



UNIDADE 1.5 - GRAVITAÇÃO

1

MARÍLIA PERES 2010



LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON



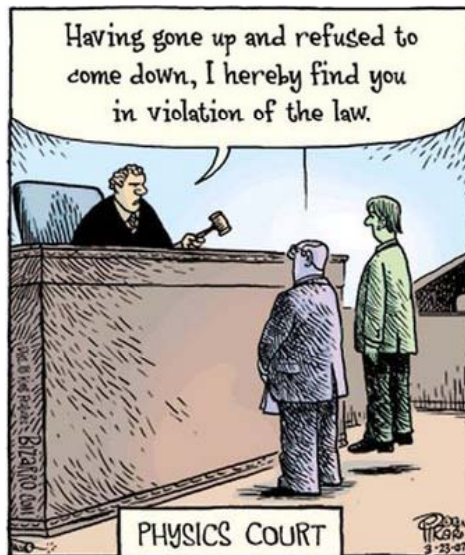
- Cada partícula no Universo atrai qualquer outra partícula com uma força que é directamente proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

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

- G é a constante de gravitação universal e é $6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$

2

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON



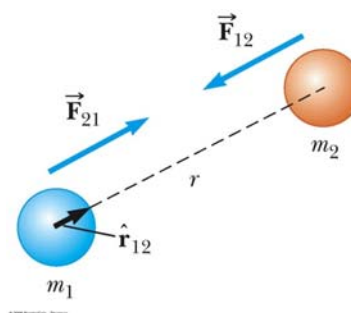
3

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON



$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

- Estas forças formam um par acção-reacção (3ª Lei de Newton)
- A gravitação é um campo de forças que existe entre duas partículas.
- Esta força diminui rapidamente à medida que a distância aumenta.



$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \vec{e}_r$$

4

G vs. g

G é a constante de gravitação universal. Tem sempre o mesmo valor em todo o lado.

g é aceleração devido à gravidade.
 $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ à superfície da Terra e varia com a localização



5

REPRESENTAÇÃO DO CAMPO GRAVÍTICO

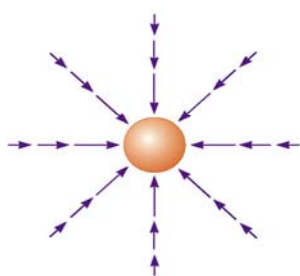


fig. a – Os vectores variam na intensidade e direcção

- O campo gravítico na vizinhança de uma massa esférica uniforme.

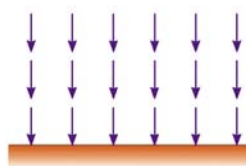


fig. b – Os vectores são uniformes

- O campo gravítico numa região junto à superfície da Terra.

6

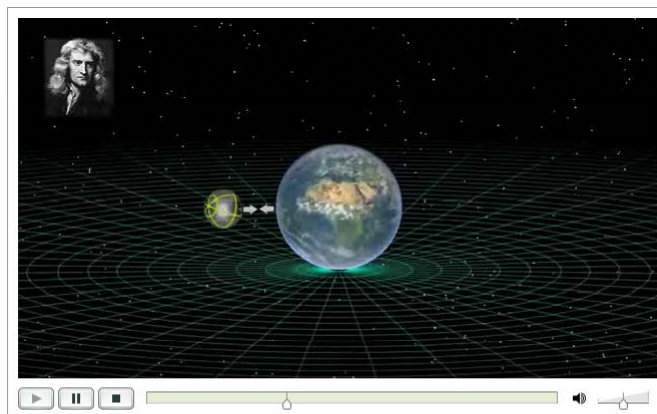
CAMPO GRAVÍTICO

À superfície da Terra, $r = R_T$ e $g = 9.80 \text{ m/s}^2$

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m} = - \frac{G \times M_E}{r^2} \vec{e}_r$$

7

Animation: Gravity in Newton's Universe

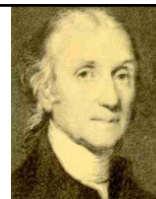


Flash Video, Duration: 1 Minute, 7 Seconds

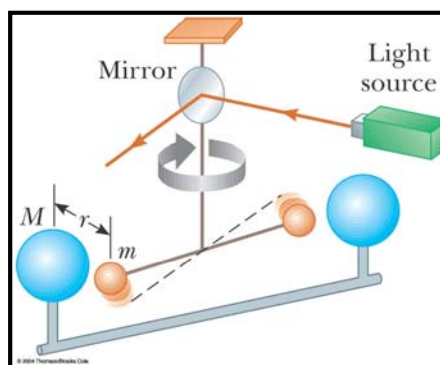
Fonte: http://einstein.stanford.edu/Media/Newtons_Universe_Anima-Flash.html

8

MEDINDO G

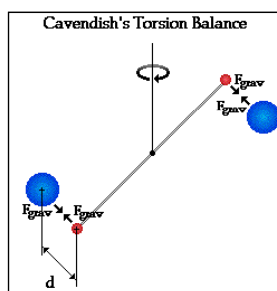
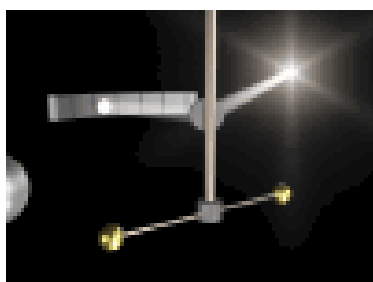
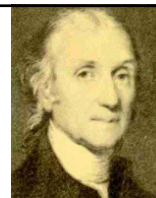


- G foi medido pela primeira vez por Henry Cavendish em 1798.
- O dispositivo mostra a força atractiva entre duas esferas por rotação deste.
- O espelho amplificava o movimento.
- Ele repetiu o processo para várias massas.



9

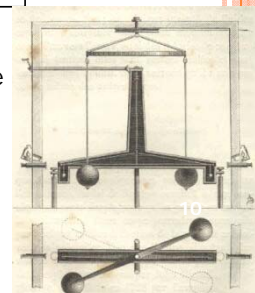
MEDINDO G



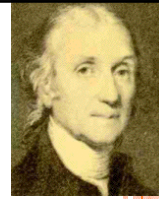
Experiência realizada em 1797-98 por Cavendish com uma balança de torção inventada por John Michell. A atracção entre as massas provoca uma ligeira torção do fio, o que permite determinar essa força atractiva e, em consequência, a constante de gravitação universal G .

A determinação de G permite o cálculo da massa da Terra.

Adaptado de Carlos Portela



MEDINDO G – PESANDO A TERRA



Valor de G obtido por Cavendish: $6,754 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$

Valor actualmente aceite para a constante de gravitação universal: $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$

$$g_{h=0} = G \frac{M_T}{R_T^2} = 9,81 \text{ m s}^{-2} \Leftrightarrow M_T = \frac{g R_T^2}{G} = \frac{9,81 \times (6,37 \times 10^6)^2}{6,67 \times 10^{-11}} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

11

Adaptado de Carlos Portela

LEIS DE KEPLER

- Johannes Kepler (1571 - 1630) foi um astrónomo alemão.
- Foi assistente Tycho Brahe.
- Kepler analisou os dados de Brahe e formulou três leis sobre o movimento dos planetas.



© 2008 Brooks/Cole - Thomson

12

LEIS DE KEPLER



○ Primeira Lei de Kepler ou Lei das Órbitas:

- A órbita de um planeta é elíptica, ocupando o Sol, um dos focos da elipse.

○ Segunda Lei de Kepler ou Lei das Áreas:

- O vector posição do planeta, com origem no Sol “varre” áreas iguais em intervalos iguais.

○ Terceira Lei de Kepler ou Lei dos Períodos:

- O cubo do semi-eixo maior da elipse e o quadrado do período do movimento do planeta são directamente proporcionais.

$$\frac{R^3}{T^2} = K$$

13

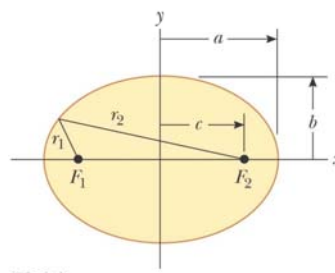
PRIMEIRA LEI DE KEPLER



- A órbita circular é um caso específico nas órbitas elípticas.

Planeta	Excentricidade da órbita
Mercúrio	0,206
Vénus	0,0068
Terra	0,0167
Marte	0,0934
Júpiter	0,0485
Saturno	0,0556

As excentricidades são pequenas, logo a 1ª lei de Kepler foi uma descoberta extraordinária



A excentricidade de uma elipse é definida como: $e = c/a$

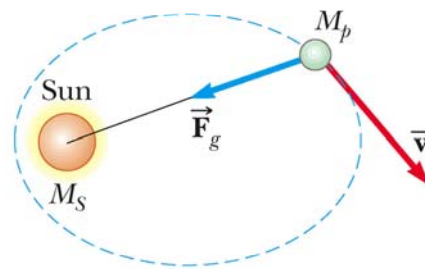
- Para um círculo, $e = 0$
- $0 < e < 1$

14

SEGUNDA LEI DE KEPLER



- É uma consequência da conservação do Momento Angular



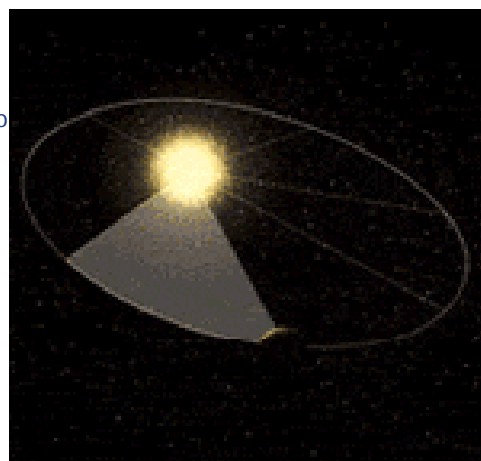
$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = M_p \vec{r} \times \vec{v} = \text{constant}$$

15

SEGUNDA LEI DE KEPLER



Periélio
Movimento
mais rápido



Afélio
Movimento
mais lento

$$A_1 = A_2 \Leftrightarrow \Delta t_1 = \Delta t_2$$

16

TERCEIRA LEI DE KEPLER



- Pode ser prevista pela lei da Gravitação, supondo a orbital circular.

$$\frac{GM_{\text{Sun}}M_{\text{Planet}}}{r^2} = \frac{M_{\text{Planet}}v^2}{r}$$

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

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_{\text{Sun}}} \right) r^3 = K_S r^3$$

17

TERCEIRA LEI DE KEPLER



Para todos os "satélites" que orbitam o mesmo "corpo central".

Planeta	Período (ano)	Semi-eixo maior (UA)	T^2 (ano ²)	R^3 (UA ³)	R^3 / T^2 (UA ³ ano ⁻²)
Mercúrio	0,241	0,387	0,0581	0,0580	1,00
Vénus	0,615	0,723	0,378	0,378	1,00
Terra	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Marte	1,881	1,524	3,538	3,540	1,00
Júpiter	11,86	5,203	140,66	140,85	1,00
Saturno	29,5	9,54	870,3	868,2	1,00

18

IMPONDERABILIDADE



Ver em: <http://ensinofisicaquimica.blogspot.com/2007/05/imponderabilidade.html>

19

ENERGIA DO CAMPO GRAVÍTICO

Se o campo gravítico é uniforme:

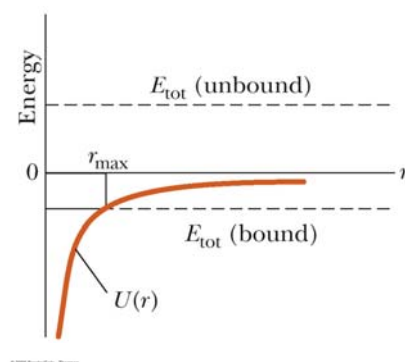
$$E_{p_g} = m \times g \times h$$

Caso contrário:

$$E_{p_g} = -\frac{GMm}{r}$$

Logo,

$$E_M = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r}$$

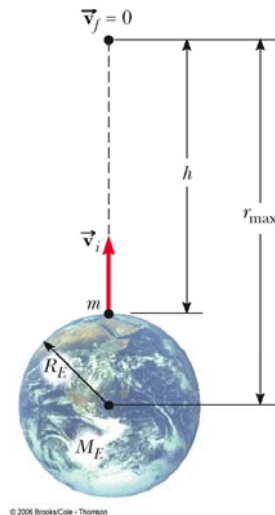


20

VELOCIDADE DE ESCAPE DA TERRA

- Usando considerações energéticas, pode-se calcular a velocidade mínima com que teria de ser lançado um objecto para chegar a um ponto com energia cinética nula (assim como a energia potencial).

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r} = 0$$



21

VELOCIDADE DE ESCAPE DA TERRA

- Esta velocidade mínima chama-se *velocidade de escape*

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}}$$

- v_{esc} é independente da massa do objecto.

22

VELOCIDADE DE ESCAPE

- Esta expressão é válida para qualquer planeta.

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Implicações:

- Isto explica porque razão alguns planetas têm atmosfera e outros não.
 - Moléculas mais leves possuem maior velocidade que as mais pesadas, por isso a atmosfera terrestre quase não tem hidrogénio e hélio, ao contrário da de Júpiter

Escape Speeds from the Surfaces of the Planets, the Moon, and the Sun

Planet	v_{esc} (km/s)
Mercury	4.3
Venus	10.3
Earth	11.2
Mars	5.0
Jupiter	60
Saturn	36
Uranus	22
Neptune	24
Pluto	1.1
Moon	2.3
Sun	618

23

BURACOS NEGROS



Fonte: NASA

- Um buraco negro é o que resta de uma estrela que colapsou devido à sua própria gravidade.
- A sua velocidade de escape ultrapassa a velocidade da luz.

24