

EUG. — Basta : no os canseis mas, que ahora lo he entendido todo perfectamente.

SILV. — ¿Y para qué eran aquellas cuentas de multiplicar con que tanto nos quebrasteis la cabeza?

TEOD. — Eran para conocerse fácilmente estos excesos del peso á la fuerza del hombre, y de la velocidad á la velocidad, porque multiplicando el peso por su espacio ó por su velocidad, y luego la potencia por su velocidad ó espacio, lo que sumaba mayor número es señal de que tenia caudal para compensar todo el exceso que el otro le llevaba.

TEOD. — Bastante hemos hablado, me parece, de las máquinas : hora es que tratemos de otros asuntos.

§ IV.

Trátase del péndulo.

EUG. — ¡Con qué gravedad marcha el péndulo de vuestro reloj!

TEOD. — A propósito hablais del pendulo ; pues este es el punto que voy á escoger, por ahora.

EUG. — ¿A qué llamáis *péndulo* en fisica?

TEOD. — Llamamos *péndulo* un cuerpo grave pendiente de un hilo ó cosa semejante, que moviéndose de uno á otro extremo baja y sube balanceando. (Fig. 84). El movimiento que hace el péndulo desde el principio de la caída hasta el fin de la subida se llama *vibracion ú oscilacion*. Llamamos

longitud del péndulo toda la distancia que hay desde el punto inmóvil del hilo O hasta el centro de gravedad A, del peso que balancea : advertid bien esto, porque en el mismo péndulo de los relojes de sala ó de torre puede el peso que llaman lantejilla bajarse mas ó menos, y conforme el centro de gravedad sube ó baja, se juzga el péndulo por mas corto ó mas largo. Esto

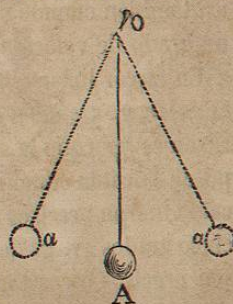


Fig. 84.

supuesto descubriré varias verdades, que estan incluidas en las que ya sabeis. Primeramente, Eugenio, ya veis que cuando cae el péndulo está mucho tiempo balanceando ; examinemos pues la causa de este movimiento, y diremos sus propiedades.

En primer lugar *el péndulo necesariamente ha de subir despues de caer*, porque por causa de la inercia del cuerpo perseverará en él el movimiento hasta que se le destruyan. Pero cuando el péndulo acaba de descender está en movimiento, y en virtud del cordon ó vara de que pende no puede moverse sino subiendo : sube pues en cuanto le dura la fuerza para ello.

En segundo lugar *el péndulo que sube continuamente se retarda, y cada vez va mas flojo*; porque si llegó abajo con cinco grados de velocidad, los ha de ir perdiendo sucesivamente cuando suba ; porque el peso resiste y contradice á la subida ; y así como el peso ó fuerza de gravedad, en tanto que bajaba, le

imprimió un grado de velocidad en cada tiempo, así tambien cuando sube le destruye en cada tiempo un grado de velocidad.

En tercer lugar *el tiempo en que el péndulo sube es enteramente igual al tiempo en que desciende*: la razon es, porque la gravedad tanto obra en el tiempo de la caída como en el de la subida: en el de la caída fueron precisos cinco tiempos para dar al grave cinco grados, v. g. de velocidad; luego en la subida son precisos otros tantos tiempos para destruirlos, y así el tiempo del descenso ó caída es igual al de la subida.

Por la misma razon cuando tiramos una bala al aire tanto tiempo gasta en subir como en bajar, por la misma razon del péndulo: la bala ha de subir hasta perder toda la velocidad, y en cada momento ha de adquirir otra tanta, y llegar abajo con la misma velocidad que llevó, y en el mismo tiempo en que subió, descontando los efectos de la resistencia del aire.

EUG. — Esto está clarísimo.

TEOD. — Veamos ahora el tiempo de las vibraciones, Acordaos, de que os dije que en el mismo tiempo en que el grave caía libremente por un diámetro caía por cualquier cuerda del círculo de ese mismo diámetro. Pero siendo los arcos pequeños muy poco diferentes de las cuerdas, pues un arco de 45 grados solo escede á su cuerda en la proporcion que el número 450 escede á 549, poco esceso será el que hay entre un arco de 45 grados y su cuerda; por esto sin yerro considerable podemos confundir el descenso de un grave por el arco pe-

queño con el descenso por la cuerda correspondiente. Estemos, pues, en esto. En la doctrina de los péndulos se supone que las vibraciones son pequeñas, esto es, que no pasan de 5 grados, 45 de caída y 45 de subida: luego de aquí las siguientes consecuencias.

1ª. *En tanto que el grave baja por la media vibracion caerá á plomo por todo el diámetro.* Pero como el grave cayendo á plomo siempre se acelera, y en tanto que el péndulo descendió él caería por un diámetro; entre tanto que subió caería por tres diámetros, pues el tiempo de la subida es igual al del descenso luego:

2ª. *Entre tanto que el péndulo hace toda la vibracion el grave caería por cuatro diámetros ú ocho radios, que vienen á ser ocho longitudes de la cuerda.* Pero esta doctrina es para cualquiera vibracion, sea de mas ó de menos grados.

3ª. *Todas las vibraciones del mismo péndulo se hacen en el mismo tiempo, sean de mas ó de menos grados* (Fig. 85), por ser todas hechas en el tiempo en que el grave caería por ocho diámetros. Advierto que en la experiencia si ponemos en movimiento dos péndulos iguales en todo, pero uno de mayor distancia que otro, siempre el que hace vibraciones mayores anda algo mas despacio, por causa de

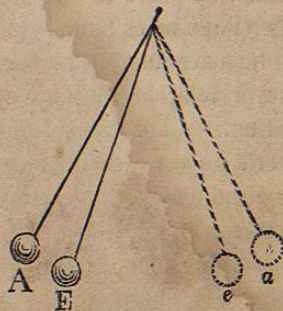


Fig. 85.

la resistencia del aire, el cual resiste mas cuando es mayor la velocidad; no obstante sensiblemente el mismo es el tiempo de la vibracion Aa que el de la vibracion Ee.

4. *Siendo la cuerda del péndulo la misma no se atiende al peso ó á la materia de este para juzgar el tiempo de sus oscilaciones.* La razon es, porque prescindiendo de la resistencia del aire cualquier grave baja en el mismo tiempo por el diámetro de un círculo: luego de cualquier materia ó peso que fueren gastarán el mismo tiempo en cuatro diámetros, por consiguiente en una vibracion entera.

Advierto no obstante, que continuando las vibraciones la resistencia del medio, siempre hace grande diferencia en la continuacion de muchas vibraciones. Es verdad, Eugenio, que os quedariais admirado al ver que constantemente el péndulo mas pesado es el que hace las vibraciones mas tardas contra lo que se esperaba; porque siendo mas pesado caeria mas de prisa por el espacio del diámetro; pero la razon de esta incoherencia es, que cuanto un grave es mas pesado tira mas adelante que el que no es tanto; y por consiguiente como las vibraciones fueron mayores á proporcion de la mayor velocidad, le hace el aire mayor resistencia.

EUG. — Por este medio podemos saber cuanto caería un grave en un segundo, porque sabemos la longitud del hilo ó vara de un péndulo, que hace exactamente una oscilacion en un segundo; y conforme á lo dicho, esta distancia, multiplicada por ocho, dará el espacio que correría el grave cayendo á plomo.

TEOD. — Si los tiempos de las vibraciones son dependientes de la longitud del péndulo tomada ocho veces, se sigue que debemos discurrir de la longitud ó cuerda del péndulo como de los espacios de la caída, y los tiempos serian la raiz cuadrada de estos espacios segun lo que queda dicho; y por consiguiente cuando el tiempo de las vibraciones hubiere de ser como 4 á 2, las longitudes de los péndulos han de ser como 4 á 1 (Fig. 86); y así poniendo dos péndulos, cuya longitud sea como 4 á 1, si los soltaren al mismo tiempo concordarian de dos en dos oscilaciones, porque entre tanto que el grande hace una oscilacion el pequeño haria dos.

Esta es doctrina precisa para los relojeros, porque deben saber, supuesto el número de oscilaciones, qué deberá hacer su péndulo en un minuto, y qué longitud han de dar á la vara del péndulo.

De aquí se infiere la razon de que todos los relojes, á escepcion de los de faltriquera, de los que luego hablaremos, se atrasan con el calor y se adelantán con el frio, porque el calor dilata la vara de la péndola y la alarga; por ser mas larga será mayor el tiempo de la oscilacion, y como á cada vibracion pasa un diente de la rueda catalina, es preciso que el reloj atrase. Ved aquí por que entonces se debe acortar la vara por medio de una rosca que está bajo la lantejilla, y viene á quedar la péndola



Fig. 86.

mas corta, porque solo se debe contar la longitud del péndulo desde el eje, que está en la parte superior hasta el centro de la lenteja ó peso; por la misma razon se debe bajar la lantejilla en los tiempos frios, en los cuales se encoje algo la vara. Por todo esto no hay reloj alguno de los ordinarios que haga los dias iguales, no digo en un año, pero ni en una semana entera; porque siempre el tiempo por mas frio ó mas caluroso influye en los movimientos del reloj. Yo hasta que tuve la práctica de las observaciones astronómicas no conocí la increíble variedad que padecen los relojes á causa del tiempo. Hablando ahora de los relojes de faltriquera, digo que con estar en ellos la péndola de diferente modo, debe seguir las mismas leyes (Fig. 87). Consta la péndola de un hilito de metal elástico en forma espiral: está presa en *a* al eje de un círculo movable *ooo*, que la lleva consigo cada vez que se mueve; pero como el hilo espiral es elástico, bien sea que le doblen mas de lo que está, ó bien le abran mas, siempre tira á volverse á su estado natural; y como el ímpetu que lleva cuando se quiere restituir á su estado natural pasa mas allá de lo que debia ser, como la cuerda de vihuela que retiembla por un rato cuando la tiran hácia un lado, ó como el péndulo que cuando quiere caer pasa con el ímpetu que lleva mas allá del plomo que buscaba, y sube por la parte opuesta y anda balanceando. De este modo hace la péndola espiral, supliendo así el



Fig. 87.

efecto del péndulo á plomo. De aquí se sigue, que así como cuanto mas largo es el péndulo se mueve mas despacio, así cuanto mas largo es el hilito elástico mas espaciosa son sus oscilaciones. Para esto en la otra estremidad *E*, que va á la circunferencia, se pone una corredera por donde pasa la espiral, y tiene sujeto el hilo elástico en toda aquella porcion que ha entrado en ella, pues solo el hilo que está libre es el que puede balancear; y como por medio de una ruedecilla *M* podemos poner la corredera *E*, ya mas adentro ó ya menos, hacemos de este modo la péndola espiral mas corta ó mas larga; y así son los movimientos mas prontos ó mas tardos: con los primeros se adelanta el reloj, con los segundos se atrasa. El calor de la estacion ó el de la faltriquera, el frio que hiela el poquito de aceite en los ejes de las ruedas, el movimiento del caballo, la postura del reloj, que ya deja á los ejes trabajar á plomo, ó ya los precisa á trabajar horizontalmente con mayor roce, todo esto hace muy irregular el movimiento del reloj, sin contar con la irregularidad esencial que viene del muelle, el que va desenvolviendo cada vez con menos fuerza, ó del caracol, que cada vez suelta un círculo menor de la cuerda que en él recoje. Por esta razon las horas del reloj de faltriquera son por lo comun mucho mas irregulares que las de los relojes de pesas. He aquí, amigo Eugenio, lo que basta para entender alguna cosa de esta materia, aunque no hayais de ser relojero. Ved teniendo un poco de paciencia.

EUG. — Mucho me ha gustado la esplicacion de este punto.

TEOD. — Pues si teneis paciencia, pasemos á otro y hablemos de las leyes del choque.

EUG. — Hablando de estas materias nunca se me acaba la paciencia.

§ VI.

Sobre las leyes del choque, y comunicacion de fuerzas.

TEOD. — Esta materia, amigo Eugenio, os dará mucha luz para el conocimiento de los efectos naturales. Para discurrir pues con claridad y solidez en esta materia sentemos primero los principios siguientes, que son verdades evidentes.

1º. *Cuando el obstáculo es fijo y el golpe perpendicular se pierden en él todas las fuerzas del movi-
vil.*

2º. *El efecto de estas fuerzas es la cavidad que queda en el obstáculo ó en el movi-
vil, ó bien la compresion que tal vez no parece despues, por causa de la elasticidad ó de la separacion de las partes hecha en uno de los cuerpos que chocaron entre sí.*

3º. *Cuando la linea del choque del movi-
vil es perpendicular y el obstáculo fijo, obra el movi-
vil con todas sus fuerzas.*

4º. *Pero cuando la linea del choque es oblicua, obrará con solas las fuerzas que corresponden á la linea perpendicular, despues que el movimiento se haya resuelto en perpendicular y paralelo.*

5º. *En este caso continúa el movi-
vil su movimiento;*

pero mudando la linea y disminuyendo la velocidad, porque se descompone ó resuelve el movimiento, las fuerzas se consumirán en parte.

Puestos estos principios acerca de los obstáculos fijos, conviene daros otros acerca de los obstáculos que ceden y son movibles.

1º *Cuando el obstáculo cede perecen algunas fuer-
zas que se consumieron en la cavidad ó compresion; mas perseveran así las que el movi-
vil conserva en sí como las que comunicó al obstáculo. La razon es, porque no hay accion de un cuerpo sobre otro sin movimiento de aquellas partes en que se hizo el contacto: estas empiezan á ceder y retirarse hácia adentro, en cuanto el resto del cuerpo resiste por su inercia de quietud, y poco á poco el obstáculo total recibe el movimiento, y cede el lugar total. Pero tanto las fuerzas empleadas en la cavidad, que es visible en los cuerpos no elásticos, como en la compresion que da lugar á la elasticidad, si el cuerpo le tiene se consumirán todas; luego solo pueden quedar las fuerzas que conserva el movi-
vil ó el obstáculo que las recibió y las mantiene en su movimiento.*

2º *La suma de las fuerzas perdidas en la compresion, y conservadas despues del choque, debe ser igual á las fuerzas que habia antes de él. Porque de lo que habia antes del choque se conserva todo lo que no pereció; luego la suma de las fuerzas conservadas y perdidas ha de ser igual á las que habia antes del choque.*

3º *Cuando la elasticidad es perfecta solo dará en*