CAPITULO II.

ROTACION DE LA TIERRA.

§ 1.

Pruebas del movimiento de rotacion.

75. 1º *Por su forma esferoidal.* Habiendo demostrado que la figura de la tierra no es perfectamente esférica, tratemos de averiguar cual puede ser la causa. Por la mecánica se sabe que todo cuerpo fluido, animado de un movimiento de rotacion al rededor de su eje, cambia de forma en virtud de la fuerza centrífuga. La masa aumenta en el sentido paralelo al movimiento de rotacion, y disminuye en el sentido perpendicular. Ahora bien, estando averiguada la fluidez primitiva de la masa terrestre, no solo por las aguas de su superficie, sino mucho más por la inmensa cantidad de materias incandescentes líquidas en su interior, y observándose un levantamiento en el ecuador, y una depresion en los polos, debe concluirse que esta forma esferoidal no puede atribuirse á otra causa diferente de la de un movimiento de rotacion al rededor de su eje.

76. La forma elipsoidal de la tierra importa una acumulacion de la masa terrestre en el sentido del ecuador y una disminucion en los polos: así mismo, en donde se acumula la masa es necesario disminuya la gravedad, pues aumenta el radio, y en donde la masa disminunuye, es preciso que la gravedad aumente por disminuir el radio: pero esto no podria verificarse, si no existiese la fuerza centrífuga que sabemos produce dichos efectos, y está en razon inversa de la gravedad; por otra parte, hemos probado anteriormente que el radio terrestre ecuatorial es mayor que el radio polar; luego es necesario admitir en el globo terrestre una fuerza centrífuga que produzca dichos efectos, y por lo tanto un movimiento de rotacion.

77. En cuanto á la fluidez de la masa terrestre que podria ofrecer alguna dificultad, aunque pertenezca á los Geólogos demostrarla, sin embargo no será inútil decir sobre ella unas pocas palabras. Es opinion generalmente admitida que la tierra en su orígen fué una masa ígnea incandescente, así como los demás cuerpos celestes, que se formaron á varias distancias del sol por la mútua atraccion de las moléculas de la materia cósmica que se hallaba en movimiento á su derredor. Dichos cuerpos son los que constituyen ahora los planetas de nuestro sistema. La tierra, pues, en ese estado de incandescencia, en el curso de los siglos fué enfriándose, por la cesion de su alta temperatura á los espacios, y condensándose poco á poco al rededor del centro, pasó del estado gaseoso al líquido y del líquido al

sólido en su costra exterior. Siendo esta bien poco espesa en un principio, no podia menos de sufrir espantosas convulsiones y rompimientos por efecto de la fuerza expansiva, ya del vapor de agua, ya de los gases encerrados. Las partes solidificadas y despedazadas volverian á mezclarse con la parte líquida; pero siguiendo posteriormente el enfriamiento, vino poco á poco dicha costra á tener la forma compacta, que presenta en la actualidad.

78. Fúndase esta opinion en el exámen practicado en la misma costra terrestre, pues claramente se manifiestan los levantamientos del terreno en capas de diferente naturaleza calcáreas, graníticas, silíceas etc. ya horizontales, ya oblicuas ó en ángulo, cuyas formas expresan, sin duda, el efecto de una fuerza de impulsion en sentido contrario á la fuerza de gravedad. No tratamos ahora si en la actualidad rige todavia la opinion de algunos geólogos que representan á la tierra bajo la forma de una gran masa de agua toda cubierta de pedazos de hielo; pues aun admitida la fluidez primitiva de nuestro globo, no se sigue que en la actualidad se halle tan delgada su costra exterior que pueda ser representada por los pedazos de hielo, porque entonces las consecuencias serian fatales. Unicamente advertiremos que no han faltado algunos que han demostrado, tomando los argumentos de la astronomía, que al presente la tierra en su totalidad se halla en estado sólido, á excepcion quizás de unas cuantas partes centrales, que dán lugar á las erupciones volcánicas.

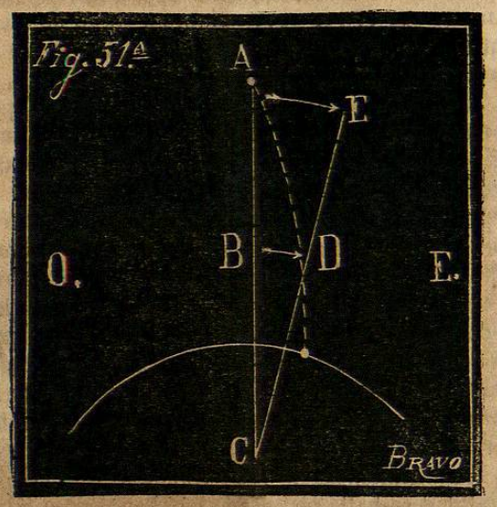
Dejando, pues, á los geólogos esta cuestion, diremos solamente que la forma elipsoidal de la tierra no podia proceder de otra causa, sino de un movimiento de rotacion al rededor de su eje, mientras se hallaba en estado fluido.

79. 2ª *Por la caida de un grave.* Otra prueba directa de la rotacion de la tierra fué propuesta por Guglielmini. Consiste el experimento en dejar caer desde una grande altura un cuerpo muy pesado; este en lugar de describrir la normal al horizonte, en su caida se desviará de la vertical. Se hizo este experimento por Bensberg en las minas de Schlebuscher, dejando caer una enorme masa de una altura de 262 piés, la cual tuvo una desviacion de la vertical de 5,$^{lin.}$09 hácia el Este, resultando el hecho conforme á la teoría. En efecto: en el punto más alto A (fig. 51) la velocidad de rotacion AE es mayor que la velocidad en el punto más bajo BD en proporcion de los radios AC, BC; el cuerpo, pues, habiendo adquirido en A una velocidad mucho mayor que en los demás puntos de su caida, se encontrará adelantado hácia el Este en cada una de las capas inferiores; por lo tanto, será solicitado por una fuerza de proyeccion resultante de los dos movimientos é igual á la diferencia AE—BD; describirá, pues, una parábola con direccion hácia el Este.

80. *Por la oscilacion del péndulo.* El experimento más óbvio pa-

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
"ALFONSO REYES"
Apdo. 1625 MONTERREY, MEXICO

ra demostrar el movimiento de rotacion de la tierra es el siguiente descubierto por Leon Foucault en Paris en 1851. Si una gran masa de plomo se suspende de un alambre que tenga una longitud suficientemente grande, y se hace oscilar en una direccion cualquiera, la mecánica enseña que, por la inercia de la materia, el plano de oscilacion, á no haber otra causa que lo estorbe, debe permanecer siempre invariable en el espacio. Pero la observacion nos manifiesta lo contrario, pues dicho plano cambia de posicion, aunque el péndulo permanezca en el mismo estado, dirigiéndose hácia la derecha ó hácia á la izquierda, segun la posicion del observador en uno ú otro hemisferio, describiendo en un dia un ángulo cuyo valor depende de la latitud del lugar [1]. Siendo esto así, á ménos de destruir las leyes que rigen la materia, debemos deducir que la variacion en el



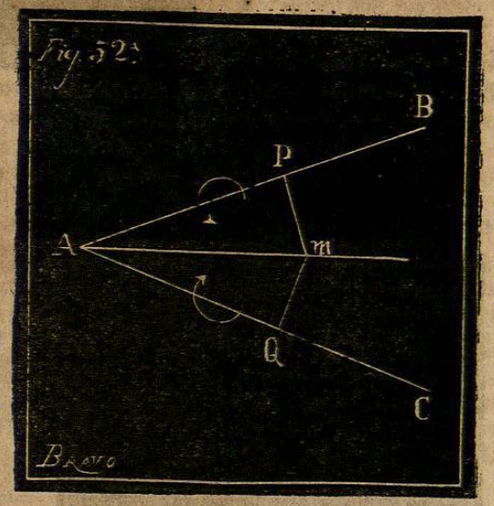
(1) Para explicar este fenómeno, es necesario dar una idea de la teoría de las rotaciones, que se reduce á hallar la regla general del movimiento en las rotaciones de un eje diferente, y es la siguiente: Dadas dos rotaciones que impulsan simultáneamente á un cuerpo, se hallará la rotacion única resultante, tomando sobre los ejes de las respectivas rotaciones longitudes proporcionales á las mismas rotaciones; y construyendo sobre ellas un paralelógramo, su diagonal representará en magnitud la rotacion resultante y en direccion el eje de rotacion de la misma.

Cuando un cuerpo gira al rededor de un eje invariable, todos sus puntos describen círculos paralelos entre sí, cuyos planos son perpendiculares al eje de la misma rotacion. Sea ω un arco descrito con un radio = 1 de cualquiera de estos círculos; el arco descrito por un punto que diste del centro una cantidad r, estará expresado por ωr; la cantidad ω se llama velocidad angular del cuerpo, y es la misma para todos sus puntos; siendo sin embargo invariables la velocidad y el eje de la cantidad ωr, es realmente el espacio lineal descrito por el punto en un tiempo determinado. Si hubiese dos ó mas rotaciones simultáneas ó sucesivas en un cuerpo, es claro que este no podria obedecer á todas ellas simultáneamente, sino que se establecería una rotacion única, cuya magnitud y direccion sería preciso determinar. Podrá

plano de oscilacion es aparente, y el movimiento real pertenece á la tierra. Para entender como este hecho demuestra el movimiento de rotacion de la tierra, supongamos á un observador en el polo que observe la oscilacion de un péndulo el cual se halla sujeto á un punto independiente de la tierra. El plano de oscilacion, á causa de la inercia, se conservará invariable en el espacio, y lo sería aún con relacion á la tierra, si esta estuviera inmóvil; pero si la tierra se mueve al rededor de su eje, cuya extremidad es el polo donde se halla el observador, el plano horizontal girará al rededor del punto en donde él se halla, y por el movimiento relativo le parecerá que el

conocerse la direccion de la rotacion si se conoce la posicion del eje. Ahora bien, el eje es determinado por una série de puntos dispuestos en línea recta, que tienen una velocidad absolutamente nula en el espacio. Para hallar la posicion de este eje, será necesario imaginar descritas al rededor de los dos ejes de las rotaciones componentes, los círculos respectivos, y el eje pasará por aquellos puntos en que las velocidades de los dos sistemas de rotacion sean iguales y contrarias, es decir, que se verifique la ecuacion $\omega r - \omega' r' = 0$.

Sea A B el eje de una rotacion, AC (fig. 52) el de la otra, levántense por los puntos P y Q los radios Pm, Qm perpendicularmente á los ejes y dirigidos al mismo punto m: la velocidad angular al rededor del eje AB sea ω y sea Pm=r: la velocidad del punto m será ωr. Así mismo la velocidad del punto m al rededor del eje AC será $\omega' r'$, y el punto m pertenecerá al eje de rotacion, si estas dos cantidades son iguales y de signo contrario. Mas sabemos por la geometría, que esto se verifica siempre que el punto m esté en la diagonal del paralelógramo construido sobre las rectas AB y AC, pues entonces se tiene Pm × AB = Qm × AC, luego en este caso será $\omega r = \omega' r'$. Por lo tanto el eje de rotacion resultante tendrá la direccion de la diagonal del paralelógramo construido sobre los dos lados que representan las rotaciones componentes tomadas en la direccion de los ejes respectivos.



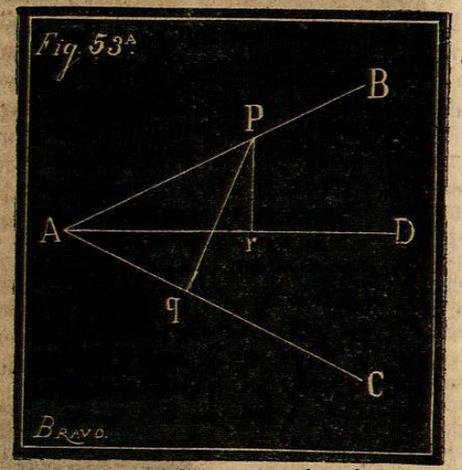
Para probar que la diagonal en su longitud representa la magnitud de la rotacion resultante, ó sea su intensidad, bájense de un punto cualquiera P (fig. 53) de una de las componentes, las perpendiculares Pr, Pq sobre la re-

plano del horizonte del péndulo, vá variando en sentido contrario y en razon de la velocidad que lleva la misma tierra. Ahora bien, este fenómeno se verificará, aun cuando el péndulo estuviera sujeto á un punto que se moviera con la tierra misma, pues bien puede de-

sultante y la otra componente, resultará la siguiente proporcion: AC: AB:: sen. BAD : sen. BAC; mas los triángulos rectángulos PAr, PAq dan, r = Pr = AP sen. BAD, q = Pq = AP sen. BAC dividiendo una ecuacion por otra será $\frac{r}{q} = \frac{\text{sen BAD}}{\text{sen BAC}}$: lo que sustituyendo en la primera ecuacion tendremos:

AC : AB : : r : q.

Haciendo AC = ω' y AD = Ω, resulta $\omega' q = \Omega r$; por lo tanto si ω' representa la rotacion al rededor del eje AC, Ω representará la rotacion al rededor del eje AD, es decir, representará la resultante.



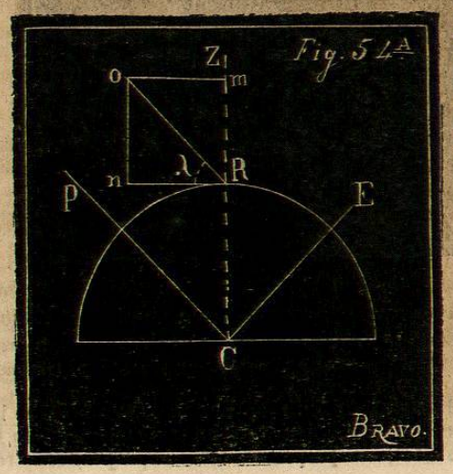
Del mismo modo y con el mismo raciocinio, tendremos para la primera componente $\omega = \Omega r$ de donde resulta finalmente:

$$\omega : \omega' : \Omega : : p : q : r : : \text{AB} : \text{AC} : \text{AD}.$$

Puesto esto, se demuestra en astronomía que la rotacion de la tierra es igual á la velocidad multiplicada por el seno de la latitud; es decir que Vr = v. sen λ. En efecto: la rotacion en un punto cualquiera de la tierra puede descomponerse en dos, una al rededor de la vertical, otra en la horizontal. Si Rm representa la velocidad diurna, la parte Rn (fig 54) representará la rotacion horizontal y tendremos: mR = OR. sen. moR, pero moR = nRo = λ. luego

mR = or. sen. nRo,

ó sea Vr = v. sen. λ. La paralela al horizonte nR no produce efecto alguno, como se experimenta en el ecuador.



mostrarse que el plano de oscilacion permanece invariable; porque si el observador dirige á una estrella una visual paralela al plano de oscilacion, verá que este subsiste invariable en el espacio por dirigirse siempre á la misma estrella; mientras tanto, si dirige dicha visual á un objeto terrestre, observará que este objeto vá variando contínuamente, y por lo tanto, le parecerá que el plano de oscilacion del péndulo se aleja más y más de su posicion primitiva, describiendo los 360° en el espacio de 24 horas siderales.

81. Si el péndulo se traslada al Ecuador, no tendrá lugar la desviacion. En efecto, si se le dejara oscilar paralelamente al plano del meridiano, por su propia inercia quedará el péndulo paralelo á sí mismo como en el primer caso. Si consideramos ahora el movimiento de la tierra, que se verifica de Oeste á Este, dicho movimiento no perturbará en nada el plano de oscilacion, verificándose en el sentido paralelo. La experiencia comprueba la teoría, pues cualquiera que sea la direccion del plano de oscilacion, siempre sigue invariable: de lo que se concluye que en el polo la desviacion del péndulo es igual á velocidad de rotacion de la tierra, es decir, á 15° por hora, pues la posicion del círculo de rotacion, siendo paralelo al horizonte, es perpendicular al plano de oscilacion, mientras que en el Ecuador es nula, verificándose las condiciones contrarias.

82. En las latitudes intermedias en que la posicion del círculo de rotacion es más ó ménos oblícua al horizonte, la desviacion del plano de oscilacion será mayor ó menor segun que la latitud sea más alta ó más baja. En París, segun el cálculo y la experiencia, siendo la latitud = 48°, 50′ el ángulo de desviacion es = 13°, 48′: en Roma, cuya latitud es 41°, 54′, el valor de la rotacion es $\frac{2}{3}$; por lo tanto, el ángulo de desviacion es 10° por hora. En Santiago de Chile cuya latitud es = — 33°, 28′ resulta del cálculo que la desviacion debe ser poco mayor que $\frac{1}{3}$ ó sea = 5°, 25′ por hora.

83. Las oscilaciones del péndulo, cuya variacion en el plano de oscilacion demuestra la rotacion de la tierra, prueban tambien la disminucion de la gravedad de los polos al Ecuador, consecuencia de la forma esferoidal de la tierra. La duracion de una oscilacion está, como enseña la física, en razon directa de la longitud del péndulo, lo que demuestra la fórmula $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$: luego cuanto más largo es un péndulo, mayor será la oscilacion; así mismo se demuestra que el tiempo de una oscilacion para péndulos de igual longitud está en razon inversa de la gravedad; de aquí se concluye que, si el tiempo de una oscilacion es menor en los polos y mayor en el Ecuador, el valor de g será menor en el Ecuador y mayor en los polos. La experiencia ha demostrado la exactitud de la teoría, pues observada la

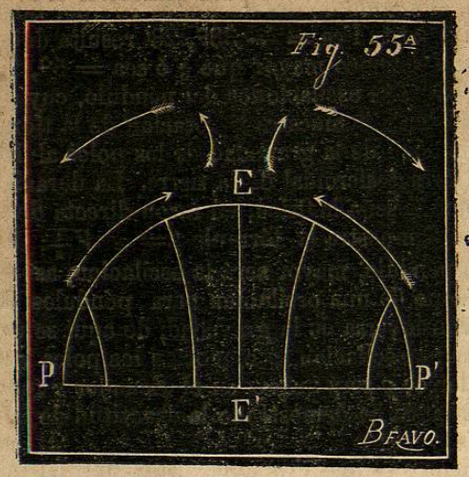
oscilacion de un péndulo de igual longitud en París y en Cayena, se notó que la diferencia de tiempo llegaba á un minuto en 24 horas. Este resultado, á más de probar la diferencia del radio terrestre, demuestra tambien la existencia de la fuerza centrífuga, la cual disminuye la gravedad, al paso que aumenta su intensidad, y más directamente obra contra la direccion de aquella. Admitiendo, pues, una fuerza centrífuga, hay que admitir en la tierra un movimiento de rotacion al rededor de su eje.

§ 2.

Fenómenos que dependen de la rotacion de la tierra.

84. El globo terrestre se halla rodeado de una atmósfera gaseosa, que es el aire que respiramos. Esta atmósfera está sujeta á la fuerza de gravedad, y girando la tierra al rededor de sí misma, participa del mismo movimiento de rotacion, y de consiguiente, de su forma achatada en los polos y elevada en el Ecuador. Este movimiento de rotacion produce el notable fenómeno de los vientos *alisios*, descubiertos por Colon en su célebre viaje al Oeste.

85. Sabido es que el sol se halla siempre en el zenit de uno de los puntos de la zona comprendida entre los trópicos. En todos los puntos de esta zona, el sol llega á colocarse cada dia á la altura máxima sobre el horizonte, y conserva allí una temperatura mucho más elevada que en las regiones polares. El aire calentado de esta zona aumenta considerablemente de volúmen, y disminuyendo su densidad, se eleva á las altas regiones en donde, no siendo equilibrado por suficientes presiones laterales, se dirige por uno y otro lado hácia los polos de la tierra, produciendo dos corrientes en sentido opuesto [fig. 55], segun lo indican las flechas; mientras tanto en la parte inferior se halla reemplazado por el aire más frío y más denso, que ocupaba las regiones situadas entre los círculos polares y los trópicos. Ahora bien, á causa del movimiento de la tierra, la velocidad de rotacion de los varios puntos de la superficie terrestre, aumenta en razon de los radios de los círculos de latitud desde los polos al Ecuador, en donde es máxima. El aire, en el estado de calma, debe participar del movimiento rotatorio del lugar en donde se halla. Pero, cuando se produce la corriente hácia el Ecuador para sustituir al aire calentado por el sol, pasa sucesivamente de una latitud en donde la rotacion es menor, á otra en donde es más rápida; entonces antes que le sea comunicada esta última velocidad, gira con menor velocidad que la superficie sobre la cual se halla, es decir, que se atrasa en su movimiento con relacion al movimiento de rotacion que lleva el círculo á donde se dirige. De este modo las corrientes de aire que se producen en las regiones inferiores, rozando la superficie terrestre, parecerán tomar una direccion en sentido contrario á la del movimiento del globo, es decir de E. á O. Por lo tanto, estas corrientes que, sin el movimiento rotatorio de la tierra, serian perpendiculares al Ecuador, y resultarian simplemente vientos de N. y S., por la rotacion de la tierra siguen una resultante, y son vientos de NE. en el hemisferio boreal, y de SE. en el austral. En cuanto á la direccion de las corrientes superiores, claro está que esta debe ser en sentido contrario á la de los *alisios*. Verificándose la sustitucion del aire frío al aire caliente del Ecuador en los círculos tropicales, no pueden tener lugar los vientos *alisios* fuera de los trópicos.



86. Otros fenómenos en la superficie terrestre, consecuencia del movimiento de rotacion, son la direccion de las corrientes marinas, la de los desbordes de los rios, y de los descarrilamientos de los ferrocarriles, los cuales se verifican siempre hácia el E., por la misma razon que dijimos se desvía una piedra que cae hácia el Oriente, todo lo cual puede servir para demostrar el movimiento de rotacion de la tierra.

87. Otro argumento en favor de la rotacion es el fenómeno de la precesion de los equinoccios, el cual no podria tener lugar si la tierra estuviera firme. Mas de esto hablaremos despues. [Cap. III § 3].

§ 3.

Prueba indirecta.

88. Dijimos al principio, que las estrellas en la esfera celeste giran de Oriente á Poniente, completando el círculo entero en 24 horas. Para explicar este movimiento, observaremos que se produce el mismo fenómeno, sea que, hallándose la tierra en estado de reposo, se muevan las estrellas, sea que, estando las estrellas en quietud, se mueva la tierra en sentido contrario. Veamos cual de los dos movimientos es más probable. Si la tierra gira en 24 horas al rededor de

su eje, siendo su radio ecuatorial = 1435 leguas, y su circunferencia = 9.011, un punto cualquiera del ecuador debe recorrer seis leguas y media por minuto, ó sea un poco más de 0,1 de legua por segundo, lo que dá por término medio 463 metros por segundo. Esta velocidad que pareció en otro tiempo demasiado grande, fué siempre una objecion al movimiento de rotacion de la tierra. Veamos ahora qué velocidad en sentido contrario al movimiento de la tierra, deberian tener los astros. El sol, cuya distancia á la tierra, es aproximadamente 24,000 veces el radio terrestre, describiria una circunferencia 24,000 veces más grande, es decir, que deberia tener una velocidad de 2,400 leguas por segundo. Júpiter alejado de la tierra cinco veces más, describiria 12,000 leguas, y Neptuno treinta veces más lejos, deberia recorrer 72,000 leguas por segundo. La estrella más cercana á nuestra Tierra que es α del Centauro, y cuya distancia es 226,400 veces la distancia del Sol á la tierra, deberia recorrer 63.936,000 leguas por segundo. ¿Qué será de las estrellas más lejanas? Claro se vé, pues, que la objecion contraria al movimiento de un punto ecuatorial de la Tierra de 0,1 de legua por segundo es absolutamente nada en comparacion de los millones y millares de leguas, que deberian recorrer las estrellas, si á estas perteneciera el movimiento *diurno* y nó á la tierra. Con lo cual queda probado que este movimiento de la esfera celeste en 24 horas es solo aparente, perteneciendo á la Tierra el movimiento real de Oeste á Este.

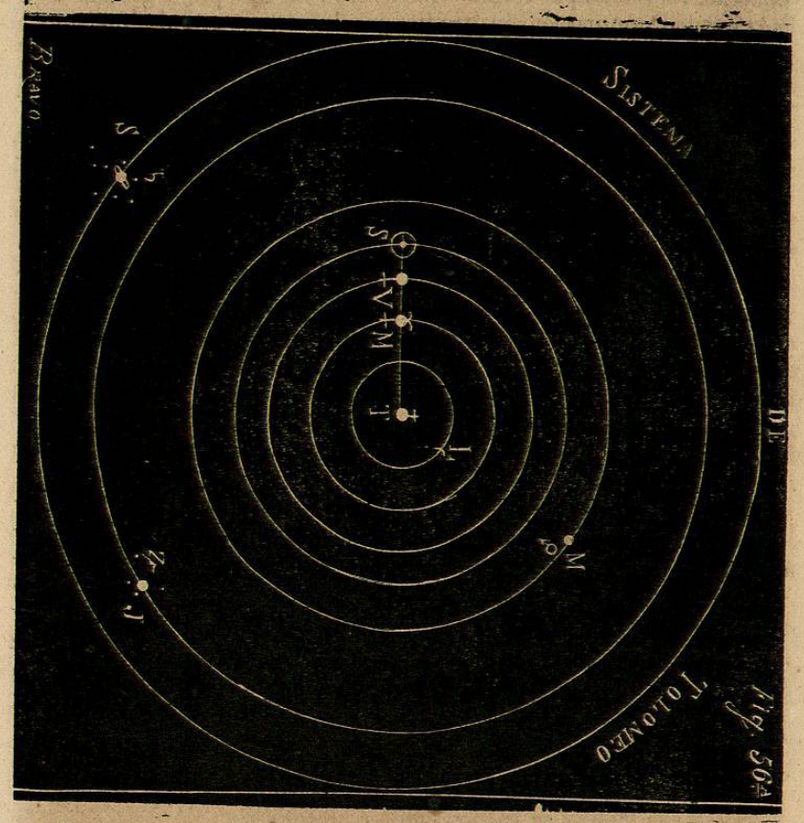
CAPITULO III.

Movimiento de traslacion.

§ 1.

89. Desde la antigüedad se ha tenido la opinion de que la tierra está inmóvil en el centro del universo. Sin embargo, entre la generalidad no faltaron filósofos que sospecharon y sostuvieron el movimiento de la tierra en el espacio. Tales fueron, entre otros, Filolao, Aristarco Samosateno y Cleanto de Assos, el cual, segun refiere Plutarco, se esforzó por explicar de algun modo los movimientos de los cuerpos celestes por el movimiento de la tierra al rededor del sol, combinado con el de rotacion al rededor de su eje. Es inútil decir que dicha opinion no encontraba adhesion alguna de parte de los

pueblos, antes bien, como á la opinion general iba unida cierta idea religiosa, no faltaron aún filósofos de la opinion comun que entablaran acusaciones de irreligiosidad é impiedad contra los defensores



del movimiento de la tierra. Así fué que, por una larga série de siglos, se conservó la idea de la quietud de la tierra en el centro del universo. Este sistema de los antiguos, segun nos lo ha trasmitido Tolomeo [y por esto lleva su nombre], presenta á la tierra como el centro de los movimientos de los planetas, reconociendo, sin embargo, alguna relacion de dependencia entre los movimientos de estos y el sol, aunque no les habia sido todavía posible llegar á comprender las difíciles complicaciones del verdadero sistema del mundo. La fig. 56 representa el sistema segun la hipótesis adoptado por los antiguos. La tierra se halla en el centro T, á cuyo derredor gira más