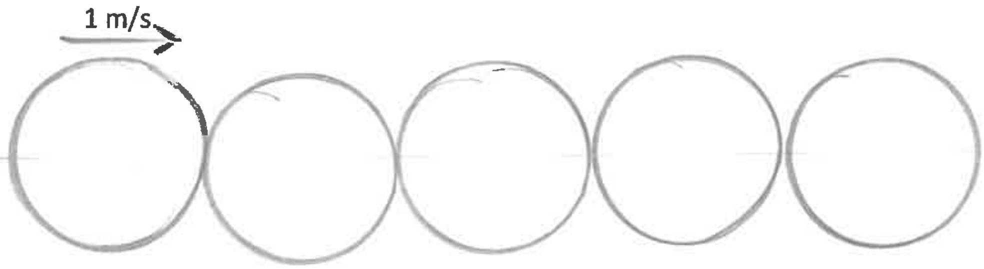
LA CUNA DE NEWTON 2 (las bolas adivinas).

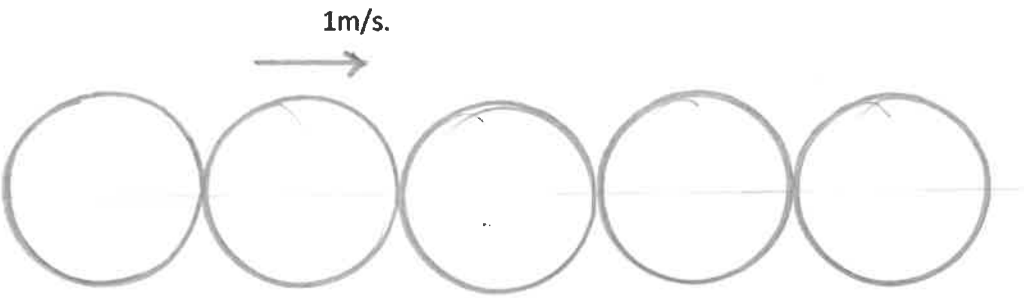
En el escrito anterior sobre la Cuna de Newton vimos algo nuevo que no había sido tratado hasta ahora, (al menos yo no lo he visto); la fuerza del choque, así como el tiempo que pasaba entre el comienzo y el final, es decir, desde que la bola 1 iniciaba el choque contra la 2, hasta que la bola 5 se ponía en movimiento. Obtuvimos que era de unas pocas cienmilésimas de segundo, pero no era instantáneo.

En la figura se representan los instantes en los que se producen las diversas partes del choque, así como qué bolas están en reposo y cuales en movimiento.

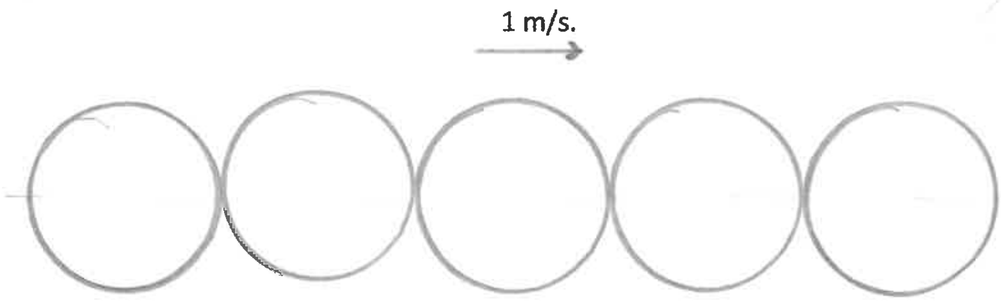
Instante inicial, T=0, justo antes de comenzar el choque-



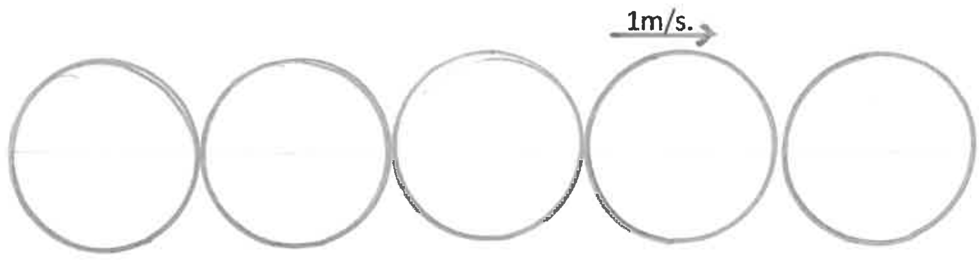
Segundo instante, T=4 millonésimas de segundo.



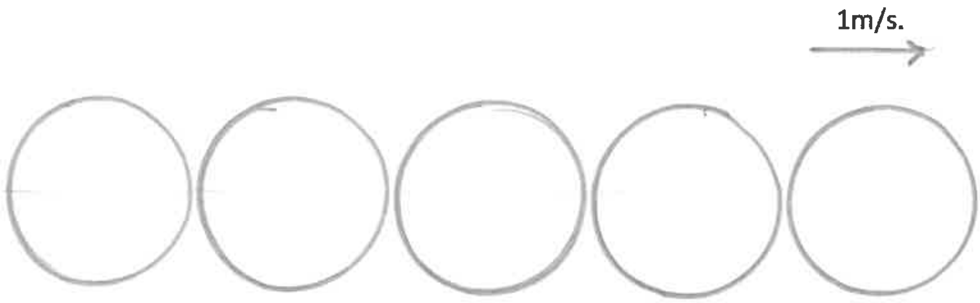
T=8 millonésimas de segundo.



T=12 millonésimas de segundo.



T=16 millonésimas de segundo.



No es de extrañar que lo percibamos como instantáneo, aunque no lo sea. Siendo el intervalo muy pequeño, nuestros sentidos a veces engañan a nuestra intuición. Por ejemplo, tanto en la televisión como en el cine, percibimos las imágenes como continuas cuando en realidad no lo son.

En 16 millonésimas de segundo pueden suceder muchas cosas, por ejemplo, la luz en ese intervalo de tiempo recorre 4,8 km. También en 16 millonésimas de segundo la bola 1 del Péndulo de Newton transmite su cantidad de movimiento y su energía cinética a la bola 5. Nuestro oído puede detectar sonidos de hasta 20.000 vibraciones en un segundo. Cada vibración dura 2 cienmilésimas de segundo. Todos lo números son relativos, no se puede decir sin comparar que algo es grande o pequeño, o que dura poco o mucho.

Vamos a jugar un poco teóricamente con la Cuna de Newton, estudiando diversos casos.

Caso 1º.

Si ahora unimos las bolas 2, 3 y 4 entre sí, por ejemplo, con algún adhesivo fuerte o un pequeño punto de soldadura, que no aumente la masa de las bolas, ¿Qué es lo que ocurrirá? Ahora las bolas 2 3 y 4 están unidas, no solamente en contacto.

Si apelamos a nuestra intuición, pensamos que sin el adhesivo las bolas 2, 3 y 4 permanecían en reposo, por lo tanto, con el adhesivo no modificamos para nada las condiciones del experimento, las bolas 2, 3 y 4 siguen en reposo, pero unidas, no solamente juntas, y pensamos que la bola 5 saldrá casi instantáneamente (16 millonésimas de segundo después) con la velocidad que traía la bola 1, de igual forma que en el ejemplo del escrito anterior.

Pero la intuición nos puede engañar. Para saberlo hemos echado mano de la física.

Yo no he hecho el experimento de unir las tres bolas, pero tengo confianza en la física y estoy seguro de que, si alguien lo realiza, obtendrá lo que vamos a deducir a continuación.

En este caso tenemos la bola 1 de masa m, y supongamos para simplificar los cálculos que choca con las otras bolas a una velocidad de 1 m/s. Esta bola percute contra las tres bolas unidas de masa total 3m.

Por la conservación de la cantidad de movimiento antes y después del choque podemos poner $P=m\cdot 1$, si llamamos P a la cantidad de movimiento en el instante anterior al choque. Solo está en movimiento la bola 1 y su velocidad es de 1 m/s.

En las figuras, las bolas 2, 3, y 4 se representan unidas rígidamente mediante una línea.

Llamemos primer instante (t=0) al inmediatamente anterior al choque inicial. Ver la figura 1.

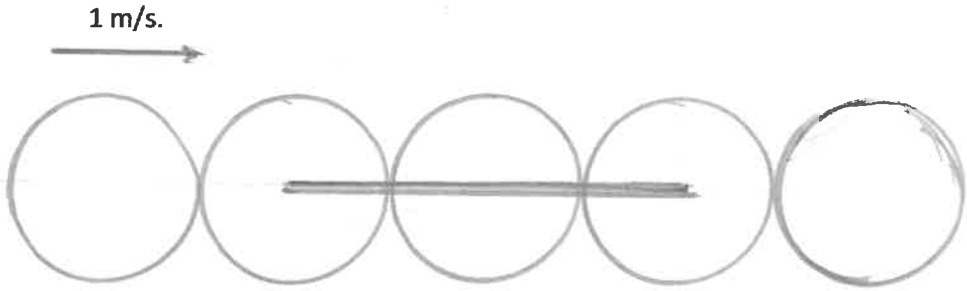


Figura 1. Primer instante. T=0

Llamemos segundo instante (ver figura 2.) al que tiene lugar cuando las tres bolas unidas chocan con la 5. Llamemos Va a la velocidad de la bola 1 después del choque y Vb a la del grupo 2,3,4. Por la conservación de la cantidad de movimiento podemos poner $P=m\cdot 1=m\cdot Va+\cdot 3m\cdot Vb$, y simplificando tenemos que $1=Va+3\cdot Vb$ es decir $Va=1-3\cdot Vb$ (1).

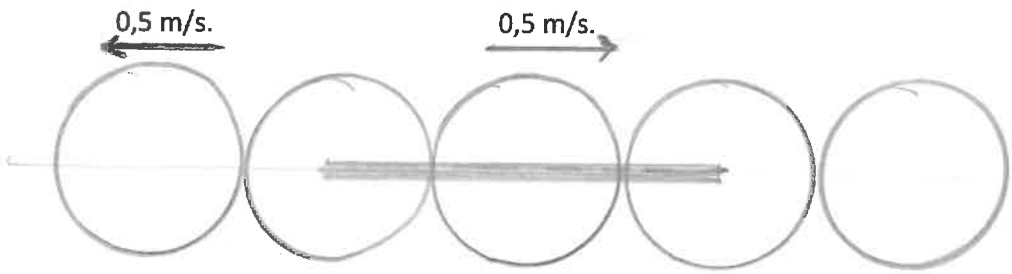


Figura 2, Segundo instante. T=12 millonésimas de segundo.

La energía cinética antes del choque vale $m\cdot 1^2/2$ y en el instante posterior al choque $m\cdot Va^2/2+3\cdot m\cdot Vb^2/2$.

Igualando las dos expresiones y simplificando se obtiene $1=Va^2+3\cdot Vb^2$, sustituyendo el valor de Va obtenido en (1) $1=(1-3\cdot Vb)^2+3\cdot Vb^2$, operando $1=1+9\cdot Vb^2-6\cdot Vb+3\cdot Vb^2$.

De aquí obtenemos $12\cdot Vb^2-6\cdot Vb=0=Vb\cdot(12\cdot Vb-6)$. Esta ecuación tiene dos soluciones $Vb=0$ y $12\cdot Vb-6=0$ es decir $Vb=6/12=0,5$. Sustituyendo en (1) obtenemos los valores de Va correspondientes, 1 y -0,5. Va después del choque no puede ser 1 pues se lo impiden las otras bolas al ser Vb=0. La solución posible es Va=-0,5 m/s y Vb=+0,5 m/s.

Es decir, la bola 1 rebota (signo negativo) con la mitad de la velocidad que traía y las tres bolas unidas intentan ir hacia la derecha con esa misma velocidad de 0,5 m/s. tal y como aparece en la figura 2.

Aunque aparentemente según nuestra intuición no hemos modificado nada, la bola 1 ha "adivinado" que algo hemos hecho, que las bolas 2, 3 y 4 están unidas, y en vez de quedarse quieta rebota con 0,5 m/s.

Decimos que las tres bolas "intentan" desplazarse hacia la derecha con la velocidad de 0,5 m/s. pero se lo impide la bola 5.

Vamos a estudiar el tercer instante, este choque de las bolas 2,3 y 4 unidas entre sí contra la bola 5.

Tercer instante. Ver la figura 3. (16 millonésimas de segundo)

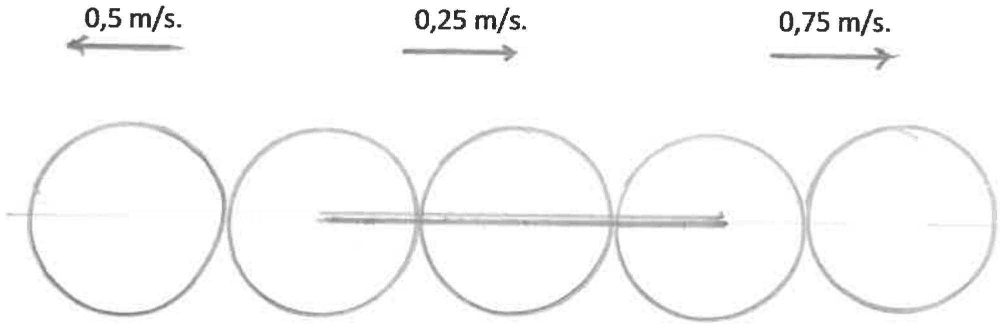


Figura 3.

Lamemos Vc a la velocidad del bloque de las tres bolas unidas después del choque contra la bola 5 y Vd a la velocidad de esta bola después del choque.

Aplicando las dos conservaciones de la candad de movimiento y de la energía cinética antes y después del choque podemos poner.

Cantidad de movimiento inicial $P=m\cdot 1$

Cantidad final $-0{,}5\cdot m+3\cdot m\cdot Vc+m\cdot Vd$, igualando y simplificando $1=-0{,}5+3\cdot Vc+Vd$

Despejando $Vd=1{,}5-3\cdot Vc$ (2)

Energía cinética inicial $E_c=m\cdot 1^2/2=m/2$

Energía después del choque de las tres bolas unidas con la 5, $m\cdot 0{,}5^2/2+3\cdot m\cdot Vc^2/2+m\cdot Vd^2/2$

Igualando ambas expresiones y simplificando $1/2=0{,}5^2/2+3\cdot Vc^2/2+Vd^2/2$, sustituyendo el valor de Vd obtenido en (2) y simplificando, $1=0{,}5^2+3\cdot Vc^2+(1{,}5-3\cdot Vc)^2$, operando $12\cdot Vc^2-9\cdot Vc+1{,}5=0$, esta es una ecuación de segundo grado que tiene dos soluciones, $Vc=1/2$ y $Vc=1/4$ sustituyendo en (2) nos da para Vd dos posibles soluciones $Vd=0$ y $Vd=0{,}75$ m/s. respectivamente.

La primera solución matemática es $Vd=0$, $Vc=1/2$ m/s. Lo cual es imposible pues si $Vd=0$ las tres bolas unidas tendrían impedido su movimiento por la 5ª bola y su velocidad no podría ser 0,5 m/s. Esta solución matemática no se puede dar físicamente.

La otra solución $Vd=0{,}75$ y $Vc=0{,}25$ es la única posible (la que aparece en la figura 3), pues la bola 5 moviéndose a 0,75 m/s. no impide que las tres bolas unidas avancen a 0,25 m/s.

Caso 2º-

Soltamos a la vez las bolas 1 y 2 juntas, pero no unidas.

En la figura 4 se muestra el instante anterior al primer choque, (llamémosle instante 1, t=0), las bolas 1 y 2 tienen una velocidad de 1 m/s y las demás están quietas.

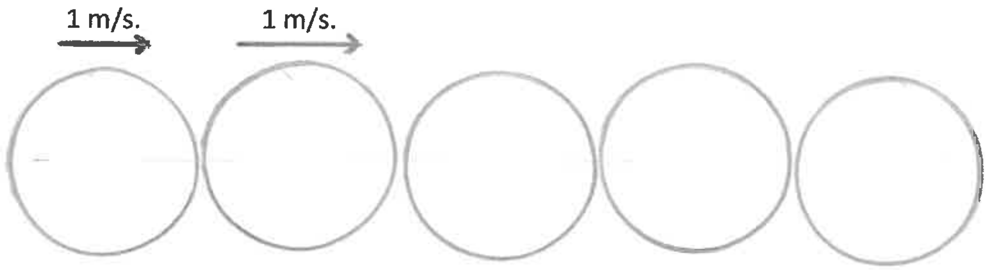


Figura 4. Instante 1.

En el siguiente instante, (instante 2, t=4 millonésimas de segundo) la bola 2 percute contra la 3 y como hemos deducido en el escrito anterior, la bola 3 adquiere la velocidad de 1 m/s y la 2ª se para,

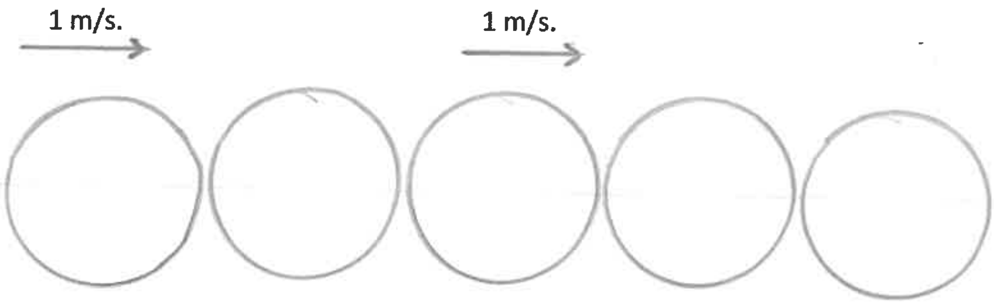


Figura 5, Instante 2.

En el siguiente instante (instante 3, t=8 millonésimas de segundo), la bola 1 choca contra la 2 y la 3 contra la 4. Las bolas 1 y 3 se paran.

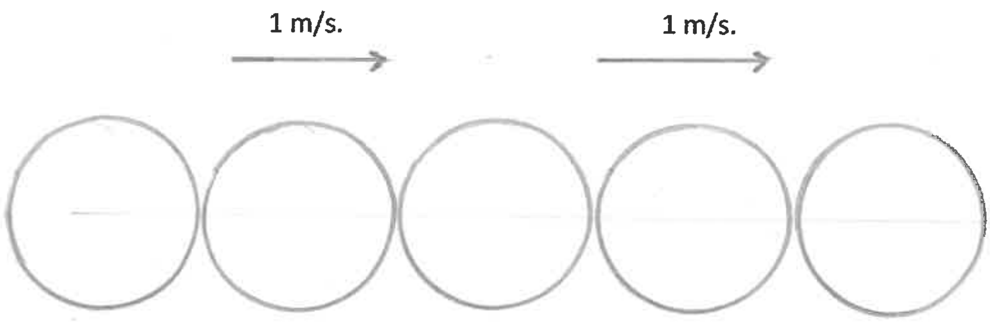


Figura 6. Instante 3.

Cuarto instante (12 millonésimas de segundo), la bola 2 choca contra la 3 y la 4 contra la 5. Las bolas 2 y 4 se paran y las 3 y la cinco intentan desplazarse. La 3 tiene impedido su movimiento de avance, pero las 5 adquiere la velocidad de 1 m/s.

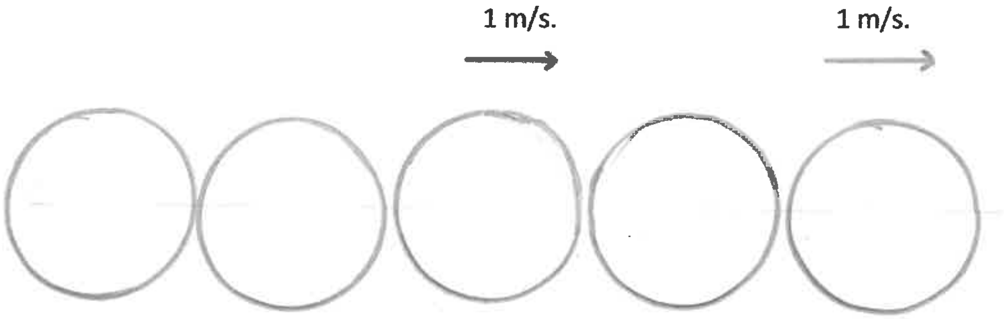


Figura 7. Cuarto instante

Quinto instante, (16 millonésimas de segundo), la bola 3 choca contar la 4, la 3 se para y la 4 avanza 4 millonésimas de segundo después de que la 5 haya salido, y a la velocidad de 1 m/s=100 cm/s, ha recorrido d=V·t=100·0,000004=0,0004 cm. Para nuestro sentido de la vista las bolas 4 y 5 salen juntas.

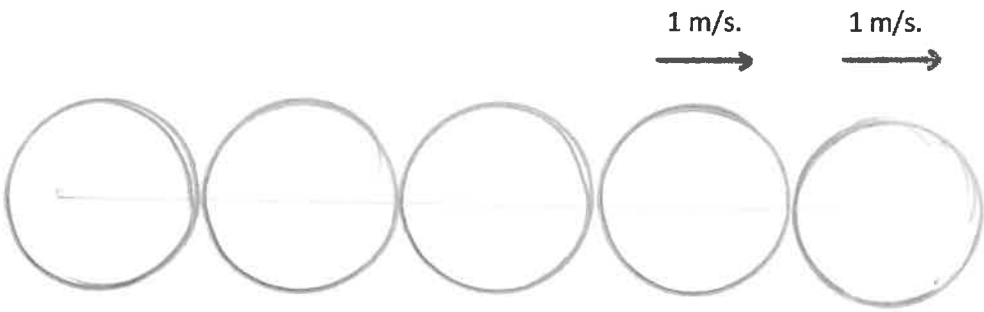


Figura 8. Quinto instante.

Anton del Campo

Ingeniero Industrial.