciales, necesarias que los constituyen; pero esto no es un obstáculo para que pueda afirmarse de una cosa lo que debe ser y lo que no es. No podemos definir con exactitud lo que es la vida, pero alcanzamos á distinguir muy claro aquello que no puede ser atributo suyo, y descubrimos muchas cualidades de que debe estar adornada la fuerza vital, para que como vida se manifieste á la razón. En el concepto de materia corpórea, hallamos de continuo puntos brillantes realzados por la obscuridad de las sombras; vemos las notas imprescindibles del todo y de la parte y la necesidad imperiosa de un lazo de unión de las partes entre sí, para que puedan realizar el todo. La unidad y la multiplicidad nos salen al encuentro siempre que en esto nos fijamos y no obstante, con estos sólo elementos, no podemos formar la substancia corpórea. Mi razón no alcanza á formarse idea

de cuerpo sin que indeclinablemente la acompañe el concepto de extensión; y sin embargo, la extensión no puede identificarse ni confundirse con el cuerpo, como Descartes los confundía é identificaba: la extensión geométrica es distinta de la extensión corpórea. No es la extensión atributo esencial de la materia, ni para la extensión en general es de absoluta necesidad el elemento materia corpórea y física. Análogamente, nos es imposible el imaginar un punto, sea geométrico, sea material, sin imaginarlo situado en un lugar del espacio. Y con todo, el espacio no es lo uno ni lo otro. El punto que en geometría no puede considerarse sinó como límite, es el elemento primordial y generador en la extensión geométrica, y ni la extensión geométrica y menos la corpórea, pueden confundirse tampoco ni identificarse con el espacio. Tanto para la extensión, como para el cuerpo, es de absoluta necesidad, además de la unidad y pluralidad y lazo, la continuidad ó justa-posición de las partes. Hallámonos, casi sin advertirlo, á la entrada de los campos de la ciencia pura y exclusivamente racional. Sería impropio pasar más adelante por esta senda á menos de desviarnos demasiado del punto principal. Resulta de lo expuesto, que en el concepto de materia corpórea, entran como elementos necesarios, las nociones de unidad y multiplicidad, de todo y de parte, de continuidad y dependencia ó enlace de unas partes con otras. Como propiedad, sinó esencial en el sentido filosófico, á lo menos inseparable del mismo concepto de materia, preséntase la nota de extensión, que arrastra consigo la idea de espacio.

Resta además, para aclarar mejor este punto, considerar otro extremo no menos importante y fundamental. ¿Por qué y cómo las partes se enlazan entre sí para constituir el todo materia? ¿Son ya, aisladamente consideradas, substancias materiales? ¿Constan á su vez de otras partes más pequeñas? ¿Hállanse dotadas de extensión? He dicho que trataba de analizar los últimos elementos que constituyen la materia, y, si no queremos girar perpétuamente en un círculo vicioso, hemos de convenir por necesidad que tales partes, no son materia corpórea, que carecen de extensión, que no

pueden ser compuestos de partes de orden inferior. Ni forma geométrica puede atribuírseles. ¿Qué son? No lo sé, ni la ciencia humana sabe más. Sólo advierto que distan mucho de ser los átomos de los químicos; ya que los átomos no son inextensos, no carecen de forma, constan de partes y de partes materiales, aunque se las llame homogéneas.

Acaso no fuera estéril recorrer ahora los diversos sistemas escogitados por los filósofos de todas las edades para dar solución á estos problemas; pero las circunstancias me lo prohíben. Gustosísimo expondría también aquí los gigantescos esfuerzos, las brillantes hipótesis del gran genio africano, mi Patriarca San Agustín, formuladas quince siglos hace; hipótesis que nada tienen que envidiar á las teorías modernas acerca de la primitiva constitución del Universo creado. Las obras en que el águila de Hipona trató de explicar los primeros capítulos del Génesis, constituyen un tesoro que servirían de faro luminoso á muchos que intentan descorrer el tupido velo que oculta tantos y tantos misterios como la naturaleza encierra. Esto no obstante, y dejando á un lado el sistema dinámico de Leibniz y Boskovich, del que ya implícitamente hice mención, me permitiré recordar un otro sistema que conceptúo el más filosófico y por ende el más científico. Me refiero al sistema escolástico de la *materia prima y forma substancial* que no han podido destruir siglos de oposición. Cierto es que tal sistema no ha expuesto todavía con la claridad necesaria *qué es* esa materia prima que S. Agustín llamaba *prope nihil*, ni en qué consiste real y esencialmente la *forma substancial*; pero es igualmente cierto que las alas de nuestra inteligencia no han podido remontarse más, que el poder de la razón no ha penetrado más adentro. El sistema escolástico podrá no ser concluyente, ni tan perfecto que no deje ancho campo á la duda y á las dificultades, pero es indudablemente, el que de algún modo satisface al espíritu que discurre, digan lo que quieran sus acérrimos adversarios.

Según este sistema puede asegurarse que la materia prima es acaso más conocida, es verdad, por sus caracteres

negativos que por sus propiedades positivas. No es materia corpórea porque carece aún de aquello que la constituye en su sér realmente físico: no tiene forma determinada, pero posee por naturaleza la aptitud pasiva de recibir una ú otra según el cuerpo que ha de constituir: carece de partes sin que por ello pueda llamarse substancia simple en sentido riguroso. No ha existido ni puede existir sin alguna forma; lo que manifiesta que la materia prima no constituye por sí sola la materia física de que constan los cuerpos; lo cual concretó San Agustín al decir: *Deus creavit materiam foamatam*. Dios crió la materia primitiva con su forma peculiar, adornada de todas sus propiedades. Dedúcese que la materia prima no tiene partes, carece de extensión, no presenta el carácter de la multiplicidad, no exige, por tanto, aquel lazo de unión de que antes hablé.... y advertid cómo casi he llegado á identificar esta materia *informe* con lo que antes denominé elementos primordiales, que como necesarios descubría la razón en el concepto de materia corpórea. Agreguemos la forma substancial, sin investigar por ahora en qué consiste, y no os será difícil reconocer cómo de la estrecha unión de ambos elementos, surgen aquellos otros de unidad y pluralidad, de unión y dependencia entre las partes, de extensión y espacio, etcétera, etcétera.

Advierto los inmensos vacíos en que la imaginación se agita, formados en derredor de la inteligencia al tender su mirada por horizontes tan á la ligera delineados, ni se me ocultan las dificultades que de tan sumaria exposición se desprenden. Con todo, demos un paso más y vayamos acercándonos al núcleo principal de la cuestión. Si con lo expuesto no basta para formarnos idea clara y ver, como de relieve, lo más recóndito de la esencia de la materia corpórea, supongámosla nada más que existente tal como los sentidos nos la denuncian, tan imperfectamente conocida como la razón la concibe.

¿Por qué las partes se hallan unidas entre sí? Quién las sostiene en sus posiciones respectivas? Misterios de la naturaleza hemos encontrado solamente en el corto, aunque

escabroso camino, que llevamos recorrido. Las dificultades se agrandan á medida que avanzamos y las sombras del misterio se hacen cada vez más densas. Cábeme la honra de hallarme ante un tribunal creyente y del más elevado criterio... Á los que juzgaron extemporánea esta expansión de mi ánimo, diría sencillamente: Descifradme los enigmas que dejo indicados, explicad la íntima constitución de la materia y habreis adquirido el derecho, aunque no perfecto, de rechazar, porque no comprendéis, cuestiones más importantes todavía, tan alejadas de la esfera de acción de la inteligencia humana, que jamás, en el orden natural, podrá alcanzarlas con su vista.

Acabo de preguntar: ¿Por qué las partes elementales de la materia corpórea se hallan unidas entre sí? ¿Quién las conserva en sus respectivas posiciones? Sin un lazo de unión, según he dicho, aún no tenemos la materia constituida en su ser propio. Adviértese desde luego la necesidad de este otro elemento que establece la continuidad para la definitiva constitución de la materia, para su existencia actuada, expresándome en el lenguaje de la escuela. Concebid si podeis un árbol frondoso sin ningún punto de apoyo en la tierra, ó la fábrica del Banco de España con todos sus sillares desde el techo á los cimientos, completamente desligados entre sí sin trabazón alguna que los enlace. Si esto no podeis, menos habríais conseguido en imaginar la materia corpórea sin unión, sin enlace entre sus elementos. ¿Llamaré *fuerza* á ese lazo misterioso, cuya necesidad se impone? Poco me interesa el nombre, puesto que de nombres no discuto. Llamémosla, si os place, virtud, actividad, impulso ó de cualquier modo. Y esa fuerza ó actividad ¿es individual y específicamente distinta de la misma materia como ha intentado demostrar Hirn en su *Análisis elemental del Universo*? Si como habeis oido, se presupone la necesidad de un lazo que una entre sí los elementos constitutivos de la materia y que los conserve en sus mútuas dependencias, para que la materia sea materia, yo no puedo concebir ésta en su ser real y corpóreo, sin esa fuerza, sin esa actividad; como no puedo concebir el

sér viviente sin vida, ni el edificio sin cimientos, ni árbol lozano y fresco sin savia que lo nutra.

Existe, pues, en la materia, lo mismo que en los cuerpos de ella constituidos, una virtud especial, una actividad propia, una fuerza que hace á la materia ser lo que es, en unión de los demás componentes. ¿Será esa actividad característica lo mismo que la forma substancial de los escolásticos? Prescindamos ahora de examinar los distintivos esenciales de esa fuerza. Nos basta saber que es una condición exigida por la naturaleza misma del sér material pero con el carácter de activa. Si no llego á llamarla intrínsecamente necesaria al concepto de materia corpórea, no puedo prescindir de considerarla, cuando menos, con el mismo grado de necesidad con que en los cuerpos se considera la extensión. He dicho, en contra de Descartes, que la extensión no puede confundirse con la esencia de los cuerpos y, sin embargo, un cuerpo sin extensión se evapora ante mi vista, casi se reduce á la nada absoluta; no comprendo lo que sería un cuerpo semejante, sólo sé que en la naturaleza no se encuentra (1).

Por otra parte ¿qué inconvenientes podrían seguirse de atribuir á la materia corpórea una actividad semejante y no sólo limitada á enlazar y á conservar entre sí enlazados los restantes elementos, sino también, extendiendo mucho más su esfera de acción, considerada como capaz de dar origen más ó menos próximo, de ser causa primordial en la naturaleza creada, (aún cuando secundaria respecto de otros extremos,) de todas las modificaciones que en el mundo

(1) Nadie como la Filosofía cristiana ha profundizado tanto en estas cuestiones capitales. Adoramos los católicos el augusto Misterio de la Eucaristía en que real y verdaderamente está el cuerpo y sangre de Jesucristo bajo las apariencias del pan y del vino. Si la extensión fuese esencial á los cuerpos bien podríamos decir que la existencia del Misterio era imposible. Por eso se ha hecho necesario distinguir entre extensión externa y extensión interna, *in ordine ad locum et in ordine ad se*, como dice la escuela. Cuanto llevamos dicho acerca de la extensión refiérese á la externa (*in ordine ad locum*) y en manera alguna á la extensión interna.

físico la materia experimenta? Bien sé que hay algunos para quienes esta afirmación es motivo de escándalo; que la califican no sólo de error filosófico, sino ariete destructor de la distinción necesaria entre el mundo inanimado y el mundo viviente, entre lo puramente insensible y lo que goza de sensibilidad. Para ellos se destruiría con esto el principio de la *inercia*; se echaría por tierra la necesidad natural de las leyes matemáticas y astronómicas. El movimiento, lejos de hallarse sometido á leyes indestructibles, vendría á ser no más que un juego caprichoso de esa misma actividad. Más aún; si la materia, dicen, fuese intrínsecamente activa, la vida y el movimiento serían cosas idénticas: la necesidad de un primer motor y de una última causa libres, absolutos, independientes, proclamados por la doctrina católica para explicar los fenómenos del Universo, habríase convertido en solemne y criminal impostura. A la verdad, por más que he meditado el asunto, no encuentro tales inconvenientes; muy al contrario: más y más me persuado de que no existen. ¿Quién puede gloriarse de haber sorprendido á la vida en su sér íntimo y substancial, de hallarse en la posesión de la idea clara y adecuada de su esencia? Para comparar dos cosas, necesario se hace conocerlas ambas y conocerlas completamente. ¿Con qué derecho se podría afirmar que la actividad interna, supuesto en la materia, es una misma cosa con la vida? Esta es ciertamente una actividad interna también, una fuerza necesaria en el sér viviente; pero porque las dos sean actividad y las dos fuerzas ¿hay razón suficiente para identificar la una con la otra? La vida es origen y causa inmediata del movimiento vital: porque se diga y, aunque en realidad sea así, que la actividad propia de la materia es también á su vez origen y causa del movimiento físico ¿pueden en buena lógica confundirse estos dos movimientos?

Y en cuanto al principio de inercia ¿por qué medios se ha demostrado ni *a priori* ni *a posteriori*; ni práctica ni teóricamente, que la materia es inerte en el sentido que quiere darse á esta palabra? Antes bien, ¿no nos dice lo contrario la experiencia, tanto interna como externa? En mi

concepto, hay una mala inteligencia respecto del valor que se ha dado á la palabra *inercia*. Esta no puede significar el reposo absoluto, porque el reposo absoluto en la creación, en que todo se agita, no existe. Luego si á la palabra *inercia* no puede darse otra significación que la de un reposo relativo, yo no alcanzo á ver en la *inercia* otra cosa que el movimiento mismo. Que con la expresión *inercia* quiera significarse la aptitud de la materia para recibir este ó aquel movimiento en esta ó en aquella dirección, según las circunstancias determinantes, en nada, en mi sentir, se opone á la actividad intrínseca de la materia; pues el que ésta adquiera ahora un movimiento, ahora otro, siempre será una adquisición completamente externa al ser propio de materia ó cuerpo. En nada se destruye el principio vital interno del sér viviente, porque todo ó parte de su organismo funcione de uno ó de otro modo, ahora en una dirección y luego en dirección contraria. Todo ello no será otra cosa que el ejercicio constante de la fuerza radical que esencialmente constituye la vida. (1) Con esto ya no aparece difícil el comprender, no la identidad, porque no existe, sinó la distinción real, característica, necesaria, esencial entre el

(1) Conviene tener en cuenta que al atribuir cierta actividad intrínseca á la materia, nos referimos más bien á su *modo de ser* que á su *modo de obrar*; y por lo mismo el sentido que aquí damos á la palabra *inercia* no debe confundirse con el admitido en Mecánica al tratar del consabido principio, base por decirlo así, de esta ciencia. El principio de *inercia* refiérese á un efecto puramente externo y no significa otra cosa que la persistencia de la materia en un estado adquirido por causas, si se quiere, ajenas á la esencia misma de los cuerpos. De ahí, el que hayamos afirmado que no hay oposición entre la actividad intrínseca de que hemos hecho mención, y el principio de *inercia* admitido en Mecánica. Tal creemos que sea también el sentido en que Balmes trata la cuestión como se verá muy luego. Y no se olvide tampoco que el principio de *inercia* es una hipótesis y nada más, hoy por hoy; y que en la realidad de los hechos, nunca ha existido, pues ningún cuerpo ha estado ni está ni estará moviéndose siempre, sin que á la vez haya habido y haya al presente una fuerza que modifique ese movimiento, así como ni tampoco se sabe que haya existido ó que exista ningún cuerpo en reposo absoluto, sin estar solicitado por fuerza ninguna.

mundo insensible y el sensible ó viviente. ¡Que se destruye la necesidad de un primer motor inmóvil, libre y de una primera causa eficiente y absoluta! ¿Y por qué no había de suceder lo mismo con esa primera causa y ese primer motor respecto de los séres, no sólo vivientes y sensibles, sino también respecto de los intelectuales? Aunque con toda evidencia se demostrase, (y podemos estar seguros de que no se demostrará) la necesidad intrínseca del movimiento en la materia, la necesidad de una fuerza interna para que la materia pueda ser lo que es, todavía quedaba en pié esa otra necesidad superior de la causa primera y absoluta, de un primer motor en absoluto reposo. He dicho desde el principio, que no sólo la existencia de la materia y del universo creado, sino también todos los fenómenos que en él se realizan, son hechos contingentes que suponen una causa necesaria; ¿puede prescindirse de élla aun en el supuesto en que voy hablando? Y adviértase bien el sentido en que afirmo, que cuanto existe en la creación, hasta las mismas leyes matemáticas son contingentes é hipotéticas; en tanto se dice que son necesarias en cuanto se supone el hecho que les sirve de base y en el cual radican. Anulad éste y el edificio científico se derrumba necesariamente.

Aunque en materias puramente científicas y del exclusivo dominio de la razón, no soy partidario de otra autoridad que la que suministran las demostraciones, tratándose de asuntos tan graves y difíciles de comprender, he de permitirme aducir el testimonio del ya citado filósofo de Vich. Balmes, en efecto, no se oponía, antes trataba de demostrar la actividad interna de la materia. «La actividad, ha escrito, que nosotros podemos concebir en los cuerpos, se reduce á un principio de las mudanzas propias ó ajenas, sin que nos sea dado el tener de ella un conocimiento instintivo.» Pero «para sostener que la materia es completamente inactiva, de tal suerte, que hasta sea incapáz de toda actividad, sería preciso conocer su misma esencia, y este conocimiento nos falta. ¿Con qué derecho negamos la posibilidad de un atributo, ignorando cuál es la naturaleza del objeto á que debe pertenecer, ó no conociendo por lo menos alguna de sus

propiedades, á la cual el atributo repugne? Es verdad que negamos á la materia la posibilidad de pensar y aun de sentir, pero esta negación no es legítima, sinó porque conocemos de la materia lo bastante para dicha imposibilidad. En la materia, sea cual fuere su esencia interna, hay partes y por consiguiente, multiplicidad; y los hechos de conciencia requieren necesariamente un ser uno y simple. No sucede lo mismo con respecto á la actividad: ésta cuando no nos ofrece la idea instintiva de conciencia, nos presenta solamente el concepto indeterminado de un principio de mudanzas propias ó ajenas; lo cual no es contradictorio con la idea de multiplicidad. Fínjase que en los cuerpos que se mueven, hay una verdadera actividad, realmente productiva del movimiento en los otros; no hay ninguna contradicción en que dicha actividad, se halle distribuida entre las diferentes partes del cuerpo, las cuales en el momento del choque, produzcan su efecto respectivo causando el movimiento á las partes de otro cuerpo, con las que se han puesto en contacto.» «La experiencia es incapáz de demostrarnos la imposibilidad de que los cuerpos sean activos. La inacción absoluta no puede afectarnos, y de consiguiente, no podemos conocerla por la experiencia. Lo que podemos experimentar, es la acción ó sea el ejercicio de la actividad; pero la inacción ó sea el estado de una cosa absolutamente inactiva, no puede ser objeto de experiencia; esto es contradictorio.»

«Ateniéndonos á la experiencia, lejos de que debamos inferir la inercia absoluta de los cuerpos, nos hallamos inclinados á creer que están dotados de actividad. Aunque los sentidos no nos ofrezcan la intuición de ninguna actividad corpórea, nos presentan no obstante, una continúa serie de mudanzas con un orden fijo en los fenómenos del mundo corpóreo; y si algo valen para inferir la verdadera actividad de unos sobre otros, la coincidencia de sus relaciones en el espacio y en el tiempo, la constante sucesión con que vemos que los unos vienen después de los otros, la invariable experiencia de que para que se sigan los unos, basta poner los otros: es necesario que admitamos en los

cuerpos verdadera actividad. Esta razón, valga lo que valiere, en el tribunal de la metafísica, ha sido en todos tiempos bastante poderosa para convencer á la generalidad de los hombres, y así es que el negar á los cuerpos el carácter de activos se halla en oposición con el sentido común. Si atendemos á las relaciones que tenemos con el mundo corpóreo, todo nos induce á creer⁹ que hay en los cuerpos verdadera actividad.....»

«Se dice que la experiencia enseña, que los cuerpos son indiferentes para el reposo ó el movimiento; y se asienta como cosa indudable en los preámbulos de algunas obras de física que un cuerpo puesto en quietud permanecería en el mismo estado por toda la eternidad, y que puesto en movimiento, se movería también por toda la eternidad en línea recta y siempre con la misma velocidad que recibiere desde el principio. No sé cómo se han podido conocer por experiencia semejantes proposiciones: yo sostengo que no sólo no han podido conocerse, sino que la experiencia parece indicar todo lo contrario.» Sigo copiando á Balmes por la claridad de sus pensamientos y por la brillantéz de su exposición. «¿Dónde se ha encontrado jamás, pregunta, un cuerpo indiferente para el movimiento ó el reposo? En todos los terrestres hallamos una tendencia al movimiento, cuando no de otra manera, de gravitación hácia el centro de la tierra. Los celestes que hemos podido observar, están todos en movimiento, y el cálculo, de acuerdo con la experiencia, nos los manifiesta sometidos á la atracción universal. ¿Dónde está la indiferencia para el reposo ó el movimiento, atestiguada por la experiencia? Más bien debere-mos decir que la experiencia nos atestigua una inclinación general de los cuerpos hácia el movimiento.....

Si pongo sobre mi bufete un cuerpo, permanece en reposo y allí le encuentro al día siguiente y le encontraré á la vuelta de muchos años. El cuerpo, sin embargo, no está indiferente para el movimiento ó el reposo; allí se está quieto, pero va ejerciendo continuamente su actividad: así lo prueba su presión sobre el bufete que le sustenta. Este ejercicio es incesante, se le experimenta en todos los mo-

mentos, como lo prueba el que si se le quiere levantar ofrece resistencia, si se aparta el bufete, se cae; si se le pone la mano debajo la comprime, y hace cambiar de forma los cuerpos blandos sobre que pesa. El decir que la atracción del centro de la tierra, obra sobre el cuerpo, no prueba nada contra la actividad corpórea, antes bien la confirma; pues que este centro es otro cuerpo; y así, quitando la actividad al uno la damos al otro. Además, según todas las observaciones, la atracción es recíproca y por consiguiente la actividad atrayente se halla repartida entre todos los cuerpos. El mundo corpóreo lejos de ofrecernos una masa inerte, nos presenta mas bien la apariencia (por lo menos) de una actividad que despliega fuerzas colosales. Colosal es la masa de los cuerpos que se mueven por los espacios; colosal es la órbita que describen; colosal la velocidad.... colosal la influencia (al menos aparente) que ejercen los unos sobre los otros: colosal la distancia al través de la cual se ponen en comunicación. ¿Dónde está la falta de actividad atestiguada por la experiencia?... Las ideas de actividad, de fuerza, de impulso, nos han sido sugeridas no sólo por nuestra actividad interna, sino también por la experiencia del mundo corpóreo que despliega á nuestros ojos, bajo leyes constantes, una continua variedad de escenas magníficas cuyo origen parece indicar un fondo de actividad incalculable. Véase, pues, cuán sin fundamento se apela á la experiencia para combatir la existencia de una casualidad corpórea, y cuánto más acordes van con dicha experiencia los filósofos que otorgan á los mismos cuerpos una actividad verdadera.... Es preciso inclinarse á la opinión de que hay en los cuerpos verdadera actividad: que en un orden secundario, se halla en los unos la razón de las mudanzas de los otros y que por consiguiente, hay en el mundo corpóreo un encadenamiento de causas segundas hasta llegar á la primera donde está el origen y la razón de todo.» Hasta aquí Balmes, quien más filósofo que matemático trata el asunto en el terreno de la Filosofía y no en el de la ciencia empírica. Y aunque en su lenguaje parece inclinarse á no admitir el principio de

inercia, en mi concepto, prescinde de él y no lo niega: lo más que afirma es que dicho principio no está demostrado por la experiencia y hemos visto más arriba que tal afirmación no es del todo infundada; pues hay que convenir por necesidad que la experiencia no nos suministra una demostración, al menos directa, de que el principio de inercia sea verdadero. Ciertamente que no puede negarse en el estado actual de la ciencia si no queremos renunciar á la explicación de las leyes del movimiento; pero también es verdad que la demostración exigida por Balmes no existe. Admitimos la hipótesis porque no se conoce otro medio de explicar las leyes mecánicas lo cual no es lo mismo que negar la existencia de otro principio, que aunque desconocido, pudiera existir en la naturaleza y llegar algún día á sustituir al de inercia en el estudio de la Mecánica. Mientras este descubrimiento no se realice, nada nos autoriza para negar el principio de inercia admitido por todos y aun por el mismo Balmes, que según dejo indicado, trata de la actividad interna de la materia y niega, eso sí, la *inercia absoluta* de la misma, lo cual es cosa distinta de la inercia relativa única de que la Mecánica puede tratar. Sin embargo, en los ejemplos que aduce parece confundir lo uno con lo otro.

Dedúcese de cuanto llevamos dicho, que no hay razón alguna que demuestre no sólo la necesidad; pero ni aún el hecho de la inercia absoluta en la materia: que en el concepto filosófico que de ésta puede tener hoy por hoy la inteligencia, antes se ve la necesidad de un principio activo que la inactividad absoluta; que la experiencia, sin habernos suministrado un caso siquiera, en que la materia se muestre inerte, nos indica, por el contrario la constante agitación de la misma. ¿Basta con ésto para deducir las leyes de la atracción universal? En el mundo sensible se niega con razón el vacío absoluto. En tal concepto los seres que constituyen aquél no forman más que un todo continuo de materia corpórea con verdadera continuidad y yuxtaposición de partes. Desde el astro más distante al otro astro colocado en el extremo opuesto del espacio, hay

por necesidad una verdadera trabazón y enlace material que los relaciona entre sí (no importa decir ahora si mediata ó inmediatamente.) Tal parece desprenderse de la negación del vacío absoluto y tal parece ser el concepto espontáneo que del mundo sensible la razón se forma. Este lazo de unión se concibe de un modo análogo al que une los elementos primitivos de la materia, dada la unidad del universo. Parece ser la misma fuerza extendida á todo el conjunto de séres materiales. En esto, sin embargo, no se advierte la necesidad de que los astros giren los unos en torno de los otros; sólo se ve la tendencia mútua á la aproximación. Tenemos á lo más el núcleo de fuerza y nos falta conocer su modo de obrar externo: y ocurre naturalmente la duda de si el movimiento mecánico observado en el mundo físico es algo completamente extrínseco á la materia ó si, por el contrario, ésta exige además de la actividad interna de que hablé, el hallarse constantemente agitada por el movimiento de traslación, de rotación y vibratorio. Natural parece el afirmar que si en la materia existe la fuerza y en la fuerza se reconoce la capacidad de producir el movimiento en una ú otra forma: ó mejor si esta capacidad es lo que nos suministra el concepto de fuerza, el movimiento debe ser consecuencia legítima de la actividad interna de la materia. Ni con ésto resultan zanjadas todas las dificultades: aunque el movimiento mecánico y de traslación, rotación ó vibratorio en la materia sea una consecuencia natural de la actividad interna, aún permanece indeterminada la dirección del movimiento. Para determinar esta dirección sería necesario que uno cuando menos de los centros de fuerza comenzara á moverse conforme á una ley determinada; pero no habiendo razón de preferencia para que un centro se anticipase á los demás, y no pudiendo decirse, por tanto, que el principio del movimiento fuese casual, surge la necesidad de la imposición de esa ley primera. Y véase cómo lo que se temía que fuese motivo para prescindir de un primer motor independiente de todos los séres movidos, nos conduce necesariamente á reconocerlo como imprescindible.

De aquí á mi modo de entender arranca la concepción grandiosa del P. Sechi referente á la unidad de las fuerzas físicas en el universo. Presupuesto ésto es como puede decirse que cuantos fenómenos en el mundo material se verifican quedan sintetizados en estos dos grandes conceptos: *materia y movimiento*.

Esta hipótesis, como decíamos al principio, es la que en la actualidad domina en las ciencias físicas y es admitida por la generalidad de los sabios y de todos bien conocida. Por eso no nos detenemos más en reseñarla; advirtiendo, no obstante, que ella ha sido el último y más notable vuelo de la inteligencia hácia la unificación de las ciencias positivas, punto á que se encaminan las aspiraciones de los modernos sabios. (1)

Si ahora se me exigiese una explicación concisa del cómo llegó el universo á constituirse en la forma en que lo vemos con las atracciones y repulsiones mútuas entre sus diversas partes, con las leyes de gravitación á que obedecen no sólo las moléculas de los cuerpos aislados, sino también las que presiden los movimientos de los inmensos esferoides que ruedan en el espacio, diría, condensando en pocas palabras las reflexiones hechas hasta aquí: que en la constitución íntima de la materia corpórea existe un foco de actividad intrínseca, una fuerza que sostiene enlazados entre sí los elementos primordiales de la materia misma: fuerza y actividad que como tal poseyó desde el principio la facultad de producir el movimiento en todas sus manifestaciones mecánicas: que no hallándose necesariamente

(1) Esta unificación á que tienden las ciencias naturales no creo que pueda realizarse sin el concurso y los auxilios de la Filosofía. Hay sin embargo no pocos naturalistas que quieren prescindir por completo de un auxiliar tan poderoso y no les gusta que en cuestiones de las ciencias que llaman naturales y aún en las que son del dominio de las Matemáticas, se mezcle en nada y para nada la Metafísica. Equivócanse indudablemente los que tal opinan y es bien seguro que con el método que patrocinan no sólo no llegarán á la unificación dicha, pero ni aún á constituir en su verdadero grado de perfección, un sólo ramo de la ciencia de la naturaleza.

esta facultad motriz en ejercicio actual, en cuanto al movimiento externo de los cuerpos, necesitó de una primera excitación de un primer impulso que hiciera pasar aquella fuerza del estado de potencia al estado de acto, con lo cual quedó determinado el movimiento con todas las leyes á que se halla sometido. Elijase ahora la hipótesis de Laplace ú otra cualquiera y explíquese del mejor modo posible la formación secundaria de los mundos estelares. Pero he de advertir con San Agustín, que tanto la formación primitiva de la materia, (que ya podemos llamar con Laplace nebulosa ó con otro nombre) como la comunicación del movimiento en la misma, se realizó en un sólo instante, en aquel momento indivisible, al que en la naturaleza no precedió *antes*, en que el Creador de los mundos, sacó el Universo del caos de la nada, con un acto de su Omnipotencia; con el mismo con que sigue conservando la creación entera y las leyes á que la sujetó. Que en el desarrollo de esas leyes y en la formación secundaria de los mundos estelares se hayan invertido miles de millones de siglos hasta que el universo pudiera presentar al hombre el aspecto que hoy le presenta, nada significa en contra de la doctrina que acabo de indicar. Todo podía considerarse análogo á lo que sucede con la semilla de un árbol; en la cual se halla indudablemente, aunque en virtud tan sólo, todo lo que el árbol ha de ser después: y sin embargo, puede exigir mucho tiempo para su desarrollo perfecto. El origen de todas y de cada una de las transformaciones realizadas en el mundo visible y las que han de realizarse en el transcurso de las edades, arranca necesariamente de aquel acto creador de Dios. Y si en confirmación de esta lógica consecuencia, pueden valer algo las conquistas de la ciencia positiva, ahí está el principio de la conservación de la energía en la naturaleza, el cual dejaría de ser cierto si se rechazase la doctrina que acabo de sentar.

He llegado, señores, al fin de mi discurso. La observación directa y atenta de los hechos, sirvió á Newton y nos ha servido á nosotros para elevarnos al conocimiento de la existencia de la gran ley de atracción universal. Recordán -

do los escasos conocimientos de la Astronomía antigua y reseñando muy á la ligera los esfuerzos de los sabios posteriores á Kepler y á Newton, hemos visto arruinarse el edificio de la Astrología de los siglos pasados, al mismo tiempo que sobre sus ruinas y apoyándose en el principio newtoniano, levantarse la sólida y gigantesca obra de la Cosmografía y Astronomía modernas. Notamos, además, que aún á pesar de tan sólidas bases y de tan asombrosas conquistas, no podían reputarse como enteramente perfectas en toda la extensión de la palabra, ni la ciencia de los astros, ni ninguna otra que arranque de la ley de atracción, toda vez que faltaba aún el eslabón de la cadena que la une con la causa última, con el punto primero, con el origen, desde el cual parte y desde donde irradia como de centro la fuerza prodigiosa que produce el efecto de la atracción. Por eso hemos procurado, después de apoyarnos en los hechos tangibles, salirnos del campo de la ciencia experimental y elevarnos á las esferas del orden ultrasensible, internándonos en los horizontes de la Filosofía y Metafísica. Así, aunque sucinta y brevemente, hemos indicado las grandes dificultades que en la investigación de la causa y origen primordial de la atracción se encuentran, tratando, sin embargo, de formular una explicación racional de lo que ese origen y esa causa deben ó pueden ser en la realidad, manifestando cómo de la actividad interna de la materia podía llegarse á dar razón plausible de la naturaleza de la fuerza atractiva de unos cuerpos sobre otros; presupuesta como necesidad ineludible la causa última, inmaterial é independiente, la acción libre y poderosa de un primer motor esencialmente inmóvil.

No podemos gloriarnos de haber llegado á la meta de nuestros deseos, resolviendo definitivamente cuestiones de trascendencia tanta; pero si esto es verdad, no es menos cierto que al hablar ahora de la atracción universal como agente el más poderoso del mundo físico, fuerza que ha presidido á la formación de los mundos estelares y á la condensación de la materia primitiva y que sigue ejerciendo su actividad, conservando á la materia en constante agitación,

lo mismo en las últimas moléculas, que entre los esferoides del espacio; ya no nos asaltarán con tanta vehemencia los deseos de preguntar de dónde viene y de qué foco arranca esa fuerza maravillosa. Que si la respuesta que hemos anticipado á estas preguntas no satisface completamente, porque la obscuridad del asunto, no proyecta luces más vivas, la inteligencia queda tranquila, por otra parte, porque ha trabajado por elevarse hasta donde sus limitadas fuerzas alcanzan.

Cuanto dicho queda en las precedentes páginas, pudiera servir de prólogo á un tratado de Mecánica celeste y de Astronomía teórica: y ésta sería la ocasión oportuna para dar comienzo al desarrollo analítico-geométrico de la ley newtoniana. Pero sólo por vía de ejemplo y como pequeña muestra del alcance y de la fecundidad del principio de Newton, voy á indicar la marcha que seguirse pudiera en la demostración matemática de las leyes de Kepler, á que obedecen los movimientos de los astros en sus órbitas. Las anomalías y perturbaciones que en cumplimiento de estas leyes se observan, son á su vez un efecto que corroboran la atracción planetaria en razón directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias.

La pequeñez de la masa de los planetas con relación á la del astro central y la forma casi esférica de unos y de otros simplifica considerablemente el problema; y desde luego nos autoriza para considerar á la masa de los astros como reunida en el centro de cada uno. Puesto que en tales condiciones sólo se trata de resultados aproximados, puede suponerse, además, que sólo existen dos astros en el espacio, el Sol y un planeta que gira alrededor de aquél, ó lo que es lo mismo, puede prescindirse en esta investigación del fenómeno de las perturbaciones. Sean M y m las masas respectivas: ξ', η', θ' y ξ, η, θ , las coordenadas de los centros referidos á un sistema de ejes coordinados: y sea r la distancia entre M y m . Desde luego se obtiene la relación

$$r^2 = (\xi' - \xi)^2 + (\eta' - \eta)^2 + (\theta' - \theta)^2$$

La ley de Newton nos dice que la fuerza atractiva es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r . De modo que la atracción mútua de ambos astros, tendrá por expresión analítica el producto de las masas dividido por el cuadrado de la distancia, multiplicado todo ello por un coeficiente. Este coeficiente, es lo que en este caso se llama la *constante solar* que representaremos por k^2 ; pero tomando la fuerza atractiva del Sol por unidad de atracción, k^2 es igual á la unidad y en la expresión analítica de la atracción mútua de los dos astros, puede prescindirse por ahora de este coeficiente. Dicha expresión sería en tales condiciones

$$\frac{M m}{r^2}$$

Se sabe por la Mecánica y conforme al principio de D' Alembert que la fuerza desarrollada por el movimiento de un cuerpo, es igual al producto de la masa por la aceleración. Descompongamos esta fuerza en sus tres componentes paralelas á los ejes coordenados y llamando a, b, c á los ángulos que la distancia r forma con las direcciones positivas de los ejes, se tendrá:

$$\cos. a = \frac{\xi' - \xi}{r}, \quad \cos. b = \frac{\eta' - \eta}{r} \quad \text{y} \quad \cos. c = \frac{\theta' - \theta}{r},$$

de donde resulta para las componentes de la fuerza, atractiva entre ambos astros

$$\frac{m M}{r^2} \cos. a = \frac{m M}{r^3} (\xi' - \xi),$$

$$\frac{m M}{r^2} \cos. b = \frac{m M}{r^3} (\eta' - \eta), \quad \frac{m M}{r^2} \cos. c = \frac{m M}{r^3} (\theta' - \theta).$$

Designando, según se acostumbra, por las diferenciales de segundo orden

$$\frac{d^2 \xi}{dt^2}, \quad \frac{d^2 \eta}{dt^2} \quad \text{y} \quad \frac{d^2 \theta}{dt^2},$$

las aceleraciones relativas á los tres ejes que, conforme al principio de D' Alembert, multiplicadas por la masa M , deben ser iguales á las componentes respectivas de la fuerza, resultan las componentes

$$M \frac{d^2 \xi}{dt^2}, \quad M \frac{d^2 \eta}{dt^2} \quad \text{y} \quad M \frac{d^2 \theta}{dt^2};$$

las cuales igualadas respectivamente á las anteriores y dividiendo por el factor comun M , dan las ecuaciones:

$$\frac{d^2 \xi}{dt^2} = \frac{m}{r^3} (\xi' - \xi), \quad \frac{d^2 \eta}{dt^2} = \frac{m}{r^3} (\eta' - \eta), \quad \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{m}{r^3} (\theta' - \theta),$$

que determinan el movimiento del astro M que hemos considerado desde el principio reducido á un punto. Para el punto m , resultan las mismas, con la diferencia de substituir en los segundos miembros m por M , puesto que sólo hay una inversión en la dirección de la fuerza, cambiando de signo los cosenos.

Transportemos ahora al punto ó al centro del Sol el origen de coordenadas y llamemos x, y, z , á las diferencias $\xi - \xi', \eta - \eta', \theta - \theta'$: diferenciando dos veces consecutivas con relación á t , se obtienen las igualdades:

$$\frac{d^2 \xi'}{dt^2} - \frac{d^2 \xi}{dt^2} = \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad \frac{d^2 \eta'}{dt^2} - \frac{d^2 \eta}{dt^2} = \frac{d^2 y}{dt^2} \quad \text{y} \quad \frac{d^2 \theta'}{dt^2} - \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{d^2 z}{dt^2}$$

Si se substituye ahora k^2 (llamada, como decíamos, unidad de atracción solar) en lugar de M , y $m k^2$ en vez de m y combinamos por resta estas ecuaciones con las precedentes obtendremos:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} + k^2 (1 + m) \frac{x}{r^3} &= 0 \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + k^2 (1 + m) \frac{y}{r^3} &= 0 \\ \frac{d^2 z}{dt^2} + k^2 (1 + m) \frac{z}{r^3} &= 0 \end{aligned} \right\} (I)$$

Tales son las ecuaciones diferenciales que establecen las condiciones analíticas del movimiento de un planeta en torno del Sol. Siendo de segundo orden estas ecuaciones, habrá que integrar dos veces sucesivas y esta integración nos dará seis constantes que son los elementos de la órbita y que debèn determinarse por la observación directa del movimiento del planeta. Multiplicando la primera y segunda del sistema (I) por y y por x respectivamente y restando después, se obtiene:

$$x \frac{d^2 y}{dt^2} - y \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{d \left(x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} \right)}{dt} = 0:$$

que integrándola, dá por resultado

$$x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = k_1 (a)$$

Combinando por modo análogo la primera y la tercera y la segunda y la última se llega á expresiones análogas á (a); de modo que resulta por fin el sistema (2) despues de la primera integración del sistema (1).

$$\left. \begin{aligned} x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} &= k_1 \\ x \frac{dx}{dt} - y \frac{dz}{dt} &= k_2 \\ y \frac{dz}{dt} - z \frac{dy}{dt} &= k_3 \end{aligned} \right\} (2)$$

Multiplicando la primera de (2) por z , la segunda por y y la tercera por x y sumando, el primer miembro de la igualdad resultante se reduce á cero; con lo cual queda la

$$k_1 z + k_2 y + k_3 x = 0 (3)$$

que siendo la ecuación de un plano, quiere decir traducida al lenguaje ordinario; *que los planetas se mueven en órbitas planas, cuyos planos pasan por el centro del Sol*, como afirma la primera ley de Kepler. Puede simplificarse esta ecuación dividiendo por el coeficiente de una de las incógnitas; por el de z por ejemplo, y haciendo

$$\frac{k_2}{k_1} = C_1 \text{ y } \frac{k_3}{k_1} = C_2, \text{ la (3)}$$

se convierte en

$$z + C_1 y + C_2 x = 0 (4)$$

lo que significa que la determinación del plano de una órbita, no exige conocer más que dos constantes.

Esta primera ley de Kepler facilita las integraciones sucesivas, porque suponiendo situados en dicho plano los ejes de las x y de las y, z y sus derivadas, son cero y el sistema (I) se reduce á las dos primeras ecuaciones:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k^2(1+m) \frac{x}{r^3} = 0; \quad \frac{d^2y}{dt^2} + k^2(1+m) \frac{y}{r^3} = 0; (5)$$

que dará por el método precedente

$$x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = C_3. \quad (6)$$

Multiplicando por dt , se tendrá:

$$x dy - y dx = C_3 dt.$$

Pero se sabe que la diferencial del área del sector es $2dS = r^2 dv$ y también que $2dS = x dy - y dx = r^2 dv$, según se opere con coordenadas rectilíneas ó polares; luego

$$2dS = C_3 dt \quad (7)$$

Integrando esta última llegamos á (b) $2S = C_3 t + C_4$, siendo C_4 la cuarta constante de la integración. La expresión (b) dice que *las superficies descritas por los radios vectores son proporcionales á los tiempos*: segunda de las leyes formuladas por Kepler.

Multiplicando además la primera de las (5) por $\frac{2dx}{dt}$ y la segunda por $\frac{2dy}{dt}$ y sumando ambos productos, se deduce la expresión:

$$2 \left[\frac{dx}{dt} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dy}{dt} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} \right] + \frac{2k^2(1+m)}{r^3} \left[x \frac{dx}{dt} + y \frac{dy}{dt} \right] = 0 \quad (8)$$

Pero, por otra parte, de $r^2 = x^2 + y^2$ se obtiene por diferenciación

$$r \frac{dr}{dt} = x \frac{dx}{dt} + y \frac{dy}{dt} \quad (c)$$

Sustituyendo en (8) este valor del último paréntesis reduciendo é integrando después de haber multiplicado por dt nos queda:

$$(9) \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - 2k^2 \left(\frac{1+m}{r} \right) = C_5, \text{ siendo } C_5$$

otra constante.

El primer término de (9) es el cuadrado de la velocidad

que podemos representar por y^2 de lo cual fácilmente se deduce:

$$y = \sqrt{C_3 + 2k^2 \left(\frac{1+m}{r} \right)} \quad (10)$$

Elevemos al cuadrado la ecuación

$$x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = C_3$$

obtenida anteriormente:

$$x^2 \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + y^2 \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - 2xy \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dy}{dt} = C_3^2,$$

que se transforma en

$$(x^2 + y^2) \left[\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \right] - \left(x \frac{dx}{dt} + y \frac{dy}{dt} \right)^2 = C_3^2$$

y que en virtud de la relación (c) se convierte en:

$$(11) \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = \frac{C_3^2}{r^2};$$

restando esta de la (9) nos dará por último:

$$\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = \frac{1}{r^2} \left[C_3 r^2 + 2k^2 (1+m)r - C_3^2 \right]$$

y despejando dt se tendrá:

$$\pm dt = \frac{r dr}{\sqrt{C_3 r^2 + 2k^2 (1+m)r - C_3^2}} \quad (d)$$

Igualando este valor de dt con el que resulta de $r^2 dv = C_3 dt$ y despejando se tendrá:

$$\pm dv = \frac{C_3 dr}{r \sqrt{C_3 r^2 + 2k^2 (1+m)r - C_3^2}}$$

Hechas otras transformaciones que por brevedad omitimos, llegase finalmente á la expresión analítica que nos dá el valor de r

$$r = \frac{a (1 - e^2)}{1 + e \cos (v + \lambda)} \quad (12)$$

la cual como se vé es la ecuación general de una sección cónica, uno de cuyos focos es el origen de coordenadas y en el sistema solar, el centro del Sol. En la expresión (12)

r es el radio vector, a el semieje mayor de la órbita y v lo que se llama anomalía verdadera y λ es una constante que es nula cuando v se cuenta á partir del perihelio.

Supongamos que por la observación del movimiento de un planeta en torno del Sol se ha llegado á determinar el tiempo que emplea aquél en una revolución completa y llamemos T á este tiempo. La integral (7) nos dará para dos tiempos t_1 y t_2

$$\begin{cases} 2 S_1 = C_3 t_1 + C_4 \\ 2 S_2 = C_3 t_2 + C_4 \end{cases}$$

Haciendo $T = t_2 - t_1$: el área correspondiente será también $S_2 - S_1$ que tiene por expresión

$$2 \pi a^2 \sqrt{1 - e^2} = \sqrt{a} \sqrt{1 - e^2} k \sqrt{1 + m} T,$$

según convenios y trasformaciones que suprimimos por no molestar tanto al lector. De aquí se obtiene el valor de

$$k = \frac{2 \pi a^{3/2}}{T \sqrt{1 + m}};$$

pero k , constante solar, según hemos dicho, es siempre la misma para todo el sistema planetario; luego para el tiempo T_1 se tendrá del mismo modo

$$k = \frac{2 \pi a_1^{3/2}}{T_1 \sqrt{1 + m_1}};$$

de donde igualando los valores de k , resulta:

$$\frac{2 \pi a^{3/2}}{T \sqrt{1 + m}} = \frac{2 \pi a_1^{3/2}}{T_1 \sqrt{1 + m_1}}$$

que puede trasformarse, después de elevar al cuadrado, en

$$\frac{T^2}{T_1^2} = \frac{\frac{a^3}{1 + m}}{\frac{a_1^3}{1 + m_1}}.$$

Atendiendo ahora á que las masas m y m_1 , de los planetas son muy pequeñas con relación á la del Sol, m y m_1 , pueden

con pequeños errores igualarse á cero y la igualdad anterior se transforma en esta otra

$$\frac{T^2}{T_1^2} = \frac{a^3}{a_1^3};$$

la cual dice: *que los cuadrados de los tiempos que emplean los planetas en sus revoluciones alrededor del Sol, son entre sí como los cubos de las distancias medias al astro central*, que es el enunciado de la cuarta ley de Kepler, ley nada más que aproximada según dejamos dicho de las cuatro de Kepler, pues se prescinde del valor de las masas m y m_1 , que evidentemente no son iguales á cero.

La fórmula que nos daba la expresión del radio vector no indica más que las órbitas de los cuerpos del sistema solar son secciones cónicas: elipses, parábolas ó hipérbolas; y se sabe que la forma particular de cada una de estas curvas, trayectorias de los astros, depende de la velocidad con que estos se mueven en el espacio. Hemos representado antes dicha velocidad por la fórmula

$$y = \sqrt{C_5 + \frac{2k^2(1+m)}{r}}$$

Reemplazando en esta última á C_5 por su valor:

$$C_5 = - \frac{k^2(1+m)}{a}$$

se deduce

$$y = k \sqrt{1+m} \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}}$$

Para la elipse $\frac{1}{a}$ es una cantidad positiva, es nula para la parábola y negativa para la hipérbola, de lo cual se infiere que la órbita de un astro de nuestro sistema, será elíptica, parabólica ó hiperbólica, según que la velocidad y sea igual ó mayor que

$$k \sqrt{1+m} \sqrt{\frac{2}{r}}$$

Pudiera continuarse la misma marcha hasta determinar todos los elementos de la órbita de un planeta ó cometa y

las inclinaciones de los planos de las órbitas de cada uno, respecto del plano fundamental de la eclíptica y el movimiento de los nodos, etc., etc., pasando después al exámen de las perturbaciones, etc., pero todo esto nos llevaría á escribir un tratado de Astronomía teórica ó de Mecánica Celeste, cuando sólo nos hemos propuesto presentar un ejemplo analítico, como prueba de la extensión y fecundidad del principio de Newton, de la grandiosa ley de la Atracción Universal.





