

á todos los cuerpos que se alejan de su superficie á volver á ella.

#### § IV.

Trátase de la pesadez ó gravedad.

EUG. — Decidme, Teodosio, ¿ es lo mismo *gravedad* ó *pesadez*, que *peso*?

TEOD. — No, y es preciso que hagais diferencia de ello, pues la gravedad es la causa y el peso es el efecto. La *gravedad* es la fuerza que tira las moléculas de un cuerpo hácia la superficie de la tierra, y el *peso* es la suma total de las fuerzas que solicitan las partículas materiales que componen el cuerpo y obran contra un obstáculo ó una resistencia.

EUG. — Otra dificultad se me ocurre. Me habeis dicho que la atraccion obra entre dos cuerpos en razon de sus masas; esto es, que el que tiene mas atrae al que tiene menos: con todo no hay mas que dar una ojeada por la superficie de la tierra para convencerse de lo contrario; yo tengo, entre otros ejemplos que pudiera citaros, menos masa que vuestra casa, con todo vuestra casa no me atrae y puedo alejarme de ella á medida de mi antojo.

TEOD. — No estraño que me hagais esta objecion porque es la primera que ocurre, cuando uno no se ha hecho las debidas consideraciones sobre las circunstancias particulares de la atraccion terrestre. La tierra tiene una masa considerable, pues

su diámetro, esto es, su distancia de un punto de su superficie al otro opuesto es de 2864 leguas comunes; los cuerpos cuya pesadez podemos examinar tienen una masa sobre manera pequeña relativamente á la de la tierra y distan muchísimo de su centro. Ahora bien, aun cuando los cuerpos de grande masa ejerzan su accion sobre los de masa menor, como la del mayor es sumamente inferior á la de la tierra entera, todos obedecen á esta, y parece que se mueven solo, atraidos por la tierra. Os pondré un ejemplo palpable para hacerlos comprender. Vos, como mayor que un niño, si este tirase de un hilo atado á una bola hácia un lado, y vos de otro hilo atado á la misma bola tirárais con toda vuestra pujanza por otro; ¿ á quien obedecería la bola?

EUG. — A mí: y la fuerza del niño seria casi nula.

TEOD. — Con todo, si no hubiese vuestra fuerza el niño movería la bola. Lo mismo pues acontece con los cuerpos de la tierra: la fuerza de atraccion del globo terraquéo es estremadamente superior á la de todos los demas cuerpos que en él se hallan, y los movimientos que tienden á producir las atracciones recíprocas de las pequeñas masas que se mueven en su superficie estan sufocadas por aquella. Si no hubiese aquí mas que esta casa, si ella constituyese el globo, os atraeria hácia ella por arriba, por abajo, por derecha y por izquierda. Y os voy á decir un hecho que os acabará de demostrar lo que ando diciendo. Las grandes desigualdades de la superficie de la tierra pueden desarreglar de una ma-

nera notable la direccion de la *plomada*, de la cual os hablaré luego, y no puede hallarse rigurosamente exacta, sino en medio de la mar, pues se ha observado que cerca de una grande montaña la plomada se desviaba sensiblemente hácia ella, y esto no podia ser sino por el efecto de esta grande masa material que llegaba á luchar con su fuerza de atraccion contra la fuerza de la superficie que la tiraba hácia abajo.

EUG. — Estoy satisfecho, y dadme noticias sobre la pesadez, pues me parece que ha de ser muy curioso este punto.

TEOD. — Todos los cuerpos que se alejan accidentalmente de la superficie del globo se acercan á ella en linea recta normal á la superficie de la tierra, esto es perpendicular á la superficie esférica de esta tierra, no haciendo aquí atencion á las desigualdades que pueda presentar. Esta linea se llama *vertical*, y como la tierra representa á poca diferencia una esfera, resulta que todas las lineas por las cuales caen los cuerpos sobre los diferentes puntos de la superficie del globo, tienden hácia su centro donde se hallan en la prolongacion de uno de los rayos de la esfera. Sin embargo como el rayo de la tierra es de 1,452 leguas, resulta que dos lineas, verticales vecinas la una de la otra, son sensiblemente paralelas. Aquel albañil que veis allá construyendo una pared está apuradamente haciendo aplicacion práctica de lo que os digo. Suspendiendo la pesa del cordel que tiene en la mano, que se llama la *plomada*, obtiene de un modo seguro la direccion vertical de la pared que construye, y se asegura de que

está bien á plomo y por lo mismo de que no se caerá. Para formaros una idea bien neta de esta tendencia de todo cuerpo hácia el punto central de la tierra, es necesario tener presente este principio: *Si todas las partículas de una esfera ejercen una atraccion igual sobre un mismo punto material situado fuera ó dentro de esta esfera, la resultante comun de todas estas fuerzas pasará por el centro de la esfera.* Concíbese fácilmente la verdad de esta proposicion. Representándose la idea de que en virtud de la simetría del sólido esférico, cualquiera punto que se quiera tomar por ejemplo de un lado de la esfera, se hallará siempre necesariamente, en el lado opuesto, otro punto situado rigurosamente del mismo modo; de consiguiente la resultante de las fuerzas ejercidas por estos dos puntos pasará por el centro, y otro tanto puede decirse de todos los puntos materiales que componen la esfera. Resulta de esta consideracion que aun cuando sea la gravedad en efecto un resultado de una cantidad innumerable de fuerzas que obran á la vez sobre un mismo cuerpo, siempre puede considerarse como una fuerza única, cuya direccion pasase por el centro de la tierra. Todo lo que os acabo de decir sobre la direccion de la gravedad no es rigurosamente exacto, porque la tierra no tiene en realidad la forma esférica como ya os he dicho, sino que está aplastada por sus polos ó puntos por donde pasa su eje, figuraos un queso de Holanda atravesado por un hierro; este hierro representa el eje de la tierra, y los puntos por donde sale del queso sus polos; pues bien, desde el centro de la tierra hasta estos puntos hay

15 leguas menos de distancia que desde dicho centro á la parte no chata de la tierra que se llama ecuador. Así pues el centro de la tierra no es único, y varia segun en que punto de la tierra se hagan los esperimentos ; pero es tan poca cosa que no vale la pena de mentarlo. Hablemos ahora de otro punto no menos interesante: la *intensidad de la pesadez*. Para apreciarla es preciso considerar la velocidad ó aceleracion que produce en tiempos determinados, veamos pues las leyes y propiedades de esta aceleracion. Ya sabeis que *aceleracion* quiere decir apre-

0 | surarse el movil corriendo cada vez con ma-  
 1 | yor velocidad. Cuando una piedra ó una na-  
 2 | ranja viene cayendo por el aire , siempre se  
 3 | viene apresurando cada vez mas, como un hom-  
 4 | bre que principiando á pasear muy pausa-  
 5 | damente, despues ya va mas ligero ; luego  
 6 | aprieta el paso, y últimamente corre, esto es lo  
 7 | que llamamos aceleracion. Dividamos pues el  
 8 | tiempo en minutos, segundos, v. g., y cada se-  
 9 | gundo en momentos. El movil que cae libre-  
 10 | mente si corre un punto en el primer mo-  
 11 | mento , en el segundo correrá mas y mas en  
 12 | el tercero ; mirad la G (Fig. 11). Estos espa-  
 13 | cios son los mismos , bien se pinten en linea  
 14 | seguida ó entrecortada G, ó bien en lineas  
 15 | paralelas , como en A (Fig. 12), la que como  
 16 | veis hace un triángulo. Este triángulo pues  
 17 | representa todos los espacios que se corrieran  
 18 | durante el primer minuto A. En el principio  
 19 | del segundo minuto B el movil tendrá mayor  
 20 | velocidad que en el fin del primero A ; y por

ig. 11.

eso el espacio que corresponde al primer momento de ese minuto, ha de ser un poco mayor que la última línea del primer triángulo, y estas líneas han de ir creciendo por todos estos momentos como aquí se pinta en BO. Esta figura, que en geometría se llama trapecio, representa todos los espacios corridos, solo durante el segundo

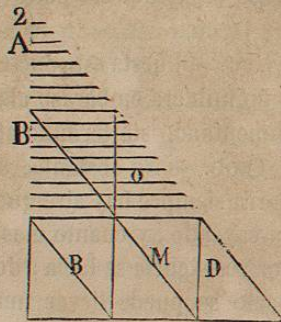


Fig. 12.

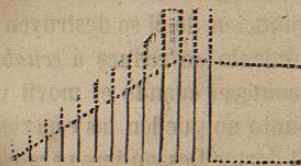
minuto, en todos sus momentos ; pero si cortamos todas esas líneas por la medida última del primer minuto, queda una especie de cuadrado B, y además un triángulo O, el cual es igual al primero A, y al mismo tiempo el cuadrado B vale dos triángulos iguales á A : luego todos los espacios corridos por el grave durante el segundo minuto valen tres veces el espacio A, corrido mientras duró el primer minuto. Continuemos la representacion de estos espacios en figuras semejantes : el espacio corrido en el primer momento del tercer minuto ha de ser mayor que fué en el último del precedente BO, y han de ir creciendo siempre ; por consiguiente contando todos estos espacios por el tamaño del último del segundo minuto tendremos dos cuadrados BM, y además un nuevo triángulo D, hecho de los acrecimientos ; y así los espacios corridos en solo el tercer minuto son cinco tantos del primer minuto. La misma demostracion sirve para los demas tiempos,

y por esto los espacios corridos por el grave descendente en tiempos iguales son como 1, 5, 5, 7, 9, 11, 15 etc.

EUG. — Puesta esta doctrina, bien se advierte que si no hubiera embarazo alguno se iría la velocidad aumentando sin término alguno.

TEOD. — No obstante, aquí en las cercanías á la tierra siempre hay aire que romper cuando el grave va cayendo, y cuanto mas aire hay que cortar mayor resistencia se halla: de aquí proviene que espacio se puede llevar una vela encendida; mas si se quiere apresurar el paso se apagará, porque la resistencia que el aire hace cuando quieren dividirlo con velocidad es bastante para apagarla. Debe, pues, resistir el aire á la caída del movil, y disminuir en parte su velocidad, segun las reglas generales que esplicaremos en otra parte, y así la resistencia que hace el aire al grave que cae es mayor cuando es mayor la velocidad, y crece la resistencia en la razon del cuadrado de la velocidad del movil. En esta suposicion si el movil cayendo debe correr en un momento un palmo, la resistencia del aire le disminuirá una linea (ya sabeis que 12 lineas hacen una pulgada). Si el grave habia de correr tres palmos, la resistencia del aire le disminuye en 9 lineas, porque 9 es el cuadrado de 3; en el tercer minuto si el movil habia de correr 5 palmos, la resistencia del aire le disminuye 25 lineas, porque el cuadrado de 5 es 25: por la misma razon en el cuarto tiempo de 7 palmos disminuye 49 lineas, en el quinto de 9 palmos disminuye 81 lineas, en el sexto de 11 palmos disminuye 121 lineas, en el sép-

timo de 15 palmos disminuye 169 lineas, en el octavo de 15 palmos habia de disminuir 225 lineas, que es lo que importa el cuadrado de 15; no obstante, esta suma de lineas importa mas de dos palmos, que habia de ser el aumento constante de un tiempo sobre el precedente, pues veis que va en esta proporecion 1, 5, 5, 7 etc.; luego ya en el octavo tiempo la resistencia del aire impide todo el aumento que debia haber en la velocidad; y por consiguiente si la velocidad no se aumenta, no se aumenta la resistencia del aire, y entonces el movimiento acelerado se reduce á ecuable, esto es, que tanto anda en un tiempo como en el siguiente. La figura 15, os hace ver en el triángulo los espacios que se debian correr en el vacío ó vacuo: los puntitos significan la diminucion que causa en ellos la resistencia del aire, y las rayas seguidas son los espacios que efectivamente corre, y bien se ve que los espacios que debieran ir siempre aumentando como en el principio, se reducen últimamente á iguales, y viene á cesar la aceleracion.



EUG. — Tengo la curiosidad de saber cuando una piedra que cae por el aire se verá obligada á caer con velocidad ecuable.

TEOD. — Yo os enseñaré á calcular, porque tendreis mas gusto en hacer el cálculo que en leer simplemente su resultado. Segun las observaciones un grave cae en el primer segundo 15 pies de rey (ca-

da pie vale palmo y medio , porque tiene 12 pulgadas , y el palmo solamente ocho), por consiguiente en dos minutos caerá 60 pies : hágase la experiencia , y se vera cuánto falta para los 60 pies , y ese es el efecto de la retardacion que causa la resistencia del aire : dividid esto en lineas , y repartid en 10 porciones : dad una al primer minuto , pues el cuadrado de 1 es 1 , y reservad 9 para el segundo minuto , porque el cuadrado de 3 es 9. Ahora bien , en teniendo la disminucion que hace la resistencia del aire al grave en el primer tiempo , se sabe la resistencia que hará en cualquiera otro de los siguientes : en llegando la resistencia á 4,520 lineas , que es el valor de 50 pies , ó del espacio que se corre de mas en cada minuto , ya el aumento del espacio y la disminucion de él se destruyen mutuamente , y el movimiento se reduce á *ecuable* , lo que solo puede acontecer cuando el movil va velocísimo : en este punto no pueden las esperiencias ser muy exactas. El doctor Desaguliers para conocer cuánta era la retardacion del aire tomó una bala de plomo de dos pulgadas de diámetro , y arrojándola repetidas veces halló que en cuatro segundos y medio caia por 272 pies (advíertase que los pies de Inglaterra son algun tanto menores que los pies de rey en Francia , de suerte que 16 pies de Inglaterra valen 15 de Francia). Segun las reglas la bala debe caer en este tiempo por 554 pies ; pero no cayendo sino por 272 , se ve que el aire retardó el movimiento , y disminuyó el espacio de 52 pies que faltan : repartiendo , pues , este espacio por todo el tiempo , segun las reglas que os dí , caben 5 pulgadas de retardacion al primer

minuto : al segundo , en que el espacio fué tres veces mayor , debemos dar la resistencia 9 veces mayor , porque el cuadrado de 3 es igual á 9 ; y así le doy 45 pulgadas : al tercer minuto por cuenta del espacio 5 veces mayor doy retardacion 25 veces mayor , y vale 125 pulgadas : al cuarto minuto por cuenta del espacio 7 veces mayor doy retardacion 49 veces mayor , y vale 245 pulgadas : en el quinto minuto , en que el espacio es 9 veces mayor , se debe dar retardacion 81 veces mayor , y valdria 405 : pero como el movil solamente corrió por 4 minutos y medio , no 5 , solamente le damos la mitad de este espacio , que son solamente 202 pulgadas y media. Ahora , pues , todas estas pulgadas hacen la cuenta de la retardacion total , y es como sigue , contando por minutos segundos.

Min.	1 <sup>o</sup>	retard.	pul.	5
Min.	2 <sup>o</sup>	retard.	pul.	45
Min.	3 <sup>o</sup>	retard.	pul.	125
Min.	4 <sup>o</sup>	retard.	pul.	245
Medio min.	5 <sup>o</sup>	retard.	pul.	202

Total de las pulgadas.  $622\frac{1}{2}$

Pero los pies que faltaban valen 624 pulgadas ; luego la resistencia del aire era capaz de hacer la retardacion que la experiencia nos manifiesta , advirtiéndolo no obstante que estas cuentas van hechas por mayor , porque á querer examinar bien cuánta es la retardacion que cabe en cada minuto segundo , debia hacerse la cuenta á 9 , tiempos iguales , siendo cada tiempo del valor del medio minuto , lo que daria alguna diferencia ; mas entrariamos forzosamente

en quebrados, y esto basta para que veais el camino que debe tomar el discurso en esta materia. Advierto mas; que esta resistencia del aire se aumenta á proporcion del volumen del cuerpo, y por consiguiente los cuerpos que con el mismo peso tienen diversos volúmenes, aunque tienen la misma fuerza para caer, tienen diversa retardacion; y por eso tardan mas, y llegan mas aprisa al movimiento uniforme, porque si la retardacion es mayor, mas presto llegará á valer tanto como el aumento de la velocidad que debia haber de un tiempo al siguiente. Una bola de algodón fácilmente llegará al movimiento ecuable, á causa de la grande resistencia que experimenta en el aire, y por eso la nieve y la lluvia no nos hacen daño grave con su peso cayendo de tan alto, porque la resistencia del aire las reduce á movimiento mas blando y tal vez uniforme. Ultimamente, advierto que no todos los medios hacen igual retardacion al movil que cae, y por esto en un medio llegará el grave mas de prisa al movimiento ecuable, y en otro llegará mas tarde.

EUG. — Habeis dicho que todos los cuerpos tienen la misma fuerza para caer y que la resistencia del aire es la que hace que unos caigan menos aprisa que otros. ¿ Hay algunos experimentos que lo demuestren como me parece que puede el razonamiento demostrarlo?

TEOD. — Haylos en efecto y los voy á practicar.

EUG. — Me alegro.

## § V.

Algunos experimentos sobre la pesadez ó gravedad: leyes que se sacan por consecuencia.

TEOD. — Aquí teneis una máquina que llaman pneumática (Fig. 14.) estos dos cañones de laton *ab*, son dos jeringas con que alternativamente sacamos el aire que estaba dentro de esta manga de vidrio que está encima *mn*, mientras que el mozo trabaja en esta operacion, que gasta algun tiempo, os diré lo que ha de suceder. Primeramente todos los cuerpos cuando caen, por libres que esten, siempre tienen un embarazo que los retarda, que es el aire por donde vienen cayendo, y esto de dos modos. Primero, porque siempre cuesta algun tanto dividir el aire: este abanico con que me doy aire en la fuerza del calor, cerrado le muevo por el aire con mucha mas facilidad que cuando está abierto del modo con

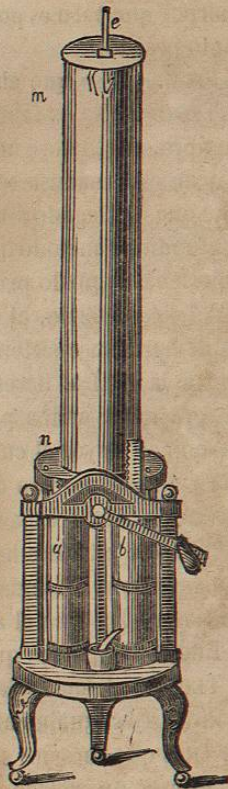


Fig. 14.