

suerte que al cabo de un siglo el movimiento medio de la Luna es unos 6" mayor de lo que debería ser si la excentricidad fuese constante. Más adelante, dentro de unos 24,000 años, sucederá lo contrario, cuando prevalezca el aumento de excentricidad de la órbita terrestre.

Conforme sucede con frecuencia, la observación se ha anticipado á la teoría. Halley ha reconocido la *aceleración secular* de la Luna comparando con las observaciones modernas las observaciones de los eclipses hechas en la antigüedad. No podía haber concordancia entre unas y otras sino con la condición de admitir que el movimiento medio de la Luna había ido acelerándose proporcionalmente á los tiempos en una cantidad igual á 12" por siglo próximamente.

Faltaba descubrir la causa de esta aceleración. Hicieronse varias hipótesis: unos apelaron á la acción perturbadora de los cometas, otros á la resistencia del medio etéreo, y también á la transmisión de la fuerza de la gravedad que, en lugar de ser instantánea, debería ser sucesiva; pero á Laplace le cupo el honor de descubrir la causa verdadera y formular la teoría cuyo principio hemos indicado más arriba y que enlaza la aceleración secular de la Luna con las variaciones de la excentricidad de la órbita de la Tierra.

Mas el geómetra inglés contemporáneo M. Adams ha probado que el verdadero valor de la aceleración de la Luna, al menos en cuanto dependía de esta causa, debía reducirse casi á la mitad y ser 6 en lugar de 12" que se requerían para que las antiguas observaciones de eclipses concordaran con las tablas lunares actuales. Suscitóse entonces una prolongada controversia entre astrónomos y geómetras competentes, y de la detenida discusión de esta dificultad ha resultado que los cálculos de M. Adams son rigurosos. Sin embargo, el valor total de 12" es el único que puede explicar las observaciones antiguas, y por consiguiente la aceleración secular del movimiento de la Luna no dimana únicamente de las variaciones de excentricidad de la órbita de la Tierra.

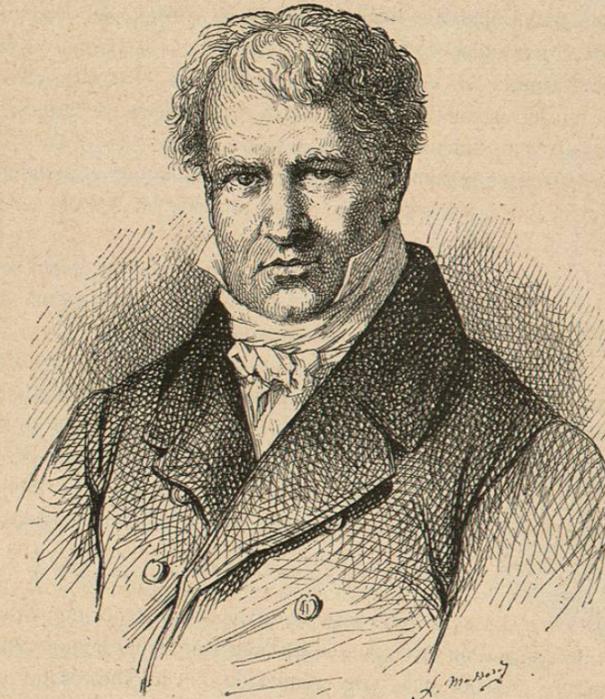
De la supuesta concordancia entre la teoría y las observaciones deducía Laplace que la duración del día no ha variado desde el tiempo de Hiparco ni un céntimo de segundo (centesimal). Pero como la concordancia no existe, la conclusión tampoco es legítima; y entonces fué cuando á nuestro compatriota Delaunay, que ha hecho tantos estudios sobre la Luna, se le ocurrió si podría explicar un cambio en la duración del día sidéreo ó de la rotación terrestre el exceso de la aceleración secular de la Luna. He aquí su raciocinio, que es muy sencillo:

"Fácil es darse cuenta, dice, de la modificación aparente que experimentaría el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, si la duración del día sidéreo experimentase á su vez un aumento progresivo á consecuencia de una aminoración en el movimiento de rotación de la Tierra. Siendo en este caso el día sidéreo más largo que en la época de las antiguas observaciones, la Luna recorrería durante la mayor duración de este día una porción de su órbita más grande que la que habría recorrido durante el mismo día si hubiese conservado el valor que tenía antiguamente. De suerte que para el astrónomo que hiciese abstracción del aumento de duración del día sidéreo la Luna parecería recorrer en igual tiempo más camino en su órbita, es decir, parecería más rápido su movimiento alrededor de la Tierra. Así pues, la consecuencia natural del aumento progresivo de la duración del día sidéreo sería una aceleración aparente del movimiento medio de la Luna.,,

Los astrónomos parten precisamente, para medir el tiempo, de la duración del día

sidéreo, que consideran invariable. Así pues, si esta duración varía en el transcurso de los siglos, la consecuencia indicada por Delaunay es inevitable. Sin embargo, antes de admitir esta invariabilidad y la explicación que de ella se sigue para el exceso del valor de la aceleración secular de la Luna, importaba descubrir la causa capaz de alterar la duración de la rotación del globo.

Esta causa existe, según Delaunay; consiste en la reacción de la masa de la Luna sobre las protuberancias de las mareas, y en efecto, vamos á ver que esta reacción pro-



HUMBOLDT

pende á disminuir la velocidad de rotación de la Tierra ó, lo que es lo mismo, á aumentar la duración del día sidéreo.

Para simplificar las ideas, consideremos la Tierra como si estuviese enteramente cubierta por las aguas del Océano. La fuerza atractiva de nuestro satélite hace tomar á su superficie de nivel la forma de un elipsoide alongado, cuyo eje mayor *ma* debería tener la dirección del radio vector TL de la Luna (fig. 134). Las mareas no son otra cosa sino el movimiento periódico de esa intumescencia que da vueltas alrededor del globo siguiendo el movimiento diurno lunar. Sólo que esta desviación continua de las aguas encuentra resistencias, roces de toda clase, resultando de aquí que el elipsoide alongado formado por el nivel del mar no coincide con el radio vector de la Luna. Hay un retraso ocasionado por las resistencias que se han de vencer, y esta es la causa de que la hora de la pleamar no sea la misma que la del paso de la Luna por el meridiano, sino que ocurra algún tiempo después.

Por tanto, como el mar no cubre con regularidad todo el globo terráqueo, el movimiento de las aguas está sujeto, según hemos visto, á otras desigualdades motivadas

por causas locales. Pero las mareas no dejan de experimentar en su conjunto el retraso general que acabamos de ver y que las observaciones han demostrado en todas partes. Las cosas ocurren en definitiva como si la Luna estuviera situada detrás de la posición que ocupa en el cielo, relativamente al sentido de su movimiento diurno. En lugar de dirigirse las dos protuberancias líquidas en la dirección del diámetro AB de la Tierra ó del radio vector lunar TL, están en *ma*, retrasadas tres horas por ejemplo, ó 45° sobre el paso de la Luna por el meridiano (figura 133) que se ha efectuado en L'; se han dirigido hacia el oriente de la Luna.

“Si nos fijamos, dice Delaunay, en el modo cómo se averigua la porción de la acción lunar que ocasiona el fenómeno de las mareas, veremos que la primera de estas protuberancias está como atraída por la Luna, y la segunda, por el contrario, como rechazada por dicho astro; resulta, pues, un *par* (1) aplicado á la masa del globo terráqueo y con tendencia á hacerle girar en sentido contrario de aquel en que gira en realidad, par que, según esto, debe producir un retraso en la rotación de este globo.”

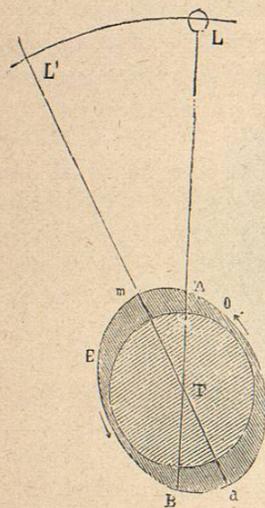


Fig. 134.—Retraso de las mareas lunares

Por lo demás, para comprender el efecto producido, se puede recordar lo que hemos dicho acerca de la causa mecánica de la precesión de los equinoccios. La diferencia está en que aquí se trata de la protuberancia de las mareas y no del ensanchamiento ecuatorial. Ahora bien, ¿es suficiente esta causa de retraso para explicar el exceso de la aceleración secular de la Luna? Sí, responde Delaunay. En virtud de un cálculo aproximado se demuestra que basta para esto que cada protuberancia líquida sobre la cual influye la Luna tenga una masa igual á  $\frac{1}{4.160,000,000}$

de la masa total de la Tierra, ó sea el equivalente de una capa de agua de un metro de espesor que descansara sobre una base circular de 675 kilómetros de radio; semejante capa, aplicada sobre la superficie del globo terráqueo, ocuparía en él una anchura de unos 12 grados del ecuador. Pues bien, las protuberancias de las mareas son comparables á esta masa.

¿A cuánto asciende el retraso del movimiento de rotación de la Tierra producido por la acción de la Luna en las protuberancias de las mareas? Según los cálculos de Delaunay, á *un segundo* en el espacio de 100,000 años. De suerte que en mil siglos la duración del día sidéreo no aumenta más que la 86,400.<sup>a</sup> parte de su valor. Si el retraso fuese uniforme é indefinido, para llegar á duplicar la duración del día sidéreo sería menester que transcurriesen 8,640 millones de años. ¿En qué época ocurrirá la detención completa?

Debemos decir que esta detención completa del movimiento de rotación de la Tierra es imposible por muchas razones. Desde luego, cuando la velocidad de rotación de nuestro globo quede reducida, á causa de esta disminución progresiva, hasta el punto de ser igual al movimiento de la Luna en su órbita, es decir, cuando la duración del día sidéreo llegue á ser unas 27 veces mayor, entonces nuestro globo seguirá presentando

(1) Dase en mecánica el nombre de *par* á todo sistema de dos fuerzas iguales y contrarias que obran en los extremos de una misma línea recta

á la Luna un mismo hemisferio. Las protuberancias líquidas de las mareas, vueltas siempre hacia nuestro satélite, no tendrán ya el movimiento progresivo que ocasiona actualmente la rotación. Desde el momento, pues, en que cesara la causa del retraso, permanecería constante la duración del día sidéreo.

Delaunay indica otra razón de la imposibilidad de la detención completa: “A medida que transcurre el tiempo, dice, y se requiere un gran número de siglos para que se realicen las circunstancias de que acabamos de hablar, la temperatura de la Tierra va disminuyendo. Las aguas del mar acabarán por congelarse, y desde el momento en que el Océano se haya convertido en hielo, dejará de existir el fenómeno de las mareas, desaparecerá la causa del retraso del movimiento de rotación, y la Tierra seguirá entonces girando con velocidad constante.”

Añadamos para terminar que si el aumento de duración del día sidéreo está establecido por la teoría, como parece estarlo por las observaciones, las anteriores cifras no marcan sino aproximadamente su valor; su determinación exacta sólo puede ser obra del tiempo.

## CAPÍTULO VII

### MASAS DE LOS CUERPOS CELESTES

#### I.

#### AVERIGUACIÓN DE LAS MASAS COMPARADAS DEL SOL Y DE LA TIERRA

Francisco Arago se expresa en los siguientes términos al principio del tomo cuarto de su *Astronomía popular*, consagrado en parte á la atracción universal:

“De cuantos resultados enaltecen á la astronomía moderna, no hay ninguno que llame más la atención de las personas extrañas á las leyes de la mecánica que la averiguación de la masa de los astros: así es que cuando un profesor encargado de analizar las maravillas del firmamento ante un auditorio poco instruído, comete la falta de citar al principio de una lección los valores numéricos de las masas planetarias; si, por ejemplo, dice que va á probar que el Sol, puesto en el platillo de una balanza y sometido al poder atractivo de la Tierra, necesitaría para estar equilibrado 354,936 globos como el nuestro, amontonados en el otro platillo, apodérase del auditorio un vivo sentimiento de incredulidad, y si éste sigue escuchando al profesor, es sólo para juzgar de su habilidad en desarrollar un sofisma.”

No sabemos si entre las personas que compusieran el auditorio hipotético de que habla Arago la incredulidad sería tan general como él supone. Pero de seguro que entre los que, dando fe á la ciencia, admitieran el resultado enunciado, serían en muy reducido número los que, á no preceder cierta iniciación en las ciencias físicas y matemáticas, se hallasen en estado de comprender la posibilidad de semejante demostración. Esta es una dificultad que no tiene nada de sorprendente, y con la que se suele tropezar en otras muchas cuestiones científicas.

En el punto á que hemos llegado en la exposición de los fenómenos y de las leyes de la gravitación, no nos sería difícil hacer ver cómo se puede resolver el problema,