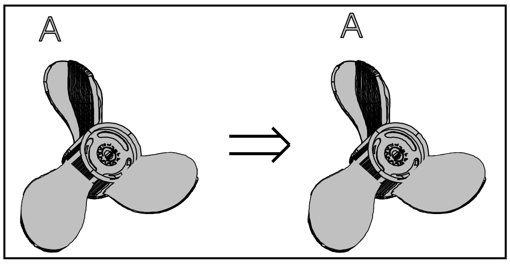
COMPLEMENTOS AL BLOQUE 3: INTERACCIÓN GRAVITATORIA

1. EL SÓLIDO RÍGIDO. MOVIMIENTO DEL SÓLIDO RÍGIDO

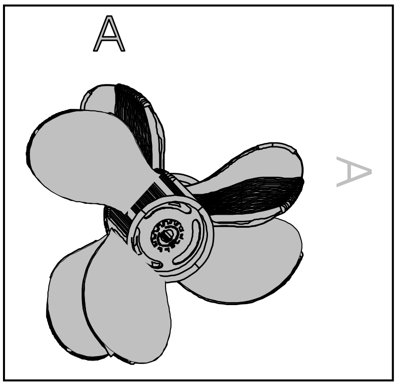
Sólido rígido es un sistema de puntos materiales que se caracteriza por conservar invariable su forma . Es decir, la distancia entre dos puntos materiales cualesquiera permanece invariable. La definición es ideal ya que no existen en la realidad cuerpos que cumplan con esta condición, aunque hay muchos que se aproximan a ella: todos los cuerpos se deforman al encontrarse sometidos a la acción de fuerzas que actúan sobre ellos.

En todo sólido rígido se pueden considerar los siguientes tipos de movimientos:

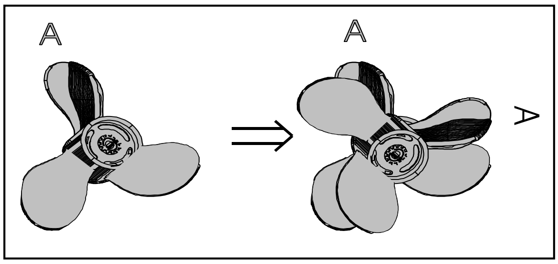
a) **Traslación pura**. Tiene lugar cuando todas las partículas del sólido describen trayectorias paralelas con la misma velocidad. El movimiento se reduce entonces al del centro de masa. Todas las partículas se trasladan en cada instante con la misma velocidad y aceleración.



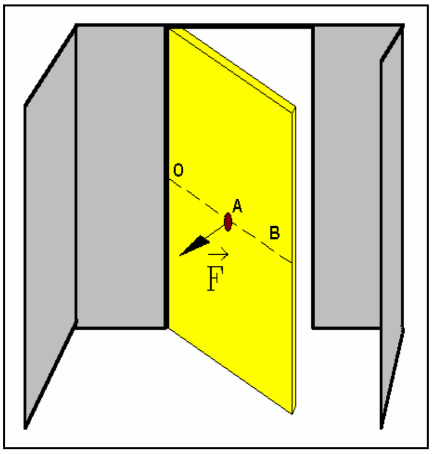
b) **Rotación pura.** Es un movimiento en el que todas las partículas del sólido describen trayectorias circulares con centro en el eje de rotación y situadas en planos perpendiculares al mismo. Ello supone que todos los radio vectores que unen el eje con las distintas partículas describen el mismo ángulo en el mismo tiempo, esto es, la velocidad angular del sólido rígido es única debida a la rigidez del cuerpo**,** actuando todos los radio vectores con la misma aceleración angular si la hubiera; no obstante, la velocidad de traslación aumenta para los puntos más alejados al eje de rotación al aumentar el radio de la trayectoria, y disminuye, por tanto, para los puntos mas cercanos al eje**,** hasta tal punto que las partículas del eje de giro permanecen en reposo.



c) Traslación y rotación combinada. En general es el tipo de movimiento que se da en los sólidos, y cuando esto sucede, el estudio se reduce al estudio de una traslación y rotación combinadas. Así el movimiento del cuerpo de la figura se reduce al de traslación de su C.M. de un punto inicial a otro final y a una rotación en el punto final alrededor de un eje que pasa por el C.M.



2. DINÁMICA DE ROTACIÓN

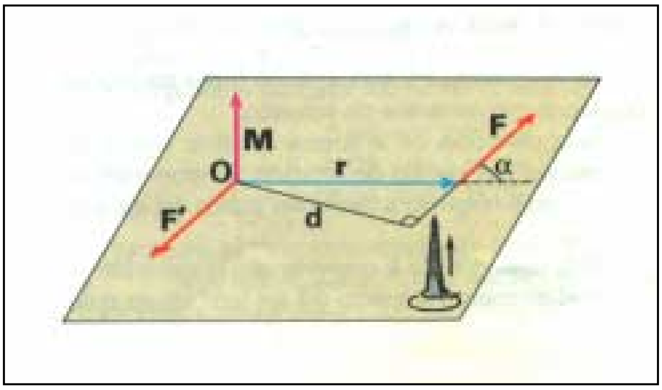


Cabe preguntarse ahora: ¿cuál es la causa que origina el movimiento de rotación?, ya que ese es el objetivo de la dinámica. Antes de contestar, piénsese en un sólido que frecuentemente se mueve girando. Por ejemplo, una puerta…

Para que una puerta se abra es necesario aplicar una fuerza sobre el tirador, pero la experiencia demuestra que no es lo mismo que el tirador esté situado en la posición que muestra la figura (A) o en una posición distinta (B**,** O). También demuestra la experiencia que si el tirador está en el extremo libre de la puerta (B) se puede producir el mismo efecto con la aplicación de una fuerza menor. También influye la dirección en la que se aplica la fuerza: si la fuerza es paralela al eje de giro no se produce la rotación.
Para entender cómo se ha producido la rotación no hay más que considerar la fuerza de reacción que se ha producido en el eje, y que, con la aplicada, forma un par de fuerzas, es decir dos fuerzas paralelas del mismo módulo y sentido contrario, siendo su efecto producir una rotación.

Cuestión 1
Si en la puerta de la figura aplicas fuerzas en B y A, dibuja en cada caso las fuerzas de reacción que hagan posible explicar el giro de la puerta.

El razonamiento hecho, basado en la experiencia, permite concretar que los movimientos de rotación se producen por aplicación de fuerzas a ciertas distancias de un eje de giro y bajo determinados ángulos: en física se introduce pues, una nueva magnitud que tiene en cuenta la fuerza, la distancia de aplicación de la fuerza y el ángulo bajo el que se aplica, que se conoce como momento de una fuerza respecto a un punto**.** Los efectos de las fuerzas se miden por sus momentos, de manera que dos fuerzas producen el mismo efecto si sus momentos con respecto al eje de rotación son iguales.



El momento de una fuerza con respecto a un punto se define matemáticamente como el producto vectorial del vector de posición y del vector fuerza, y tiene como propiedad el que no varía si el vector fuerza se desliza a lo largo de la línea de acción. Así, para la fuerza *F* de la figura, el momento con respecto al punto O vendrá dado por:

$$\boxed{\vec{\mathbf{M}} = \vec{\mathbf{r}} \wedge \vec{\mathbf{F}}}$$

Como todo vector axial, viene caracterizado por:

El módulo: $M = r\,F\,\mathrm{sen}\,\alpha = d\cdot F$

La dirección**:** es perpendicular al plano que forman $\vec{r}$ y $\vec{F}$

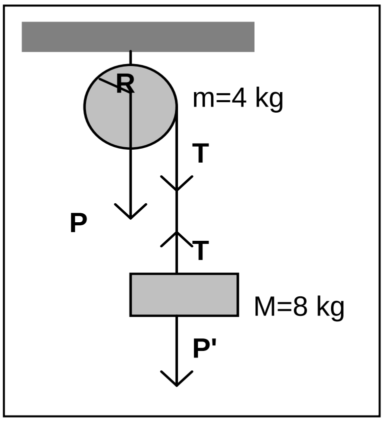
El sentido**:** siguiendo la regla del sacacorchos al ir de $\vec{r}$ a $\vec{F}$ por el camino más corto (tanto el vector posición como el vector fuerza han de tener el mismo origen).

En el caso de existir varias fuerzas aplicadas a distintas distancias del eje sobre el que se va a producir el giro, el momento total es la resultante de los distintos momentos individuales:

$$\vec{M} = \sum_{i=1}^{i=n} \vec{M}_i = \sum_{i=1}^{i=n} \vec{r}_i \wedge \vec{F}_i \quad \text{(no se consideran fuerzas internas)}$$

EJEMPLO 1

De una polea de 4 kg de masa y 5 cm de radio cuelga un cuerpo de 8 kg que desciende con velocidad constante. Identificar las fuerzas que intervienen en la polea y hallar el momento resultante de estas fuerzas respecto al eje de giro.



En la figura se han dibujado las distintas fuerzas sobre la polea:

P peso de la polea**,** debido a la fuerza gravitatoria, aplicada en el centro de masas y por tanto sobre el eje de giro de la polea.

T Tensión de la cuerda. La aplicada en la polea se encuentra a una distancia *R* del eje de giro y forma un ángulo de 90º con el vector *r* que uniría el eje de giro y dicha fuerza *T*.

La única fuerza que produce momento es la de la tensión ya que el peso de la polea *P* al estar aplicado sobre el eje tiene un momento nulo. En el caso de la tensión se necesita calcular primero su valor. Para ello se aplica la dinámica de traslación al cuerpo de masa *M,* que es el que se traslada.

$P' - T = 0$ por moverse el sistema a velocidad constante y siendo $P' = M\cdot g$

$T = M\cdot g = 8\cdot 9{,}8 = 78{,}4\ N$

Para la rotación de la polea se aplica el momento *M* de la tensión respecto al eje de giro de la polea*:*

$M = R\cdot T\cdot sen\ 90 = 0{,}05\cdot 78{,}4\cdot 1 = \mathbf{3}{,}92\ \mathrm{N\cdot m}$

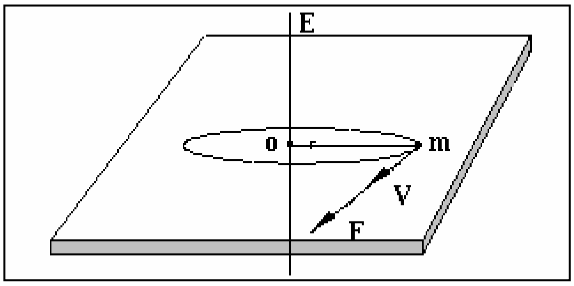
Para resumir se puede terminar diciendo: para que un cuerpo sin rotación se acelere es necesario que el momento de las fuerzas aplicadas a ese sólido respecto de cualquier punto sea distinto de cero**.** En el caso de que el cuerpo girase inicialmente, la existencia de un momento resultante le hace cambiar al sólido la velocidad angular de giro, es decir, produce en el sólido una aceleración angular[1].

---

[1] *Siempre y cuando el momento de inercia del cuerpo con respecto al eje de giro no cambie, como se verá más adelante.*

3. MOMENTO CINÉTICO O MOMENTO ANGULAR. MOMENTO DE INERCIA

a) DE UNA PARTÍCULA. Sea una partícula de masa *m* que gira alrededor de un punto fijo O en virtud de la aplicación de una fuerza tangencial $\vec{F}$. Si en un instante determinado su velocidad es $\vec{v}$, se define su cantidad de movimiento o momento lineal como $\vec{p} = m\vec{v}$, magnitud propia de la dinámica de traslación.



En la rotación se define el momento cinético o angular de la partícula de masa *m* al momento de su cantidad de movimiento con respecto a un punto del eje de giro[2], y es igual al producto vectorial del vector de posición y del vector cantidad de movimiento.

$$\boxed{\vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{p}}$$

Para el caso anterior el vector tendrá:

Módulo: $L = rp\,sen 90^o = r\,m\,v = r\,m\,\omega\,r = r^2\,m\,\omega = I \cdot \omega$

Siendo $I = mr^2$ el momento de inercia de la partícula con respecto al punto o eje de giro. Representa la inercia a la rotación y desempeña un papel análogo al jugado por la masa en las traslaciones.

La dirección de $\vec{L}$ es perpendicular al plano que determinan $\vec{r}$ y $\vec{p}$ y es la misma que la velocidad angular.

El sentido es el dado por la regla de *Maxwell*.

Por lo tanto, se puede escribir finalmente que: $\boxed{\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}}$

Su unidad es <u>kg·m²·rad/s</u> y la ecuación de dimensión: $[L] = ML^2T^{-1}$

---

[2] El momento angular de una partícula con respecto al eje de giro es el mismo independientemente del punto del eje considerado y por lo tanto coincide con el módulo del momento angular con respecto al punto O, que se encuentra sobre dicho eje.

b) DE UN SÓLIDO RÍGIDO.

Supongamos un sólido cualquiera que gira alrededor de un eje fijo .Cada partícula del sólido tiene un momento cinético. Así para la partícula 1 vendrá dado por

$$L_1 = \vec{r}_1 \wedge m_1\vec{v}_1$$

para la partícula 2:

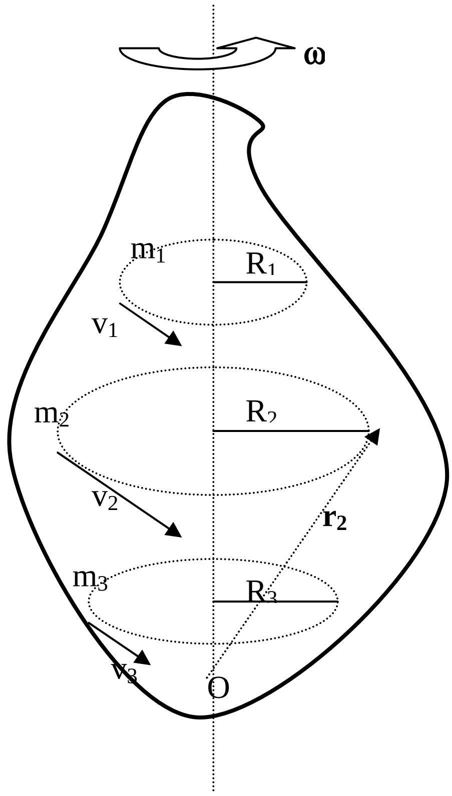
$$\vec{L}_2 = \vec{r}_2 \wedge m_2\vec{v}_2$$

para la partícula n:

$$\vec{L}_3 = \vec{r}_3 \wedge m_3\vec{v}_3$$

la dirección de los $\mathbf{L_i}$ será en cada caso perpendicular a los $\mathbf{r_i}$ y $\mathbf{v}_i$ correspondientes. El momento cinético total del sólido:

$$\vec{L} = \vec{L}_1 + \vec{L}_2 + ... + \vec{L}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{r}_i \wedge m_i\vec{v}_i$$



Su módulo valdrá:

$$L_i = r_i m_1 v_i \operatorname{sen} 90 = m_i r_i v_i$$

En general la dirección del momento cinético, **L**, no será paralela al eje de giro y por lo tanto tampoco a $\boldsymbol{\omega}$. En este curso interesan sólo los casos en que **L** y $\boldsymbol{\omega}$ sean paralelas, en este caso se cumple que

$$\boxed{\vec{L} = I\vec{\omega}}$$

siendo I el momento de inercia del sólido:

$$I = \sum_{i=1}^{n} m_i R_i^2$$

Cuestión 2
Contesta a las siguientes preguntas: a) Diferencias y similitudes más significativas entre el momento de inercia y la masa; b) ¿Existen momentos de inercia negativos?

4. ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA DINÁMICA DE ROTACIÓN

Si se tiene en cuenta el tiempo de actuación de la fuerza sobre el sólido rígido (y el momento de inercia permanece constante), la variación que experimenta el momento cinético con respecto al tiempo será:

$$\frac{d\vec{\mathbf{L}}}{dt}=\frac{d}{dt}(I\vec{\omega})=I\frac{d\vec{\omega}}{dt}+\vec{\omega}\frac{dI}{dt}$$

como el momento de inercia I es una constante para cada eje

$$\frac{dI}{dt}=0$$

y por lo tanto

$$\frac{d\vec{\mathbf{L}}}{dt}=\frac{d}{dt}(I\vec{\omega})=I\frac{d\vec{\omega}}{dt}=I\vec{\alpha}$$

Por otra parte :

$$\frac{d\vec{\boldsymbol{L}}}{dt}=\frac{d}{dt}(\vec{\boldsymbol{r}}\wedge\vec{\boldsymbol{p}})=\vec{\boldsymbol{r}}\wedge\frac{d\vec{\boldsymbol{p}}}{dt}+\vec{\boldsymbol{p}}\wedge\frac{d\vec{\boldsymbol{r}}}{dt}\Rightarrow\frac{d\vec{\boldsymbol{L}}}{dt}=\vec{\boldsymbol{r}}\wedge\frac{d\vec{\boldsymbol{p}}}{dt}=\vec{\boldsymbol{r}}\wedge\vec{\boldsymbol{F}}=\vec{\boldsymbol{M}}$$

que es el momento de la fuerza aplicada, denominado **momento de rotación** o momento de giro, como ya se ha visto, ya que el segundo miembro, $\vec{\boldsymbol{p}}\wedge\frac{d\vec{\boldsymbol{r}}}{dt}=\vec{\boldsymbol{p}}\wedge\vec{\boldsymbol{v}}$ es cero por llevar los dos vectores la misma dirección.

En suma, de las dos ecuaciones se obtiene: $$\boxed{\vec{\boldsymbol{M}}=I\vec{\boldsymbol{\alpha}}}$$

que es la ecuación fundamental de la Dinámica de rotación totalmente análoga a la ecuación fundamental de la Dinámica de traslación: $\vec{\boldsymbol{F}}=m\bullet\vec{\boldsymbol{a}}$

La ecuación fundamental de la Dinámica de rotación permite enunciar que si a un sólido rígido se le aplica un momento, éste adquiere una aceleración angular que es directamente proporcional al momento de la fuerza aplicada e inversamente proporcional a su momento de inercia:

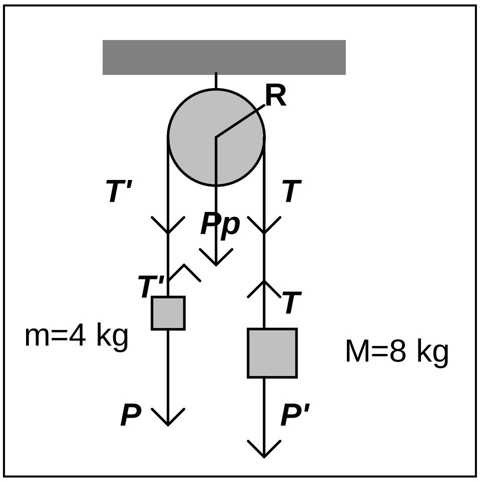
$$\vec{\alpha}=\frac{\vec{\boldsymbol{M}}}{I}$$

Cuestión 3
El momento de inercia de un cilindro de 20 cm de radio es 5 kg·m^2. El cilindro gira a razón de 30 r.p.s. respecto de un eje longitudinal que pasa por su centro de masas. Si se aplica una fuerza de 20 N tangencialmente en la superficie del cilindro y perpendicular al eje de giro, hallar la aceleración angular que adquiere y cuál será su velocidad angular a los 5 segundos de

aplicada la fuerza en los siguientes casos: a) La fuerza favorece el giro; b) La fuerza ralentiza el giro.

EJEMPLO 2
Una polea de radio 10 cm y con un momento de inercia de 6 kg·m^2, se encuentra girando hacia la derecha a 4 m/s. Del lado derecho de la cuerda cuelga una masa de 8 kg y del lado izquierdo una masa de 4 kg. a)Hallar la velocidad del sistema a los 10 segundos. Dibujar todas las fuerzas del sistema. b) Repetir los cálculos pero sustituyendo la masa de 8 kg por una fuerza de 8 kg.

a) Para las masas, que se moverán con la misma aceleración lineal por ser un sistema que está ligado entre sí, se aplicará a cada una de ellas la dinámica de traslación (sistema 1 y sistema 2). Para la polea la dinámica de rotación (sistema 3). El sistema global tenderá a tirar hacia la derecha porque el peso colocado de ese lado es mayor.



Para el sistema 1 se tienen dos fuerzas P' y T
$P' - T = M·a$
$8·9,8 - T = 8·a$ (1)

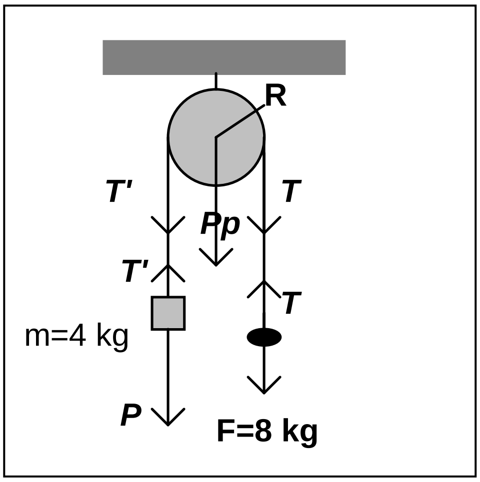
Para el sistema 2:
$T' - P = m·a$
$T' - 4·9,8 = 4·a$ (2)

Para el sistema 3 y teniendo en cuenta que el peso de la polea no interviene en la rotación por estar aplicado sobre el eje de giro, resulta;
$T·R·sen\ 90 - T'·R·sen\ 90 = I·\alpha = I·a/ R$
$T·0,1 - T'·0,1 = 6·a /0,1$ (3)

Sumando las ecuaciones (1) , (2) y la (3) dividida por 0,1 se tiene:

$78,4 - 39,2 = 8·a + 4·a + 600·a$; de donde: $a = 39,2/600 = 0,065\ m/s^2$

Aplicando las ecuaciones de cinemática:
$v = v_o + a·t = 4 + 0,065·10$ = 4,65 m/s.



b) Al sustituir la masa por una fuerza, la principal diferencia estriba en que la tensión de la cuerda en ese lado coincide ahora plenamente con el valor de la fuerza

En el sistema donde está aplicada la fuerza se deduce:
$F = T = 8·9,8 = 78,4\ N$

En el sistema de la masa de 4 kg:
$T' - P = m·a$
$T' - 39,2 = 4·a$; por lo que $T' = 4\ a + 39,2$

En la polea

T·R·sen 90 - T'·R·sen 90 = I · α *= I·a/R*

Sustituyendo *T'* despejada anteriormente en esta ecuación se tiene:
78,4·0,1 - (4a+39,2)0,1 = 6 a·/ 0,1; de donde *a = (7,84 - 3,92)/60,4 = 0,0650 m/s*^{2}.

Aplicando la ecuación de cinemática a la masa de 4 kg se tiene:
$v = v_0 + a \cdot t = 4 + 0{,}067 \cdot 10$ = 4,65 m/s.

Cuestión 4
¿Sabrías distinguir entre un huevo cocido y uno crudo haciéndolos girar sobre una superficie horizontal?

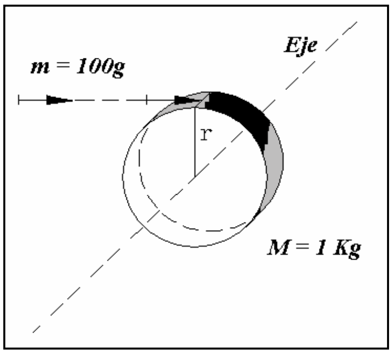
Cuestión 5
¿Qué haces cuando caminando por los raíles de la vía de un tren notas que te caes hacia uno de los lados?

5. TEOREMA DE CONSERVACIÓN DEL MOMENTO ANGULAR

"Si sobre un cuerpo en rotación no actúa momento exterior alguno o actúan varios de resultante nula el momento angular se mantiene constante".

Como $\vec{M} = \dfrac{d\vec{L}}{dt}$, si $\vec{M} = 0 \Rightarrow \dfrac{d\vec{L}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{L} = cte \Rightarrow I_f \cdot \vec{\omega}_f = I_o \cdot \vec{\omega}_0 = cte$

EJEMPLO 3
Un proyectil de 100 g, a velocidad de 100 m/s, choca contra un volante de 1 kg y queda adherido al disco. ¿Cuál será la velocidad angular del volante? Dato: *r* = 0,1 m.



En el instante de la colisión el único cuerpo en movimiento es el proyectil. Su momento cinético:

$$\vec{L}_o = \vec{r} \wedge \vec{p} \Rightarrow L_o = r\,m\,v\,\mathrm{sen}\,90 = 0{,}1 \cdot 0{,}1 \cdot 10^2 = 1 kg\,m^2\,rad/s$$

Una vez que tiene lugar la colisión, proyectil y volante giran con una velocidad angular ω que es la incógnita. El sistema proyectil volante es un sistema mecánicamente aislado por tanto $M = 0$ y el momento angular se conserva. Ahora bien el momento angular después de la colisión será $(I_1+I_2)\cdot\omega$, dado el carácter aditivo del momento de inercia.

A su vez: $I_1 = m_1 \cdot r^2 = 0{,}1 \cdot 0{,}1^2 = 0{,}1^3\ kg \cdot m^2$
$I_2 = (1/2)\ m_2 \cdot r^2$ considerando el volante como un cilindro
$I_2 = (1/2) \cdot 1 \cdot 0{,}1^2 = 0{,}005\ kg \cdot m^2$

Por tanto: $1 = (0{,}1^3 + 0{,}005) \cdot \omega$; de donde: ω =166,6 rad/s

Cuestión 6
Basándose en la conservación del momento angular, explique por qué un patinador sobre hielo cierra los brazos para girar más rápido.(Selectividad Extremadura, Septiembre 1994)

Cuestión 7

Contesta a las siguientes preguntas, razonando la respuesta:

a)¿Qué ocurrirá en un tiovivo si todos los que viajan en él se acercan simultáneamente al eje del mismo?

b) ¿Por qué para dar un triple salto mortal desde un trampolín hay que encoger el cuerpo hasta unir las rodillas con la cabeza?

c) ¿Qué sucedería si todos los habitantes de la Tierra comenzasen a andar en dirección contraria a la rotación de la misma?

d) ¿Qué sucedería con respecto a la duración del día, si todos los habitantes de la Tierra decidieran permanecer acostados?

e) ¿De cuántas formas aplicarías una fuerza a una puerta para que no se abriera?

Cuestión 8

Un disco gira a 900 r.p.m. alrededor de un eje perpendicular al plano del disco por su centro. En un determinado instante se acopla un segundo disco de manera que gira alrededor del mismo eje. Si el momento de inercia de este segundo disco es doble que el del primero, calcular la velocidad angular final con que giran ambos discos.

6. ACTIVIDADES

EJERCICIO 1

Un cilindro de 12kg de masa y 15 cm de radio se encuentra girando respecto a un eje que pasa por su centro. Si se le aplica una fuerza tangencial de 2 N, el cilindro se detiene tras recorrer 1000 vueltas. Calcular las revoluciones por minuto a las que inicialmente se encontraba girando el cilindro.

EJERCICIO 2

Hallar el momento de inercia de un sistema formado por masas de 1, 2, 3 y 4 kg situadas en los puntos (0,0), (2,0), (0,5) y (1,1) respecto de un eje que pase por las masas de 1 y 2 kg.

EJERCICIO 3

Un cuerpo de masa 2 kg tiene una velocidad (6, 3) m/s . Si inicialmente se encuentra en el punto de coordenadas (0,3), hallar el momento angular respecto al origen de coordenadas.

EJERCICIO 4

Un bólido de 1000 kg de masa se encuentra dando vueltas a una pista circular de radio 500 m a 120 km/h. Hallar el momento angular del cuerpo respecto a un eje que pase por el centro de la circunferencia y sea perpendicular al plano que la contiene, así como la velocidad angular del bólido.

EJERCICIO 5

Hallar la velocidad a la que debe girar una plataforma horizontal para que una persona situada a 2 metros del eje de rotación empiece a deslizarse radialmente. Coeficiente de rozamiento de la persona con la plataforma 0,15.

EJERCICIO 6

Desde un plano inclinado se dejan caer tres cuerpos con el mismo radio: un aro, un cilindro y una esfera. ¿Quién de los tres llegará antes al suelo?

EJERCICIO 7

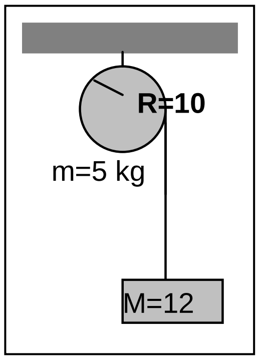
Dos niños de masas 20 y 30 kg se encuentran en los extremos de un barra horizontal de 200 kg de masa y giran a 8 r.p.m. respecto a un eje vertical que pasa por el centro. Si la longitud del columpio es 3 metros, calcular la nueva velocidad angular cuando los dos niños se desplazan 20 cm hacia el eje de giro. Datos: El columpio se puede considerar como un cilindro de radio 30 cm y masa 3 kg.

EJERCICIO 8

Si dos cuerpos idénticos se dejan caer desde lo alto de un plano inclinado, uno rodando y otro deslizando, razonar ¿cuál de los dos llegará antes al suelo?

EJERCICIO 9

Calcular en la figura siguiente la tensión de la cuerda y el espacio recorrido por el bloque un segundo después. Inicialmente la polea giraba hacia la derecha de tal forma que la masa de 12kg se mueve a 20 m/s. Si en el otro lado de la polea se realiza una fuerza de 200 N, hallar la nueva aceleración angular de la polea.



EJERCICIO 10

Una cuerda flexible ligera se enrolla alrededor de un cilindro macizo de 30 kg de masa y 20 cm de diámetro, girando en torno a un eje horizontal fijo que pasa por su centro. Al extremo libre se aplica una fuerza constante de 20 N, desenrollándose la cuerda 8 metros, hallar la velocidad angular del cilindro y la velocidad final de la cuerda si inicialmente el sistema estuviera en reposo.

EJERCICIO 11

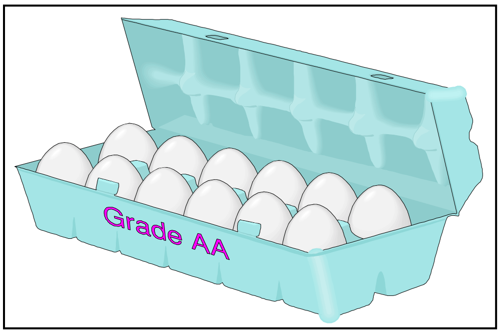
Un volante parte del reposo y se acelera uniformemente hasta una velocidad angular de 900 r.p.m. en 20 segundos. Hallar el ángulo que ha girado el volante a los dos segundos.

EJERCICIO 12

Un momento constante de 40 N·m se ejerce durante 12 segundos sobre una rueda que puede girar. Durante ese tiempo la rueda aumenta su velocidad de 0 a 50 r.p.m. A continuación se suprime la fuerza y la rueda acaba parándose también en 12 segundos, debido al rozamiento. Hallar: a) Momento de inercia de la rueda; b) Momento del rozamiento; c) Número de vueltas realizadas por la rueda.

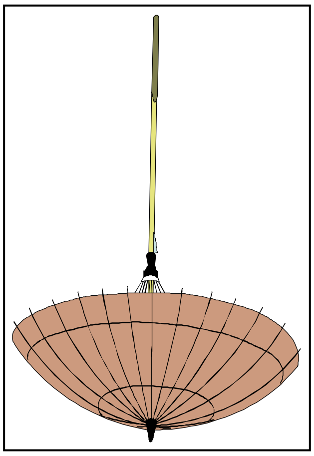
7. LECTURAS COMPLEMENTARIAS

¿Cómo distinguir un huevo cocido de uno crudo?

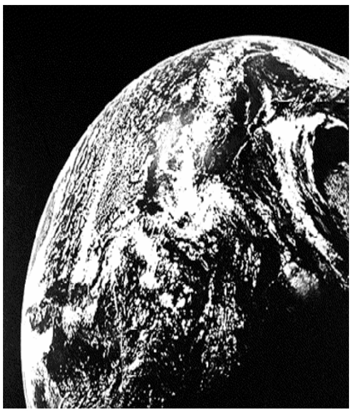


¿Qué hay que hacer cuando se quiere saber si un huevo está crudo o cocido, sin romperle el cascarón?. Los conocimientos de mecánica nos ayudan a resolver con éxito esta pequeña dificultad.
Los huevos duros no giran igual que los crudos. Esta diferencia puede aprovecharse para resolver nuestro problema. Para esto, el huevo que se ensaya se coloca sobre un plano llano y, cogiéndolo con dos dedos, se le hace girar. Cuando el huevo está cocido (y sobre todo duro) gira más deprisa y durante más tiempo que cuando está crudo. Si está crudo es difícil hacerlo girar, mientras que cuando esta duró, gira tan rápidamente que sus contornos se confunde y vemos un elipsoide blanco, que puede llegar a moverse sobre su extremo más agudo.
Las causas que dan lugar a esos fenómenos son que el huevo duro gira como si fuera un todo único, mientras que el contenido líquido del huevo crudo, al no recibir en el mismo instante este movimiento giratorio, retarda con su inercia el giro del cascarón y hace las veces de freno.
Los huevos cocidos y crudos se comportan también de diferente manera al cesar de girar. Si un huevo duro en rotación se toca con un dedo, se para inmediatamente. Si el que está girando es un huevo crudo, se parará un instante, pero al retirar el dedo dará todavía varias vueltas. Esto también ocurre a causa de la inercia, ya que la masa líquida interior del huevo crudo continúa girando aún después de que el cascarón está en reposo.

La rueda de la risa



Abramos una sombrilla, apoyemos su extremo en el suelo y hagámosla girar por el puño. No será difícil conseguir que se mueva con bastante rapidez. Hecho esto, dejemos caer dentro de la sombrilla una pelotita o una bolita de papel. Veremos que esta pelotita o bolilla no se queda en la sombrilla, sino que es lanzada fuera de ella por la fuerza que impropiamente se ha dado en llamar centrífuga, pero que en realidad no es más que una manifestación de la inercia. La pelotita no saldrá despedida según la dirección del radio de la sombrilla, sino tangencialmente a la trayectoria del movimiento circular



En este efecto del movimiento giratorio se basan las ruedas de la risa, atracción que puede verse con frecuencia en algunos parques. El público tiene en ellas la oportunidad de experimentar en sí mismo la acción de la inercia. Para ello se sitúa como quiere sobre la plataforma redonda de pie, sentado o tumbado). Un motor, oculto debajo de dicha plataforma, hace que ésta gire suavemente alrededor de un eje vertical. La plataforma gira al principio despacio, pero después va aumentando paulatinamente su velocidad. Por la acción de la inercia, todos los que se encuentran en la plataforma comienzan a

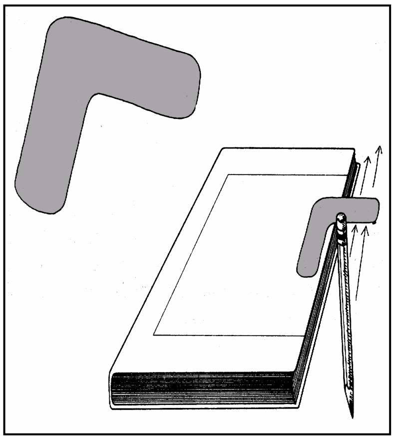
resbalar hacia su periferia. Al principio este movimiento no se nota apenas, pero a medida que los viajeros se van alejando del centro y entrando en círculos cuyo radio es cada vez mayor, la velocidad y, por consiguiente, la inercia, se dejan sentir cada vez más. Todos los esfuerzos para mantenerse en el sitio resultan fallidos y la gente sale despedida de la rueda de la risa.
La esfera terrestre también es en esencia la rueda de la risa. Pero de dimensiones gigantescas. La Tierra no nos despide de su superficie, pero su rotación disminuye nuestro peso. En el ecuador , donde la velocidad de rotación es mayor, la disminución del peso por esta causa, alcanza 1/300 parte. Y si se toman conjuntamente con otra causa (es decir, del achatamiento de la Tierra), el peso de cada cuerpo en el ecuador disminuye , en general, en un medio por ciento (es decir, 1/200 veces), de forma que una persona adulta pesa en el ecuador aproximadamente , 300 gramos menos que en el polo

La planta engañada

Cuando el movimiento de rotación es rápido, el efecto centrífugo puede alcanzar una magnitud tal que supere la acción de la gravedad. He aquí un experimento interesante que demuestra la importancia de la fuerza repulsiva que se desarrolla al girar una rueda ordinaria. Sabemos que toda planta joven orienta su tallo en dirección contraria a la de la gravedad, es decir hablando claramente, crece hacia arriba. Pero hagamos que una semilla se desarrolle en la llanta de una rueda que gire libremente (como lo hizo por primera vez el botánico inglés *Knight*, hace más de 100 años) y veremos algo sorprendente: las raíces de los retoños están dirigidos hacia afuera, mientras que los tallos hacia dentro, es decir, siguiendo la dirección de los radios de la rueda.
Parece que hemos conseguido engañar a la planta haciendo que, en lugar de gravedad, actúe sobre ella otra fuerza cuya acción va dirigida desde el centro de la rueda hacia afuera. Y como quiera que el retoño tiende a salir siempre en dirección contraria al de la fuerza de la gravedad, en nuestro caso creció hacia adentro de la rueda, es decir, en la dirección que va desde la llanta hasta el centro de aquélla. Nuestra gravedad artificial resultó ser más fuerte que la natural, y la nueva planta creció bajo su influencia.
En el futuro, cuando comiencen los vuelos hacia otros planetas del sistema solar, cuya duración será de varios meses, en las naves cósmicas se aprovechará este principio para construir invernaderos que abastezcan a la tripulación de alimentos frescos. La idea de crear invernaderos cósmicos giratorios fue propuesta en el año 1933 por el científico ruso, fundador de la cosmonáutica, *K. Tsiolkovski*
PERELMAN, Y.: *Física Recreativa*, Ediciones Martínez Roca, S. A., Barcelona 1971, págs 56-60

8. PROPUESTA DE LABORATORIO

Construcción de un bumerang



Objetivo:
Construcción de un bumerang

Materiales:

- Cartón rígido
- Papel
- Libro
- Lápiz

Procedimiento:
Utilizar el modelo de la figura para cortar un bumerán de cartón rígido. A continuación colocar un papel encima del libro y sobre él el bumerán en la forma que indica el dibujo. Proceder entonces a inclinar el libro tanto como sea posible sin que caiga el bumerán. Coloca un lápiz perpendicularmente a las paredes del libro y frente al bumerán. Finalmente golpea el bumerán para impulsarlo hacia arriba en la dirección que señala el libro.

Actividades:

1. ¿Qué resultados se obtienen?

2. Intenta explicar lo sucedido conforme a lo que se ha visto en rotación.

3. ¿Cómo influye el ángulo de inclinación en el experimento?