CAPITULO V.

GRAVEDAD.

36. Dáse este nombre, á la fuerza que hace que los cuerpos abandonados á sí mismos á cualquiera altura de la superficie terrestre, caigan hácia ella.

Nada se sabe de la íntima naturaleza de este agente y solo se conoce por sus efectos sobre la materia. Newton, ese génio sublime que tanto hizo adelantar las ciencias fisico-matemáticas, fué quien descubrió esta fuerza por la simple caida de una manzana estando en un jardin; él fué también el que fijó sus leyes diciendo: que los cuerpos en virtud de esta fuerza, son atraidos en razón inversa del cuadrado de sus distancias y en razón directa de sus masas. ¡Leyes grandiosas que se aplican no solo á la atracción terrestre, sino también á la celeste que se llama gravitación y á los otros agentes: Calor, Luz, Electricidad y Magnetismo!

Si llamamos G y G' las intensidades de esta fuerza á las distancias D y D,' la ley de Newton se expresa por la relación: $\frac{G}{G'}=\frac{D'^2}{D^2}$; para que en ella esté comprendida la de las masas, es necesario multiplicar el segundo miembro por la relación entre éstas: así, si M y M', son las masas, su relación es: $\frac{M}{M'}$; y la expresión general es: $\frac{G}{G'}=\frac{D'^2\ M}{D^2\ M'}$.

La expresión simple $\frac{G}{G'}=\frac{D^2}{D'^2}$, puede servir para calcular el valor de la gravedad en un lugar, cuando se conoce su valor en otro y las distancias respectivas á un punto tomado como término de comparación.

Hay ciertos elementos que para ser comparados entre

sí, es necesario que todos los experimentadores tomen el mismo punto de partida; así en este caso, es el centro de la tierra el punto elegido. Sea G el valor de la gravedad á la distancia del radio ecuatorial terrestre, que según el astrónomo Bessel es: D = 6377397 metros; es claro, que para otro lugar más distante del centro, se tiene: $\frac{G}{G'}=\frac{(D+h)^2}{D^2}$ en donde h, es la diferencia de distancias al centro ó sea la altura del lugar con relación á la superficie de la esfera cuyo radio es el ecuatorial. Esta fórmula puede trasformarse en otra más sencilla, elevando al cuadrado el numerador, se tiene: $\frac{G}{G'}=\frac{D^2+2Dh+h^2}{D^2}$, despejando á G', $G'=\frac{D^2\,G}{D^2+2Dh+h^2}$ haciendo la división de D^2 por el denominador, resulta una serie por cociente que es: $1-\frac{2h}{D}-\frac{h^2}{D^2}$ ...... pero como D, es muy grande con relación á h en todos los casos, el último término puede despreciarse por ser muy pequeño y sustituyendo en el valor de G', $G'=G(1-\frac{2h}{D})$, dividiendo 2 por 6377397 valor de D se tiene: $0.^{ms}0000003136$ y la fórmula es por úlrimo $G'=G(1-0.^{m}000000314\,h)$.

Supongamos que se trata de determinar el valor de G' para Puebla conociendo la de México $G=9.^{m}7816$. (1.) La altura de México sobre el nivel del mar en el ángulo N W del Palacio Nacional es $h'=2248.^{m}76$, la de Puebla, sobre la banqueta del Callejón de Alatriste $h''=2154.^{ms}63$: en este caso $g=-94^{ms}13$ y $G'=9.7816(1+0.000000314\times 94^{m}13)=9.^{m}78189$ valor de la gravedad en Puebla.

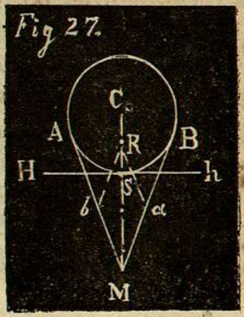
---

[1] Determinada directamente por el astrónomo mexicano D. Francisco Jimenez en 1878 y 1879.

El valor de G' quiere decir: 1.° que obrando esta fuerza sobre un cuerpo de cualquiera sustancia para hacerle caer, le haría recorrer en Puebla $9.^{m}781889$ en un segundo si nó existiese el aire; 2.° que en cada segundo de tiempo le imprime al cuerpo la misma acción. En efecto, Galileo fué quien en el siglo XVI expresó y comprobó estas leyes: En el vacío, todos los cuerpos caen con igual velocidad. Ley que se comprueba haciendo el vacío en un tubo de metro y medio de largo, habiendo de antemano puesto dentro de él cuerpos de distinta sustancia; invirtiéndolo despues se vé que todos caen juntos, esto es, con la misma velocidad. Puede hacerse una sencilla experiencia que sustituye á la anterior. Se toma una moneda, por ejemplo, un centavo, se recorta un círculo de papel una friolera mas pequeño que el centavo, se pone el papel encima de la moneda y se dejan caer, se verá que caen juntos, lo que no sucede si tomando uno en cada mano se sueltan de la misma altura, pues entonces cae primero el centavo y despues el papel alejándose del punto en que se dejaron caer; la resistencia del aire es la causa de esta desigualdad.

La segunda se comprueba observando que los cuerpos que caen, lo hacen con movimiento uniformemente acelerado y por consiguiente las fórmulas que le convienen son las que se dieron para este movimimiento que en este caso son: $V=gt$ y $e=\frac{gt^2}{2}$, siendo g la aceleración.

Las leyes que allí se dedujeron convienen también aquí y se demuestran con la máquina de Atwood, el Cilindro giratorio de M. Morin y el Plano inclinado.



37. Se dice que un cuerpo al caer sigue una trayectoria que prolongada vá á pasar por el centro de la tierra, es muy fácil darse cuenta de esto. Supuesta esférica la tierra sea AB (fig. 27) y C su centro; sea M el cuerpo que cae y supongo reducido á un punto material, es claro que la fuerza que obra entre ambos para acercarlos, ejerce su acción sobre todas las moléculas de uno y de otro y todas estas acciones están comprendidas en un cono cuyas generatrices son las tangentes MA y MB á la tierra. Estas dos tangentes representan las acciones de los puntos A y B sobre M, y siendo iguales, tomémos Ma y Mb iguales á su intensidad y componiéndolas por la regla del paralelógramo se tiene la resultante MR, que prolongada pasa por el centro C de la tierra. Lo que se dice de dos fuerzas puede decirse del conjunto comprendido en el cono, y todas tendrian por resultante una línea que coincidiría con MR.

Para determinar la dirección de la gravedad basta atar al extremo de un hilo un cuerpo pesado y fijar el otro extremo de manera que quede libre el sistema; la dirección que toma el hilo es la trayectoria que el cuerpo suspendido seguiría al caer; el conjunto del hilo y cuerpo constituyen el aparato que se llama plomada, y como esta dirección es según ya se dijo, la línea MR y ésta es perpendicular en el punto S al plano tangente Hh á la superficie de la tierra ó sea al horizonte del lugar S, resulta que la trayectoria es en este caso lo que se llama vertical.

Todas las verticales de los distintos puntos de la superficie de la tierra, pasan por su centro, y prolongadas sobre ella, determinan en el cielo lo que se llama zenit de un lugar.

38. Volvamos á la gravedad; según la ley de Newton, ésta es constante para cada lugar de la tierra, pero variable con los lugares y es claro que siendo el radio ecuatorial de 6377397 metros y el polar de 6356079, esto es, 21218 metros menor que el ecuatorial, el valor de la gravedad debe ser mayor en los Polos que en el Ecuador. En efecto, las observaciones han dado en el ecuador á 0° de latitud: $g=9.^{m}78103$; (1) á 45° de latitud, $g=9.^{m}80606$

[1] La de México que he puesto antes es mayor que ésta, lo que debe ser, puesto que México dista del ecuador 19° 26'.

y á 90º ó sea en el polo $g=9.^{m}83109$. Estos datos demuestran la ley de Newton.

Dáse el nombre de aplanamiento ó compresión polar, á la relación que existe entre la diferencia de los radios ecuatorial y polar y el radio ecuatorial, esto es, si a es el aplanamiento se tiene: $a=\frac{6377397-6356079}{6377397}=\frac{21218}{6377397}=\frac{1}{300,5}$, ó bien, $a=0.^{m}003328$; pero si se toma por unidad el radio ecuatorial, el aplanamiento se reduce á la diferencia entre los dos rádios, esto es, á 21218 metros; la legua Mexicana teniendo 5000 varas ó 4190 metros, el aplanamiento polar 21218 equivale á 5 leguas 6 centécimos de legua ó $5.^{l}251.^{m}4$. De esto resulta que siendo tan pequeño el aplanamiento con relación al volúmen de la tierra, no se comete gran error al suponerla esférica, como se hace en la mayoria de casos; pues el aplanamiento total es de $10.^{l}502.^{m}8$; que no es gran cosa comparado con su volúmen, que es de 1083 millones de miriámetros cúbicos.

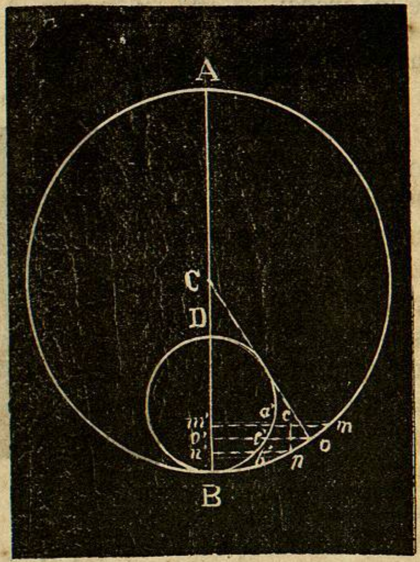
39. Péndulo. Dáse este nombre á un aparato formado de un cordón ó una barra, una de cuyas extremidades se fija á un punto ó eje de modo que pueda oscilar libremente, en la otra se le pone un cuerpo pesado. El péndulo constituido de este modo se llama péndulo compuesto, para distinguirlo del simple ó ideal que estaria formado de una línea geométrica y un punto también geométrico.

Dáse el nombre de movimiento pendular al de vaivén que ejecuta un péndulo compuesto y está sugeto á la fórmula siguiente: (1.)

Sea m n (fig. 28) un arco muy pequeño tal que se pueda considerar como una línea recta; si se proyecta sobre el diámetro AB en m' n' lo mismo que su medio o y se traza el radio Co y la línea nc paralela á AB, los triángulos

(1) Véase Jariez, Mecánica industrial tomo 1º página 64.

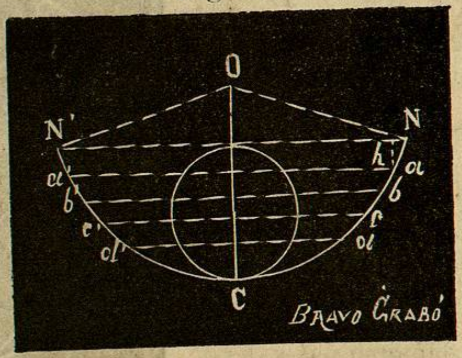
fig. 28.



Coo' y mnc dán: $\frac{mn}{nc}=\frac{Co}{oo'}$; si para simplificar hacemos $mn=a$, $Co=r$, $nc=m'n'=p$ y $oo'=y$, se tiene: $\frac{a}{p}=\frac{r}{y}$ y $a=\frac{pr}{y}$.

Supongamos $DB=f$ una flecha muy pequeña con relación al diámetro AB y describamos sobre ella como diámetro una circunferencia, es claro que al arco mn corresponde en la pequeña circunferencia un arco $a'b'=a'$, si llamamos r' su radio y $c'o'=y'$, tendremos para este arco una relación semejante á la anterior, $a'=\frac{pr'}{y'}$; pero como $r'=\frac{f}{2}$, $a'=\frac{pf}{2y'}$ dividiendo los valores de a y a' tenemos: $\frac{a}{a'}=\frac{2r}{f}\times\frac{y'}{y}$ elevando al cuadrado $\frac{a^2}{a'^2}=\frac{4r^2}{f^2}\times\frac{y'^2}{y^2}$. Las lineas y é y' son ordenadas al diámetro y se tiene: $\frac{Ao'}{y}=\frac{y}{o'B}$ é $y^2=Ao'\times o'B$; pero o'B es muy pequeña con relación á Ao' y puede tomarse en lugar de Ao' á AB ó 2r, lo que dá: $y^2=2r\times o'B$; para la otra ordenada se tiene: $\frac{Do'}{y'}=\frac{y'}{o'B}$ ó $y'^2=Do'\times o'B$. Dividiendo la segunda por la primera se tiene: $\frac{y'^2}{y^2}=\frac{DO'}{2r}$; haciendo $Do'=h$ y sustituyendo en la relación de los arcos: $\frac{a^2}{a'^2}=\frac{4r^2}{f^2}\times\frac{h}{2r}=\frac{2rh}{f^2}$, despejando á a^2, $a^2=\frac{2a'^2rh}{f^2}$.

Fig. 29.



Supongamos ahora un péndulo OC[fig. 29] y busquemos el tiempo que emplea en hacer una oscilación esto es, el tiempo que emplea en ir de N á N' en el supuesto de ser muy pequeña. Es claro que si se eleva la molécula C á N y se abandona á la acción de la gravedad, al cabo de cierto tiempo llegará á a adquiriendo una velocidad debida á la altura h y dada por la fórmula $v^2=2gh$. Sea $Na=a$ un arco muy pequeño; se puede considerar el movimiento como uniforme y el espacio será dado por la fórmula $a=vt$, $t=\frac{a}{v}$, elevando al cuadrado: $t^2=\frac{a^2}{v^2}$, sustituyendo por v^2 su valor: $t^2=\frac{a^2}{2gh}$ y poniendo en lugar de a^2 su valor encontrado antes: $t^2=\frac{2a'^2rh}{2ghf^2}=\frac{ra'^2}{gf^2}$; $t=\frac{a'}{f}\sqrt{\frac{r}{g}}$; este es el tiempo empleado en recorrer el arco Na; para otro arco $ab=b'$ será: $t'=\frac{b'}{f}\sqrt{\frac{r}{g}}$; y así sucesivamente hasta llegar á N'; sumando todos los valores de t, t', t''....& y llamando T esta suma: $T=\sqrt{\frac{r}{g}}\left[\frac{a'}{f}+\frac{b'}{f}+\frac{c'}{f}+\ldots\right]=\sqrt{\frac{r}{g}}\left[\frac{a'+b'+c'+\ldots}{f}\right]$; pero $a'+b'+c'+\ldots$ es la longitud de la pequeña circunferencia cuyo diámetro es f, luego:

$a'+b'+c'+\ldots=\pi f$ y $T=\sqrt{\frac{r}{g}}\times\frac{\pi f}{f}=\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$; y como r es la longitud del péndulo que se representa por l, $T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, tiempo de una oscilación.

CAPITULO VI.

MAQUINAS.

40. Dáse el nombre de máquinas á los aparatos que sirven para utilizar la mayor cantidad de una fuerza ó bien para cambiar su dirección trasmitiéndola á distancia.

Las máquinas se dividen en simples y compuestas, las simples están formadas de una sola pieza sólida, compuestas las que están formadas de dos á mas simples.

Las máquinas simples son tres: Cuerdas, Palanca y Plano inclinado; sin embargo algunos autores consideran siete, agregando á las anteriores la Polea, Cuña, Torno y Tornillo; pero en realidad las cuatro últimas son derivadas de las primeras.

41. Cuerdas. Estas como se sabe, están formadas de un conjunto de fibras vegetales ó animales torcidas entre sí en hacesillos; y un conjunto de estos forman la cuerda mas ó menos gruesa según los usos á que se la destina.

Si una cuerda está atada en una de sus extremidades á un cuerpo resistente y en la otra extremidad se aplica una fuerza siguiendo su dirección, la cuerda se tiende y su tensión se mide por la misma fuerza que la tiende.

Si á las extremidades de una cuerda se aplican dos fuer-