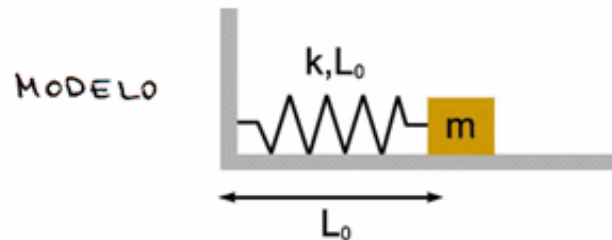


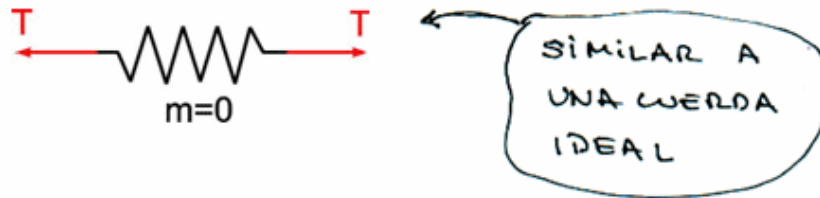
RESORTES



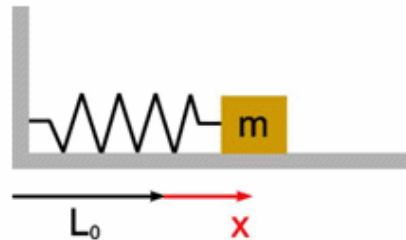
DEBE ESTAR CONECTADO A UNA MASA
PARA QUE LA 2ª LEY DE NEWTON NO
SEA TRIVIAL

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

RESORTE IDEAL \Rightarrow MASA NULA

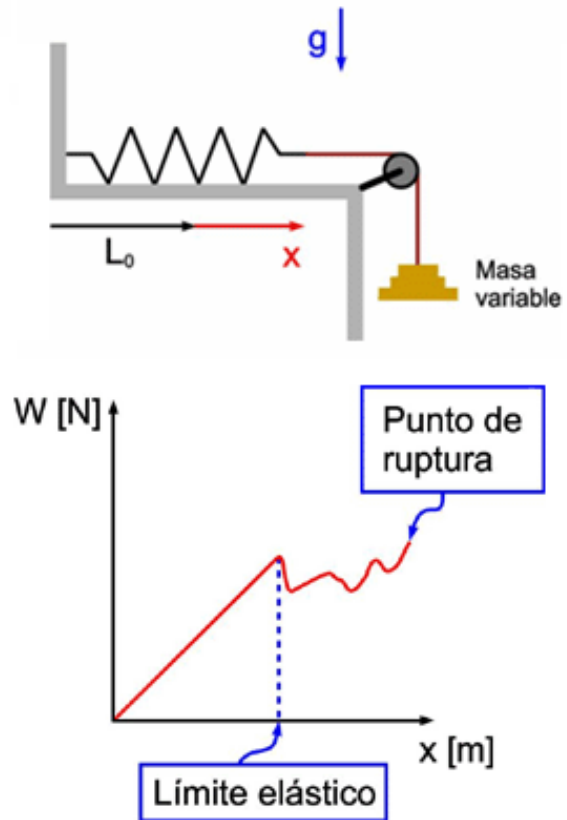


SISTEMA DE REFERENCIA



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

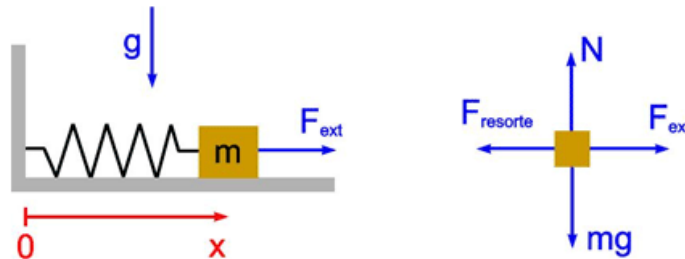
¿ FUEERZA EJERCIDA POR UN RESORTE ?



LEY DE HOOKE (1635-1703)

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

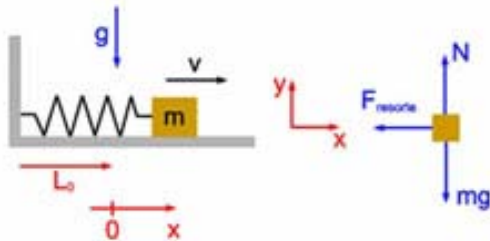
$$\vec{F}_{ext} = k\Delta$$



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



$$F_{\text{resorte}} = -kx$$

$$2^{\text{a}} \text{ LEY DE NEWTON} \Rightarrow -kx = ma_x$$

\Rightarrow

$$a_x = -\frac{k}{m}x$$

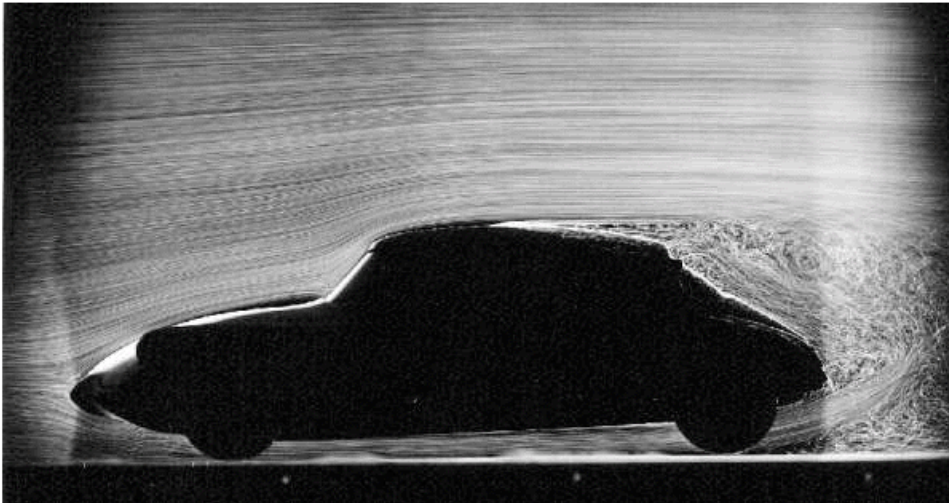
ECUACIÓN DE MOV.
PARA LA MASA m

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 \rightarrow 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 U
- RADIO DE LA ESFERA R
- VISCOSIDAD η

SIN EMBARGO, ESTOS REGIMENES SE
PUEDEN CARACTERIZAR POR UN NÚMERO

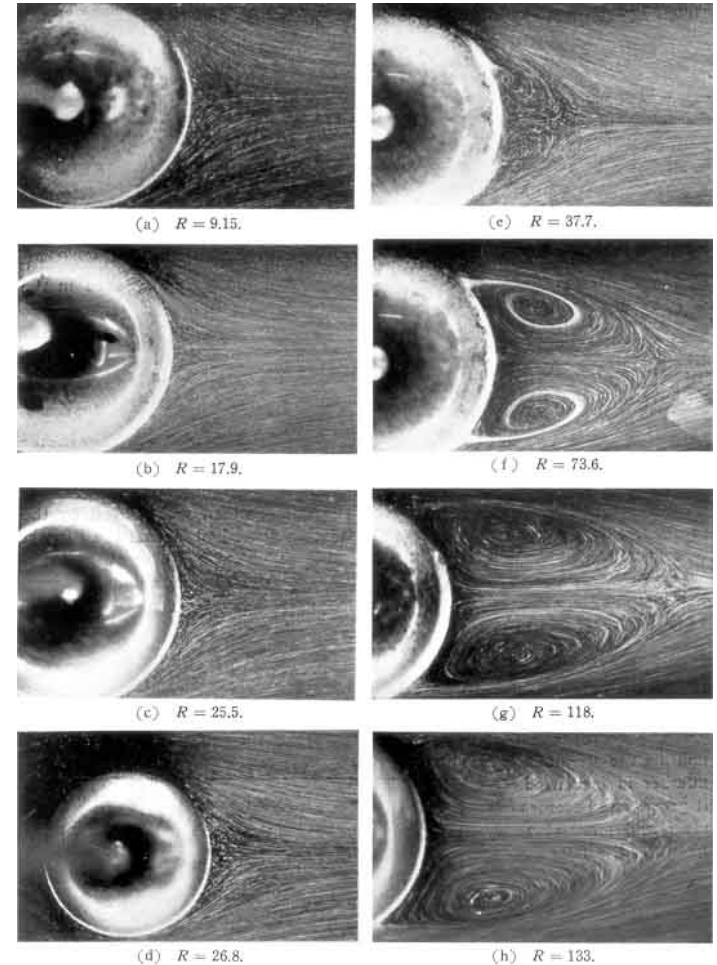
NÚMERO DE
REYNOLDS

$$Re = \frac{\rho U L}{\eta} = \frac{U L}{\nu}$$

VELOCIDAD TÍPICA $\rightarrow U$

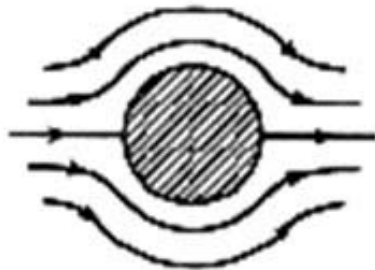
LONGITUD TÍPICA $\rightarrow L$

VISCOSIDAD CINEMÁTICA $\rightarrow \nu$



EJEMPLO: ESFERA EXISTEN DOS REGIMENES

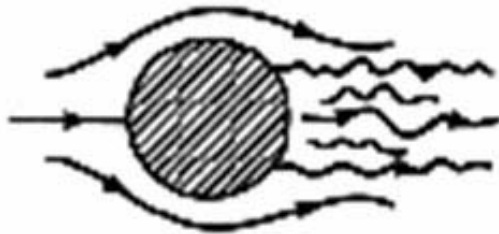
I. FLOW LAMINAR ($Re \ll 1$)



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

(LEY DE STOKES)

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



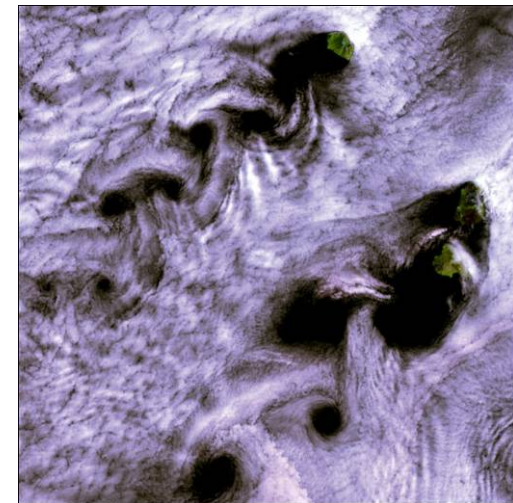
$$F_{\text{arrastre}} = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2$$

(FORMULA DE NEWTON)

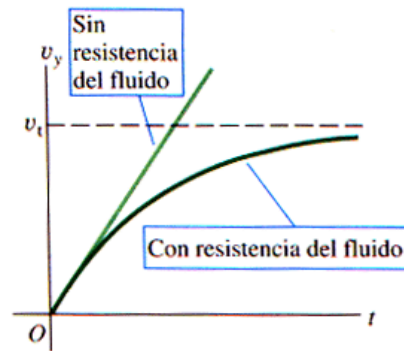
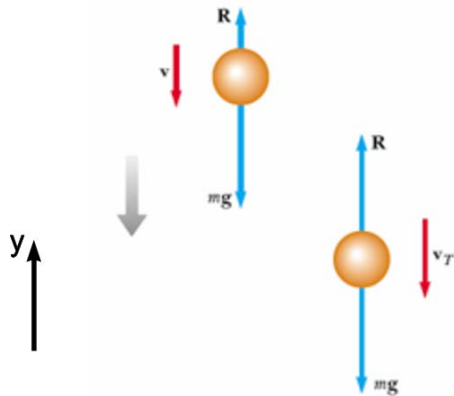
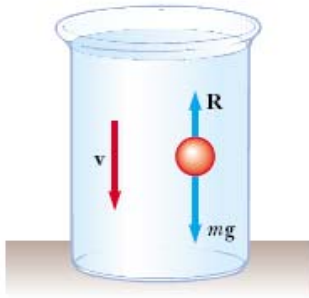
C_D = COEFICIENTE DE ARRASTRE

A \equiv ÁREA FRONTAL

Vórtices de von Karman



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



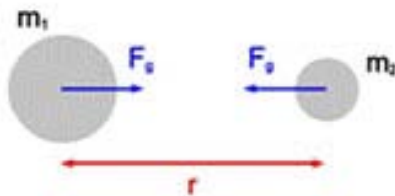
GRAVITACIÓN

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



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

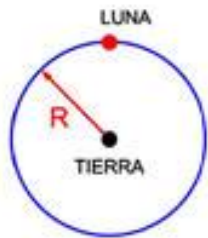
$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

CONSTANTE DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL

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



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

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

$T = 27.3$ DÍAS (PERÍODO)

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

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

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

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

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

EN EFECTO, DE LA 3ª LEY DE KEPLER

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

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

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

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



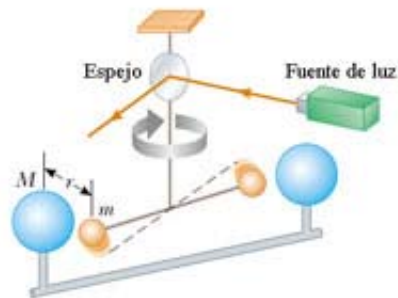
DONDE G ES UNA CONSTANTE UNIVERSAL

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) $\rightarrow G \approx 6.75 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

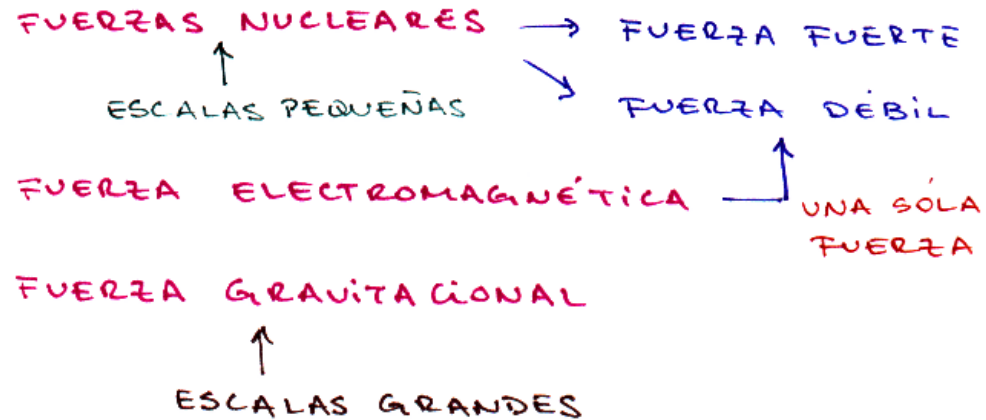
VALOR ACTUAL $\rightarrow G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

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 $M_T = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$

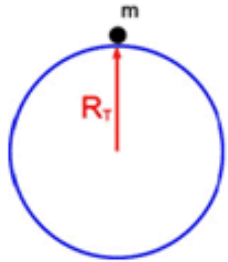
A ESCALAS DEL SISTEMA SOLAR, LA GALAXIA
O INCLUSO EL UNIVERSO, LA FUERZA DE
GRAVEDAD ES LA FUERZA DOMINANTE

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

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

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

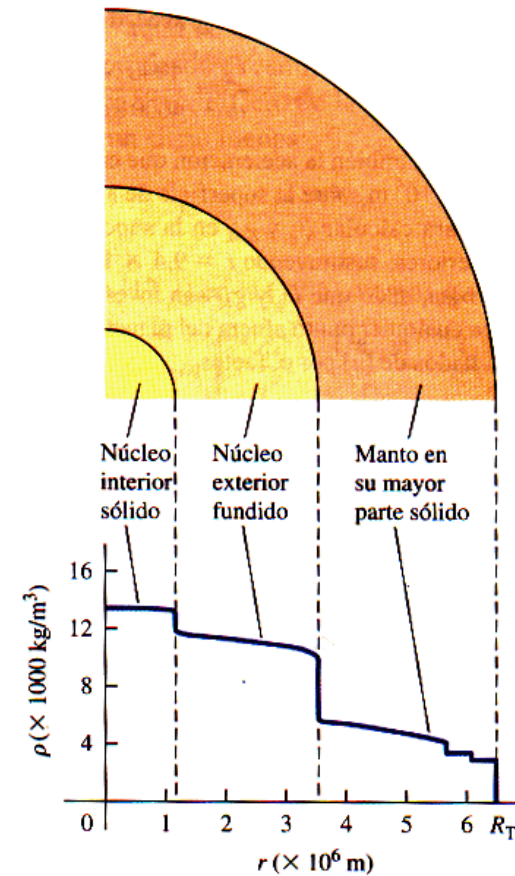
$$M_T \approx 6.1 \times 10^{24} \text{ kg}$$

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 !!



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

⇒ CONSERVACIÓN DE MOMENTUM
ANGULAR



Johannes Kepler (1571-1630)

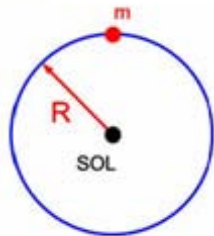
III LEY :

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.



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

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

PERO $v = \frac{2\pi R}{T}$

ENTONCES

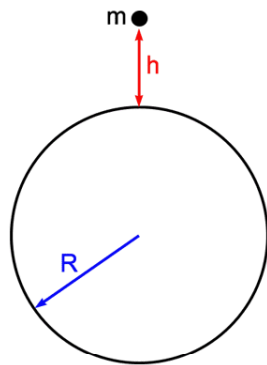
$$\frac{GM_{\text{sol}}}{R^2} = \left(\frac{2\pi R}{T} \right)^2 \frac{1}{R}$$

$$\frac{GM_{\text{sol}}}{R^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

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

CONSTANTE QUE NO
DEPENDE DE LA MASA
DEL PLANETA

PESO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA



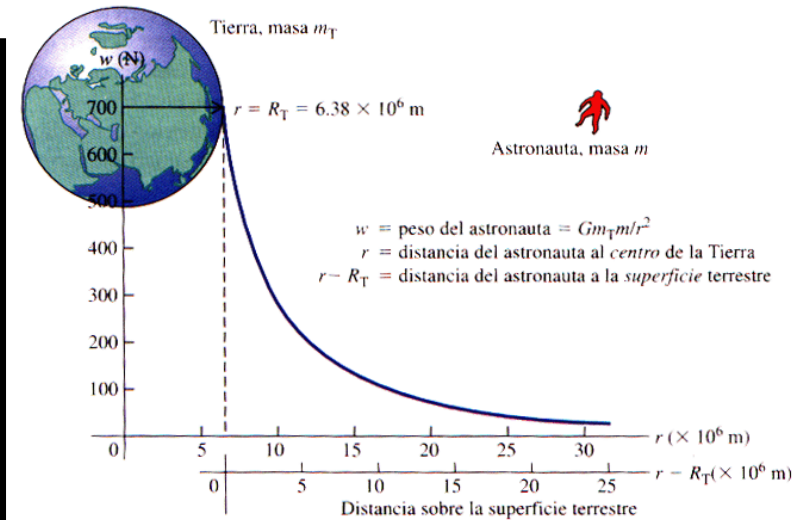
$$W = mg = \frac{GmM}{(R_T + h)^2}$$

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

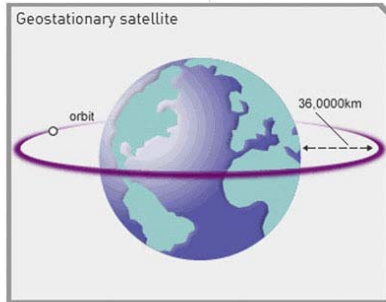
$$W = m \underbrace{\frac{GM}{R_T^2}}_{g_0} \left(1 + \frac{h}{R_T}\right)^{-2}$$

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

$$\frac{GM}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{PERO } v = \frac{2\pi r}{T}$$

CON $T = 1 \text{ día} = 86400 \text{ s}$ ENTONCES

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

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

$\Rightarrow r = 42300 \text{ km}$ DESDE EL CENTRO DE
LA TIERRA

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