

rayos rojos la atraviesan en un espesor menor y son menos absorbidos y menos reflejados que los demás, emergiendo, naturalmente, en mayor cantidad, iluminando débilmente y tiñendo en los eclipses el disco de nuestro satélite, del mismo modo que un objeto cualquiera toma un tinte determinado cuando, al través de un cristal del mismo color, se le ilumina, y de la misma manera que las nubes cercanas al horizonte adquieren en el Oriente á la puesta del Sol un color rosado, cuando el cielo está en condiciones favorables. Si las más altas cimas de las montañas de la Luna parecen más rojas, es sencillamente porque están mucho más iluminadas que el resto del hemisferio que aquélla nos presenta; y dicho esto, bien se comprende que la hipótesis de La Place debe quedar definitivamente abandonada. Examinemos otra.

El alemán Chaldini pensaba que se debía considerar á los bólidos como planetas ó fragmentos de un planeta mayor, roto y desmenuzado por explosión, en virtud de fuerzas internas súbitamente desarrolladas. Esta última creencia fué la que Olbers sostuvo acerca de la formación de los asteroides, masas poliédricas algunas, relativamente pequeñas y sin atmósfera, aunque mucho mayores que los bólidos, las cuales en órbitas entrecruzadas, con inclinaciones varias y en número considerable, circulan alrededor del Sol, á una distancia de éste mayor que

la de Marte y menor que la de Júpiter; pero como luego se demostró que si tal fuera el origen de los asteroides, todos, en sus movimientos ánuos, habrían de pasar por un mismo punto del espacio, señalado por el lugar que ocupaba el planeta cuando estalló, y tal condición no se verifica, según puede comprobarse por medio de la observación, fué preciso modificar la hipótesis, suponiendo que no se trataba de la ruptura de un planeta, sino de la de un anillo, semejante á los que, por ser muy delgados y girar con gran rapidez, gracias á una feliz casualidad conserva todavía el planeta Neptuno.

Nuestro contemporáneo Meunier, seguido de muchos geólogos modernos, para explicar la formación de los bólidos volvió al tema de la ruptura de un planeta, á quien asignó el papel de satélite prehistórico de la Tierra; y para evitar el argumento irrefutable que, aceptando como causa de la explosión el desarrollo súbito de fuerzas interiores, se le hubiera hecho, destrozó á aquél hipotéticamente valiéndose de un enfriamiento extremo que, por ser capaz de producir tal efecto, denominó *enfriamiento límite*, con lo cual, y puesto ya en camino, generalizó y aplicó su teoría á todos los astros oscuros y brillantes que constituyen el Universo. A todos les supuso espontánea tendencia á la ruptura que, según él, ya se adivina y se entrevé hasta en la Tierra, cuyas fallas, ó hendiduras largas y profun-

das, debidas á la contracción que sufre el Globo por efecto de su enfriamiento secular, no podrán en un tiempo futuro, aunque remoto, ser, cual hoy, rellenas por una cementación ígnea, y crecerán ampliándose en todas direcciones. Entonces la Tierra, como los demás planetas, se fragmentará; todos caerán en pedazos: los secundarios sobre los primarios; los primarios sobre el Sol; el Sol sobre la estrella incógnita, hacia donde camina; y así, de astro en astro y de sistema en sistema, todo volverá á constituir una masa caótica, origen tal vez de un nuevo Universo, completándose de esta manera, en forma regresiva, el círculo cuya mitad directa apenas se habían atrevido á bosquejar los autores de hipótesis cosmogónicas hasta hoy imaginadas.

Teoría sorprendente, aunque poco tranquilizadora, es la que acabamos de exponer, porque si los restos del caduco satélite hasta ahora llegados á la Tierra son relativamente pequeños, no podemos estar seguros de que entre ellos deje de existir alguno que, teniendo siquiera la magnitud del Himalaya, concluya, por la sola vibración que en el aire determine, con ciudades enteras aun antes del choque, ó cambie y trastorne la dirección del eje alrededor del cual el Globo gira diariamente.

Los partidarios del fuego central, los que admiten que vivimos de milagro sobre una tenue bizna solidificada que recubre un océano de fuego miles de

veces más hondo y proceloso que el del agua, profesarán quizás la teoría del enfriamiento, basada en una fuerza negativa que fracciona los planetas, y en una resistencia incógnita que determina la caída: harán bien, pues para ellos está forjada. Los que, con mejor acuerdo en nuestro concepto, creen que el calor de origen lo perdió nuestro planeta ya hace mucho tiempo y que el que hoy manifiesta es debido á las acciones moleculares que incesantemente entre todos sus elementos se desarrollan, y en misterioso círculo de causas y efectos constantemente se reproducen, no pueden admitir la teoría de Meunier, que, por otra parte, viene á sobreponer hipótesis á las hipótesis, y, por lo tanto, dificultades á las dificultades.

Y sin que esto sea declararnos partidarios de que se adopte como inmejorable el primer término del dilema de Chaldini, es decir, el que establece que los bólidos son pequeñísimos planetas, expondremos los fundamentos de tal afirmación, aunque para ello tengamos que detenernos algo, lo menos posible, en bosquejar á la ligera el sistema cosmogónico de La Place, modificado por Faye, en consonancia con los modernos descubrimientos, y sólo en cuanto al sistema solar hace referencia.

Admite aquel sabio que la nebulosa originaria de nuestro sistema era esférica respecto á la forma, homogénea en cuanto á la distribución de su materia,

y animada en una parte de su masa por corrientes que lentamente circulaban alrededor de un eje ideal que por su centro la atravesaba. Todas estas hipótesis son posibles y aun verosímiles: partiendo de ellas, la Mecánica en lo racional, y los bellos experimentos de Plateau en la práctica, nos dan cuenta detallada de las principales fases por que ha podido pasar el proceso genesiaco del sistema solar.

La homogeneidad y la esfericidad son las circunstancias necesarias y suficientes para que el movimiento se haya regularizado hasta el punto de que las corrientes circulares se hayan separado del núcleo, convirtiéndose en anillos nebulosos concéntricos, giratorios y situados en las inmediaciones del plano ecuatorial de la nebulosa, hoy plano de la eclíptica.

Si para fortalecer esta opinión buscamos en la esfera celeste ejemplos de esos anillos, los encontraremos en los del planeta Saturno y en la nebulosa de la Lira, siendo natural que no abunden, porque dicha forma lo es de transición respecto de la subsiguiente y además tiene poca estabilidad.

Cada uno de dichos anillos era una corriente de materia fluida, en la cual, por virtud de diferencias de velocidad entre filetes vecinos, se originaron remolinos que, corriendo los unos más, los otros menos velozmente, se atraieron, se alcanzaron y juntos formaron una masa única, que continuó revolvién-

dose y trasladándose en el mismo sentido en que giraba el anillo cuya materia absorbió. Como era gaseosa y muy rala todavía, se reprodujo el efecto y aparecieron otro ú otros anillos más pequeños, girando alrededor de aquélla, dividiéndose y originando otros globos de menor tamaño, en los cuales, por ser ya bastante densos, por moverse con menos velocidad ó por ambas cosas á la vez, concluyó el proceso de diferenciación de los planetas primarios y secundarios, no sin que algún anillo, á causa de su delgadez y de la velocidad con que gira, se haya conservado íntegro, mientras los otros ocho que alrededor del mismo centro se movían, han originado otras tantas lunas, que son las de Saturno.

Pero la cantidad de materia con que esos anillos, esos planetas y esas lunas se formaron, resultó pequeñísima en relación con la de la nebulosa total, como que sólo compone $\frac{1}{700}$ de ésta; los $\frac{699}{700}$ restantes, solicitados hacia el centro, se fueron condensando y precipitando hacia él, para formar un astro preponderante, el Sol, que hoy rige y gobierna los movimientos de todos los demás.

En el principio, con arreglo á las hipótesis hechas, la ley de atracción del sistema solar estuvo representada por el producto $a \times r$, siendo r la distancia que separaba del centro una molécula cualquiera, y a una cierta cantidad dependiente de la

masa completa; cuando la masa del Sol preponderó, la ley de atracción fué $\frac{b}{r^2}$, encontrándose b en caso análogo de a , y desde el comienzo de la diferenciación hasta que el Sol se hubo formado, $ar + \frac{b}{r^2}$ fué la expresión de dicha ley, disminuyendo progresivamente a y aumentando b .

Los planetas y satélites formados antes que el Sol se trasladan y giran de Occidente á Oriente, en el mismo sentido según el que se trasladaba la corriente que en la nebulosa originaria supuso La Place. Los primarios formados después, circulan en sentido directo, como los anillos que los engendraron, pero se revuelven de Oriente á Occidente, y otro tanto acontece en la traslación y rotación de sus satélites ó lunas, cuyas órbitas, además, forman con el plano de la eclíptica ángulos más abiertos que los de los más antiguos que el Sol. Pertenecen á la primera clase, Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno; y á la segunda, Urano y Neptuno.

Pero la obra no está acabada en el sentido estricto de la palabra, pues aunque formados ya el Sol y los planetas, ni todos éstos han llegado á un grado mismo de condensación, ni toda la materia de la nebulosa se ha reunido aún al uno ó á los otros; porciones de ella, pequenísimas si con respecto al Sol se

las considera, no grandes si con los objetos terrestres se las compara, en distintos grados de condensación, como en la esfera celeste tenemos muchos ejemplos que admirar, fuera, muchas veces, de la acción absorbente de las corrientes que engendraron á los planetas, y desviadas algunas por atracciones vecinas, se mueven y entrecruzan alrededor del astro rey, como insectos deslumbrados que más ó menos tarde se han de abrasar en él, si ya antes el encuentro de un planeta como enorme bala disparado no los detiene, destroza y aprisiona. Son las unas semejantes á copos de sutilísima neblina, y si penetran en la atmósfera terrestre, silenciosas marchan, se encienden y se apagan; á veces esos copos no son esporádicos, sino arrancados de una masa enorme en la apariencia, no grande en realidad, por la fuerza atractiva de la Tierra, que teniéndola incomparablemente mayor que la suya, perturba y desintegra á aquélla al pasar por sus inmediaciones; á veces, por último, la materia se ha solidificado formando corpúsculos poliédricos, que no giran por necesidad alrededor de eje alguno, ya que tampoco por necesidad pertenecieron á la corriente eclíptica, y que bajo la acción del Globo quedan en su marcha perturbados primero, prisioneros luego, y por último, después de haberse resistido, concluyen por rendirse, no sin haber antes atronado el espacio anunciando su caída. Estrellas errantes las primeras, cometas ó corrientes

meteóricas los segundos y bólidos los terceros, son en esta teoría fenómenos distintos, aunque engendrados todos por la materia que busca su centro, sin haberlo aún alcanzado.

Antiguamente se creía que los cometas no pertenecían al sistema solar; que nos visitaban como extranjeros y se iban luego para nunca más volver; que su masa era tan descomunal, que si alguno chocara con la Tierra, sacaría el Océano de su sitio, si ya no la partía y dispersaba. Hoy se sabe que esos astros, de un diámetro aparente tan grande, de un volumen real tan enorme, de un aspecto tan siniestro, que en pasadas edades fueron terror y espanto de la humanidad, dócilmente siguen al Sol en su carrera efectiva hacia la constelación de Hércules, y que, bien condensado y solidificado alguno de ellos, tal vez no abultaría lo que el mayor de los bólidos en la Tierra recogidos. Esos abundan poco, como poco y aun menos abundan los cometas; y no pueden ser más grandes, porque las porciones de materia que hoy existen esparcidas son relativamente pequeñas, aunque su conjunto sea grande; no son redondos, porque como no pertenecieron á la corriente de la nebulosa total, no provienen de remolinos y no giraron nunca, por lo tanto, alrededor de un eje; por último, su composición es semejante á la que en las rocas del interior de la Tierra se supone, porque no han sufrido, mediante la cooperación de un Océano cual el nuestro,

evoluciones tan complejas como se han verificado en la corteza terrestre.

Concluamos: ni las teorías que someramente hemos expuesto acerca del origen de los bólidos, ni otras que por menos verosímiles hemos callado, pueden aspirar á colocarse en la categoría de verdades demostradas, dignas de figurar al lado de las que constituyen esos cuerpos de doctrina que con el nombre de ciencias positivas conocemos, y así lo han reconocido siempre sus autores, bastante ilustrados para no engañarse en concepto de tan capital importancia. Son únicamente ensayos nacidos al calor de la inspiración; teorías alimentadas por hechos conocidos; grandes síntesis, que sólo á los talentos muy cultivados es dable intentar con alguna probabilidad de éxito; y aunque desgraciadamente éste no haya sido completo hasta ahora, nunca puede ser censurable, sino antes bien muy meritoria esa lucha eterna de la humanidad, que amplía más y más el círculo de lo conocido, en el infinito campo de lo incógnito, teniendo como aspiración suprema la verdad absoluta, de la cual, después de haber caminado mucho y sin descanso, nos encontramos y nos encontraremos siempre infinitamente distanciados.

Madrid 24 de Febrero de 1896.

RECTIFICACIÓN

DEL SEÑOR ECHEGARAY

El Sr. de Castro Pulido, en uno de los interesantes artículos que publica sobre *el bólido de Madrid*, me dedica un párrafo, cuyos términos corteses le agradezco, pero en que comete un error que debo rectificar.

Dice el Sr. Pulido, que al afirmar yo «que puede atravesar un bólido, ó un cuerpo cualquiera, la capa atmosférica, ni más ni menos que una aguja atraviesa la cáscara de una naranja,» *no he calculado la velocidad* que sería necesaria para que tal cosa sucediese, y agrega, que *no es posible* que ninguna *estrella errante* ni bólido alguno penetre en la atmósfera terrestre, sin que deje de obedecer á quien (la tierra), con una masa inmensamente mayor que la suya y á tan *corta distancia*, imperiosamente llama los cuerpos hacia sí.

Hay en estas afirmaciones del Sr. Pulido *una ilusión*, y un *error* en esa ilusión fundado: el Sr. Pulido, en su buen talento y en su reconocida ilustración, lo comprenderá inmediatamente: por eso será muy breve y no apuraré las pruebas.

La *ilusión* consiste en que al ver á la tierra *enorme*, cree el Sr. Pulido que es *enorme su atracción* sobre el bólido (ó sobre la estrella errante, que en los términos generales en que escribo y para nuestro caso da lo mismo); y *mayor ilusión* es creer que está MUY CERCA del cuerpo atraído.

No, no está cerca: está á *muchos miles de kilómetros*, todos los del radio terrestre; no, como supone el señor Pulido, á 30, ó 40, ó 60 kilómetros. Y la razón es sencillísima: la tierra es próximamente esférica y, por tanto, *su atracción se ejerce como si estuviese reconcentrada en su centro*. Esto es elemental; sobre esto no cabe discusión.

Además, en la *ciencia exacta* todas estas frases, *cerca, lejos, enorme y poderoso*, nada significan, ya lo sabe el Sr. Pulido: hay que reducir la cuestión á *fórmulas* y á *números*. Y bien: la atracción de toda la tierra sobre la unidad de masa, lejos de ser *enorme*, es *modestísima*, aun para cuerpos que están sobre su superficie; y *más modesta todavía* para cuerpos que están en los límites de la atmósfera.

Toda la fuerza aceleratriz de la tierra no comunica al cabo de *un segundo* á cada masa (grande ó chica), aunque esté casi tocándola, más que una velocidad representada por *g*, es decir, menos de 10 metros por segundo (porque $g = 9,80$). Pues el hombre con sus máquinas puede hacer mucho más, que la tierra con ser tan enorme y estar tan cerca.

Esto es lo que el Sr Pulido, por un momento de distracción, nõ ha recordado.

La aceleración que comunica la tierra es *insignificante* comparada con las velocidades planetarias de las estrellas errantes, y más insignificante comparada con sus velocidades *parabólicas*, como de seguro sabe el Sr. Pulido; de modo que no puede la tierra desviarlas de su camino sino en cantidades mínimas. ¡Velocidades de 10 metros, qué son comparadas con 20 y 30 y 40 kilómetros por segundo, ni con velocidades mucho menores que éstas!

Los cuerpos, estos cuerpecillos errantes, estrellas ó bólidos, *caerán ó no caerán*, no porque no puedan resistir á la atracción de la tierra y se dejen llamar por ella, sino por lo que digan las *constantes de la integración de sus trayectorias*. Esto es también elemental.

Si penetran *casi normalmente*, claro es que caerán; y caerían, aunque la atracción terrestre fuese menor.

Si cortan *oblicuamente la atmósfera*, *entrarán y saldrán*, y la tierra los desviará poquísimo de la línea recta, como que no los puede desviar más que, según la fórmula aproximada, $e = \frac{1}{2} g t^2$, y g no llega á 10, y t representa unos cuantos segundos.

Y no vale decir que la velocidad que traía el cuerpecillo errante disminuirá por la resistencia del aire y que casi se anulará al cabo, porque esto será cier-

to cuando el cuerpo *penetre y caiga*; pero no cuando *corte* las altas regiones de la atmósfera, en que la densidad es mínima; cuando no haga más que *atravesarlas*, repito, por haber llegado con determinada oblicuidad.

Dice el Sr. Pulido que «escribiendo á vuelapluma no he debido calcular la *velocidad* necesaria para que el cuerpo errante atravesase la atmósfera.»

En efecto, no la he calculado por una sencilla razón: *porque está calculada y consta en todos los tratados de Mecánica y aun en algunos de ciencia popular.*

No he de ofender yo la competencia y la ilustración del Sr. Pulido recordándole la fórmula $v^2 - \frac{2m}{r} = 0$, que es la que determina la condición para que toda *elipse planetaria* se convierta en *parábola*, y de la cual se deduce *v*.

Por cierto que, precisamente en razón á esta circunstancia, se le llama, á la velocidad de las estrellas errantes, *velocidad parabólica*. Porque el Sr. Pulido sabe también, como el que más, que el anillo de corpúsculos forma *una elipse tan prolongada*, que casi es una *parábola* en la inmediación del sol; es, según decía yo, como si el sol se hubiese echado una cadena al cuello.

Supongo que el Sr. Pulido estará ya convencido, sin que me vea obligado á insistir, de que no ha interpretado bien mi pensamiento; de que la tierra no

ejerce esa acción poderosísima que supone; de que los cuerpecillos errantes pueden cortar la atmósfera si llegan con determinada oblicuidad; de que la atracción terrestre sólo puede desviarlos de su dirección cantidades pequeñísimas, comparadas con los caminos totales que dentro de la atmósfera recorran, y, en suma, de que mi afirmación era *exacta*, *completamente exacta*, por lo menos en el terreno de lo racionalmente posible y en el de lo probable.

De todas maneras, el asunto en sí no vale gran cosa; pero me importaba demostrar, y más tratándose de una observación del Sr. Pulido, que en mis artículos de ciencia popular y modestísima sólo consigno, en formas más ó menos pintorescas ó caprichosas, lo que está *plenamente demostrado*, ó lo que es *probable* y se apoya en autoridades de respeto, ó por lo menos lo que es *prácticamente posible*.

Todo lo cual en nada amengua mi consideración al Sr. Pulido ni el interés con que he leído sus artículos.

JOSÉ ECHEGARAY.

RÉPLICA

DEL SEÑOR CASTRO PULIDO

D. José Echegaray me ha honrado con una rectificación que, aun no siendo justificada, yo aceptaría gustoso, si los errores que me atribuye fueran de esos á que se encuentra expuesto todo el que dilucida cuestiones tan difíciles y resbaladizas como son las que se refieren á fenómenos que en las altas regiones de la atmósfera se verifican. Pero suponer en puridad, cualesquiera que sean las corteses frases con que exprese su pensamiento, que ignoro ó he olvidado que la aceleración impresa por la Tierra á los cuerpos existentes fuera de ella, es la misma que si toda la masa del Globo estuviera concentrada en su centro, y presumir que no recuerdo el valor de dicha aceleración, igual para todos los objetos, grandes ó pequeños, es dar por sentado lo que yo, por mucha que sea mi modestia, no puedo dejar que pase en silencio, y menos cuando entiendo que de mis escritos ninguna de esas imputaciones puede rectamente deducirse.

Si el Sr. Echegaray los hubiese leído despacio, ni me habría creído tan desmemoriado, ni me hubiera

atribuído frases que, seguramente sin intención, han sido cambiadas en parte y en parte mutiladas. Yo no he dicho «que no es posible que ninguna estrella errante ni bólido alguno penetre en la atmósfera terrestre, sin que deje de obedecer á quien (la Tierra), con una masa inmensamente mayor que la suya y á tan corta distancia imperiosamente *llama los cuerpos hacia sí;*» yo he sostenido y sostengo que el señor Echegaray «no calculó *la velocidad que sería precisa para que una vez el proyectil dentro de la esfera de acción de la Tierra, casi rozando á ésta y disminuyendo por momentos su fuerza, proporcionalmente á la densidad del aire, á la superficie con la cual lo oprime y al cuadrado de la velocidad que lleva cuando taladra rapidísimamente la atmósfera, deje de obedecer á quien con una masa inmensamente mayor que la suya y á tan corta distancia imperiosamente lo llama,*» con lo cual evidentemente expresé el pensamiento de que dejaría de obedecerla, aunque imperiosamente lo llamara, *si no disminuyese por momentos su fuerza,* que, como se sabe, es función de su velocidad. Hay, pues, en los párrafos preinsertos dos diferencias esenciales: es la primera, que en el que el Sr. Echegaray me atribuye, no se menciona la disminución de fuerza y, por consiguiente, de velocidad que el cuerpo errante experimenta por efecto de su paso al través de la atmósfera, y consiste la segunda en que lo que yo afirmé del bólido,

dicho señor lo amplía á *todo cuerpo*, sea el que quiera, aunque, por lo tanto, no se mueva ó se mueva fuera de la atmósfera, cosas que, como luego veremos, no producen precisamente los mismos efectos.

Jamás he creído que la atracción de la Tierra sea enorme, aunque haya afirmado *en verdad* que su masa es inmensamente mayor que la del bólido; y si esto escribí, fué sólo para expresar con esas palabras algo semejante á la idea vertida por el Sr. Echegaray cuando en su artículo dijo que el bólido «vino á nosotros, que nosotros no hubiéramos podido ir á él,» dando, según parece, á entender, que como estas atracciones se ejercen en razón directa de las masas, la terrestre, que es inmensa respecto á la del bólido, prepondera y vence á la de éste, aunque claro está que al expresarse así, prescindió por un instante del movimiento de traslación del Globo que habitamos. Pero añadí que la distancia á la Tierra era pequeña, y ésta es otra ilusión mía, según el Sr. Echegaray; de suerte que yo, que piso la Tierra, ¿no estoy cerca de ella porque me separan de su centro «muchos miles de kilómetros?» (seis miles); ¿el bólido no está cerca por la misma causa? (los mismos miles). Pues aquí sí que confieso mi error; error invencible, ya que nadie me convencerá de que estoy lejos. Una cosa es que cuantos objetos gravitan hacia la Tierra lo hagan *como si toda la masa de ésta estuviera condensada en su centro*, y otra muy distinta que esos

objetos se encuentren cerca ó lejos de aquélla; y al afirmar yo que los que se mueven en el seno de la atmósfera están cerca de la Tierra, no hice más que expresar lo que, en mi concepto, es una verdad que creí evidente, pues cerca y muy cerca están si se comparan sus distancias con las de otros cuerpos que, como el Sol, la Luna y los planetas, también sufren la acción atractiva de aquélla.

Por lo demás, las palabras *cerca, lejos, enorme y poderoso*, son expresiones que forzosamente han de emplearse en toda ciencia, sea la que se quiera, para indicar relaciones que *por el momento* no hace falta determinar completamente, y máxime en la teoría de los bólidos, que de derecho pertenece á la Física del Globo, la cual *no es una ciencia exacta*, como cree el Sr. Echegaray, pues las verdades que la integran versan sobre cosas contingentes, y además, ni aquéllas se deducen *a priori* las unas de las otras, ni podemos descubrirlas por la sola virtualidad de nuestra inteligencia, especulando sobre un principio ó un reducido número de principios generalísimos por lo abstractos.

De todas maneras, en el caso actual no hay inconveniente en reducir el problema á *fórmulas y números*, y, desde luego, el Sr. Echegaray enuncia y concreta perfectamente la cuestión al afirmar que si los bólidos ó las estrellas errantes *«cortan oblicuamente á la atmósfera, entrarán y saldrán»* de ella: yo había di-

cho lo contrario, entendiendo dirigir mi negativa á esas autoridades de respeto á que dicho señor se refiere, en alguna de las cuales me parecía haber leído, en una forma menos pintoresca que la del símil por él empleado, esa misma afirmación, y añadí que no la hubiera hecho si hubiese calculado la velocidad *para ello necesaria*. El Sr. Echegaray confiesa que, efectivamente, no la ha calculado; y aquí hubiéramos concluído, si no añadiera que no la calculó «porque está calculada y consta en todos los tratados de Mecánica y en algunos de Ciencia popular.» Yo le ruego me dispense si le digo que no lo está, ni consta semejante cosa, pues prescindiendo (y es mucho prescindir) de que *calcular no es formular*, la relación $v^2 - \frac{2m}{r} = 0$ que me recuerda (y que es una de las tres que se obtienen estudiando el movimiento de un punto material sometido á la acción de una fuerza que, dirigida hacia un centro fijo, varía en razón inversa del cuadrado de la distancia á dicho centro) servirá para el cálculo de la velocidad parabólica *en el vacío*, y, por lo tanto, podrá darnos la velocidad con que llega el bólido á la atmósfera; pero *nunca nos dirá* si esta velocidad es la precisa para vencer la resistencia que le oponga el aire que ha de atravesar. El problema es más complicado de lo que el señor Echegaray, en un momento de distracción, ha creído, y los elementos para resolverlo analítica-

mente, hay que ir á buscarlos á los tratados especiales; de otra manera, resulta una verdadera petición de principio, porque á mi afirmación de que la velocidad con que el móvil llega á la atmósfera (y que yo daba por averiguada) no es la conveniente para que pueda cortarla oblicuamente, se contesta dando la fórmula que permite calcular dicha velocidad de llegada, sin pasar más adelante en el razonamiento.

Y aquí, planteada ya la cuestión en su verdadero terreno, pudiera dar por terminada mi réplica; pero como no veo inconveniente en exponer algunos de los datos que me indujeron á resolver aquélla en sentido negativo, ahí van para que los juzgue el señor Echegaray.

Desde luego, bastaría para experimentalmente decidir el litigio, la observación de que el bólido del 10 de Febrero cortó la atmósfera *oblicuamente, como siempre acontece*, y no salió de ella, siendo precisamente dicha oblicuidad uno de los caracteres típicos más notables de esta clase de meteoros en la casi totalidad de caídas observadas, *cualquiera que haya sido la altura*; pero ya que el Sr. Echegaray desea fórmulas y números, le recordaré que el célebre Schiaparelli, la primera autoridad en este linaje de estudios, valiéndose del análisis matemático, demostró de una manera tan rigurosa como elegante en la serie 2.^a volumen I, fascículo 1.^o de las *Rendiconti del Reale Istituto lombardo di Scienze e Lettere*, que un bólido que

venga á la Tierra con caída vertical y con una velocidad inicial de 72 kilómetros, pierde los $\frac{8}{9}$ de ella en uno ó dos segundos, al llegar al lugar de la atmósfera donde la presión es de $7^{\text{mm}}, 58$; y que *si marcha en dirección inclinada* de 80 grados respecto á la vertical, tiene su velocidad reducida desde los 72 kilómetros á 8 kilómetros, apenas ha tocado á la región donde el barómetro señalaría $1^{\text{mm}}, 30$.

Ahora bien: esa pérdida tan grande que en su velocidad y, por lo tanto, en su potencia viva experimenta el bólido desde el primer instante, pérdida que irá aumentando en los sucesivos, ¿no demuestra ya á inteligencias superiores, como la del Sr. Echegaray, que la *densidad mínima* de las altas regiones, y en general de las primeras capas atmosféricas, no puede nunca despreciarse, porque, en contrario de lo que él cree, ofrece una resistencia enorme, *cualquiera que sea la oblicuidad* con que el bólido las atraviere?

Vale, pues, decir, en contrario de lo que él afirma y sin que por hoy me crea obligado á insistir, «que la velocidad que traía el cuerpecillo errante disminuirá por la resistencia del aire y que casi se anulará al cabo,» ya penetre normalmente, ya en dirección oblicua corte las altas regiones de la atmósfera en que la densidad es mínima.

Presumo que el Sr. Echegaray estará ya convencido de que jamás pensé que la atracción de la Tie-

rra sea poderosísima, aunque la creo bastante fuerte para retenernos perdurablemente aprisionados á nosotros y á los objetos que nos rodean, sin que de esta sujeción puedan librarlos las máquinas más poderosas; de que la densidad de las altas regiones de la atmósfera es, aunque mínima, la suficiente para oponer resistencias considerables á los bólidos que las atraviesan; de que ni en los tratados de Mecánica ni menos en los de Ciencia popular consta calculada la velocidad *necesaria*, y de que esos cuerpecillos errantes, *cualquiera que sea la oblicuidad con que lleguen*, no pueden cortar á la atmósfera, «entrando por un lado y saliendo por otro sin caer.»

Yo, por mi parte, sí quedo convencido, porque siempre lo estuve, de que sus artículos de ciencia popular, como todo lo que escribe, merecen por su fondo y por su forma las alabanzas de las personas ilustradas; y si en un punto concreto y secundario me he permitido señalar una omisión, no he tratado con ello de poner en duda el mérito de las producciones del Sr. Echegaray, que siempre leo con gusto y en ocasiones admiro con placer.

JOSÉ DE CASTRO PULIDO.

ÚLTIMA RECTIFICACIÓN

DEL SEÑOR ECHEGARAY

Á mi regreso de Barcelona he leído con sumo gusto la cortés «Réplica» del Sr. Castro Pulido, y nuestro amistoso debate queda en rigor terminado.

Mi digno contrincante afirma que no ha negado la posibilidad de que un cuerpecillo—por ejemplo, un bólido—atravesase las altas regiones de la atmósfera, y esto me basta.

Por lo demás, yo no me refería al párrafo que el Sr. Castro Pulido copia en su «Réplica.» Me refería al siguiente párrafo que transcribo textualmente:

«Á pesar de todo, *no es posible admitir* que los bólidos, ni aun siquiera las estrellas errantes, más veloces aún, *corten la atmósfera*, ni más ni menos que una aguja atraviesa la cáscara de una naranja.»

En su «Réplica» dice asimismo: «Yo no he dicho *que no es posible* que ninguna estrella ni bólido alguno penetre en la atmósfera terrestre sin que deje de obedecer á la tierra, que con masa inmensamente mayor que la suya y á tan corta distancia imperiosamente llama los cuerpos hacia sí.»

Á continuación, el Sr. Castro Pulido explica más

claramente su pensamiento, y, según parece, sólo quiso hacer referencia al caso en que, *casi rozando la tierra* (supongo que la parte sólida ó líquida) y disminuyendo por momentos su fuerza, el bólido es atraído imperiosamente por la masa de nuestro esferoide.

Á esto nada tengo que oponer: en estas condiciones, indudablemente el bólido cae, ó estalla y después caen sus pedazos.

Un bólido, una estrella errante, un cuerpecillo cualquiera, cuando con cierta oblicuidad corta las altas regiones de la atmósfera, puede atravesarla: esto es evidente; esto es lo que he dicho desde el principio; esto lo sostengo hoy, y, según parece, lo acepta el Sr. Pulido.

Cuando, por el contrario, la oblicuidad pasa de cierto límite, y la masa atmosférica que corta pasa, por lo tanto, de un límite determinado, ó estalla ó cae. Esto también lo he dicho en mi precedente artículo.

Y ahora vamos á una última rectificación, ya de menos importancia, y que, á poco que apurásemos el debate, concluiría por ser mero juego de palabras.

El Sr. Castro Pulido dice *que no calculé la velocidad* necesaria para que un bólido que cruza la atmósfera deje de caer: sobre esto insiste mucho.

Pero si lo que me pide es un *número*, puede tomar cualquiera de los que traen los libros sobre veloci-

dades de bólidos y estrellas errantes: ya lo he dicho en mi rectificación. Con *todas estas velocidades se puede atravesar la atmósfera*: no es un número preciso y único; son infinitos.

Es como si se me pidiese *la abscisa de una elipse*, pongo por caso. *Cualquiera x* es abscisa entre dos límites extremos; y á esa abscisa corresponderá su *ordenada* (ó sus dos *ordenadas*).

Pues lo mismo sucede con los bólidos. ¿Velocidad? Cualquiera de las del espacio celeste entre dos límites. Y dada esa velocidad, lo que podrá pedirse es la *oblicuidad* necesaria para que el bólido atraviese la atmósfera; como que es un problema de dos variables.

Y note el Sr. Pulido que el problema *es posible*, porque la resistencia del aire es *función continua* que empieza *por cero* en el límite de la atmósfera.

Por último, como no se puede pedir *un número*—porque son infinitos,—lo único que he de ofrecer á mi digno contrincante son fórmulas de las que puede hacer *cuantas aplicaciones numéricas* guste.

Suponiendo, para simplificar y como ejemplo, que el bólido sólo atraviesa una extensión de las más altas regiones, para la cual las verticales puedan suponerse paralelas; suponiendo además una densidad y una temperatura media, y teniendo en cuenta, como el Sr. Pulido desea, como es justo y como yo mismo afirmé en mi rectificación; teniendo en cuenta—

digo—la *resistencia del aire*, resultarán para la trayectoria las conocidas ecuaciones diferenciales:

$$d x = - \frac{d \rho}{\varphi(\rho)} \frac{v^2 \cos^2 \alpha}{g},$$

$$d y = - \frac{\rho d \rho}{\varphi(\rho)} \frac{v^2 \cos^2 \alpha}{g}.$$

Integradas por cuadraturas y eliminando ρ , tendríamos exacta ó aproximadamente la ecuación, en términos finitos, de la trayectoria, en la cual entrarían como constantes la velocidad v y el ángulo de oblicuidad α .

Si en esta ecuación se toma arbitrariamente (entre ciertos límites) las coordenadas del punto de salida, tendremos una relación en la cual, á cada velocidad que se escoja, corresponderá un valor para α . Este resultado puede preverse *a priori* y es evidente.

El problema general es idéntico en el fondo al anterior, aunque más complicado por las integraciones.

Y dispénsame el Sr. Pulido—que seguramente sabe esto como el que más—la digresión que precede: si he insistido en cosas tan sencillas, ha sido á fin de explicar mi pensamiento sin ningún género de ambigüedad.

Por lo demás, el problema de los bólidos tiene muchos aspectos, muchos de ellos de pura observación, como dice el Sr. Pulido: puede, en efecto, es-

tudiarse bajo el punto de vista de la Mineralogía, de la Química, hasta de la Geología del espacio, *si vale la palabra*; puede estudiarse bajo el aspecto astronómico, bajo el aspecto físico; pueden hacerse hipótesis varias sobre su origen, y, en fin, puede estudiarse como problema de Mecánica, en el que dominará el elemento racional.

Este ha sido *casi el único problema* á que yo en términos generales me refería en mi artículo, más literario que científico.

Por último, tengo la seguridad y la satisfacción de haber llegado en todos los puntos de este pequeño debate á un acuerdo completo con el Sr. Pulido, y, por lo tanto, no he de insistir más sobre cosas que quedan ampliamente debatidas.

JOSÉ ECHEGARAY.

ÚLTIMA RÉPLICA

DEL SEÑOR CASTRO PULIDO

Bien quisiera haber llegado con el Sr. Echegaray á un perfecto acuerdo en todos los puntos del pequeño debate que venimos sosteniendo; pero como para lograrlo sería indispensable borrar porción no escasa de lo que llevo escrito, renuncio con disgusto á eso, que para mí sería una suerte grande y una gran satisfacción.

Siempre, en mis artículos y en mi réplica, he negado y continúo negando que un bólide ó una estrella errante pueda cortar la atmósfera terrestre «como una aguja atraviesa la cáscara de una naranja, entrando por un lado y saliendo por otro sin caer;» y si afirmé no haber dicho lo que el Sr. Echegaray en su primera rectificación me atribuyó, no fué porque rechazase todos los conceptos que allí se mencionaban, sino porque mi respetable contrincante con dos períodos míos hizo uno solo, cuyo fondo no podía satisfacerme, pues resultaron una idea cambiada y otras suprimidas, según tuve después buen cuidado de evidenciar. Parte del primer período mío es el que textualmente transcribe ahora el Sr. Echegaray

en el párrafo 4.^o de su «última rectificación;» el que inmediatamente allí le sigue, está tomado de su «rectificación primera;» y hecha esta salvedad, que destruye la aparente contradicción que dichos párrafos encierran, paso á tratar de lo demás.

El *caso singular* que presenta para probar que «con todas las velocidades peculiares á los bólidos pueden éstos atravesar la atmósfera,» no me parece admisible: primero, porque de la verdad de lo particular nunca puede inferirse de un modo necesario la de lo general; y segundo, porque si el cuerpecillo errante «sólo atraviesa una extensión de las *más altas regiones, para la cual las verticales puedan suponerse paralelas,*» esto equivale á decir que el móvil nada atraviesa y se escapa por la tangente.

En cuanto al método general que recomienda, tampoco tiene gran fuerza probatoria. ¿Cómo en la ecuación especial de la curva se han de «tomar arbitrariamente entre ciertos límites las coordenadas del punto de salida,» si cabalmente lo que se discute es la existencia de dicho punto? Se tomarán *arbitrariamente* las coordenadas de un punto, y supuesta la velocidad, se hallará la inclinación del elemento correspondiente; pero ese punto, ¿por qué es el de salida? Razonar de esa manera equivale á suponer demostrada la tesis y caer de lleno en una prueba circular.

Además, si en la porción de atmósfera que el bó-