

## LA CUNA DE NEWTON.

Hace unos años le compré a mi nieto un juegucito para su cumpleaños que le duró muy poco, pues no debía de ser apropiado para su corta edad y lo destrozó el primer día. Aparece en la figura 1.

Es una especie de juego decorativo que suele verse en las mesas de algunos despachos.

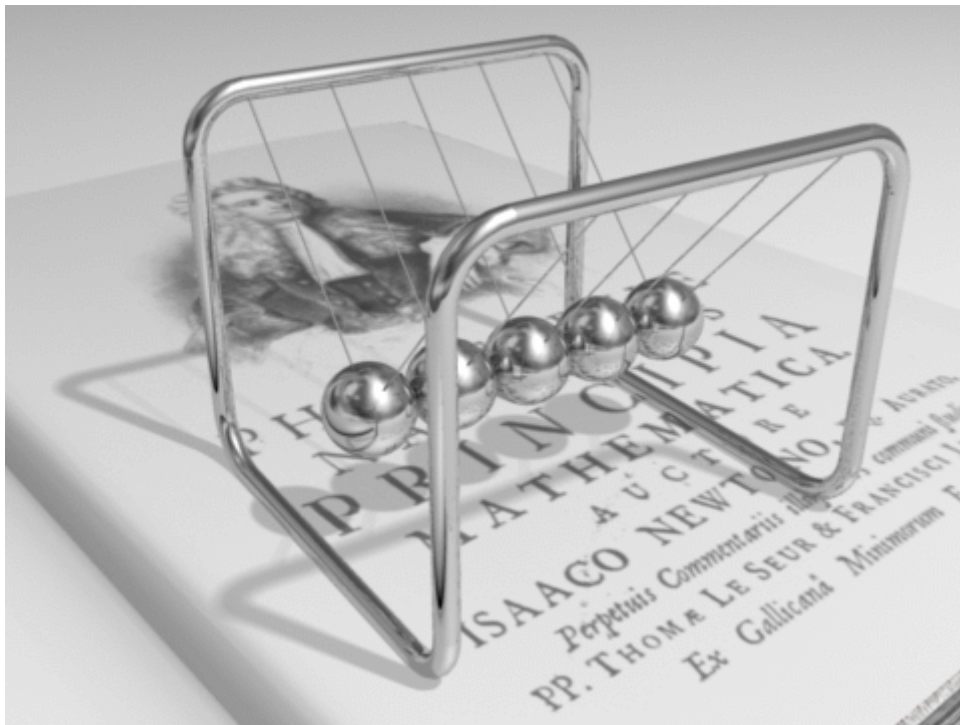


Figura 1.

Aparte de ser un adorno curioso se puede jugar con el haciendo diversas pruebas, dejando caer una sola bola, dos a la vez, tres, etc. y comprobar los resultados.

Consiste en un bastidor del que cuelgan generalmente 5 bolas metálicas del mismo tamaño y masa, cada bola pende de dos cables en ángulo para que los puntos de contacto entre las bolas estén perfectamente alineados en una recta horizontal.

La cuna o péndulo de Newton más grande del mundo se encuentra en Michigan (EEUU), son 20 esferas de 6,8 kg. los cables que las sujetan son de 6,1 m. de longitud.

En la figura se observa cómo, si soltamos una bola desde cierta altura, al caer choca contra la siguiente y este choque se transmite hasta la última bola, quedando las demás bolas en reposo. Esta última bola se eleva y al caer, el proceso se repite en sentido contrario continuamente y sin parar; pero en la realidad el movimiento va amortiguándose hasta cesar por completo al cabo de algunos segundos.

Hay escritos muchos artículos sobre el funcionamiento de este ingenio y para facilitar su estudio se hacen algunas simplificaciones. Al final del artículo eliminaremos alguna de estas simplificaciones para acercarnos un poco más a lo que sucede en realidad.

Las simplificaciones que se hacen son, suponer que las bolas son perfectamente elásticas y no hay ninguna pérdida de energía por calentamiento en el choque, también se desprecia el frenado del aire.

Para estudiarlo se comienza viendo el caso de dos únicas bolas, figura 2.

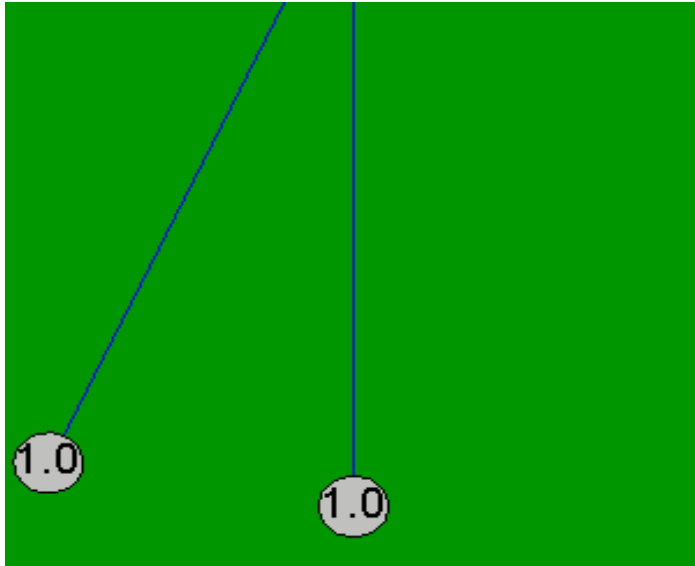


Figura 2,

La bola de la izquierda (1) de masa  $M$  choca con la bola derecha (2) también de masa  $M$  a una velocidad  $V$ . En el momento anterior al choque la cantidad de movimiento del conjunto de las dos bolas es  $M \cdot V$  y la energía cinética total  $M \cdot V^2/2$ , pues la bola de la derecha está inicialmente en reposo. Si suponemos que el choque es perfectamente elástico hay conservación de la cantidad de movimiento y de la energía cinética.

Después del choque las velocidades de las bolas serán respectivamente  $V_1$  y  $V_2$ .

Por la conservación de la cantidad de movimiento podemos poner  $M \cdot V = M \cdot V_1 + M \cdot V_2$ , asimismo por la conservación de la energía cinética,  $M \cdot V^2/2 = M \cdot V_1^2/2 + M \cdot V_2^2/2$ . Simplificando por  $M$  tenemos estas dos ecuaciones:

$V = V_1 + V_2$  (1) y  $V^2 = V_1^2 + V_2^2$ , sustituyendo en esta segunda el valor de  $V$  de la primera tenemos  $(V_1 + V_2)^2 = V_1^2 + V_2^2$ , es decir  $V_1^2 + 2 \cdot V_1 \cdot V_2 + V_2^2 = V_1^2 + V_2^2$  y de aquí  $2 \cdot V_1 \cdot V_2 = 0$ , o sea  $V_1 \cdot V_2 = 0$ . Para que esta expresión valga cero, puede haber dos casos, que  $V_2$  valga 0 y entonces de (1) obtenemos  $V_1 = V$  que es imposible, pues si  $V_2$  es cero la bola 1 no puede tener una velocidad  $V$  ya que se lo impediría la bola 2. La única solución posible es  $V_1 = 0$  y de (1)  $V_2 = V$ , es decir, la bola 1 se para y la 2 adquiere la velocidad inicial de la 1.

Cuando hay cinco bolas, al intentar la bola 2 avanzar con la velocidad  $V$ , se lo impide la bola 3, y choca contra ella, repitiéndose la misma situación, la bola 3 intenta desplazarse con velocidad  $V$ , pero se lo impide la bola 4. Finalmente, las cuatro primeras bolas quedan en reposo y la cinco se desplaza con velocidad  $V$ . Esta bola se eleva y al caer con la misma velocidad  $V$ , pero de sentido contrario, se repite el proceso en el otro sentido tal como aparece en la figura 1.

Aparentemente el choque es instantáneo y la última bola comienza a moverse en el mismo instante en el que la bola 1 choca contra la 2.

Lo visto hasta aquí es lo que se puede leer en la mayoría de los artículos al respecto; lo que viene a continuación no lo he visto en ninguna publicación.

Nosotros vamos a profundizar un poco y acercarnos más al caso real, y vamos a tratar de estudiar el tiempo que dura el choque y las fuerzas que participan en él.

Se suele decir que la cantidad de movimiento  $M \cdot V$  de la bola 1 se transmite íntegra e instantáneamente a la bola 2 y así sucesivamente, pero no se explica cómo se realiza esta transmisión.

Sabemos para que una masa  $M$  partiendo del reposo adquiera una velocidad  $V$  y tenga una cantidad de movimiento  $M \cdot V$  se necesita proporcionarle un impulso  $F \cdot T = M \cdot V$  (variación de la cantidad de movimiento igual al impulso). Es decir, se necesita que una fuerza  $F$  actúe durante un determinado tiempo  $T$ .

Normalmente esa fuerza será variable durante ese período de tiempo, pero podemos tomar la media integral  $F_m$ , que actuando durante el tiempo  $T$  produce el mismo aumento de la cantidad de movimiento, en este caso  $M \cdot V = F_m \cdot T$ .

Es decir que, aunque aparentemente la quinta bola empieza a moverse en el mismo instante en que la 1 choca, no es así exactamente, aunque el intervalo de tiempo sea muy pequeño.

Si el tiempo fuese nulo la fuerza tendría que ser infinita para que  $F \cdot T$  fuese igual a  $M \cdot V$ , y eso resulta imposible. Lo que ocurre es que  $T$  es muy pequeño y  $F$  grande proporcionalmente.

En realidad, las bolas metálicas no son perfectamente elásticas. Son "casi" indeformables al someterles a una fuerza, pero se deforman mínimamente.

El sonido se transmite en el aire a una velocidad de 340 m/s. Es una vibración de las moléculas de aire que transmiten la vibración a las moléculas próximas en el sentido longitudinal. El aire se deforma vibrando. El aire no distingue cuál ha sido la causa que ha producido la vibración inicial que luego se desplaza, ha podido ser una cuerda de guitarra o una bomba al estallar, pero el aire transmite estas ondas en los dos casos a una velocidad de 340 m/s. mediante la vibración de sus moléculas.

Por ejemplo, si tenemos un tubo hueco de 1 m. de longitud y producimos un sonido en uno de sus extremos, el tiempo que esta vibración de moléculas que produce variaciones de presión, tarda en llegar al otro extremo es  $T = 1/340 = 0,00294$  segundos.

La velocidad de propagación del sonido en el acero es de 5.100m/s.

En un tubo macizo de acero de 1 m. el sonido tarda en llegar al otro extremo en  $1/5.100 = 0.000196$  segundos.

Lo mismo que las moléculas de aire tienen un movimiento vibratorio en el sentido del movimiento, los átomos de hierro transmiten el sonido mediante un movimiento vibratorio longitudinal. Este movimiento longitudinal es el causante del empuje entre las bolas de la cuna de Newton.

Los átomos de hierro se deforman vibrando en sentido longitudinal transmitiendo la vibración (movimiento) longitudinal a los átomos próximos.

El hierro no conoce la causa de esa vibración, reacciona igual si esta es por causa de un golpe o por variaciones de presión (sonido) en el exterior, transmite estas vibraciones a una velocidad de 5.100 m/s.

Supongamos que las bolitas de la cuna de Newton son de 2 cm. de diámetro. Su volumen es de  $4 \cdot (\pi) \cdot 1^3/3 = 4,19 \text{ cm}^3$ , con una densidad de  $7,85 \text{ gr/cm}^3$ , su masa será de  $4,19 \cdot 7,85 = 32,18 \text{ gr.} = 0,032 \text{ kg.}$

Si soltamos la primera bolita a 3 cm. de altura, esta energía potencial de  $m \cdot g \cdot 0,03$  se transforma en energía cinética en el momento del choque  $m \cdot V^2/2$ . Igualando estas dos energías y simplificando  $9,82 \cdot 0,03 = V^2/2$  se obtiene la velocidad con que se produce el choque  $V = 0,767 \text{ m/s.}$

La cantidad de movimiento del sistema antes del choque es  $M \cdot V = 0,032 \cdot 0,767 = 0,02456$  en las unidades correspondientes. El tiempo que la vibración producida por el choque tarda en llegar al otro extremo de la bolita es  $T = D/V$ , siendo D el diámetro y V la velocidad de propagación en el acero.

$T = 0,02/5.100 = 0,0000039$  segundos. Igualando  $M \cdot V = F \cdot T$ , es decir  $0,02456 = F \cdot 0,0000039$ , luego  $F = 6.297 \text{ NW.}$  Es decir  $6.297/9,82 = 641 \text{ kp.}$  kilopondios o kilogramos fuerza.

Es una fuerza respetable, pero actúa durante un tiempo muy corto,  $0,0000039$  segundos, unas 4 millonésimas de segundo.

Para recorrer las cuatro bolas se necesitan  $0,0000039 \cdot 4 = 0,000012$  segundos, una cienmilésima de segundo. No es instantáneo, pero a simple vista puede parecérselo.

Otra forma de llegar al mismo resultado es aplicar la conocida fórmula  $F = M \cdot A$ , como  $A = V/T$ ,  $F = M \cdot V/T$   
 $F = 0,032 \cdot 0,767/0,0000039 = 6.293 \text{ Nw.}$  cantidad similar a la anteriormente obtenida de  $6.297 \text{ Nw.}$

Alguien podría pensar que puede ser peligroso poner el dedo en la segunda bola y soltar la primera, pues un golpe de  $641 \text{ kg.}$  sería un fuerte golpe, pero no es así, los  $641 \text{ kg.}$  actúan cuando la bola 1 pierde su cantidad de movimiento en 4 millonésimas de segundo, debido a la rigidez del acero, pero nuestro dedo no es rígido, y si suponemos por ejemplo que al chocar la bola 1 con nuestro dedo, el golpe dura una décima de segundo, la fuerza media que soportamos es  $F = M \cdot V/T = 0,0245/0,10 = 0,245 \text{ kp.}$ , un cuarto de kilo, lo cual es muy soportable.

Durante los días en que estoy escribiendo este artículo, a caballo entre enero y febrero, están teniendo lugar unas obras en la vivienda medianera a la mía. Han tirado todo, tabiques, falsos techos, suelos etc.

Para arrancar las baldosas del suelo de hormigón al que están unidas mediante mortero, han utilizado unos taladros bastante potentes y ruidosos.

La estructura del edificio es de hormigón y lógicamente transmite el sonido, vibra. La velocidad del sonido en el hormigón es de  $4.000 \text{ m/s.}$  y verdaderamente que el sonido se transmite a través de la estructura.

El fenómeno vibratorio es similar al que tiene lugar en la Cuna de Newton, pero más desagradable.

Esto quiere decir que el ruido de los taladros llega a mi habitación por dos conductos, uno mediante el aire a una velocidad de  $430 \text{ m/s.}$  y otro por la estructura de hormigón a  $4.000 \text{ m/s.}$

Es decir que, si yo tuviera la suficiente sensibilidad auditiva, podría oír el ruido del taladro apoyando una oreja en un pilar, a esta oreja me llegaría el ruido transmitido por la estructura a  $4.000 \text{ m/s.}$  y, a la otra un poco más tarde a  $430 \text{ m/s.}$

De la misma forma si yo tuviese la suficiente sensibilidad visual podría comprobar que la bola 5 de la cuna de Newton empieza a moverse un poco después de que la bola 1 se para.

Los Pieles Rojas saben que el sonido se transmite a través del suelo, por eso para saber si la caballería de los rostros pálidos se está acercando, se tumban en el suelo y acercan el oído a las rocas, que son buenas transmisoras del sonido. Estas ondas transmitidas por la roca son las que permiten localizar los epicentros de los terremotos, que son fuertes vibraciones de la corteza terrestre por derrumbes de grandes cantidades de material.

Anton del Campo.

Ingeniero Industrial.