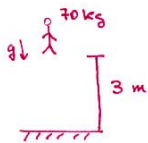


IMPULSO



$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \Rightarrow \underbrace{\vec{F} \Delta t}_{\text{IMPULSO}} = \Delta \vec{p}$$

EJEMPLO



¿ FUERZA PROMEDIO SOBRE LOS PIES ?
¿ QUÉ PASA SI FLETA LAS PIERNAS ?

170

Velocidad al llegar al suelo

$$v = \sqrt{2gh} = 7.7 \text{ m/s}$$

$$\text{IMPULSO} = \vec{F} \Delta t = \Delta p = -mv = -540 \text{ N}\cdot\text{s}$$

$$\vec{v} = \frac{(7.7 \text{ m/s} + 0 \text{ m/s})}{2} = 3.8 \text{ m/s}$$

LA COLISIÓN DURA $\Delta t = \frac{d}{\vec{v}} \approx \frac{1 \text{ cm}}{3.8 \text{ m/s}} = 2.6 \times 10^{-3} \text{ s}$

$$\Rightarrow \vec{F} = \frac{-540 \text{ N}\cdot\text{s}}{2.6 \times 10^{-3} \text{ s}} = 2.1 \times 10^5 \text{ N}$$

DCL



$$\vec{F} = F_{\text{suelo}} - \underbrace{mg}_{690 \text{ N}}$$

$$\Rightarrow F_{\text{suelo}} \approx 2.1 \times 10^5 \text{ N}$$

¡ ESTA FUERZA PUEDE
ROMPERLE LAS PIERNAS !

171

SI LA PERSONA FLECTA LAS PIERNAS 50 cm SE
TIENE QUE EL TIEMPO QUE DURA LA COLISIÓN ES

$$\Delta t = \frac{50 \text{ cm}}{3.8 \text{ m/s}} = 0.13 \text{ s}$$

$$\Rightarrow \bar{F} = \frac{540 \text{ N}\cdot\text{s}}{0.13 \text{ s}} = 4.2 \times 10^3 \text{ N}$$

LA FUERZA QUE EJERCE EL SUELO SERÁ

$$F_{\text{suelo}} = \bar{F} + mg = 4.9 \times 10^3 \text{ N}$$

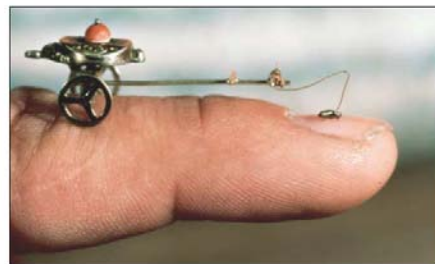
172

Dinámica

En 1997, María Fernanda Cardoso, una artista colombiana, creó un circo de pulgas entrenadas. Cardoso amarró un alambre delgado a Brutus, “la pulga más fuerte sobre la Tierra”, y la entrenó para que tirara un carrito. Luego, ella usó sonido y dióxido de carbono para conseguir que Brutus saltara. Videos muestran que cuando Brutus saltaba, el carrito se movía una distancia de 1 centímetro aprox. Está es una distancia asombrosa porque la masa del carrito era 160.000 veces mayor que la de la pulga.



¿Cómo es posible que una pulga tire un carro que tiene más de 160.000 veces su masa?



173

El secreto de la pulga es que ella puede lanzarse a si misma a una gran velocidad. Supongamos que Brutus, cuya masa es de aprox. 2×10^{-3} g, empieza un salto de 30 cm que la lleva hacia arriba y adelante al mismo tiempo. Usando las ecuaciones de cinemática, podemos estimar su velocidad inicial.

$$h = v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g t^2$$

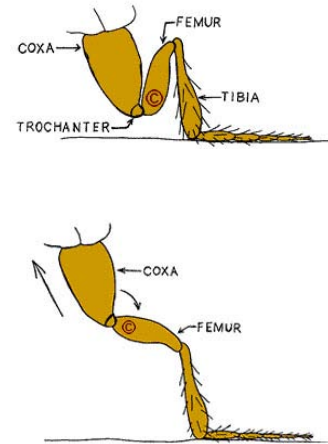
$$v_y = 0 = v_0 \sin \theta - g t \Rightarrow t = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$$

entonces

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \Rightarrow v_0^2 \approx 2hg = 2 \times 0.3 \text{ m} \times 10 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\therefore v_0 = 2,5 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, el tiempo de vuelo es $t \approx \frac{v_0}{g} \approx 0,25 \text{ s}$



174

Impulso durante el salto $= \Delta p = m \Delta v = 2 \times 10^{-6} \text{ kg} \times 2,5 \text{ m/s} = 5 \times 10^{-6} \text{ Ns}$

Duración del salto $\approx \frac{d}{v_0} = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ m}}{2,5 \text{ m/s}} \approx 10^{-3} \text{ s}$

Fuerza promedio ejercida durante el salto $\approx \frac{\Delta p}{\Delta t} \approx \frac{5 \times 10^{-6} \text{ Ns}}{10^{-3} \text{ s}} = 5 \times 10^{-3} \text{ N}$

La aceleración impartida al carro de 32 g es

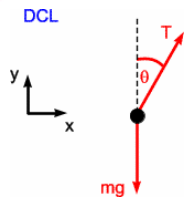
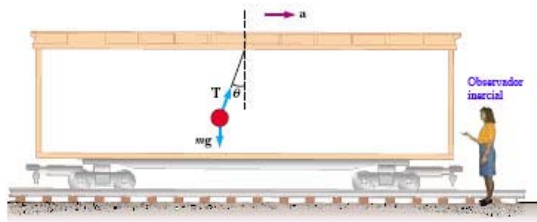
$$F_{\text{prom}} = M_{\text{carro}} a \Rightarrow a = \frac{F_{\text{prom}}}{M_{\text{carro}}} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ N}}{32 \times 10^{-3} \text{ kg}} \approx \frac{1}{6} \text{ m/s}^2 \approx 0,2 \text{ m/s}^2$$

En el tiempo que dura el vuelo de la pulga, el carro se desplaza una distancia

$$\Delta x = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \times 0,2 \text{ m/s}^2 \times (0,25 \text{ s})^2 \approx 0,006 \text{ m} \approx 0,6 \text{ cm}$$

175

Movimiento en sistemas de referencia acelerados: Fuerzas ficticias



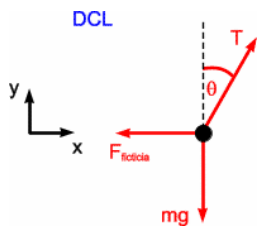
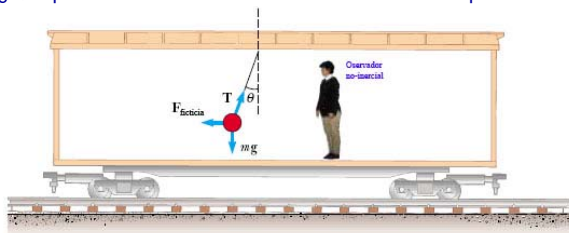
Segunda ley de Newton

$$\hat{x}) \quad T \sin \theta = ma$$

$$\hat{y}) \quad T \cos \theta - mg = 0$$

176

¿Qué pasa si ahora el observador va arriba del tren que acelera?



Para el observador en el tren, no existe una fuerza neta sobre m . Por lo tanto, para mantener la validez de la Segunda Ley de Newton, el observador tiene que introducir una fuerza ficticia para equilibrar la componente en la dirección x de la tensión

$$\hat{x}) \quad T \sin \theta - F_{ficticia} = 0$$

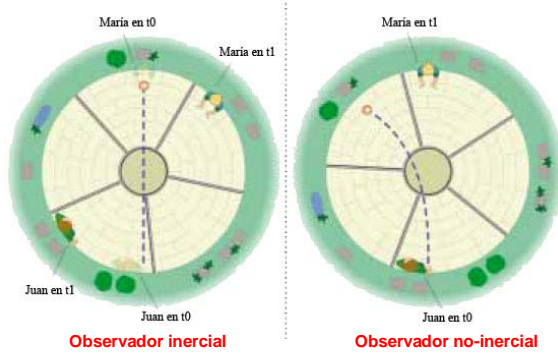
$$\hat{y}) \quad T \cos \theta - mg = 0$$

177

Observador en movimiento circular

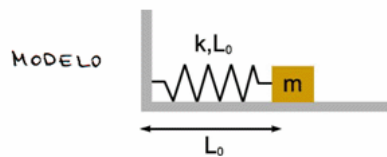


Fuerza de Coriolis



178

RESORTES

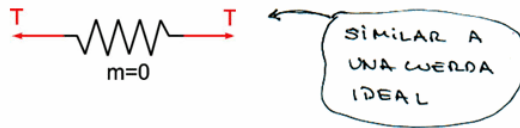


DEBE ESTAR CONECTADO A UNA MASA
PARA QUE LA 2ª LEY DE NEWTON NO
SEA TRIVIAL

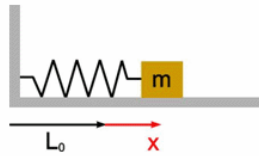
SI COMPRIMOS UN RESORTE AL SOLTARLO
SE ESTIRA Y, AL REVÉS, SI LO ESTIRAMOS
AL SOLTARLO SE CONTRAE PARA VOLVER
A SU LARGO NATURAL L_0

179

RESORTE IDEAL \Rightarrow MASA NULA



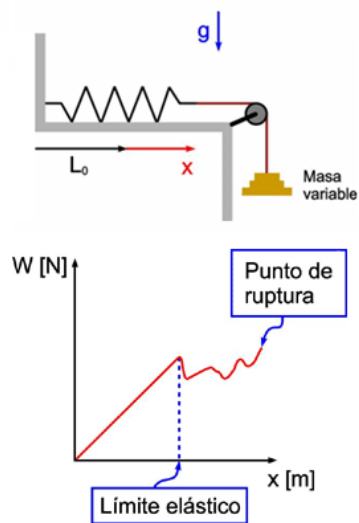
SISTEMA DE REFERENCIA



CONVIENE UBICAR EL ORIGEN DE COORDENADAS EN EL PUNTO DE EQUILIBRIO DEL RESORTE

180

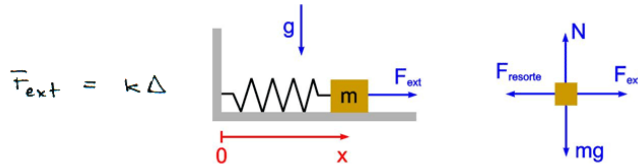
¿FUERZA EJERCIDA POR UN RESORTE?



181

LEY DE HOOKE (1635-1703)

EL ACORTAMIENTO O ALARGAMIENTO DE UN RESORTE ES PROPORCIONAL A LA FUERZA EXTERNA APLICADA

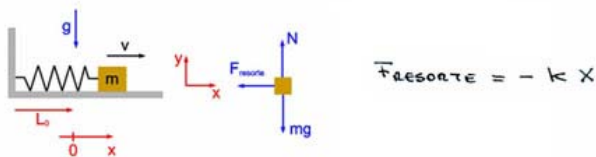


k = CONSTANTE ELÁSTICA DEL RESORTE
PENDIENTE DE LA RECTA

$\Delta \equiv (x - L_0)$ ES EL ACORTAMIENTO ($\Delta < 0$)
O ALARGAMIENTO ($\Delta > 0$) DEL RESORTE CON
RESPECTO A SU LARGO NATURAL

182

ECUACIÓN DE MOVIMIENTO



2ª LEY DE NEWTON $\Rightarrow -kx = ma_x$

$\Rightarrow \boxed{a_x = -\frac{k}{m}x}$ ECUACIÓN DE MOV. PARA LA MASA m

LA ACELERACIÓN ES PROPORCIONAL AL DESPLAZAMIENTO DE LA MASA m

LA ACELERACIÓN APUNTA SIEMPRE EN SENTIDO OPUESTO AL DESPLAZAMIENTO

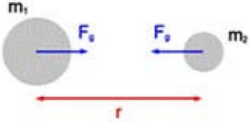
183

GRAVITACIÓN

2 FENÓMENOS :

- CAÍDA DE UN CUERPO
- MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS

ESTOS FENÓMENOS ERAN VISTOS EN LA ANTIGÜEDAD COMO DOS FENÓMENOS DISTINTOS
NEWTON MUESTRA QUE AMBOS PUEDEN SER DESCRITOS POR UNA LEY UNIVERSAL DE GRAVITACIÓN



$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

CONSTANTE DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

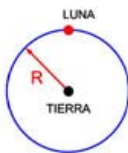
$$G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}$$

184

LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

IDEA : TODOS LOS CUERPOS CAEN DEBIDO A LA ATRACCIÓN GRAVITACIONAL DE LA TIERRA

=> LA LUNA TAMBIÉN ESTÁ CAYENDO HACIA LA TIERRA



ORBITA CIRCULAR $R = 3.84 \times 10^8 \text{ m}$

$$v_{\text{LUNA}} = \frac{2\pi R}{T}$$

$T = 27.3 \text{ DÍAS (PERÍODO)}$

$$\Rightarrow v_{\text{LUNA}} = \frac{2\pi \times 3.84 \times 10^8}{27.3 \times 24 \times 3600} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{LUNA}} \approx 1023 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

185

Mov. circular $\Rightarrow a_{LUNA} = \frac{v_{LUNA}^2}{R}$

$$a_{LUNA} \approx \frac{(10^3)^2}{3.84 \times 10^8} \frac{m}{s^2} \approx 0.0027 \frac{m}{s^2}$$

NEWTON SUPONE QUE $a \propto \frac{1}{R^2}$

EN EFECTO, DE LA 3ª LEY DE KEPLER

$$T \propto R^{3/2}$$

PERO $T = \frac{2\pi R}{v} \Rightarrow \frac{R}{v} \propto R^{3/2} \Rightarrow v \propto \frac{1}{R^{1/2}}$

$$\therefore v^2 \propto \frac{1}{R}$$

ENTONCES

$$a = \frac{v^2}{R} \propto \frac{1}{R^2}$$

EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

$$g = \frac{K}{R_T^2} \quad (K = \text{cte})$$

$$\Rightarrow K = g R_T^2$$

PARA LA LUNA SE TIENE

$$a = \frac{K}{R^2} = g \left(\frac{R_T}{R} \right)^2$$

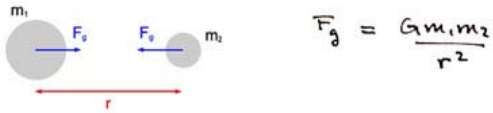
DONDE $R_T = 6400 \text{ km}$

$$\therefore a \approx 0.0028$$

a y a_{LUNA} SON ESENCIALMENTE IDÉNTICAS, POR LO TANTO LA SUPOSICIÓN QUE $a \propto \frac{1}{R^2}$ ES CORRECTA

LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

CADA PAR DE PARTÍCULAS EN EL UNIVERSO
SE ATRAEN ENTRE SÍ CON UNA FUERZA
PROPORCIONAL AL PRODUCTO DE SUS MASAS
E INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL CUADRADO
DE LA DISTANCIA ENTRE ELLAS



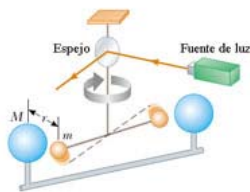
DONDE G ES UNA CONSTANTE UNIVERSAL

G SE PUEDE MEDIR (CAVENDISH 1798)

$$G \approx 6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}$$

MEDICIÓN DE G

PÉNDULO DE TORSIÓN



CAVENDISH (1798) $\rightarrow G \approx 6.75 \times 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}$

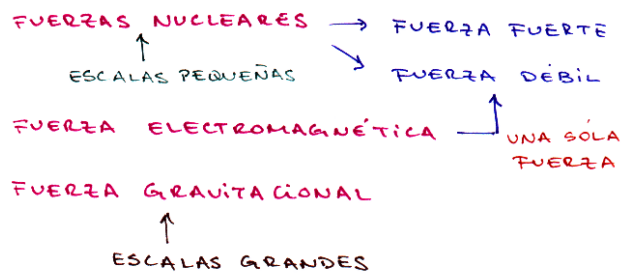
VALOR ACTUAL $\rightarrow G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}$

LA FUERZA DE ATRACCIÓN ENTRE DOS CUERPOS
CON MASAS $\sim 100 \text{ kg}$ NO ES APRECIABLE EN
CONDICIONES COMUNES Y CORRIENTES.

SIN EMBARGO, TODOS SENTIMOS LA ATRACCIÓN
DE LA TIERRA PORQUE $M_T = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$

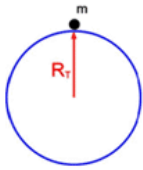
A ESCALAS DEL SISTEMA SOLAR, LA GALAXIA
O INCLUSO EL UNIVERSO, LA FUERZA DE
GRAVEDAD ES LA FUERZA DOMINANTE

Fuerzas fundamentales



¿SON ESTAS FUERZAS LA MANIFESTACIÓN
DE UNA ÚNICA FUERZA?

GRAVEDAD EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA



$$F_g = G \frac{m M_T}{R_T^2} = m g$$

2ª LEY DE
NEWTON

$$\Rightarrow \boxed{g = \frac{G M_T}{R_T^2}}$$

GRAVEDAD
EN LA SUPERFICIE
DE LA TIERRA

SI UNO MIDE g (POR EJEMPLO, USANDO OBJETOS EN CAÍDA LIBRE), ENTONCES PODEMOS MEDIR LA MASA DE LA TIERRA

$$\boxed{M_T = \frac{g R_T^2}{G}}$$

192

$$M_T = \frac{10 (6.4 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11}} \text{ kg}$$

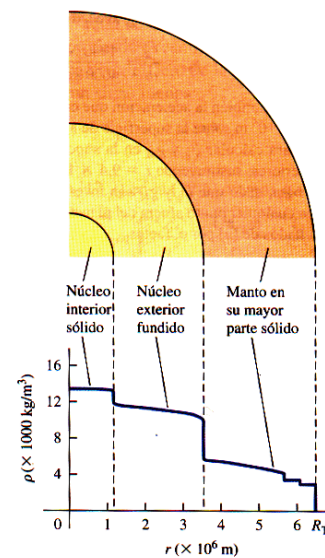
$$M_T \approx 6.1 \times 10^{24} \text{ kg}$$

LA DENSIDAD PROMEDIO DE LA TIERRA ES

$$\rho_{\text{TIERRA}} = \frac{M_T}{\frac{4\pi}{3} R_T^3} \approx 5.6 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{ROCA}} \approx 2.8 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

\Rightarrow !! LA DENSIDAD EN EL CENTRO DE LA TIERRA ES GRANDE !!



193