

de elevación sobre el horizonte. Púsose Mouchez en relaciones con todos los astrónomos del mundo con objeto de hallar los indispensables colaboradores de su plan, y encontró, salvo excepciones insignificantes, la acogida más entusiasta. Pero el entusiasmo y la simpatía de los astrónomos no bastaba para llevar la obra á buen término, sino que se necesitaba adquirir un material relativamente costoso, y no todos los gobiernos querían hacer gastos que no parecían por completo justificados desde el estrecho punto de vista de la utilidad inmediata.

Celebráronse varios congresos en París, en los que se discutieron todos los problemas que ofrecía la empresa, y al cabo se llegó á una inteligencia común en cuanto á la marcha que habían de llevar los trabajos. Diez y ocho Observatorios de ambos hemisferios se concertaron para la exploración del espacio celeste, empleando aparatos iguales y unos mismos procedimientos fotográficos; el cielo se dividió en secciones y á cada establecimiento se le confió la reproducción de una de ellas. España, gracias á la iniciativa enérgica del Sr. Pujazón, director que era en aquella época del Observatorio de San Fernando, tomó parte en el univérsal concurso.

Después de muchas discusiones, cuyo relato no puede leerse sin sentir admiración por el talento desplegado por tantos hombres ilustres, se acordó que los estudios que habían de efectuarse fuesen dos y de distinta naturaleza, á saber:

1.º Levantar una carta por medio de clisés de larga exposición, con objeto de obtener una representación fiel del estado actual del cielo, que abarque todos los astros hasta la 14.<sup>a</sup> magnitud, cuyo número se estima en 30 millones.

2.º Ejecutar una serie de fotografías de exposición más corta, que reproduzcan las imágenes estelares hasta la 11.<sup>a</sup> magnitud, sirviendo esta segunda investigación para construir un catálogo que comprenderá las coordenadas exactas de cerca de 3 millones de estrellas.

Estas dos series de trabajos se prosiguen con gran actividad en todos los Observatorios asociados, y en el congreso celebrado en París en 1900 con motivo de la Exposición, y al que concurrieron astrónomos de todos los países, se acordó que, además de los trabajos relativos á la monumental empresa acometida y en curso de ejecución desde hace diez años, se emprendiese una nueva investigación del problema fundamental de la Astronomía, es á saber, el de la determinación de la distancia media de la Tierra al Sol, expresada en función del diámetro del globo terrestre, ó sea la determinación de la paralaje solar, base de todas las evaluaciones de las distancias celestes. Este resultado se piensa conseguir determinando por medio de la fotografía la paralaje del planeta Eros, que, como dijimos en su lugar, se aproxima á la Tierra más que ningún otro cuerpo celeste, excepción hecha, por supuesto, de la Luna, aunque á intervalos muy largos; y conocida la distancia del asteroide á nuestro globo, la cual puede obtenerse con precisión extraordinaria en el invierno de 1900 á 1901, es en extremo fácil, en virtud de las leyes de la mecánica celeste, deducir las distancias mutuas de todos los demás astros que constituyen el sistema solar.

Para concluir, diremos que al Observatorio de San Fernando le correspondía fotografiar la zona del cielo comprendida entre los paralelos de 3' á 9' del hemisferio austral, lo que exigía impresionar 1.260 clisés, y que hace ya tiempo que el trabajo está concluído con el éxito más satisfactorio.

## LIBRO QUINTO

### FENÓMENOS FÍSICO-ASTRONÓMICOS

#### CAPITULO PRIMERO

##### LAS MAREAS

Los pueblos marítimos, desde la más remota antigüedad, tuvieron algún conocimiento de la relación que existe entre los movimientos de las aguas del mar en las costas y el curso diurno de la Luna; el enlace evidente de las fases de nuestro satélite con la altura ó depresión de las aguas era conocido mucho antes de descubrirse la verdadera teoría del fenómeno. Aristóteles y Pytheas de Marsella algo dicen de este asunto, y Julio César habla de la acción de la Luna como de cosa corriente y sabida en sus famosos *Comentarios*, al referir el paso del Canal de la Mancha. Para Plinio el fenómeno se debe al Sol y á la Luna; *verum causa in sole lunaque*. Keplero indica claramente que la fuerza de gravitación es la que produce la elevación y el descenso de las aguas del mar, concepto rechazado por Galileo; pero al inmortal Newton estaba reservada la gloria de descubrir la verdadera teoría de este notable fenómeno y de demostrar con toda evidencia la causa que lo produce.

Son las mareas un asunto en cuya comprensión hallan muchas personas una dificultad extraña. Que la Luna con su atracción acumule las aguas del Océano que tiene debajo, parece á muchos muy natural; pero que la misma causa pueda al propio tiempo aglomerarlas en el hemisferio opuesto, parece á los más un absurdo palpable. Y sin embargo, nada es más cierto, ni aun más evidente, cuando consideramos que la elevación de las aguas no es producida por la atracción *total* de aquel astro, sino por la diferencia de atracciones que ejerce sobre las dos superficies del globo y sobre su centro; es decir, por fuerzas cuya dirección es precisamente la indicada por la flecha en la fig. 128, en la cual se representa la Luna y la Tierra y la forma del elipsoide líquido.

Una gota de agua suspendida en el aire tomaría una forma esférica á causa de la atracción mutua de sus partes; y si esta misma gota se dejase caer libremente en el vacío, sometida al influjo de una gravedad constante, como todas y cada una de sus partes experimentarían la misma aceleración, conservarían las partículas sus posiciones relativas y no se alteraría en consecuencia la figura esférica.

Mas si suponemos que descienda bajo el influjo de una atracción, que actúe sobre cada una de sus partículas independientemente, y que aumente de intensidad á cada grado de descenso, ya en tal caso las partes más inmediatas al centro de atracción serían atraídas con mayor fuerza que las centrales, y éstas, á su vez, con mayor fuerza que las más remotas; y el conjunto se alargaría en la dirección del movimiento, tomando una forma oblonga, resultado del equilibrio que llegaría á establecerse entre la tendencia á la separación y la atracción de las partículas, unas para con otras.

Ahora bien; la Tierra está de hecho cayendo constantemente hacia la Luna, pues que de continuo se ve separada de su curso por este astro en virtud de una fuerza que obra con más energía que en el centro en las partes más inmediatas, y con menos en las más remotas; y de este modo la atracción de la Luna

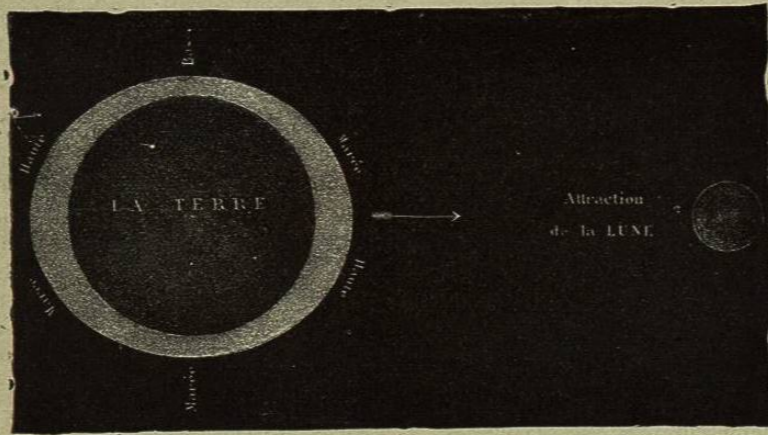


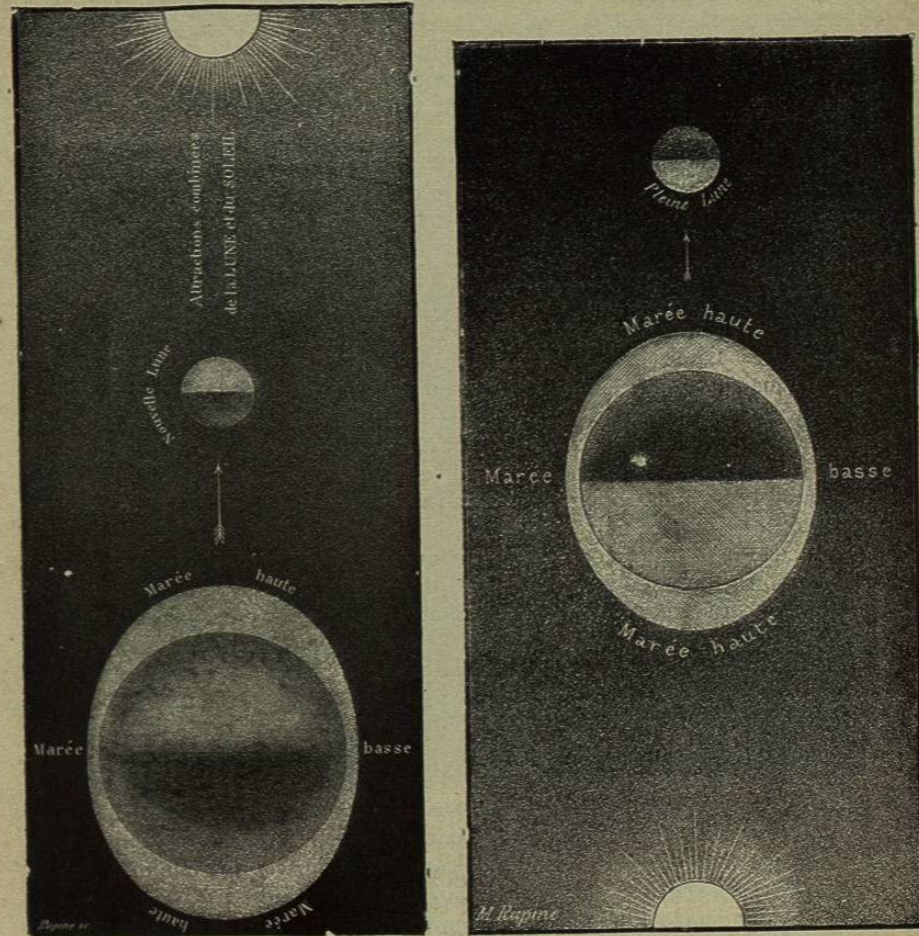
Fig. 128. - Atracción de la Luna sobre las aguas. Marea lunar

actúa comprimiendo, digámoslo así, las aguas en los extremos del diámetro terrestre perpendicular á su dirección, y elevándolas en los extremos del diámetro que se dirige á dicho astro. La geometría corrobora este modo de considerar la materia, demostrando que la forma de equilibrio que tomaría una capa de agua que envolvese á una esfera, bajo el influjo de la atracción lunar, sería la de un elipsoide oblongo, cuyo semi eje dirigido hacia la Luna tendría cosa de 162 centésimas más de largo que el transversal.

Nunca hay tiempo, sin embargo, para que llegue á formarse completamente tal esferoide. Antes que las aguas puedan tomar el nivel correspondiente, habrá la Luna caminado en su órbita, así diurna como mensual (porque en esta teoría vendrá muy á cuenta para la claridad el suponer trasladado el movimiento diurno de la Tierra al Sol y á la Luna en dirección contraria); habrá el vértice del esferoide variado de posición en la superficie de la Tierra, y tendrá el Océano que buscar nuevo asiento, originándose de aquí una ola de inmensa anchura y excesivamente tendida ó aplanada (no una corriente alrededor del globo), que sigue, ó procura seguir, los movimientos aparentes de la Luna, y que debe

en realidad, si es cierto el principio de las vibraciones derivadas, imitar en períodos iguales todas las desigualdades periódicas de aquel movimiento.

Cuando llegan á nuestras costas las partes más elevadas ó las más bajas de



Figs. 129 y 130. - Mareas vivas. - Atracciones combinadas de la Luna y el Sol

esta ola, advertimos ese aumento y disminución en la altura de las aguas, que llamamos *pleamar* ó *bajamar*.

Asimismo produce el Sol otra ola semejante, cuyo vértice procura seguir el movimiento aparente de este astro en el cielo, é imitar también sus desigualdades periódicas. Esta ola solar coexiste con la lunar, y se le sobrepone algunas veces, en tanto que otras la cruza y la atraviesa de modo que la neutraliza en parte: todo según la configuración mensual sinódica de los dos luminare

Pero el influjo del Sol es mucho más débil que el de la Luna, á causa de su considerable distancia de la Tierra. La distancia media del Sol á nuestro globo es 382.846 veces mayor que la de la Luna, y su fuerza de atracción, por lo tanto, 146.571 veces menor; pero como la masa del Sol supera á la de nuestro satélite en la razón de 25.885.220 á 1, que es mucho mayor que la de 146.571 á 1, pudiera creerse que la atracción del Sol superase á la de la Luna en el mismo exceso que presenta la primera cantidad sobre la segunda.

No es esto lo que ocurre, sin embargo, por la razón siguiente.

Hay que considerar que las mareas se deben únicamente á la desigualdad de la atracción que obra en diversos lados de la Tierra, y que mientras mayor sea la desigualdad, mayor será la marea resultante y viceversa. La distancia media del Sol á la Tierra es igual á 11.536 diámetros terrestres; y en consecuencia, la diferencia entre su distancia desde un lado de la Tierra y desde el opuesto será tan sólo  $\frac{1}{11536}$  de la distancia total; mientras que tratándose de la Luna, cuya distancia media es de 30 diámetros terrestres, la diferencia entre las distancias de un lado del globo y del opuesto, viene á ser desde el satélite  $\frac{1}{30}$  de la distancia total. La desigualdad de la atracción, de la que depende la altura de la ola de marea, es, por lo tanto, mucho mayor tratándose de la Luna que del Sol, en la razón de  $2\frac{1}{2}$  á 1.

Vemos, pues, que hay dos clases de mareas, lunar y solar. Cuando el Sol, la Luna y la Tierra se encuentran en la prolongación de una línea recta, es decir, cuando hay Luna nueva ó llena, se suman ó sobreponen ambas olas y tienen lugar las mareas que llamamos *vivas*.

Pero cuando la Luna se encuentra en cuadratura ó á 90 grados del Sol, su atracción obra en sentido perpendicular á la que el Sol ejerce, y las dos elevaciones se hallan separadas 90 grados también; entonces tenemos las mareas *muertas*.

Presentaremos aquí algunos datos relativos á las mareas, que pueden ser de utilidad al lector.

(a) El día del novilunio pasan el Sol y la Luna al mismo tiempo por el meridiano, esto es, á mediodía, y poco después de este paso tiene lugar la marea alta ó pleamar. Después de alcanzar el agua su altura máxima, comienza á bajar, y tras un período de  $6^h 12^m$  llega á su depresión máxima; vuelve á subir durante  $6^h 12^m$  y obtiene un segundo máximo; descende de nuevo y sube otra vez en dos períodos iguales, teniendo lugar dos máximas y dos mínimas en el intervalo de  $24^h 48^m$ , que se llama *día marea*.

(b) El día del plenilunio pasa la Luna por el meridiano  $12^h$  después que el Sol, esto es, á media noche, y los fenómenos son iguales á los descritos en (a).

(c) Como el tiempo se cuenta por el movimiento aparente del Sol, la marea solar se verifica siempre á la misma hora para un lugar determinado; pero la marea lunar, que es la más importante, ocurre cada día  $48^m 44^s$  más tarde; se retarda, por lo tanto, hacia el Este de la marea solar en igual proporción, hasta que en los períodos que corresponden al primer y tercer cuarto de la Luna tienen lugar al mismo tiempo que la bajamar solar; en este caso la altura de la pleamar y la depresión de la bajamar serán la diferencia de las mareas solar y lunar, y las mareas serán muertas.

(d) La diferencia entre la pleamar y la bajamar se llama unidad de altura.

(e) Las mayores mareas vivas ocurren 36 horas después del novilunio ó del plenilunio.

(f) Las más bajas mareas muertas ocurren 36 horas después de hallarse la Luna en cuadratura.

(g) El intervalo de tiempo que transcurre desde el mediodía hasta el momento de la pleamar en un lugar determinado, es igual en el novilunio y el plenilunio y se llama *establecimiento del puerto*.

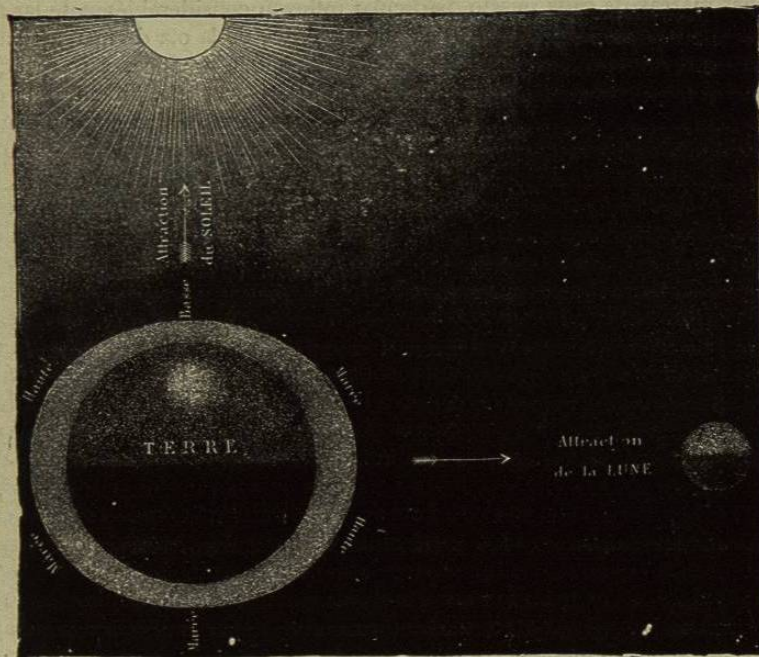


Fig. 131. - Mareas muertas. Acciones contrarias del Sol y de la Luna

Sin la inercia de las aguas y los retardos que provienen, ya del rozamiento en el lecho del Océano, ora de la angostura de los canales por donde tiene que pasar la ola antes de llegar al puerto, ya de su varia extensión, etc., etc., los dos antedichos momentos, que tan diversos aparecen, se confundirían en uno solo. Mas todas estas causas conspiran á que resulten diferentes, y su variada combinación hace que esta diferencia esté muy lejos de ser una misma en todos los puertos.

La observación del establecimiento de los puertos es punto de gran importancia marítima, y no es de menor consecuencia, teóricamente hablando, para llegar al conocimiento de la verdadera distribución de las aguas por todo el globo en el fenómeno de las mareas. Al hacer estas observaciones, se debe cuidar de no confundir el momento de las aguas paradas, que es cuando la corriente

causada por el flujo ó reflujo deja de afluir visiblemente hacia uno ú otro lado, con el de la pleamar ó bajamar, cuando el nivel de la superficie deja de subir ó de descender. Estos fenómenos son totalmente distintos y dependientes de causas muy diversas, si bien es cierto que pueden coincidir algunas veces en punto á tiempo; y hay motivo para recelar que se toman uno por otro con demasiada frecuencia en la práctica, circunstancia que dondequiera que ocurre debe producir la mayor confusión en cualquiera tentativa cuyo objeto sea reducir el sistema de las mareas á leyes distintas é inteligibles.

En las mareas de cada puerto particular influyen considerablemente las declinaciones del Sol y de la Luna. Pues que el vértice de la ola de marea tiende á situarse en dirección vertical debajo del luminar que la produce, claro está que cuando varíe la incidencia de esta vertical sobre la superficie, procurará la ola variar de un modo consiguiente, y por lo mismo, tenderán á aumentar y disminuir alternativamente, según períodos mensuales y anuales, las mareas principales. Así viene á introducirse en la materia el período de los nodos de la Luna, en razón de que en una parte de dicho período pueden las declinaciones de este astro extenderse hasta 29 grados hacia un lado del ecuador, y en la parte opuesta á sólo 17° hacia el mismo lado.

Hasta aquí hemos considerado la ola de marea como si la Tierra fuese una esfera perfecta cubierta de agua, de una profundidad uniforme; pero como esto dista mucho de ser así, se deduce que el fenómeno de las mareas presenta un carácter mucho más complejo, debido al contorno irregular de las tierras, á la superficie desigual del lecho del Océano, á la acción de los vientos, á las corrientes, etc., etc. Los efectos de estas influencias perturbadoras se manifiestan de un modo particular en la diferencia de la altura de la marea en diversos puntos del globo. Si la superficie terrestre se hallara cubierta de agua por completo, la altura de la marea solar sería de 59 centímetros y la de la marea lunar de 122 centímetros; pero las diferencias de nivel producidas en las aguas del Océano exceden en mucho de estas cantidades; por ejemplo, en canales estrechos, abiertos en el sentido de la ola de marea, se elevan las aguas repentinamente á una altura extraordinaria. Así tenemos que la diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar es como sigue en algunos puertos:

Canal de Bristol . . . . .	21,33 metros
Río Gallegos (Patagonia) . . . . .	18,28 »
Saint Maló . . . . .	12,16 »
Ferrol . . . . .	3,00 »
Cádiz . . . . .	4,76 »
Gibraltar . . . . .	1,12 »

En espacios grandes y abiertos como el Océano Atlántico y el Pacífico, y en mares estrechos y cerrados como el Báltico y el Mediterráneo, es muy pequeña la elevación de la ola de marea. Así en Tolón llega tan sólo á 30 centímetros, en San Juan de Puerto Rico á 46 cm., en el Océano Pacífico austral á 50 cm. y en la isla de Santa Elena á 92 cm.

## CAPITULO II

### ECLIPSES Y OCULTACIONES

Teoría general de los eclipses. — Eclipses de Sol. — Eclipses de Luna. — Ocultaciones. — Eclipses de los satélites de Júpiter

Los fenómenos de que ahora vamos á ocuparnos resultan de la interposición de algún cuerpo celeste entre la Tierra y otro astro. Sabemos que, debido al movimiento de que se encuentran animados todos los cuerpos del cielo, la dirección de las líneas que pueden imaginarse trazadas de unos á otros varía de tiempo en tiempo, y á veces ha de ocurrir que tres de ellos se encuentren en línea recta.

Cuando uno de los cuerpos extremos de esta serie de tres es el Sol, el cuerpo intermedio priva al que se encuentra en el otro extremo, ya total, ora parcialmente, de la luz que de ordinario recibe. Cuando uno de los cuerpos extremos es la Tierra, el cuerpo intermedio intercepta, total ó parcialmente, al otro cuerpo extremo de la vista de los observadores situados en diversos puntos de nuestro globo que se encuentren en la línea común de dirección, y el cuerpo intermedio se ve pasar sobre el otro extremo cuando entra ó se separa de la línea común de dirección. Los fenómenos que resultan de estas contingencias de posición y dirección se llaman *Eclipses*, *Pasos* y *Ocultaciones*, según las magnitudes relativas y aparentes de los cuerpos interpuestos y obscurecidos, y según las circunstancias en que se verifican.

Principiaremos nuestro estudio por los eclipses.

Debemos ante todo recordar que la órbita de la Luna no coincide exactamente con el plano de la órbita terrestre, sino que ambos planos forman entre sí un ángulo que varía entre 4° 57' y 5° 20', de modo que por término medio podemos tomar 5° 9' como valor angular. Los dos puntos en donde en su curso corta á la eclíptica se llaman nodos, y la línea imaginaria que los une, línea de los nodos; cuando la Luna cruza la eclíptica de Sur á Norte, pasa por su nodo ascendente, y el punto opuesto es el nodo descendente; si ocurre que la Luna pase por uno de sus nodos en la época de la conjunción ó novilunio, ó muy cerca de ella, necesariamente se interpondrá entre la Tierra y el Sol (fig. 133) y los tres cuerpos se encontrarán en una misma línea recta; de donde se deduce que en algunos puntos de la Tierra se verá obscurecido el disco del Sol, total ó parcialmente, según el caso. Sería eclipse total de Sol si la Luna cubriese toda la superficie aparente del luminar del día; parcial, si sólo ocultara una parte, y anular cuando el disco de nuestro satélite no tapa al Sol por completo y se distingue un anillo luminoso alrededor del cuerpo obscuro de la Luna.