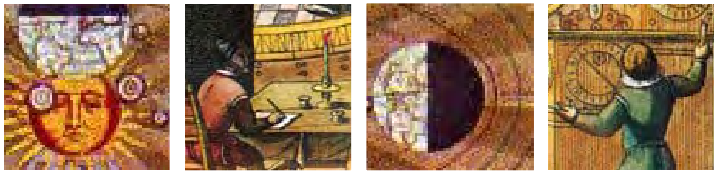
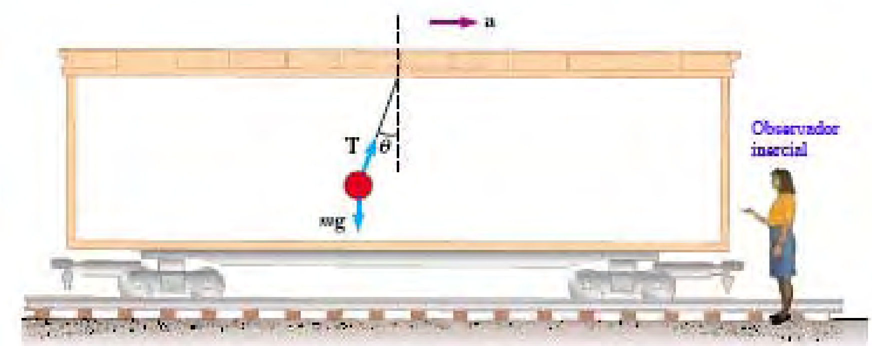
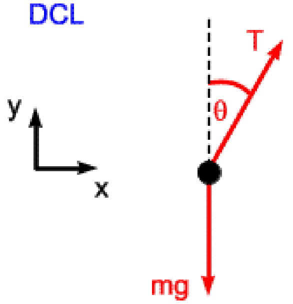


Movimiento en sistemas de referencia acelerados: Fuerzas ficticias



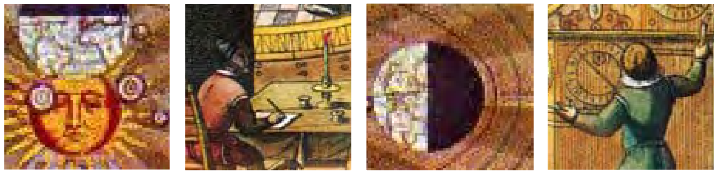
DCL



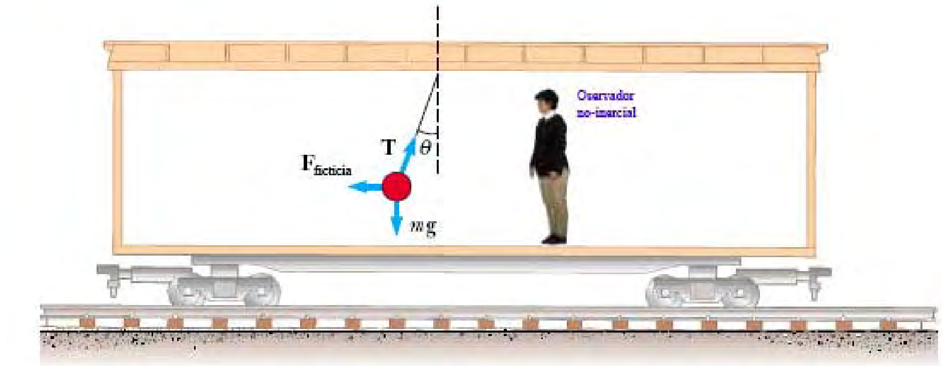
Segunda ley de Newton

$$\hat{x})\qquad T\,\text{sen}\,\theta = ma$$

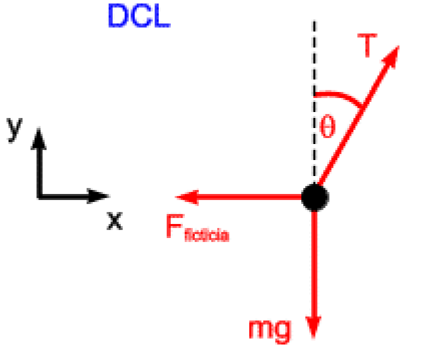
$$\hat{y})\qquad T\cos\theta - mg = 0$$



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



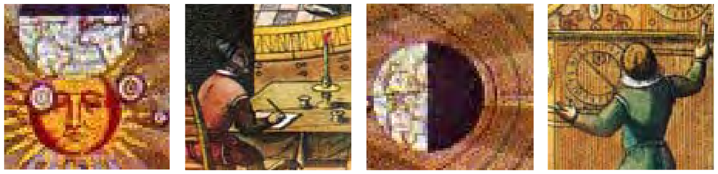
DCL



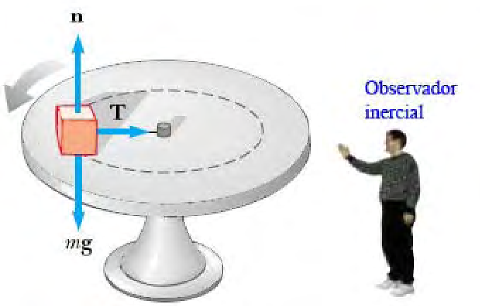
Para el observador en el tren, no existe una fuerza neta sobre m. Por lo tanto, para mantener la validez de la Segunda Ley de Newton, el observador tiene que introducir una fuerza ficticia para equilibrar la componente en la dirección x de la tensión

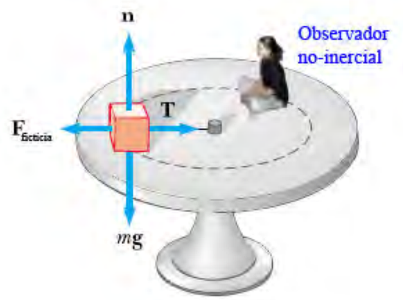
$$\hat{x}) \qquad T\,\mathrm{sen}\,\theta - F_{ficticia} = 0$$

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

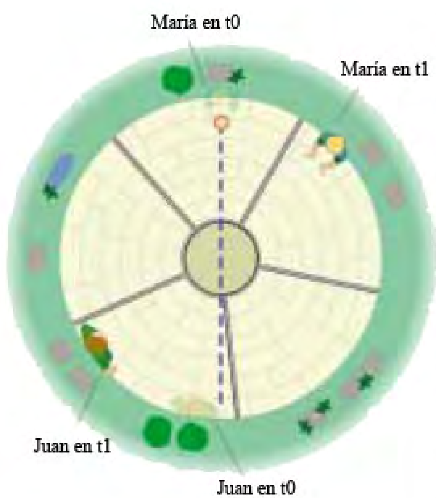


Observador en movimiento circular

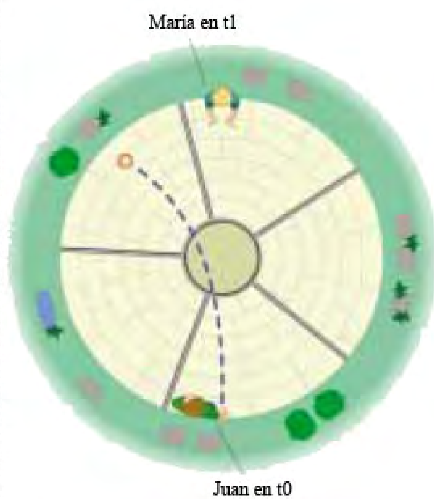




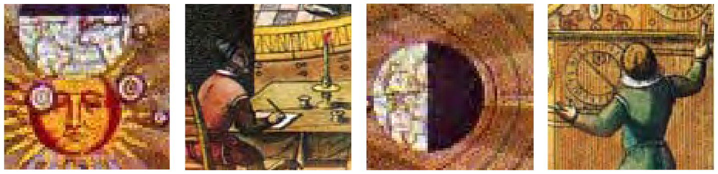
Fuerza de Coriolis



Observador inercial

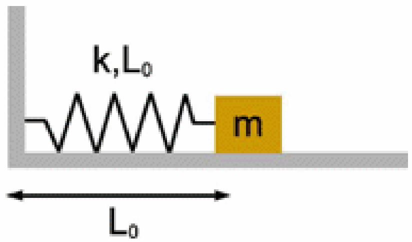


Observador no-inercial



RESORTES

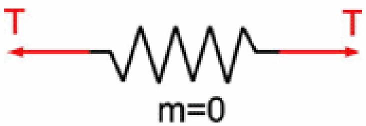
MODELO



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

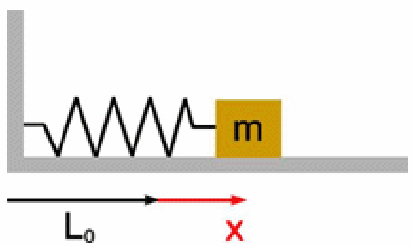
SI COMPRIMIMOS UN RESORTE AL SOLTARLO SE ESTIRA Y, AL REVÉS, SI LO ESTIRAMOS AL SOLTARLO SE CONTRAE PARA VOLVER A SU LARGO NATURAL L_0

RESORTE IDEAL $\Rightarrow$ MASA NULA

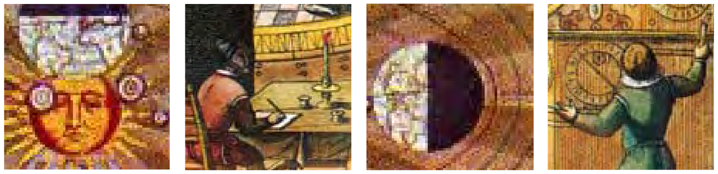


SIMILAR A UNA CUERDA IDEAL

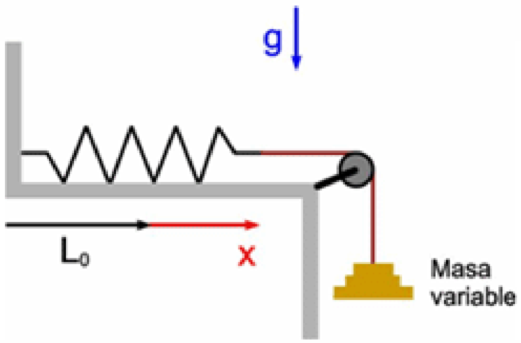
SISTEMA DE REFERENCIA

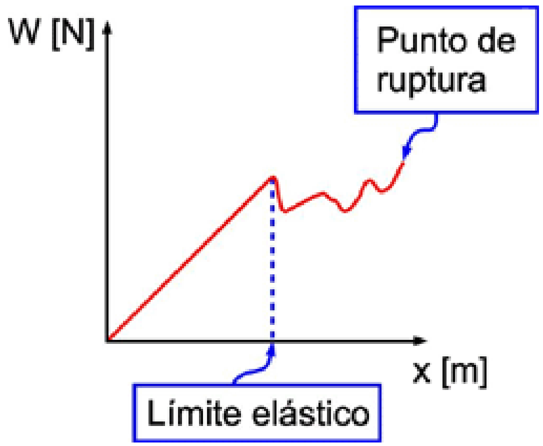


CONVIENE UBICAR EL ORIGEN DE COORDENADAS EN EL PUNTO DE EQUILIBRIO DEL RESORTE



¿FUERZA EJERCIDA POR UN RESORTE?

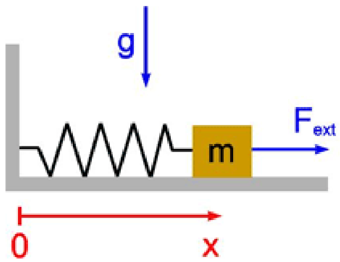


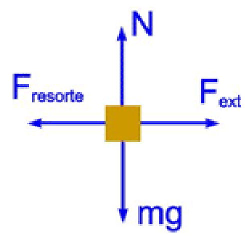


LEY DE HOOKE (1635 - 1703)

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

$$\vec{F}_{ext} = k\Delta$$

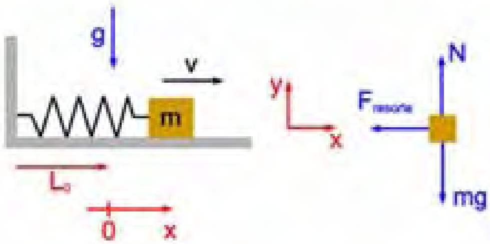




K = CONSTANTE ELÁSTICA DEL RESORTE
PENDIENTE DE LA RECTA

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

ECUACIÓN DE MOVIMIENTO



$$F_{RESORTE} = -k\,X$$

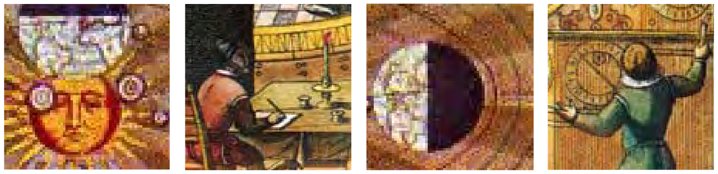
2ª LEY DE NEWTON $\Rightarrow$ $-kx = m\,a_x$

$$\Rightarrow \quad \boxed{a_x = -\frac{k}{m}\,x}$$

ECUACIÓN DE MOV. PARA LA MASA m

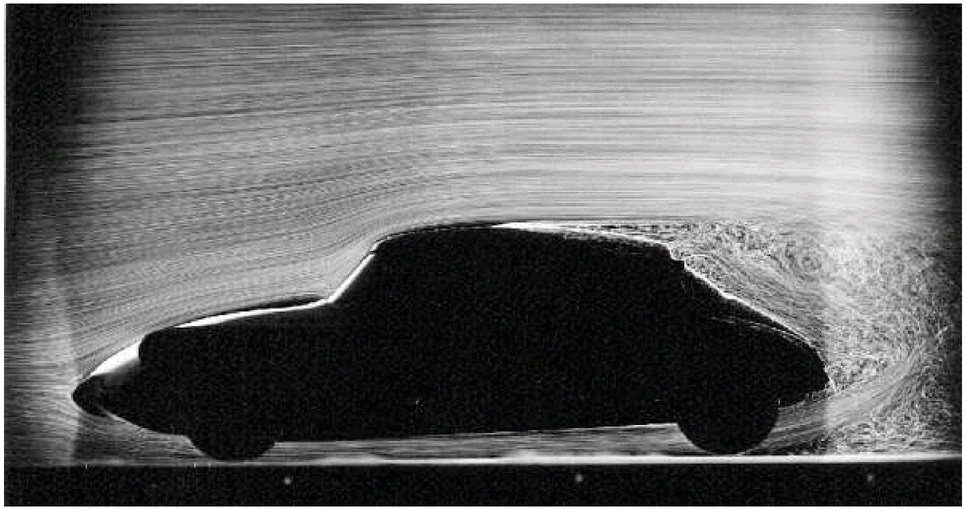
LA ACELERACIÓN ES PROPORCIONAL AL DESPLAZAMIENTO DE LA MASA m

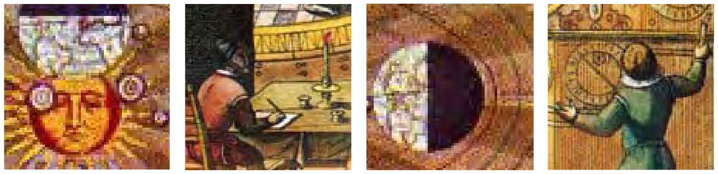
LA ACELERACIÓN APUNTA SIEMPRE EN SENTIDO OPUESTO AL DESPLAZAMIENTO



FUERZA DE ARRASTRE

FRENA UN OBJETO QUE SE MUEVE EN UN FLUIDO → DEPENDE DE LA GEOMETRÍA





EJEMPLO : MOVIMIENTO DE UNA ESFERA EN UN FLUIDO

→ ES UN PROBLEMA COMPLICADO

→ SE OBSERVAN DISTINTOS COMPORTAMIENTOS QUE DEPENDEN DE UNA SERIE DE CANTIDADES FÍSICAS

DENSIDAD DEL FLUIDO ρ

VELOCIDAD DE LA ESFERA v

RADIO DE LA ESFERA R

VISCOSIDAD η

SIN EMBARGO, ESTOS REGIMENES SE PUEDEN CARACTERIZAR POR UN NÚMERO

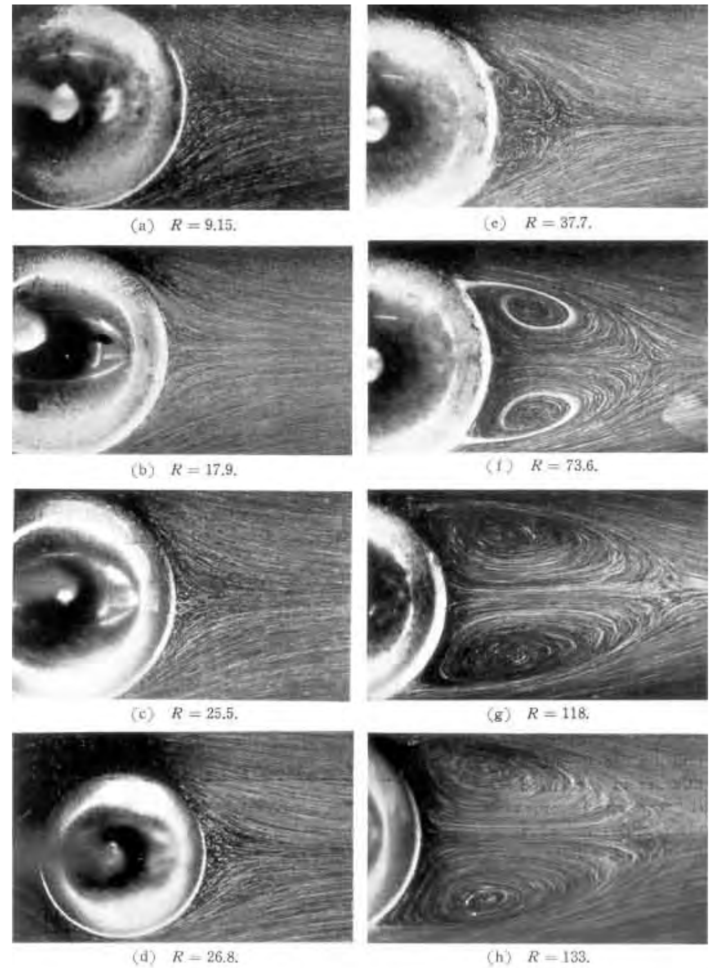
NÚMERO DE REYNOLDS

VELOCIDAD TÍPICA

LONGITUD TÍPICA

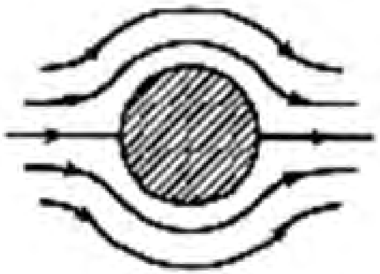
$$Re = \rho \frac{UL}{\eta} = \frac{UL}{\nu}$$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA



EJEMPLO: ESFERA   EXISTEN DOS REGÍMENES

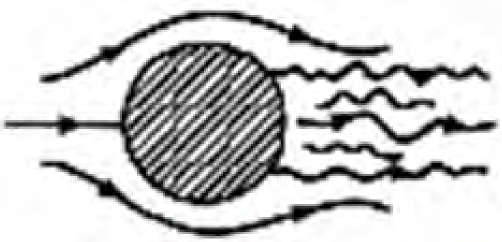
I. FLUJO LAMINAR ($Re \ll 1$)



$$F_{arrastre} = 6\pi\eta R v_0$$

(LEY DE STOKES)

II. FLUJO TURBULENTO ($Re \gg 1$)

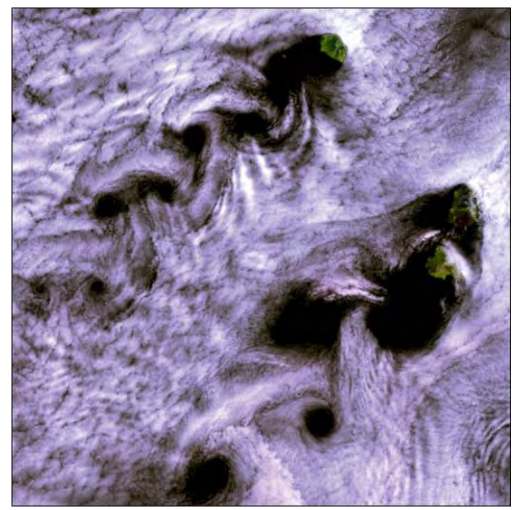


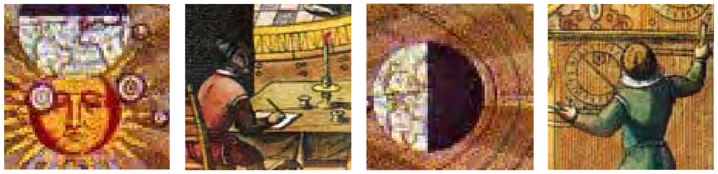
$$F_{arrastre} = \frac{1}{2}\rho C_D A v^2$$

(FORMULA DE NEWTON)

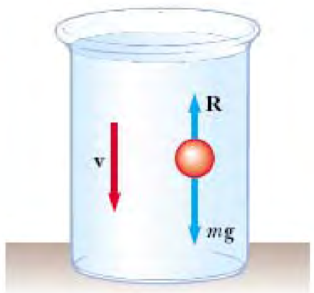
C_D = COEFICIENTE DE ARRASTRE

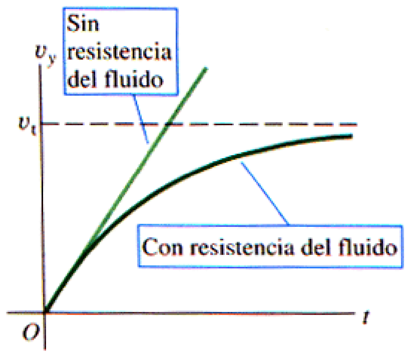
$A \equiv$ ÁREA FRONTAL

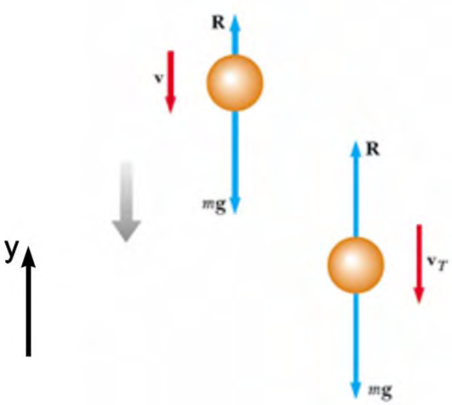




Movimiento en presencia de fuerzas de arrastre







Segunda ley de Newton

$$R - mg = 0$$

donde R es la fuerza de arrastre. En el caso de altas velocidades

$$R = \frac{1}{2}\rho C A v^2$$

entonces la velocidad terminal está dada por

$$v_T = \sqrt{\frac{2Mg}{C\rho A}}$$

Velocidad terminal de varios objetos cayendo en el aire

Objeto	Masa (kg)	Area (m^2)	v_T (m/s)
Paracaidista	75	0.70	60
Pelota de beisbol (r = 3,7 cm)	0.145	4.2×10^{-3}	43
Pelota de golf (r = 2,1 cm)	0.046	1.4×10^{-3}	44
Gota de lluvia (r = 0,2 cm)	3.4×10^{-5}	1.3×10^{-5}	9.0

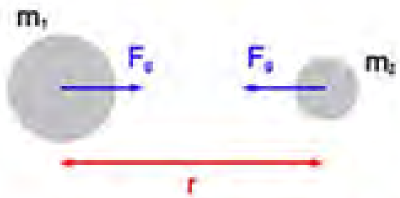
GRAVITACIÓN

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



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

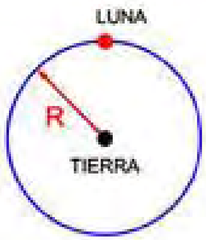
CONSTANTE DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

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

LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

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

$\Rightarrow$ LA LUNA TAMBIÉN ESTÁ CAYENDO HACIA LA TIERRA



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

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

$T = 27.3$ DÍAS (PERÍODO)

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

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

MOV. CIRCULAR $\Rightarrow$ $a_{LUNA} = \dfrac{v_{LUNA}^2}{R}$

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

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

EN EFECTO, DE LA 3ª LEY DE KEPLER

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

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

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

ENTONCES

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

EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

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

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

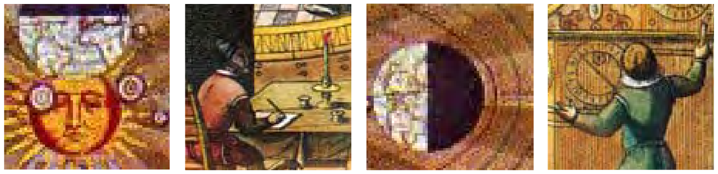
PARA LA LUNA SE TIENE

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

DONDE $R_T = 6400$ km

$$\therefore \qquad a \approx 0.0028$$

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

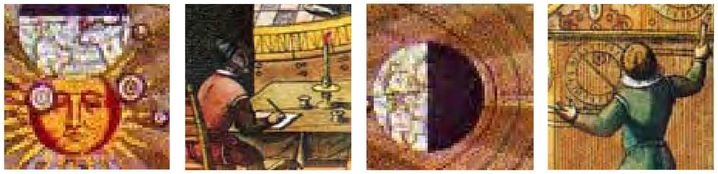
CADA PAR DE PARTÍCULAS EN EL UNIVERSO SE ATRAEN ENTRE SÍ CON UNA FUERZA PROPORCIONAL AL PRODUCTO DE SUS MASAS E INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL CUADRADO DE LA DISTANCIA ENTRE ELLAS

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

DONDE G ES UNA CONSTANTE UNIVERSAL

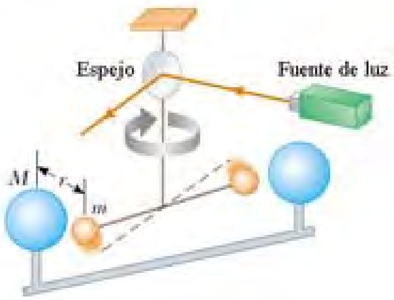
G SE PUEDE MEDIR (CAVENDISH 1798)

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



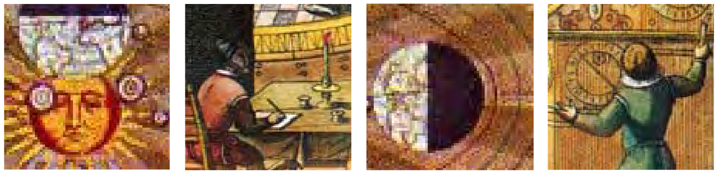
MEDICIÓN DE G

PÉNDULO DE TORSIÓN



CAVENDISH (1798) $\longrightarrow$ $G \approx 6.75 \times 10^{-11} \dfrac{N\,m^2}{kg^2}$

VALOR ACTUAL $\longrightarrow$ $\boxed{G = 6.67 \times 10^{-11} \dfrac{N\,m^2}{kg^2}}$



Fuerzas fundamentales

FUERZAS NUCLEARES → FUERZA FUERTE

ESCALAS PEQUEÑAS → FUERZA DÉBIL

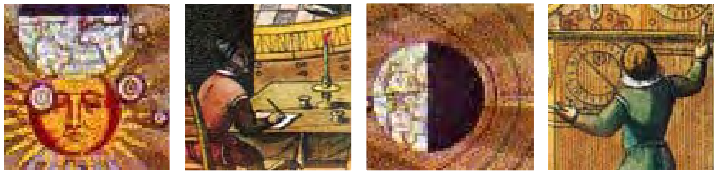
FUERZA ELECTROMAGNÉTICA

UNA SÓLA FUERZA

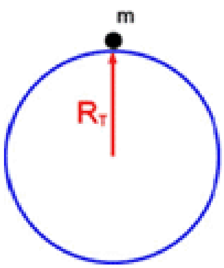
FUERZA GRAVITACIONAL

ESCALAS GRANDES

¿ SON ESTAS FUERZAS LA MANIFESTACIÓN DE UNA ÚNICA FUERZA ?



GRAVEDAD EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA



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

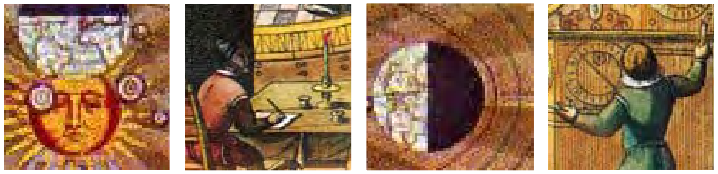
2ª LEY DE NEWTON

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

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

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



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

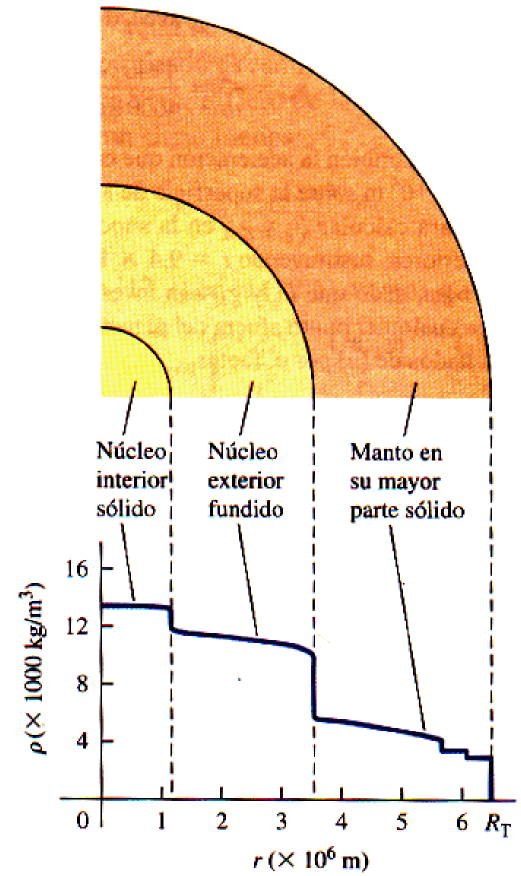
$$M_T \simeq 6.1\times 10^{24}\ \text{kg}$$

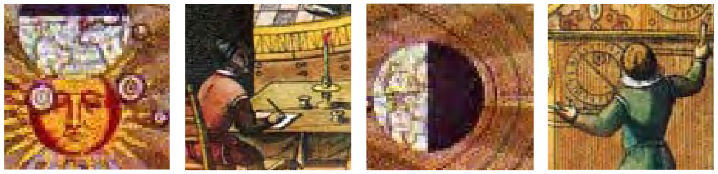
LA DENSIDAD PROMEDIO DE LA TIERRA ES

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

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

⇒ ¡¡ LA DENSIDAD EN EL CENTRO DE LA TIERRA ES GRANDE !!





LEYES DE KEPLER

¡¡SON LEYES EMPÍRICAS!!

I LEY :

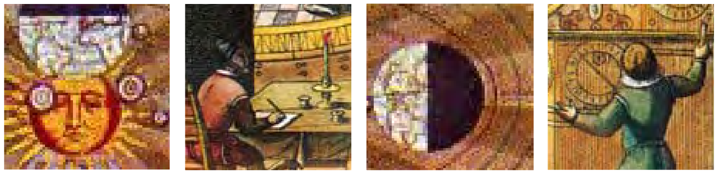
TODOS LOS PLANETAS SE MUEVEN EN ÓRBITAS ELÍPTICAS EN TORNO AL SOL, EL CUAL SE ENCUENTRA EN UNO DE SUS FOCOS

II LEY :

LA LINEA QUE CONECTA AL SOL CON EL PLANETA BARRE ÁREAS IGUALES EN TIEMPOS IGUALES

$\Rightarrow$ CONSERVACIÓN DE MOMENTUM ANGULAR

Johannes Kepler (1571-1630)



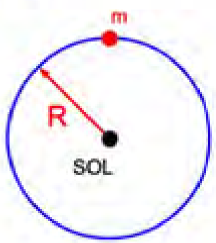
III LEY :

EL CUADRADO DEL PERIODO DE REVOLUCIÓN ES PROPORCIONAL AL CUBO DE LA DISTANCIA MEDIA AL SOL

PARA UNA ÓRBITA CIRCULAR DE RADIO R

$$T^2 \propto R^3$$

DEM.



$$F_g = m\,a_{centripeta}$$

$$\frac{G M_{SOL} \cancel{m}}{R^2} = \cancel{m} \frac{v^2}{R}$$

PERO $\quad v = \dfrac{2\pi R}{T}$

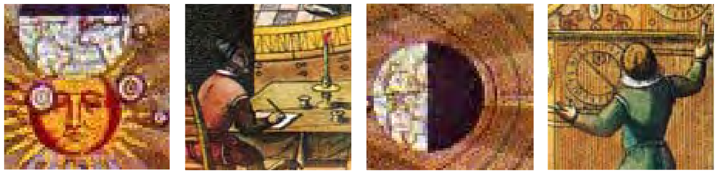
ENTONCES

$$\frac{G M_{sol}}{R^2} = \left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2 \frac{1}{R}$$

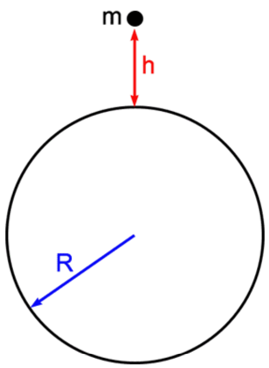
$$\frac{G M_{sol}}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

$$T^2 = \underbrace{\frac{4\pi^2}{G M_{sol}}} \cdot R^3$$

CONSTANTE QUE NO DEPENDE DE LA MASA DEL PLANETA



PESO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA



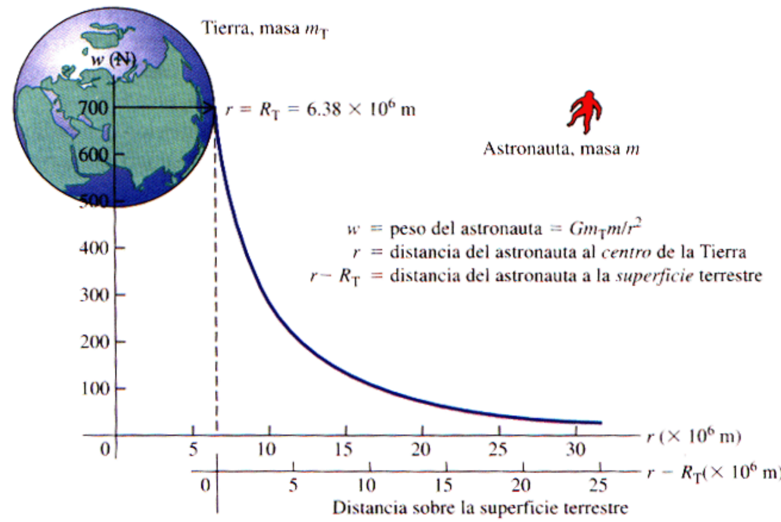
$$W = mg = \frac{GmM}{(R_T + h)^2}$$

$$W = \frac{GmM}{R_T^2\left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^2}$$

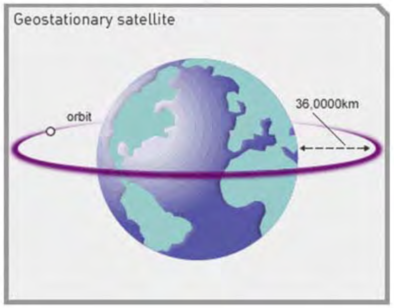
$$W = m \underbrace{\frac{GM}{R_T^2}}_{g_0} \left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^{-2}$$

g_0 GRAVEDAD EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

$$W = W_0 \left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^{-2}$$



SATÉLITES GEOESTACIONARIOS



PARA UN SATÉLITE EN ÓRBITA CIRCULAR

$$\frac{G\cancel{m}M}{r^2} = \cancel{m}\frac{v^2}{r}$$

PERO $v = \dfrac{2\pi r}{T}$

CON $T = 1$ DÍA $= 86\,400$ s ENTONCES

$$\frac{GM}{r^2} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

$$r^3 = \frac{GM}{4\pi^2} T^2 = 7.54 \times 10^{22}\ m^3$$

$\Rightarrow$ $r = 42\,300$ km DESDE EL CENTRO DE LA TIERRA

O BIEN A UNA ALTURA DE 36000 km SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE