

REVOLUCIONES MATEMÁTICAS: EMMY NOETHER

Las *leyes de conservación* son leyes físicas que aseguran que en un sistema aislado, ciertas magnitudes tienen un valor que no varía con el paso del tiempo.

Emmy Noether ideó las matemáticas necesarias para entender y resolver el problema de la *conservación de la energía*, que afirma que, hagamos lo que hagamos, la energía ni se crea ni se destruye (solo se transforma). Más allá de eso, Noether demostró que siempre que haya una *invarianza de un sistema físico*, es decir, una transformación que, al aplicarla, deja el sistema tal y como estaba, entonces existe una ley de conservación.

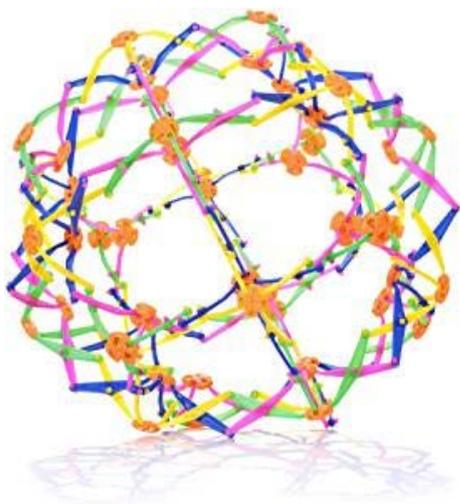
Un ejemplo sería la ley de conservación del *momento angular*. **El momento angular** es una magnitud física, medida en $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$, de cuerpos que están girando. El momento angular de una masa puntual m que gira a velocidad v con radio de movimiento de giro r es:

$$L=r\cdot m\cdot v$$

Principio de conservación del momento angular: en ausencia de fuerzas exteriores el momento angular se conserva.

Hay muchos fenómenos en los cuales la conservación del momento angular tiene mucha importancia. Por ejemplo, al hacer una pirueta, un patinador toma impulso con los brazos y una pierna extendida para aumentar su radio alrededor de la vertical (debido a que la masa es siempre la misma). Después, cerrando los brazos y la pierna, disminuye el radio, aumentando la velocidad de rotación. Para terminar la pirueta, la extensión de los brazos y una pierna, permite disminuir esta velocidad de rotación. Pero también es posible observar este fenómeno en casa, solo hacen falta unas pocas manualidades.

Experimento con una bola “expandaball”



Para realizar este experimento necesitamos una bola como la de la imagen anterior, que se abre y se cierra. Es un objeto idóneo para poder modificar el radio de giro sin que la masa se modifique. No es difícil de encontrar en tiendas tipo “todo a un euro” y también se puede comprar a precios muy económicos por internet en diferentes tiendas online, simplemente busca “expandaball” o “bola juguete expandible”. Existen en diversos tamaños, cuanto

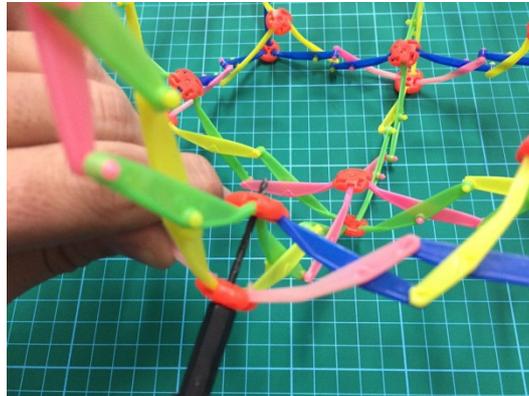


mayor sea mejor se verá el efecto del experimento. Con una de 40 cm de diámetro (expandida) se observa el fenómeno perfectamente.

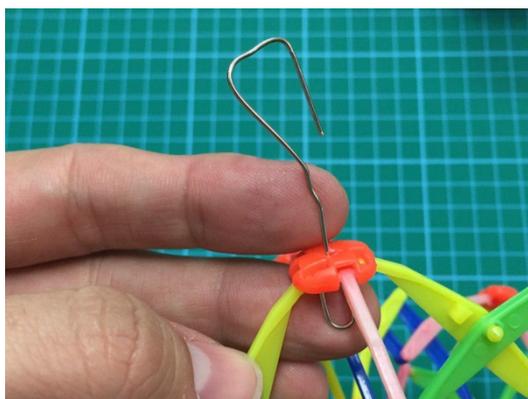
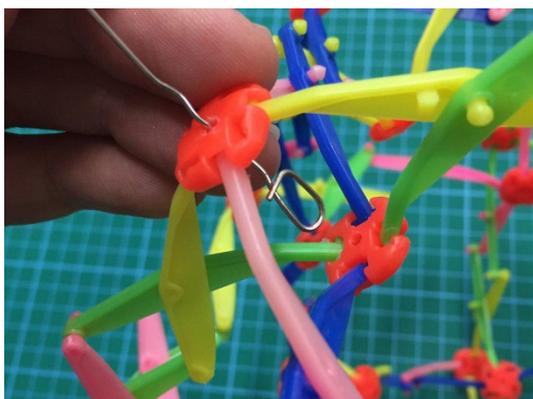
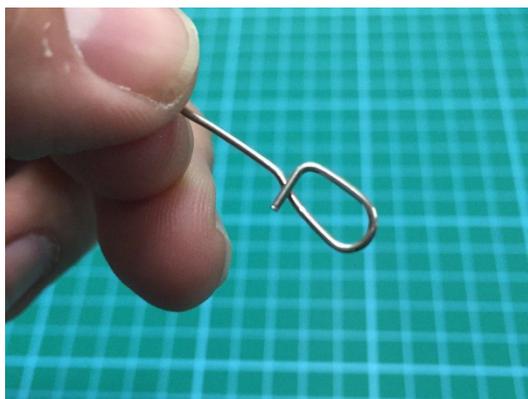
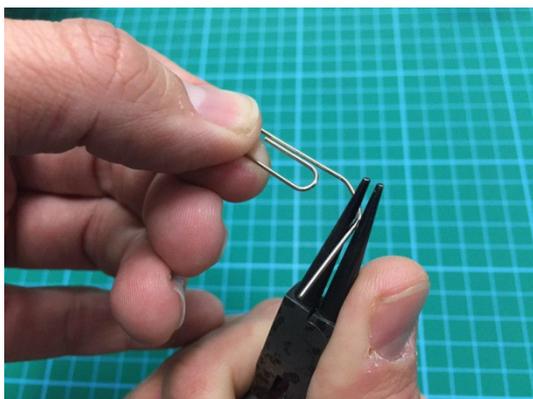
Además de la bola necesitaremos hilo resistente, un clip o trozo de alambre, una tuerca u otro clip que nos sirva como peso para tener el hilo tenso, unos alicates y una taladradora, o alguna herramienta con la que podamos hacer un pequeño agujero en algunas de las piezas de la bola para pasar el hilo, y poder colgar la bola.



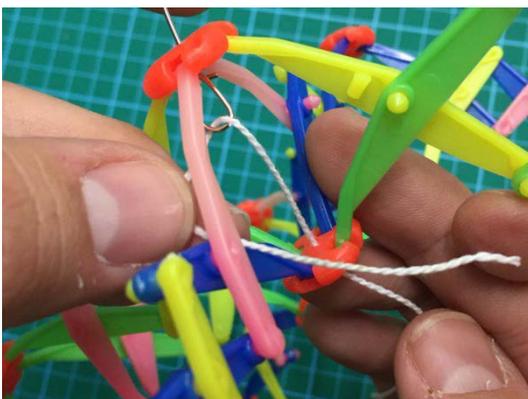
En primer lugar, agujeraremos dos extremos opuestos de la bola. Tendremos que hacer un agujero con la taladradora, muy fino, a través de cuatro puntos de la bola (ya que hay que pasar por dos zonas en cada uno de los puntos diametralmente opuestos). En la imagen puede verse dos de estos agujeros en un punto cualquiera de la bola. Tras ellos, tendremos que agujerear justo los que están en el lado contrario.

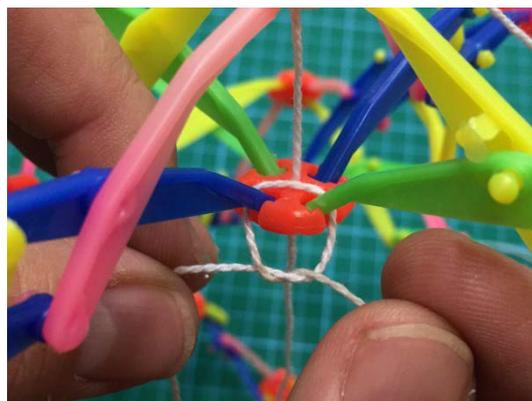
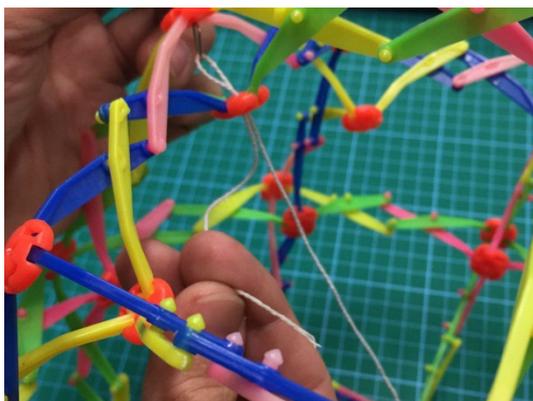


Por otro lado, deformamos un clip para ponerle forma de gancho. Con ayuda de unos alicates, alargamos el alambre y damos forma a los extremos. Por un extremo necesitamos darle forma de anillo, por ahí haremos pasar el hilo y el clip actuará como si fuese una pequeña polea. Por el otro extremo una forma de gancho mediante el que colgaremos toda la estructura. Primero alargamos el clip, y hacemos el anillo en un extremo. Este clip tenemos que meterlo por uno de los agujeros externos de los hechos en la bola, dejando la parte del anillo hacia el interior. A continuación, daremos la forma de gancho por el otro extremo del clip.



A continuación tenemos que pasar el hilo por los agujeros. Primero pasaremos el hilo, desde fuera hacia dentro, por los dos agujeros opuestos al extremo en el que tenemos el clip. Luego tiraremos del hilo hasta hacerlo pasar por el agujero de la pieza interna más cercana al clip y, seguidamente, por la arandela que hemos formado en el extremo del clip. Para el recorrido de vuelta tendremos que hacerlo pasar de nuevo por el agujero interno al lado del anillo. Por último, al llegar al extremo inicial, lo ataremos con un nudo, alrededor del agujero interior.





Esta forma de atar el hilo nos permite abrir y cerrar la bola al tirar del extremo libre. Como nuestro objetivo es colgar la bola, vamos a atar una arandela, tuerca o cualquier otro objeto similar para que haga de peso y mantenga el hilo tenso hacia abajo. Dejaremos la tuerca colgando a unos 40 o 50 cm de la bola por la parte inferior, para que no afecte al sistema.



Ya tenemos nuestra bola lista para colgarla. Es importante colgarla de otro hilo para que permita fácilmente el giro.



¿En qué consiste el fenómeno?

Al tener colgada nuestra bola el propio peso de la misma hará que quede abierta, pero si tiramos del hilo, el sistema que hemos preparado hará que la bola se cierre.

Si estando la bola abierta le damos un pequeño impulso, para hacer que gire lentamente, podemos comprobar como al tirar del hilo la velocidad de giro aumenta rápidamente, y vuelve a disminuir si de nuevo liberamos lentamente el hilo y permitimos que la bola vuelva a expandirse.

Esto es una comprobación experimental del principio de conservación del momento angular, al modificar el radio de giro se modifica de manera proporcionalmente inversa la velocidad angular, dejando la masa constante, para que el resultado final del momento angular se mantenga constante.

¿Se te ocurren otros sistemas similares dónde se puede comprobar este fenómeno?

