Cuatro experiencias con la fuerza centrípeta · Fernando Casadevante Paniagua, Carmen Martínez Herreros y Pablo Cassinello Espinosa

Esta experiencia fue presentada a los Premios a la Labor Docente en el Fomento de la Experimentación en Física y Química.

Las demostraciones experimentales presentadas tienen por objetivos:

- Visualizar cuatro movimientos circulares distintos debidos a la fuerza centrípeta.
- Reconocer en cada caso las fuerzas responsables de esta fuerza centrípeta.
- Comprobar que el cálculo de la fuerza centrípeta puede realizarse mediante las fuerzas implicadas, o bien utilizando la fórmula de masa por aceleración normal.
- Clarificar mediante ejemplos que la fuerza centrípeta es la responsable de un mua y no la fuerza centrífuga.
- Clarificar que la fuerza centrípeta es una fuerza real, mientras que la centrífuga es imaginaria.

Se puede llevar a cabo en los cursos de ESO en que se aborda el movimiento circular, pero es en 4.º ESO y 1.º Bachillerato cuando se estudia con mayor profundidad la fuerza centrípeta.

Fundamento

La fuerza centrípeta actúa sobre un objeto resultando un movimiento curvilíneo. Está dirigida siempre hacia el centro de su trayectoria. Es necesaria para mantener los cuerpos en curvas. Causa un cambio en la dirección del vector velocidad. La fuerza centrípeta puede ser una fuerza o una combinación de dos o más fuerzas. Por ejemplo, cuando una bola pasa por el punto más bajo de un looping la fuerza centrípeta es la diferencia entre la fuerza normal ejercida por la base y la fuerza peso. En general, la fuerza resultante de un cuerpo que gira se pude descomponer en una componente radial o centrípeta y en otra perpendicular tangencial. Pero en el movimiento circular uniforme la fuerza centrípeta es la única responsable del movimiento. No es una fuerza fácil de identificar por lo que conviene realizar experiencias en que se analiza. Es un error muy extendido confundir la fuerza centrípeta con la centrífuga. Mientras que una es real, la segunda es ficticia. La fuerza centrífuga solo existe desde el punto de vista del cuerpo que gira, es una fuerza imaginaria. Pero, se confunden porque tienen el mismo valor. En Secundaria y Bachillerato, acertadamente no es conveniente utilizar la fuerza centrífuga en la resolución de problemas de Dinámica. Pero en cursos elevados sí se utiliza. Por ejemplo, para problemas relacionados con los de la experiencia B en montañas rusas.

También es un error por parte del alumnado, considerar que la centrípeta es una fuerza más a añadir. En el caso de un movimiento circular uniforme, hay que insistir en que se trata de la fuerza resultante de las presentes. Por ejemplo, en el movimiento de la luna alrededor de la tierra se cree que hay dos fuerzas: la de gravedad que ejerce la tierra y por otro lado la fuerza centrípeta porque está girando. No es así, hay que aclarar que la fuerza centrípeta es la fuerza resultante de todas las que se manifiestan. Así en este caso, la fuerza

centrípeta es igual a la fuerza de gravedad que ejerce la tierra sobre la luna. Lo mismo ocurre en la experiencia en que los vasos con agua están girando. La fuerza de gravedad sobre el agua en el punto más alto equivale a la fuerza centrípeta cuando gira con velocidad mínima. La fuerza centrípeta es igual a la masa por la aceleración normal: $F= m\ a_n = m\ v^2 / R$.

Materiales y procedimiento experimental

Hemos realizado 4 experiencias distintas para explicar la fuerza centrípeta.

A) Giro horizontal de objeto atado a una cuerda con peso colgado.
B) Giro en looping de bola en montaña rusa
C) Giro recipiente con agua.
D) Giro horizontal de canicas en copa

- Para la experiencia A se necesita una cuerda atada a una pelota de tenis, y a un peso por el otro extremo. También un tubo con tapón horadado. Se pasa la cuerda por el tubo con el tapón horadado, dejando el peso en la parte inferior. Cuando se gira se observa que el peso va subiendo hasta que la fuerza centrípeta que actúa sobre la bola es igual a la tensión de la cuerda e igual al peso.
- Para la experiencia B necesitamos 4 vasos de plástico con agua que se disponen en una bandeja que tiene atadas 3 cuerdas para poder colgar y que permanezca horizontal. Se trata de girar rápido verticalmente la bandeja de tal manera que el agua de los vasos no caiga.
- Para la experiencia C, necesitamos realizar una montaña rusa que tenga un looping. El material utilizado consiste en los tubos de porexpán para proteger los tubos metálicos exteriores. Como se detallará después, para salvar el tirabuzón, se debe iniciar el recorrido con una altura mayor a 2,5 veces el radio del looping.
- Para la experiencia D, se necesita una copa grande. Se pueden levantar las canicas de la mesa sin tocarlas haciendo girar la copa.

Aplicaciones didácticas

Experiencia A: Giro horizontal de pelota atada a una cuerda con peso colgado

En este caso, la fuerza centrípeta es proporcionada por la tensión de la cuerda. Al principio de dar vueltas la tensión de la cuerda es mayor que el peso que cuelga, por lo que el peso va subiendo hasta que se alcanza un equilibrio en que la tensión es igual al peso que cuelga e igual a la fuerza centrípeta, si se supone que la masa de la cuerda es despreciable, y por tanto las tensiones en ambos extremos son iguales. En ese momento es muy fácil hallar el valor de la fuerza centrípeta. En nuestro caso es 1,55 N. El movimiento obtenido es, aproximadamente, circular uniforme. Es muy didáctico que el alumnado calcule este valor también utilizando la fórmula: $F= m\ a_n = m\ v^2 / R$. En el propio vídeo se da el valor de la masa de la pelota que gira (58,2 g), la medida del radio (29 cm) y se sugiere que el alumnado halle el periodo como ejercicio práctico. Para facilitarlo se ralentiza la grabación a un tercio. Se les dice que obtienen una medida más exacta si hallan el tiempo que corresponden a un número grande de vueltas (por ejemplo, 8) y que dividan el tiempo entre este número. Si así lo hacen obtienen un tiempo de 15,6 s que al dividirlo entre 3 (por la ralentización del vídeo) da un tiempo real de 5,2 s. Al

ISSN: 2990-0271 Real Sociedad Española de Física y Real Sociedad Española de Química

dividirlo entre 8 se llega al valor del periodo, que es 0,65s. Así que, si realizan bien los cálculos se obtiene:
$F = m\ a = m\ w^2\ R = 58{,}2\ /1000\ (2\pi i\ /\ 0{,}65)^2\ 0{,}29 =$ 1,58 N. No es exactamente el peso y la fuerza centrípeta, 1,55 N, pero se aproxima bastante.

Experiencia B: Giro en looping de bola en montaña rusa
La fuerza centrípeta en el *looping* es proporcionada por la fuerza normal y por la fuerza de gravedad. La fuerza centrípeta en el punto más alto del looping tiene que ser como mínimo igual a la de la gravedad de la canica. Si la bola va lentamente y la fuerza de gravedad es mayor que la se obtiene con la fórmula de la fuerza centrípeta, $F=m\ v_L^2\ /R$, entonces, la fuerza de gravedad no hace girar a la bola, sino que provoca su caída. Así que, en el punto más alto del *looping* (L), tiene que girar suficientemente rápido para que se cumpla al menos: $F = mg = mv_L^2/R$. Sustituyendo este valor del peso, en la igualdad que determina el principio de conservación de la energía entre el punto más alto del *looping* y las condiciones iniciales:

$$Ecin_L + Epot_L = E\ pot\ inicial; \qquad 1/2\ m\ v_L^2 + mgh_L = mghi$$
$$1/2mv_L^2 + (mv_L^2/R)\ h_L = (mv_L^2/R)\ hi$$

Dividiendo por mv_L^2 : $\quad ½ + h_l/R = 1/R\ hi$
Como hL = 2R queda: $\quad ½ + 2R\ /R = 1/R\ hi\ ;\ R/2 + 2R = hi;$ Altura inicial: hi = 2,5 R

Así que la bola debe dejarse caer desde una altura igual o superior a 2,5 veces el radio del *looping*. En el caso grabado en el vídeo, el radio es 16,2 cm. Así que la altura inicial debe ser mayor a 40,5 cm, Ahora bien, como hay pérdidas de energía mecánica en forma de calor debido al rozamiento, se debe lanzar un poco más alto de 40,5 cm. En el vídeo de la demostración experimental se observa que se logra que la bola realice el *looping*, dejando caer la bola inicialmente desde 55 cm de altura.

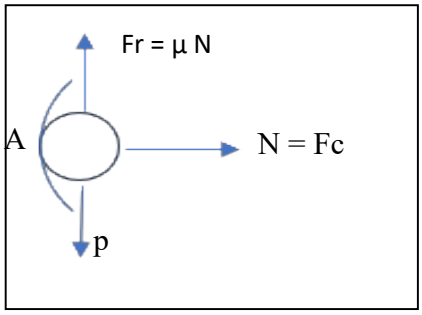
Experiencia C: Giro de un recipiente con agua
No es un movimiento circular uniforme. La tensión de la cuerda no es constante. Cuando se gira la bandeja, en el punto más alto, los vasos con agua no caen porque existe una fuerza centrípeta que obliga a girar al conjunto. La bandeja, en este punto, no cae gracias a la fuerza de tensión de las cuerdas y a la fuerza peso, que proporcionan la fuerza centrípeta. En el caso de los vasos con agua la fuerza centrípeta sobre el agua es debida a la fuerza normal (ejercida por el vaso) y a la fuerza de gravedad o peso. Lógicamente, el agua no cae si el valor mínimo que presenta la fuerza centrípeta sobre ella es igual al peso del agua. Para conseguirlo hay que voltear la bandeja con los vasos suficientemente rápido. La velocidad mínima es:

$$F = mg = mv^2/R;\ v = \sqrt{rg}$$

Puede explicarse lo que ocurre con un ejemplo sencillo referido al movimiento de la luna. La luna gira gracias a la fuerza centrípeta proporcionada por la fuerza gravitatoria de atracción de la tierra. Lo mismo le ocurre al agua en los vasos de esta experiencia en el punto más alto, cuando giran a la velocidad mínima sin verter, la fuerza gravitatoria de atracción de la tierra, el peso del agua, realiza la fuerza centrípeta necesaria para que el agua no caiga y gire. Si se mueven lentamente, la fuerza gravitatoria provocará la caída del agua y no su giro.

ISSN: 2990-0271 Real Sociedad Española de Física y Real Sociedad Española de Química

Experiencia D: Giro horizontal de canicas en copa



Se propone un reto al alumnado: Levantar rápidamente (unos 50 cm) cuatro bolas sin tocarlas. Se consigue realizando un movimiento rotatorio de una copa invertida con las canicas sobre la mesa. Estas adquieren un movimiento circular que llega a ser aproximadamente MCU cuando las canicas giran en la parte más vertical de la copa (punto A del dibujo). Entonces se equilibran las fuerzas verticales y puede levantarse la copa con las bolas: Peso = F_{roz} = μ N.

Figura 1. Diagrama de fuerzas.

La fuerza centrípeta es igual a la normal ejercida por la superficie aproximadamente vertical del lateral de la copa . N = F_c La velocidad que adquieren las canicas se deduce que es: $v = \sqrt{Rg/\mu}$ Efectivamente, p = F_{roz} (o F_r); mg = μ N = μ m v^2/R ; $v = \sqrt{Rg/\mu}$ ¡No influye la masa de las canicas!

Conclusiones

Es de interés y valor didáctico que el alumnado visualice estos cuatro ejemplos de movimiento circular causados por una fuerza centrípeta. Sirven para aclarar en qué consiste esta fuerza, cómo se calcula y qué aplicaciones prácticas puede tener. Son cuatro casos espectaculares e impactantes, en que, en un caso, el agua no cae, en otro la fuerza centrípeta se mantiene por el peso que cuelga, en el tercero, se realiza un looping a toda velocidad sin que caiga una canica y en el cuarto, se consigue levantar canicas gracias a su giro en una copa. Además de despejar dudas sobre cómo es y actúa la fuerza centrípeta, creemos que se contribuye a que el alumnado no considere la física como una asignatura teórica y aburrida, sino que tiene aplicaciones prácticas interesantes. Además, con este tipo de experiencias se favorece a que el alumnado se interese por la ciencia y se fomentan las vocaciones científicas.

Fernando Casadevante Paniagua*, **Carmen Martínez Herreros** y **Pablo Cassinello Espinosa**
IES Diego Velázquez (Torrelodones, Madrid)
*Contacto: fcasadevante@educa.madrid.org

Bibliografía

- Beichner, R. J., R. Serway, R. (2001). *Física para Ciencias e Ingeniería.* McGraw Hill.
- Bloomfield. L. A. (2001). *How things work.* Ed. John Willey & Sons.
- Tipler; P., G. Mosca., G. (2005). *Física para la Ciencia y la Tecnología".* Reverté.