*Unidades derivadas.* — 1.º *Superficie.* La unidad es el *centímetro cuadrado.*

2.º *Volumen.* — La unidad es el *centímetro cúbico.*

3.º *Velocidad.* — La unidad es la velocidad de un móvil animado de un movimiento uniforme, y que recorra un centímetro en un segundo.

4.º *Aceleración.* — La unidad de aceleración es el aumento de velocidad de un centímetro por segundo.

5.º *Fuerza.* — La unidad de fuerza es la fuerza que, obrando sobre la unidad de masa, le imprime un movimiento uniformemente acelerado, cuya aceleración es de un centímetro por segundo; ha recibido el nombre de *dino* (del griego *dinamos*, fuerza).

6.º *Trabajo.* — La unidad de trabajo es el trabajo correspondiente al trabajo de un dino que desaloja su punto de aplicación un centímetro en la misma dirección; se le ha dado el nombre de *erg* (del griego, *ergon*, trabajo).

En el sistema C. G. S. la aceleración de la pesantez, en México, es de 978°16.

En el sistema C. G. S. la masa de un cuerpo es igual al número que representa la relación de su peso al del gramo; así es que un cuerpo que pesa 300 gramos, tiene una masa igual á 300 gramos-masa.

El dino vale en México $\frac{1}{978000}$ de kilogramo, y el erg, $\frac{1}{978000000}$ de kilográmetro.

Estas unidades de fuerza y de trabajo son muy pequeñas; se remedia este inconveniente por medio de las unidades secundarias, tales como el *megadino*, que vale un millón de dinos. Para la medida de fuerzas muy pequeñas se emplea el *microdino*, que vale una millonésima de dino. Se emplea también el *megerg*, que vale un millón de ergs.

## CAPITULO II

### GRAVEDAD

SUMARIO. — Leyes del equilibrio. — Leyes de la caída de los cuerpos. — Leyes del péndulo. — Palancas. — Balanzas.

7.º La *gravedad* ó *pesantez* es la causa que obliga á los cuerpos á caer hacia la tierra. *Los cuerpos se atraen en razón directa de sus masas é inversa del cuadrado de las distancias;* es una ley formulada por Newton y que explica por qué los cuerpos tienden siempre á caer hacia el centro de la tierra. La dirección que siguen los cuerpos al caer es la de una línea vertical ó del hilo á plomo, que es perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas.

Cuentan los biógrafos de aquel distinguido matemático, que cierto día del año 1686, hallándose sentado á la sombra de un árbol, en su jardín de Woolstrop, vió caer una manzana que fué á dar á sus pies, y circunstancia tan vulgar sugirió á Newton sus profundas investigaciones sobre la naturaleza de la fuerza que había obligado á la manzana á caer.

Se llama peso de un cuerpo á la resultante de las acciones que la gravedad ejerce sobre todas sus moléculas. Puede decirse, igualmente, que el peso de un cuerpo es la presión que este cuerpo ejercería, en el vacío, sobre un plano horizontal que impidiera su caída. Se distinguen tres clases de pesos: el peso absoluto, el peso relativo y el peso específico.

El *peso absoluto* de un cuerpo está representado por el esfuerzo que es preciso oponerle en el vacío para impedir que caiga.

El *peso relativo* de un cuerpo es la relación de su peso absoluto á otro peso determinado que se escoge como unidad. En nuestro sistema métrico se toma como unidad el *gramo*, que es el peso de un centímetro cúbico de agua destilada á 4º de temperatura arriba de cero. Cuando decimos que un cuerpo pesa 50 gramos, no hacemos más que indicar su peso relativo.

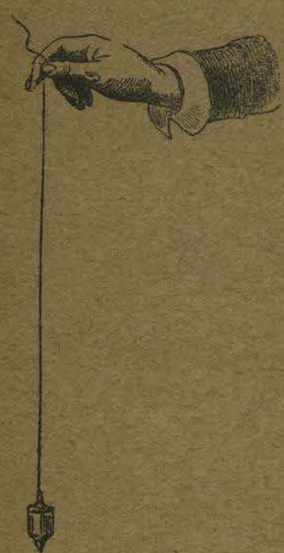

Fig. 24. El hilo á plomo.

El *peso específico* de un cuerpo es la relación entre su peso, en cierto volumen y á la temperatura de 0º y el peso de un mismo volumen de agua destilada á su máximo de densidad.

Cuando decimos que el peso específico del oro es de 19, queremos expresar que á 0º un centímetro cúbico de oro pesa 19 veces más que un centímetro cúbico de agua destilada á 4º.

Se da el nombre de *centro de gravedad* de un cuerpo al lugar por donde pasa la resultante de todas las atracciones que la gravedad ejerce sobre todos los puntos de ese cuerpo.

Esta resultante es igual al peso del cuerpo y para



ponerlo en equilibrio se puede emplear cualquiera de estos métodos: suspendiéndolo de un hilo, apoyándolo en un plano ó atravesándolo por un eje horizontal.

Si el cuerpo se encuentra suspendido de un hilo, éste tomará la dirección del hilo á plomo.

Si por un plano ó por un eje horizontal, el equilibrio puede ser estable, inestable é indiferente.

En un plano será estable cuando el centro de gravedad del cuerpo esté más bajo que en cualquiera

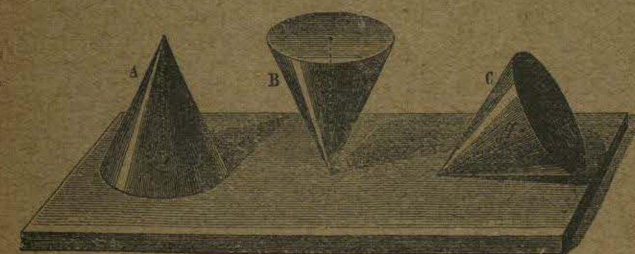


Fig. 25. Los tres casos de equilibrio.

otra posición, por ejemplo, un cono descansando por su base; *inestable* en el caso contrario, como por ejemplo, el mismo cono descansando sobre su vértice; por último, será indiferente cuando cualquiera que sea la posición que se le dé al cuerpo, éste permanece en ella, por ejemplo, una canica, una pelota ó una naranja apoyada sobre una mesa.

Si el cuerpo está sostenido por un eje horizontal, el equilibrio será estable cuando el centro de gravedad se encuentra más abajo que el eje de suspensión, como si colocamos una bola de madera en una varilla que la ha atravesado sin pasar por el centro; el equilibrio será indiferente si el eje pasa por el centro de gravedad, por ejemplo, si por el centro de la bola de madera hacemos que pase el eje; por último, será inestable, cuando el centro de gravedad esté lo más alto posible; entonces tiende continuamente á volver á su posición de equilibrio estable, es decir, que la gravedad siempre obra sobre los cuerpos á fin de acercarlos á su centro de atracción.

Fig. 26. La vertical es la perpendicular á la superficie del agua.

La dirección de la pesantez en un lugar cualquiera se llama la *vertical* de un lugar, y es perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas, como se puede demostrar por medio de una escuadra y un hilo á plomo.

Para que un cuerpo que reposa por varios puntos sobre un plano horizontal esté en equilibrio, se necesita que la vertical bajada del centro de gravedad caiga dentro de la base de sustentación. Las mesas, las sillas y en general los muebles, deben su equilibrio estable á la extensión de su base de sustentación. Existe en la ciudad de Pisa una torre inclinada que parece que va á caer, pero se mantiene en equilibrio estable por llenar la condición antedicha.

Fig. 27. La mesa está en equilibrio estable.

Un hombre de pie se encontrará tanto más sólido mientras sus pies se hallen más separados. S



un hombre lleva un fardo, tendrá que inclinarse del lado opuesto al fardo, á fin de que la vertical G V que pasa por el centro de gravedad del sistema formado por el hombre y su fardo caiga dentro de la base de sustentación.

Fig. 28. El hombre se inclina del lado opuesto al cubo.

Un carro será tanto menos estable mientras más alto se encuentre colocado su centro de gravedad.

El instrumento llamado equilibrista es un ejemplo de equilibrio estable, porque el centro de gravedad viene á quedar mucho más bajo que el punto de apoyo.

Fig. 29. El hombre se inclina del lado opuesto al fardo.

Fig. 30. El carro está á punto de volcarse porque su centro de gravedad queda muy alto.

*Experimento número* 19. —Sobre el tapón de una garrafa de cristal se apoya la punta de un fistol que atraviesa un tapón de corcho y en éste se hallan clavados dos tenedores que tienen la misma inclina-ción. Vemos que el equilibrio subsiste, y para que así sea, la vertical llevada del centro de gravedad tiene que pasar por el punto de apoyo.

Fig. 31. Ejemplo de equilibrio estable.

Nadie ignora el experimento que consiste en equilibrar un bastón en la punta de un dedo: el bastón tiene que estar bien vertical para que la vertical bajada del centro de gravedad pase por el dedo. El equilibrio es inestable, y para conservarlo por algún tiempo se necesita seguir con la mano todos los movimientos del bastón.

Fig. 32. Ejemplo de equilibrio inestable.

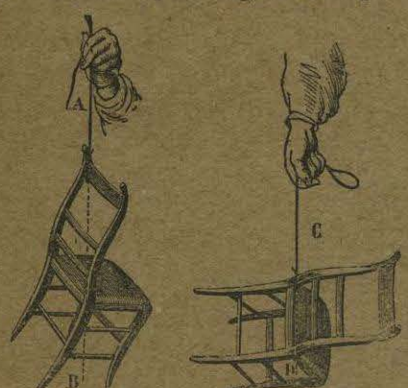


Fig. 33. Determinación del centro de gravedad.

En algunos casos es fácil determinar inmediatamente el centro de gravedad de un cuerpo, sobre todo cuando se trata de cuerpos homogéneos y de formas geométricas regulares; así, por ejemplo, el centro de gravedad de un paralelipí-



pedo se halla en el punto de intersección de las dos diagonales; el centro de gravedad de un cilindro recto está en la mitad del eje, y el de una esfera en el centro mismo de la esfera. Puede determinarse experimentalmente el centro de gravedad de un cuerpo, suspendiéndolo de un hilo en dos posiciones sucesivas, y el punto donde se encuentren las prolongaciones del hilo será el centro de gravedad.

## LEYES DE LA CAÍDA DE LOS CUERPOS

1.ª *Todos los cuerpos caen en el vacío con igual velocidad.*

2.ª *Los espacios recorridos por un cuerpo que cae libremente en el vacío, son proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos, á partir del origen del movimiento.*

3.ª *Las velocidades adquiridas por un cuerpo que cae libremente en el vacío, crecen proporcionalmente á los tiempos transcurridos desde el principio de la caída.*

Para demostrar la primera ley se hace uso de un aparato llamado *tubo de Newton.*

Consiste en un tubo de cristal de dos metros de largo, próximamente; en sus extremidades lleva dos monturas de metal, una que cierra herméticamente el tubo y la otra que está provista de una llave, la que se puede atornillar fácilmente en el platillo de

Fig. 34. Tubo de Newton.

la *máquina neumática*. En el interior de este tubo se colocan cuerpos de distintas densidades, como pedacitos de plomo, corcho, papel, plumitas de pájaro, etc.

Antes de atornillarlo al platillo de la máquina neumática y cuando todavía contiene aire, se invierte el tubo rápidamente y entonces se observa que cae primero el plomo, luego el corcho, después el pedacito de papel y al último las plumitas, es decir, que caen por orden de densidades, primero los más densos y después los menos densos. Terminado esto se atornilla en el platillo de la máquina neumática, se extrae el aire, se cierra la llave del tubo y se repite la inversión del mismo, notándose en esta ocasión que todos los cuerpos caen á un mismo tiempo, es decir, que aunque distintas sus densidades, lo que hacía que unos cayeran primero y otros después, era la resistencia que les oponía el aire.

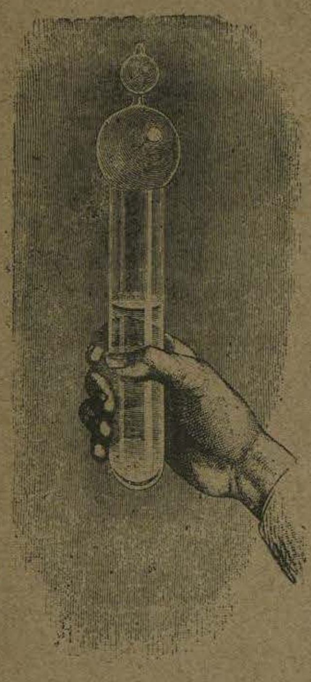
Fig. 35. Martillo de agua.

Para demostrar la resistencia del aire se emplea también un aparatito llamado *martillo de agua*, que consiste en un tubo de cristal terminado por una esfera de la misma substancia. Se coloca agua hasta la mitad del tubo, y si se invierte se ve que cae el agua dividiéndose en multitud de gotitas. Se hace hervir el agua en el tubo y cuando la ebullición es



completa se cierra el tubo en su parte superior valiéndose de una *eolípila*. Al enfriarse, se condensa el vapor de agua y el vacío queda hecho. Si después invertimos el tubo, veremos que el agua cae en masa sin dividirse y produce un golpe seco, debido á que ya no hay aire que le oponga resistencia.

Para demostrar la 2.ª y 3.ª ley se hace uso de la máquina de Atwood ó del aparato del general Morin.

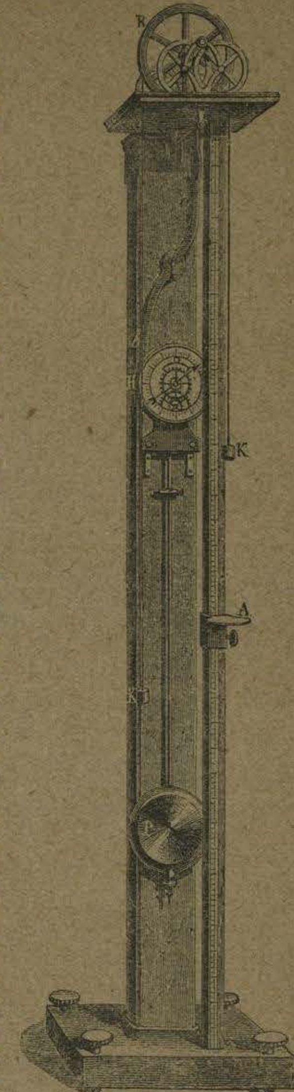

Fig. 36. Máquina de Atwood.

8. La máquina del Profesor Atwood consta de una plancha de forma cuadrangular que tiene en sus ángulos cuatro tornillos de nivelar. En el centro de esta plancha descansa un cilindro de madera, próximamente de dos metros de altura y que tiene en su parte superior un sistema de ruedas que soportan el eje de una polea, y todo está resguardado por un capelo. Por la garganta de la polea pasa un hilo de seda sumamente fino que sostiene en sus extremidades pesos exactamente iguales. Para disminuir hasta donde sea posible el rozamiento, el eje de la polea descansa en la

intersección de las cuatro ruedas, dos colocadas e
la parte anterior y dos en la posterior.

A lo largo de la columna hay una regla graduad
en centímetros y sobre la que pueden resbalar do
correderas: una maciza y la otra anular. Lleva e

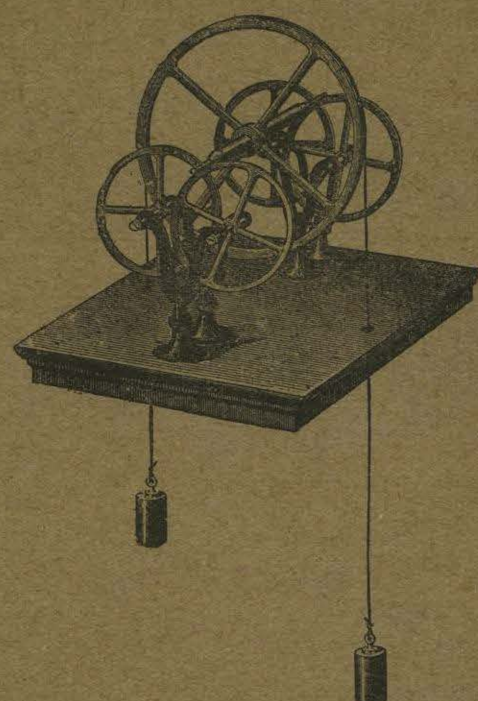

Fig. 37. Pormenores del sistema de ruedas.

aparato un péndulo de segundos, y el mecanism
está arreglado de tal manera que cuando la aguj
del cuadrante marca 60, se desprende un platill
que sostiene un peso, al que ha sido preciso aña
dirle una pesita adicional, pues de otro modo, puest
que los dos pesos son iguales, el movimiento no s
efectuaría.



Para saber dónde habría que colocar la corredera maciza (que es la única que vamos á necesitar en este experimento) de modo que el peso la alcanzara al cabo de un segundo, podría hacerse uso de la siguiente fórmula:

$$x = \frac{m\,g}{2\,M + m}$$

en la que $m$ representa la masa adicional, $g$ la intensidad de la gravedad y M el peso de cualquiera de las masas que cuelgan del hilo; pero es preferible determinar este primer espacio por medio de tanteos hasta conseguir que el primer golpe del péndulo sea simultáneo con la caída del peso sobre la corredera.

Supongamos que el espacio fuera de cinco centímetros. Para saber dónde habría que colocar la corredera para el segundo experimento, hagamos uso de la siguiente fórmula, representativa de la ley:

$$\frac{e}{e'} = \frac{t^2}{t^2}.$$

Substituyendo:

$$\frac{5}{e'} = \frac{1}{4},$$

de donde:

$$e' = 20\,.$$

Es decir, que para dos segundos habrá que colocar la corredera maciza á los 20 centímetros. Vuelto á colocar el peso con su peso adicional sobre el platillo que está á la altura del cero, ponemos el péndulo en movimiento, y ya que la aguja va á llegar al 60, fijamos toda nuestra atención. En el momento preciso en que la aguja llega al 60, el platillo gira, contamos dos golpes del péndulo, y en el momento de decir *dos* ha de tocar el peso con la corredera, y ésta habría sido una primera confirmación de la ley.

Demostraremos ahora la ley para tres segundos. Substituyendo en la forma anterior tendremos:

$$\frac{5}{e'} = \frac{1}{9},$$

de donde:

$$e' = 45.$$

Así es que tendríamos que colocar la corredera á los 45 centímetros y el móvil tardaría exactamente tres segundos en recorrer dicho espacio. Al cabo de cuatro, cinco, seis segundos, etc., los espacios estarían representados por los números siguientes:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Al cabo de | 1 | segundo recorrió | 5 | centímetros. |
| » | 2 | » | 20 | » |
| » | 3 | » | 45 | » |
| » | 4 | » | 80 | » |
| » | 5 | » | 125 | » |
| » | 6 | » | 180 | » |

lo que comprueba la ley.

Para demostrar la tercera ley llamada de las velocidades, necesitamos además de la corredera ma-



ciza la corredera anular. Dejando invariable el peso adicional, habrá que ir colocando la corredera anular respectivamente en los números 5, 20, 45, etc., que es donde se colocó la corredera maciza para la segunda ley. Para saber cuántos centímetros más abajo de la anular hay que colocar la maciza hacemos uso de la fórmula:

$$e = \gamma \frac{t^2}{2}.$$

Despejando á $\gamma$, que es la incógnita, tendremos:

$$\gamma = \frac{2e}{t^2}.$$

Substituyendo, resulta:

$$\gamma = \frac{2 \times 5}{1} = 10.$$

Conociendo ya el valor de la aceleración los substituimos en la fórmula:

$$v = \gamma t$$

y queda:

$$v = 10 \times 1 = 10.$$

Es decir, que habría que colocar la corredera maciza 10 centímetros más abajo de la anular.

O, lo que es lo mismo, á los 15 centímetros.

Dispuesto así el experimento, echamos á andar el péndulo; al llegar la aguja al 60 se desprende el peso, tarda un segundo en caminar del 0 al 5 y camina con movimiento acelerado; al pasar por la corredera anular deja el peso adicional (que en este caso lleva unos bracitos para ser detenido por el anillo), y entonces el peso sigue caminando en virtud de la velocidad adquirida, y tarda un segundo en llegar de la corredera anular á la maciza, animado de movimiento uniforme.

Para un segundo experimento colocaríamos la corredera anular en el 20 y la maciza en el 40; el móvil tardaría 2 segundos del 0 al 20, caminando con movimiento acelerado, y 1 segundo del 20 al 40, caminando con movimiento uniforme.

He aquí los lugares respectivos en que habría que ir colocando ambas correderas para los distintos experimentos:

| Corredera anular | Corredera maciza |
|---|---|
| 5 | 15 |
| 20 | 40 |
| 45 | 75 |
| 80 | 120 |
| 125 | 175 |

Los espacios parciales comprendidos entre ambas correderas corresponden á los números 10, 20, 30 y 40 que están en la relación de los números 1, 2, 3 y 4, luego vemos que las velocidades son proporcionales á los tiempos transcurridos.

9. *Aparato de Morin.*— El aparato de Morin, en el que un lápiz traza un diagrama del movimiento, se compone de una armadura de madera que sostiene un cilindro de la misma substancia, el cual puede girar libremente al rededor de su eje. Este



movimiento de rotación se obtiene por medio de una cuerda que se enrolla en un torno, el cual lleva una rueda dentada que engrana con un tornillo sin fin que tiene el eje en la parte superior; engrana á la vez con otro tornillo que tiene un sistema de paletas para que al girar éstas se consiga que el cilindro adquiera un movimiento de rotación uniforme. Frente al cilindro hay un peso cilindro-cónico de hierro que puede resbalar entre dos alambres de hierro verticales y que lleva un lápiz impulsado por un resorte, de manera que su punta apoye siempre sobre la superficie del cilindro. Sobre éste se enrolla una hoja de papel dividida en líneas verticales equidistantes que se trazan haciendo resbalar un lápiz á lo largo de una regla que lleva el mismo aparato. Para que las líneas resulten equidistantes se cuida de que la regla vaya quedando frente á unas ranuras que tiene grabadas el cilindro en su parte inferior.

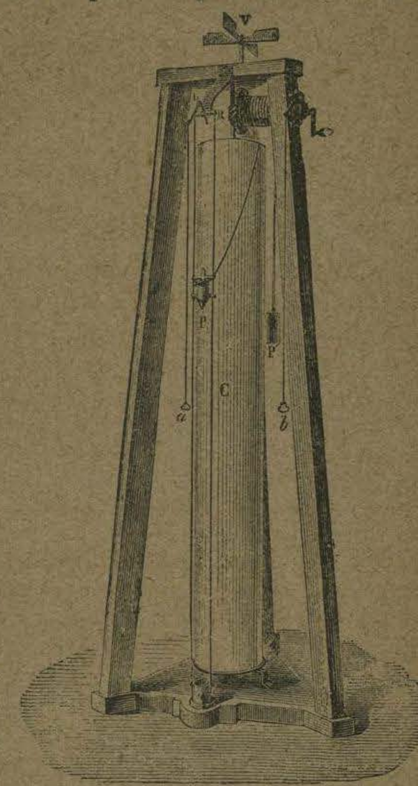


Fig. 38. Aparato de Morin.

Se imprime al cilindro un movimiento de rotación, y cuando se considera que el movimiento es ya uniforme se deja caer el peso, y entonces el lápiz traza una parábola que es la que se somete al estudio siguiente para la demostración de las leyes.

Considerando la figura puede establecerse la siguiente relación:

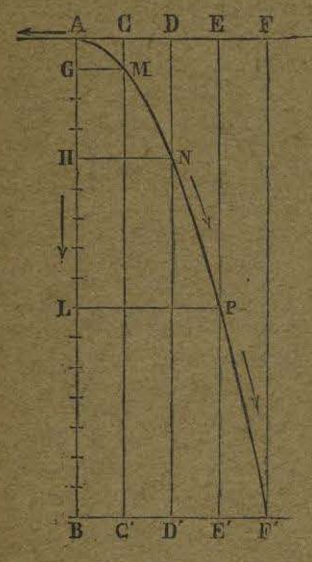

Fig. 39. La gráfica del aparato.

Las distancias de los puntos de la curva á una perpendicular al eje trazada por su vértice, son proporcionales á los cuadrados de las distancias de estos mismos puntos al eje.

Si de los puntos M, N, P, F' bajamos perpendiculares á la línea B y si adoptamos como unidad de tiempo el que se requiera para que en la rotación uniforme del cilindro la línea C C' llegue á ocupar el lugar de la línea A B, siendo iguales las longitudes de las líneas A C, C D, D F y E F, tendremos que A G será el espacio recorrido durante la primera unidad de tiempo al caer la pesa libremente; A H el espacio recorrido durante dos unidades de tiempo; A L durante tres; A B durante cuatro, etc. Si medimos ahora con un compás las longitudes A G, A H, A L y A B, hallaremos que:

$$AH = 4\ AG$$
$$AL = 9\ AG$$
$$AB = 16\ AG$$



Lo que nos indica que los espacios recorridos por un cuerpo que cae libremente, contados desde el origen del movimiento, aumentan proporcionalmente á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.

Teniendo en cuenta la forma puntiaguda de la pesa y el corto tiempo en que cae, podemos despreciar el retardo que la resistencia del aire pudiera causar.

El aparato de Morin no permite demostrar experimentalmente la ley de las velocidades; pero por medio del raciocinio podemos deducirlo de la ley de los espacios. Si la pesa recorrió en el primer segundo el espacio A G, y en dos segundos cuatro veces A G, en tres segundos nueve veces A G y en cuatro segundos diez y seis veces A G, resulta que los espacios parciales recorridos en los segundos sucesivos están expresados por los números 1, 3, 5, 7. Supongamos ahora que las velocidades adquiridas por el móvil al fin de cada unidad de tiempo sean repentinamente destruídas; es claro que el móvil no recorrería entonces en cada una de las unidades de tiempo sucesivas sino la distancia constante A G; de tal modo, que al cabo de 1, 2, 3 y 4 unidades sucesivas de tiempo recorrería los espacios 2 A G, 4 A G, 6 A G, 8 A G, cantidades que están en la relación de los números 1, 2, 3 y 4; así es que vemos que las velocidades adquiridas son proporcionales á los tiempos transcurridos desde el origen de la caída. La cantidad 2 A G es lo que se llama *aceleración debida á la gravedad.* La aceleración en México tiene por valor 978 centímetros.

## LEYES DEL PÉNDULO

10. Se da el nombre de *péndulo simple* á u punto material suspendido en el vacío en la extre midad de un hilo imponderable é inextensible, si que hubiera ningún frotamiento en el punto de sus pensión. Como se comprende, en la práctica es irrea lizable el péndulo simple.

Para explicar por qué oscila un péndulo, supon gamos, como lo indica la figura 40 un peso suspendido del hilo M en el punto C. Su posición de equi librio es el indicado por la rect CM. Si lo colocamos según la líne C $m$, la gravedad continúa obrand sobre el cuerpo y lo atraerá en l dirección $m$P. Ahora bien, com toda resultante, puesto que así po demos llamar á la gravedad, s puede descomponer en dos fuer zas componentes: una según $m'$

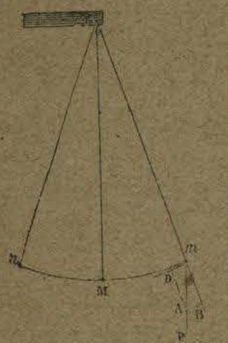

Fig. 40. El péndulo.

y otra $m$D. La primera queda destruída por la resis tencia del hilo, así es que obrando únicamente l segunda, el peso seguirá la dirección $m$D. Un razo namiento semejante puede hacerse cualquiera qu sea la posición que se diera al péndulo. Al llegar M seguirá la dirección M$n$ en virtud del movi miento adquirido, y al llegar á $m$ retrocederá ha cia M y de este modo seguirá oscilando. El movi miento del péndulo al ir de $m$ á M se dice que *acelerado* y el de M á $m$ *retardado*.

El péndulo oscilaría indefinidamente, si no se op siera á ello la resistencia del aire y el frotamien en el punto de suspensión.



Las oscilaciones del péndulo están sujetas á las cuatro leyes siguientes descubiertas por Galileo:

1.ª *Las oscilaciones de un mismo péndulo en el mismo lugar de la tierra, son isócronas, es decir, que su duración es la misma á pesar de las variaciones de su amplitud, siempre que ésta sea pequeña.*

2.ª *En péndulos de igual longitud que oscilan en el mismo lugar de la tierra, la duración de las oscilaciones es la misma, pues es independiente de la substancia de que están formados.*

3.ª *En péndulos de distinta longitud que oscilan en el mismo lugar de la tierra, la duración de las oscilaciones es proporcional á las raíces cuadradas de las longitudes de los péndulos.*

4.ª *En péndulos de la misma longitud que oscilan en distintos lugares del globo, la duración de las oscilaciones está en razón inversa de la raíz cuadrada de la intensidad de la gravedad en esos distintos lugares.*

Es fácil demostrar las tres primeras leyes experimentalmente y todas se deducen de la fórmula siguiente:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

en la cual $t$ representa la duración de una oscilación, $l$ la longitud del péndulo, $g$ la intensidad de la gravedad y $\pi$ la relación de la circunferencia al diámetro.

Como esta fórmula no contiene ni la amplitud de la oscilación, que se supone muy pequeña, ni la densidad de la substancia de que está formado el péndulo, la primera y la segunda ley se deducen inmediatamente, puesto que el valor de $t$ es indepe[n]diente de ambas cantidades. Puesto que la inten[si]dad de la gravedad es independiente de la densid[ad] de los cuerpos que forman el péndulo, tenemos l[a] comprobación matemática de la ley ya enunciada r[e]ferente á que: *todos los cuerpos caen en el vacío c[on] la misma velocidad.*

Para la tercera ley supongamos un péndulo, cu[ya] longitud sea $l'$ y cuya oscilación tarde un tiempo [t']. Entonces la fórmula tendría esta expresión:

$$t' = \pi \sqrt{\frac{l'}{g}} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

El valor de $g$ no cambia, puesto que vamos á co[n]siderar que los dos péndulos oscilan en el mismo l[u]gar del globo.

Dividiendo ordenadamente las fórmulas 1 y 2, t[e]nemos:

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{l'}}$$

lo que demuestra que en un mismo lugar de la ti[e]rra las duraciones de las oscilaciones son proporci[o]nales á las raíces cuadradas de las longitudes d[e] los péndulos.

Si consideramos dos péndulos de la misma long[i]tud que oscilan en distinto lugar del globo, la fó[r]mula quedará expresada:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g'}} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$



[D]ividiendo ordenadamente las fórmulas 1 y 3 tendremos:

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{g'}}{\sqrt{g}}.$$

Luego las duraciones de las oscilaciones están en [r]azón inversa de las raíces cuadradas de la intensi[d]ad de la gravedad. Es claro que no siendo la tierra [p]erfectamente esférica, sino que estando achatada en [l]os polos y ensanchada en el Ecuador, la intensidad [d]e la gravedad será mayor en los polos que en la [r]egión ecuatorial.

Efectivamente, Borda calculó los valores siguien[t]es para la intensidad de la gravedad:

| | |
|---|---|
| En el Ecuador............... | 978 centímetros. |
| En París...................... | 981 » |
| En la latitud de 80°........... | 983 » |

Según indicamos ya, el valor de la gravedad en México es de 978 centímetros. La longitud del péndulo que marca el segundo, tiene por valor en México $0^m99109$, es decir, que un péndulo de esta longitud tardaría un segundo en cada oscilación.

*Péndulo compuesto.*— Como ya vimos que el péndulo simple es irrealizable en la práctica, tenemos que recurrir para la demostración de las leyes al péndulo compuesto, el cual consta de una esfera bastante pesada pendiente de un hilo de muy poco peso y cuidando de que haya el menor rozamiento posible en el punto de suspensión. Se entiende por longitud del péndulo la distancia que hay del centro de suspensión al centro de oscilación. Cuando la esfera es pesada y el hilo delgado, el centro de oscilación se confunde con el centro de gravedad d masa; pero cuando la varilla es pesada, como s de en el péndulo de los relojes, el centro de gr dad queda un poco más arriba del centro de fig de la esfera.

*Aplicaciones del péndulo.* — Citaremos entre aplicaciones del péndulo: la regularización de los lojes, llevada á cabo por Huygens; la medida d intensidad de una fuerza cualquiera en magnitu en dirección; el experimento de Foucault, ponie en evidencia la rotación de la tierra por la des ción de ésta debajo del plano fijo en que oscil péndulo.

### PALANCAS

11. Con el nombre de *palanca* se conoce una ba inflexible, recta ó curva, que puede girar alrede de uno de sus puntos llamado de *apoyo* y en cu extremos actúan dos fuerzas, una llamada *pote* y la otra *resistencia*. Según que una de estas fue esté colocada entre la otra y el punto de apoy que éste se halle entre aquéllas, las palancas p den ser de tres géneros.

Serán del primero cuando el punto de apoyo e colocado entre la potencia y la resistencia como balanzas, las tijeras, cuyo punto de apoyo se encu tra en el centro; al usar las tijeras los dedos d mano representan la potencia y el cuerpo qu corta la resistencia.

De segundo género cuando la *resistencia* está tre el punto de *apoyo* y la *potencia*. Ejemplos: rompe-nueces, los remos de un barco, la carreti etcétera.



Una palanca será de tercer género cuando la *po- ncia* está entre la *resistencia* y el punto de *apoyo*. antebrazo del hombre será un ejemplo de pa- nca de tercer gé- ro.

Fig. 41. Ejemplo de palanca de primer género.

Las balanzas, e, como dijimos, una palanca de imer género, se nplea para deter- inar el peso rela- vo de los cuerpos. Compónese este parato de una ba- a llamada *fiel*, novible alrededor e un eje. En las extremidades de la barra se allan suspendidos dos platillos del mismo peso y ue es adonde se coloca el cuerpo que se quiere pesar.

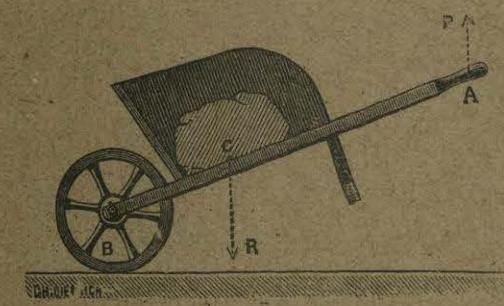

Fig. 42. Ejemplo de palanca de segundo género.

La barra lleva en su parte media un prisma riangular, una de cuyas aristas descansa en una superficie de acero ó ágata, á fin de disminuir en cuanto sea posible el rozamiento. La distancia que hay del prisma á los extremos de la barra se noce con el nombre de *brazos de palanca*. Arriba eje de suspensión hay una agujita que puede gi alrededor de un arco de círculo y que sirve de co paración para indicar si el *fiel* de la balanza e perfectamente horizontal, porque en este caso aguja se encuentra en el 0 de la graduación.

Fig. 43. Ejemplo de palanca de tercer género.

Dos son las con ciones que se requ ren para que una b lanza sea buena: *se sibilidad* y *precisió* Se dice que una b lanza es *sensible* cua do por pequeño q sea el peso que se c loque en uno de l platillos la balanza incline de ese lad Será *precisa* si col cando en los dos pl tillos pesos iguales fiel de la balanza n se inclina ni para uno ni para otro lado.

Para que no falte la primera condición se requi re: una gran movilidad, que el centro de graveda del fiel esté más abajo que el centro de suspensió y que la distancia entre estos dos sea lo más cor posible. Cuando el centro de gravedad del fiel encuentra más arriba que el de suspensión, el equ librio es inestable y por esto se dice que la balan es *loca*. Cuando la distancia entre los dos centros muy larga, la balanza oscila con dificultad y ento ces se dice que es *perezosa*.



La precisión de la balanza depende de la *igualdad* perfecta de los brazos de palanca y de que sea constante la distancia de los puntos de suspensión de los platillos al punto de apoyo. Esto se consigue haciendo que tanto el fiel como los ganchos descansen sobre aristas agudas. Según la ley ya estudiada de las palancas, si uno de los brazos fuera en cualquier momento mayor que el otro, necesitaría menor peso para equilibrar al peso colocado en el otro platillo.

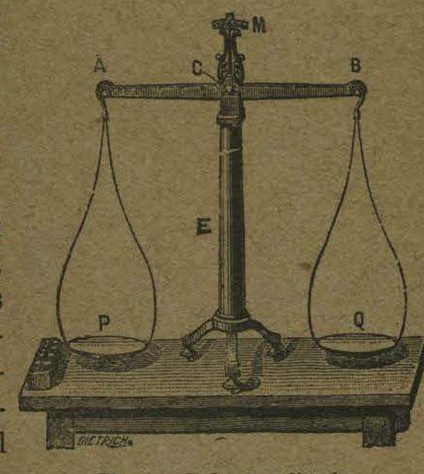


Fig. 44. Balanza ordinaria.

Aun cuando la balanza sea mala, por no llenar las condiciones antedichas, puede uno obtener un peso bueno haciendo uso del *método de Borda* ó de la *doble pesada*.

En uno de los platillos se coloca el cuerpo cuyo peso se quiere obtener y en el otro se van colocando municiones hasta que la balanza quede en equilibrio. Se quita después el cuerpo y en su lugar se colocan pesos conocidos hasta que igualen al peso de las municiones. Ya que la balanza quede en equilibrio se lee el número que indiquen las pesas y ese será el peso del cuerpo, puesto que ha hecho equilibrio á las municiones, las cuales representaban un peso igual al del cuerpo.

La balanza de Roberval es también palanca de brazos iguales.

La *romana*, la *báscula*, el *pesón* ó *pesa-cartas* so palancas empleadas igualmente para determinar peso de los cuerpos, pero cuyos brazos son de iguales.

La romana se compone de una barra graduad de hierro, suspendida de un anillo, el cual se e cuentra á corta distancia de un gancho situado e la parte inferior de la barra y del cual se cuelga cuerpo cuyo peso se trata de determinar. A éste hace equilibrio un peso que resbala sobre la barr

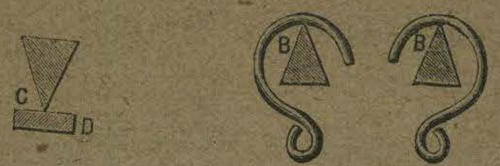


Fig. 45 y 46. Apoyos para el fiel y los ganchos.

La teoría de este aparato está fundada en que mayor brazo de palanca corresponde menor peso recíprocamente.

La báscula consta de un tablero de madera ado de se coloca el cuerpo cuyo peso se trata de dete minar. Comunica ese tablero por medio de una barras de hierro con una palanca de primer géner cuyos brazos son desiguales, los cuales están gen ralmente en la relación de 1 á 10. Así, por ejempl si colocamos un cuerpo que pese 200 kilogramos e el tablero, éste lo comunicará á la palanca y podr mos equilibrarlo con sólo 20 kilogramos, pues qu como hemos dicho, los brazos de la palanca so desiguales.

El *pesón* es igualmente una palanca de primer g nero. Sus brazos son desiguales y acodados, y m



vibles alrededor de un punto. De la rama pequeña está suspendido un platillo que es adonde se colocan las cartas. La rama más grande termina en punta y puede girar alrededor de un arco de círculo.

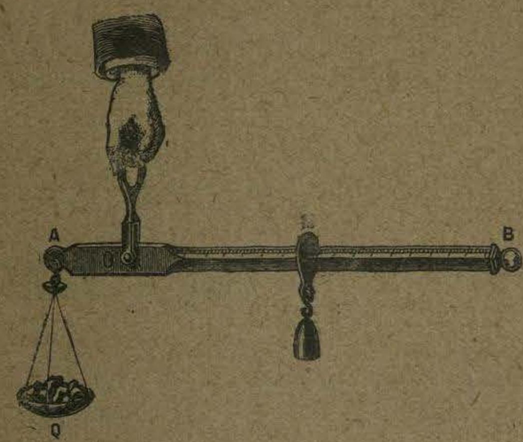


Fig. 47. La romana.

El peso del cuerpo que se coloca en el platillo se transmite al brazo más grande de la palanca, ésta girará, y según el número de divisiones que recorra, ese será su peso, pues está arreglado de modo que por cada gramo de peso la aguja recorra una división.