

nivel con el Oceano, porque corren con ímpetu, y suben mucho mas de lo que debian subir por las leyes de la atraccion ó fuerza centrifuga. Ultimamente, como unos lugares tienen comunicacion subterranea con otros, subiendo allí el agua á mayor altura por las leyes del equilibrio, debe naturalmente elevarse tambien en aquellos con los cuales ocultamente se comunican : y de este modo puede haber muchas mareas dentro de 24 horas : en otras partes hay varias ensenadas ó estrechos, varias cierras de peñascos debajo del agua, varios vientos que soplan con esta ó aquella direccion, y causan una gran perturbacion en la corriente de las aguas, y por consiguiente en las mareas.

EUG. — Solo me resta preguntar porque se atraen las mareas tres cuartos de hora de un día para otro.

TEOD. — Como siguen el movimiento de la luna, y esta anda hácia levante mas ligera que el sol, cuando este vuelve al meridiano aun faltan 50 minutos para que llegue la luna, y hasta entonces no vuelve á ser la *marea llena* que sigue á la luna.

SILV. — Habeis hablado de Benito de Moira y como si me bailase por la cabeza que construisteis una máquina para probar su doctrina.

TEOD. — En efecto es así ¹.

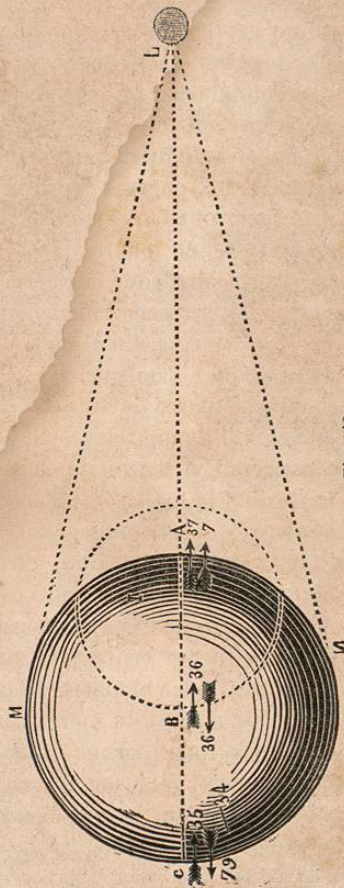
¹ Por los años de 1745 Benito de Moira comunicó al Padre Almeida su doctrina, y este la publicó en 1761 : algunos años despues, dando lecciones de física en Bayona y en Auch, para hacer sensible este sistema, y demostrar que era verdadero, imaginó una máquina, que dejó en el colegio de Auch, y puso otra en la Academia de las Ciencias de Lisboa.

EUG. — Decidme algo sobre este particular, pues me intereso en las cosas que revelan vuestro mérito.

§ VIII.

Doctrina de Benito de Moira.

TEOD. — Repárese en la (Fig. 40). Todos dan por sentado que la atraccion es reciproca entre los cuerpos en razon de sus masas. Como la tierra, pues, es mas pesada que la luna, y se atraen mutuamente, en el espacio de un mes giran la tierra y la luna alrededor de un centro comun I, el cual es tanto mas cercano al centro de la tierra que al de la luna, cuanto mas es pesada la tierra que la lu-



na. Ahora bien, la distancia de la tierra á la luna son 60 semidiámetros de la tierra, esto es, sesenta veces mil treinta y una leguas : de aquí se puede colegir en donde cae el centro comun I. Advertid que como esplico la doctrina de un Portugués cuento por leguas portuguesas y hay 48 al grado y 2062 al semidiámetro terrestre. Supuesta esta doctrina, de la que ningun astrónomo duda, tenemos que ha de haber aquí fuerza centrífuga del centro comun I en todos los cuerpos que giran alrededor de él, y esta fuerza ha de ser á proporcion de las distancias de él; y así en los tres puntos de la tierra A, B, C, que giran alrededor del centro comun, ha de haber tres fuerzas centrífugas de este centro, que deben ser diversas. En el centro de la tierra B la fuerza centrífuga con que tira á huir de I ha de ser igual á la fuerza de atraccion de la luna, que obra en sentido diametralmente opuesto ; porque si no fuese igual, ó venceria la atraccion llegándose mas la tierra á la luna, ó venceria la fuerza centrífuga huyendo la tierra mas; y así si la atraccion de la luna vale en el centro 56, otro tanto debe valer la fuerza centrífuga del centro comun I. En los mares A y C es diversa la distancia del centro comun, y tiene la fuerza centrífuga diversa direccion : por distar muy poco el mar A de I tendrá fuerza centrífuga pequeña; y esta fuerza concuerda con la atraccion de la luna, porque tira hácia la misma parte. Lo contrario debe suceder en el mar C, muy distante de I, y por lo mismo será mucho mayor esta fuerza centrífuga : ademas de eso ha de ser opuesta á la atraccion de la luna : huyendo el mar C del

centro comun I, huye al mismo tiempo de la luna L : como son contrarias las fuerzas, se debe descontar la mas pequeña de la mayor, y solamente el exceso será el que obre. Cuando examináremos en rigor en donde cae el centro comun I, mediremos con exactitud las distancias de I á A y á C para conocer la cantidad de fuerzas centrífugas que hay en cada uno de aquellos puntos.

Luego es preciso examinar en estos tres puntos cual es en rigor la atraccion de la luna, y cual es en rigor la fuerza centrífuga del centro comun, y combinar estas dos fuerzas para saber el efecto de ellas. Como la atraccion de la luna está en razon inversa de los cuadrados de las distancias, por este medio las podemos calcular.

La distancia media de la luna á la tierra es de 60 semidiámetros de la tierra, esto es, lo que hay desde el centro de la luna hasta el centro de la tierra. Luego la distancia de la luna al mar menos distante A es de 59 semidiámetros, al centro B es de 60, al mar mas retirado C es de 61. Hagamos los cuadrados de estos tres números, y hallaremos que

el de 59 es 3481 ó 55,
 el de 60 3600 ó 56,
 el de 61 3721 ó 57.

Ademas de cuadrar los semidiámetros quiero reducir sus resultados á otras cantidades menores que tengan la misma proporcion, y así el primero 3481, en donde falta bien poco para 5500, puede reducirse á 55, despreciando las dos cifras últimas:

el segundo de 3600 se reduce bellamente á 36, el último de 3721 se reduce á 37, quitando las dos últimas cifras en todo. Tenemos, pues, que las diversas atracciones de la luna en A, B, C, son como 35, 36, 37; mas por estar en razón inversa ha de ser 37 en A, 36 en B, y 35 en C.

Vamos ahora á medir exactamente las fuerzas centrífugas en aquellos tres puntos, y para eso examinemos en donde cae el centro comun I. Los astrónomos modernos dan á la tierra un peso 71 veces mayor que el de la luna: es preciso, pues, medir la distancia del centro de la luna al de la tierra, y repartirla en 72 partes, y elegir un punto I, que diste una parte de estas del centro de la tierra, y 71 del centro de la luna, y este punto I será el centro comun.

Ahora bien, siendo la distancia de la luna á la tierra 60 semidiámetros de esta, y valiendo cada semidiámetro 1051 leguas, reducida toda la distancia á leguas valdrá 61860; y repartiendo esto por 72, dará al cociente 859 leguas: aquí desprecio una pequeña fraccion. Ya por este medio sabemos en donde cae el centro comun I, y viene á caer 859 leguas distante del centro de la tierra B, y 172 leguas distante del mar A; porque 172 junto con 859 hacen el semidiámetro de la tierra, que es igual á 1031 leguas.

Hallando nosotros en I el centro comun, tenemos la distancia de este á los tres puntos A, B, C; porque de A dista 172 leguas, de B 859, y de C 1890. Ahora, pues, como las fuerzas centrífugas son exactamente como las distancias, tenemos que las fuer-

zas centrífugas del centro comun I estan en esta proporcion :

en A 172,
en B 859,
en C 1890.

Falta reducir estos números á otros menores que tengan la misma proporcion.

1702 leguas ó 7.
859 leguas ó 36.
1890 leguas ó 79.

De este modo podemos poner las tres fuerzas centrífugas del centro comun I en A como 7, en B como 36, en C como 79. Combinemos ahora las fuerzas de la atraccion de la luna: ya vimos que

en A es como 37,
en B vale 36,
en C vale 35.

Luego tenemos que en el centro B hay fuerza de atraccion para la luna 36, y la fuerza centrífuga I vale tambien 36, mas siendo contrarias no hacen efecto alguno.

Tenemos en A
fuerza de atraccion 37:

tenemos que la fuerza centrífuga de I vale 7. Suman las fuerzas con que A va hácia la luna 44.

En C la fuerza de atraccion vale	55.
La fuerza centrifuga vale	79.
Descontando la menor de la mayor	44.

De este modo las aguas en A huyen hácia la luna con fuerza 44 : en C huyen de la luna y del centro de la tierra como 44 : ahí teneis la segunda marea igual á la primera, haciendo una la atraccion de la luna, y haciendo otra la fuerza centrifuga del centro comun. Esta es en sustancia la sentencia de Benito de Moira.

EUG. — Me parece muy puesta en razon, y si no hay mas que añadir, esplicadme la máquina que prueba esta doctrina.

TEOD. — Ahora ya puedo daros idea de la máquina que imaginé para probar que esta doctrina concuerda con las leyes de la mecánica y de la astronomía. El globo de la tierra es sólido, pero las aguas forman una superficie movediza; de modo que mirando á las dos mareas llenas ó *pleamares* diametralmente opuestas, viene á hacer el globo de la tierra una figura oval. Para imitar, pues, este globo terráqueo con el mar fluido imaginé (Fig. 41.) un globo de madera, cercado de muelles de reloj, que hagan unos círculos flexibles, que con causa puedan mudarse en figura oval. Atravesé en el globo un diámetro fijo A, B de hierro liso, afirmado en un hierro H, que prende en una regla de madera PQ, como se ve.

En este diámetro fijo descansan dos segmentos de laton A, B, en donde penden todos los muelles de reloj; de tal modo que cuando estos segmentos se

apartan del centro de la bola C, queda la tierra reducida á figura oval.

En la regla de madera pongo la figura de la tierra por una parte y la figura de la luna por otra; y para imitar la figura de estos dos globos alrededor del centro comun E aseguro la regla en una polea que puede girar velozmente sobre su eje cuando sea necesario. Este eje I, sobre el cual ha de girar la regla, ha de corresponder á un punto E del diámetro que cae dentro del globo, y cerca del segmento A, para corresponder al centro comun señalado en la (Fig. 40). Dispuesto así todo, en dando movimiento á la regla se apartarán los dos segmentos A y B mutuamente y del centro comun E : el de

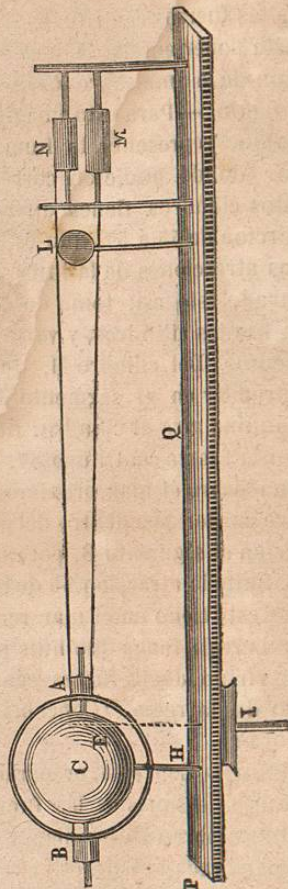


Fig. 41.

A con poca fuerza, porque dista poco de él; pero el de B con mas fuerza, porque dista mas.

EUJ. — Ya tenemos aquí en la máquina el juego de las fuerzas centrífugas del centro comun. Ahora falta poner en ella el juego de las fuerzas de atraccion de la luna sobre los dos mares A y B.

TEOD. — Para esto imaginé poner detras del globo que representa la luna dos alambres tirantes, por donde pudiesen correr dos cilindros M y N; estos cilindros tienen diferente masa, y en la proporcion de 55 á 57, que es la misma que tienen las dos atracciones de la luna sobre los dos mares. Preparado esto así, tomo dos cordones, que prenden en los dos cilindros, y van á prender en los dos segmentos. Del cilindro M, que pasa 57, va el cordon á prender en el segmento A, para que cuando la máquina gira el cilindro, huyendo por el alambre con la fuerza centrífuga 57, imite la atraccion de la luna sobre el mar próximo A; y del cilindro N va otro cordon por dentro del globo de la tierra á prender en el segmento B, para que teniendo el peso de 55 imite la atraccion 55 de la luna, que es la fuerza que esta tiene en el mar remoto B, cuando por girar la regla tenga que huir por el alambre adelante en virtud de la fuerza centrífuga que le dará el giro de la regla. ¿Concebís lo que tenemos hasta ahora?

EUJ. — Con esta preparacion tenemos ya en la máquina dispuestas las fuerzas de la atraccion de la luna sobre los dos mares en razon de 57 á 55, como sucede en el mar, y tenemos las fuerzas centrífugas respectivas al centro comun en la propor-

cion que en la realidad sucede, supuesto que el globo de madera con los muelles de reloj imitan al globo de la tierra.

TEOD. — Pongámoslo pues todo en movimiento, y veremos que el globo toma la figura oval, y que los dos segmentos A y B, que representan los dos mares, se apartan del centro de la tierra. Mas como girando la regla no es facil que la vista se certifique bien de la figura oval, hago esto (Fig. 42). En los segmentos pongo una lengüeta *mn*, movable, la cual así que ellos llegan á la estremidad del diámetro de hierro cae hácia abajo, y asegura allí el segmento; y de este modo la figura oval que tomó la tierra mientras la regla giraba persevera aun despues de parada la regla; y así queda manifiesto que la misma figura debe tomar el globo terráqueo girando alrededor del centro comun dentro de un mes, y obedeciendo las aguas á la atraccion de la luna, como deben obedecer siguiendo las reglas generales.



Fig. 42.

EUJ. — Me pasma tanta exactitud é ingenio.

TEOD. — Esplicadas las mareas segun esta doctrina, que me parece evidente, vamos á esplicar las circunstancias para que esta doctrina no quede defectuosa. Una de las cosas admirables que noto aquí es que el pleamar no es solamente efecto de la atraccion de la luna sobre el lugar á que cae perpendicular, sino de toda la atraccion ejercitada sobre todo el hemisferio que la luna iluminare. Re-

parad en la figura 40. La atraccion de la luna L no obra solo por la línea LA, sino tambien por las líneas LM y LN; pero es preciso advertir que en el lugar A la línea LA es enteramente contra la gravedad, y la disminuye; mas en los lugares MN la línea de la gravedad va derecha hácia el centro de la tierra: la línea de la atraccion va derecha á la luna, y resulta el movimiento compuesto, y viene el agua rodando por la superficie del globe á buscar el lugar A, y de este modo de M y de N se va juntando en A, por consiguiente el pleamar en A es efecto de la atraccion en todo el hemisferio. Asimismo en el hemisferio opuesto no obra la fuerza centrífuga solamente en el lugar C, sino en todo el hemisferio; porque hay la misma razon que en el hemisferio que mira hácia la luna.

EUG. — Esto está clarísimo.

TEOD. — Otra circunstancia conviene explicar, y es, que la fuerza del pleamar se ve dos horas despues del paso de la luna por el meridiano (Fig. 45),

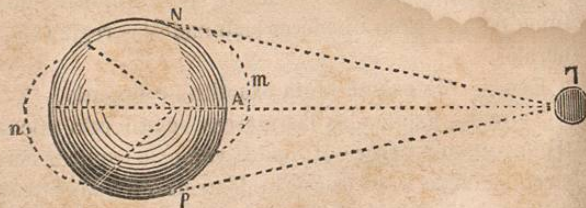


Fig. 45.

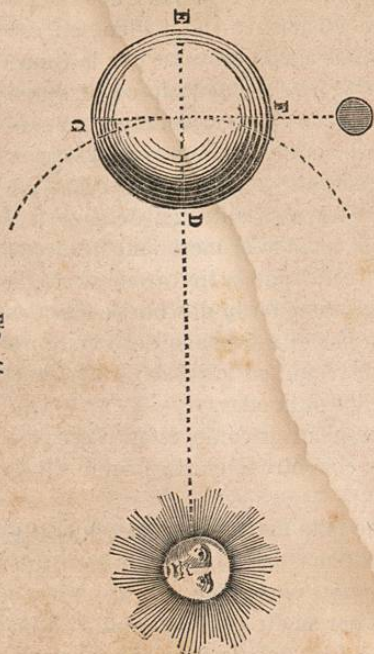
y la razon es, porque volviéndose la tierra continuamente de poniente *p* á nascente *N*, da á las aguas semejante movimiento de *p* á *A*, y al mismo

tiempo esas aguas de la parte del poniente son atraídas por la luna; de modo que tienen allí dos causas que las muevan de *p* hácia *A*. Ahora bien, en ese mismo tiempo son las aguas atraídas por la luna, vienen de *N* hácia *A*, y se encuentran con las que vinieron de *p* hácia *A*. con mayor fuerza, y promovidas por dos causas: en este encuentro de las aguas debe haber mayor cúmulo de ellas; y como las que vienen de *p* hácia *A* traen mas fuerza, debe caer el mayor cúmulo en *m*, pasado el meridiano, ó desde la línea que va del centro de la tierra derecha á la luna. Por esto el pleamar tarda dos horas despues del paso de la luna por el meridiano del lugar, así en la parte de arriba como en la parte de abajo *n*, que corresponde á los antípodas.

EUG. — Admirome de ver cómo estas cosas van concordando unas con otras, efecto propio de la verdad.

TEOD. — Aun me falta deciros por que en las lunas nuevas y en las llenas hay aquellas mareas mayores que llaman *aguas vivas* (Fig. 44). Así como la luna causa mareas por su atraccion que obra en las aguas, tambien el sol las debe causar por ser general la ley de la atraccion; mas como la distancia es mucho mayor, la marea es mucho mas debil en *DE* que en *FG*. Del mismo modo tenemos fuerza centrífuga para la marea secundaria, porque la tierra anda alrededor del sol en un año, y las aguas siempre deben huir del sol hácia la parte opuesta. Aquí teneis las dos causas opuestas de las dos mareas del sol. La primera en *D* es efecto de la atraccion del sol sobre las aguas del mar mas próximo en *D*, y la

segunda es efecto de la fuerza centrífuga en E. Por



ser muy poca la diferencia de esta fuerza centrífuga en el centro de la tierra y en los diversos mares, también debe ser pequeña esta marea; y así atribuimos al sol marea de solos dos pies de elevacion, y á la luna marea de siete pies. En esta suposicion, cuando concuerda la marea del sol con la marea

de la luna, como sucede en las sicigias, son *aguas vivas*, y llega la marea á nueve pies de elevacion, que vienen á ser siete pies de la marea lunar y dos de la solar. En la luna nueva la misma cara de la tierra que está vuelta hácia el sol, está también vuelta hácia la luna; luego la superficie del mar, vuelta y atraida por la luna, será atraida por el sol: de este modo concuerda la marea primaria de la luna con la marea primaria del sol; todo por efe-

to de la atraccion de estos dos astros. Del mismo modo en el tiempo de la luna llena, como una cara de la tierra es iluminada por el sol, otra por la luna, por lo mismo concuerda la marea primaria del sol con la secundaria de la luna; y del mismo modo la marea secundaria del sol concuerda con la primaria de la luna; y por eso así en la luna llena hay las mareas grandes que llaman *aguas vivas*. Pero en los cuartos de luna, así en el creciente como en el menguante, esto es, en F y en G, no concuerda el pleamar del sol con el pleamar de la luna, sino que sucede lo contrario. El sol hace sus pleamares en E y en D; y en estos mismos lugares hay bajamar de la luna, porque la luna cae á un lado, y no ilumina la cara iluminada por el sol, ni atrae las aguas atraidas por él. Ahora bien, como el sol debe hacer su pleamar en D y en E, esos dos pies de agua, de que él necesita, deben venir del pleamar que la luna hace; por quanto la cantidad de agua en el mar siempre es la misma, y por eso en los cuartos de luna la marea de esta, que habia de ser de siete pies, se queda en cinco: del mismo modo el bajamar es muy pequeño en los cuartos de luna, porque en donde esta hacia bajar el agua siete pies halla ya dos pies de agua, que son el pleamar del sol.

EUG. — Ya veo lo que son *aguas vivas* y *aguas muertas*. Ahora quisiera que me esplicaseis lo que llaman *cabezas de aguas*, que se verifican en marzo y en setiembre cuando las *aguas vivas* son extraordinarias.

TEOD. — Esto procede de que la luna y el sol se hallan en el ecuador ó cerca de él, que es la direc-

cion mas propia para las mareas. Suponed, Eugenio, que estuviese la luna ó el sol en el polo, hácia allá harian la hinchazon de las aguas; pero volviéndose la tierra alrededor de su eje haria que una ciudad siempre fuese girando con agua alta, y no veria la alternativa, ya por agua alta y ya por baja, como aquí nos sucede. Luego cuanto mas se llegan la luna y el sol al ecuador, debe ser mas sensible en la rotacion de la tierra la diferencia de agua alta ó pleamar y de bajamar. Entonces cuando hay eclipse, como la línea que viene de la luna á la tierra está muy cercana á la línea que viene del sol, se juntan mas las fuerzas de la atraccion de uno y otro astro, y resultan mayores los efectos. Esto es lo que me ocurre para daros una idea clara de la doctrina de las mareas, segun lo que entiendo ser verdad, y segun la doctrina que aprendí de Benito de Moira.

EUG. — Muy modesto sois, Teodosio, puesto que á no ser por Silvio acaso no hubiese sabido que fuese vuestro el tal invento.

SILV. — Aun tiene otro: mostrádselo y se acabará de entusiasmar.

EUG. — ¿Cual es? No habeis de negármelo.

§ IX.

Sobre una mesa astronómica. en la que solo con dos cordeles y cuatro poleas se manifiestan los fenómenos principales de la astronomía.

TEOD. — A dos fines se suelen aplicar los que se dedican á los estudios de la naturaleza. Lo primero procuran adelantar los conocimientos de las verdades maravillosas que en ellas se encierran. Intentan lo segundo facilitar estos conocimientos, y hacerlos tan patentes, que todos puedan, con una ligera atencion, participar del gusto y de las utilidades que traen consigo: semejantes á los rios caudalosos que unas veces van profundos, y teniendo estrechos límites cavan con vigorosa corriente en las íntimas entrañas de la tierra, y sacan de ella los tesoros que encerrados y escondidos en ellas no daban esperanza á los mortales de verlos con sus ojos; y otras veces dilatándose por los campos abiertos con poca profundidad y plácido movimiento riegan mucho mas espacio, consuelan á muchos mas pueblos, y se pueden vadear sin peligro y sin susto; así los que no beben en la naturaleza el vigor de un ingenio profundo y preciso para acabar en nuevos descubrimientos, deben emplearse en facilitar á todos la inteligencia de las verdades ya descubiertas. Tal fue, amigo, mi pensamiento en idear esta mesa astronómica para facilitar á todos los fenómenos de la astronomía mas principales y de la mayor impor-