

Gravitação Universal

Assunto: Lei da Gravitação Universal

Aula 02 – Lei da Gravitação Universal de Newton, Campo Gravitacional e Velocidade Orbital.

Para acompanhar esta aula em vídeo, vá na aba Aulas e clique em Gravitação Universal – [aula 02](#)

Lei da gravitação universal

A lei da gravitação, estabelecida por Newton, tem o seguinte enunciado:

Entre dois pontos materiais de massas m_1 e m_2 , separados pela distância r , existe uma força de atração F , proporcional às massas m_1 e m_2 e inversamente proporcional ao quadrado da distância r .

Matematicamente, a lei da gravitação universal pode ser escrita da seguinte forma:

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

onde a constante G é denominada **constante universal da gravitação** e vale, em unidades do sistema internacional (SI): $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

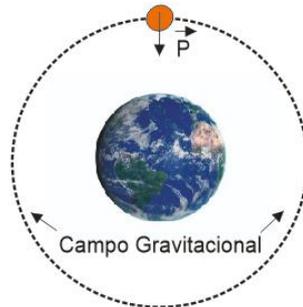
Exercício de aprendizagem:

1) (Eear) Dois corpos de massas m_1 e m_2 estão separados por uma distância d e interagem entre si com uma força gravitacional F . Se duplicarmos o valor de m_1 e reduzirmos a distância entre os corpos pela metade, a nova força de interação gravitacional entre eles, em função de F será:

- a) $F/8$ b) $F/4$ c) $4 F$ d) $8 F$

Campo Gravitacional

Em torno da Terra há uma região denominada de Campo Gravitacional. Todos os corpos lá colocados sofrem sua influência, que se apresenta em forma de uma força. Essa força é o peso do corpo que já foi definido em Dinâmica.



Aceleração da Gravidade

Qualquer corpo de massa "m", colocado a uma altura h da superfície da Terra, é atraído pelo campo gravitacional da Terra, para o centro da mesma, por uma força **F**. Como esta força é o próprio peso (**P**) do corpo teremos pela lei da gravitação de Newton:

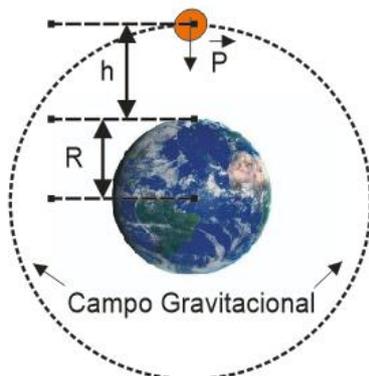
$$\vec{F} = \vec{P}$$

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} = m \cdot g$$

$$g = G \cdot \frac{M}{d^2}$$

G – Constante universal
 g – Aceleração da gravidade
 M – Massa da Terra
 m – Massa de um corpo próximo da Terra
 d – Distância do corpo em relação ao centro de massa da Terra.

Observe que a aceleração da gravidade em um local próximo a superfície da Terra dependerá apenas da distância que esse corpo estará em relação ao centro de massa da Terra, ou seja, dependerá da altura em que o corpo se encontra e não dependerá da massa do corpo. Isso nos lembrará da experiência de Galileu, que corpos com massas diferentes cairão sempre com a mesma aceleração se pudermos desprezar a resistência do ar. É bom lembrarmos também que para corpos próximos a superfície da Terra, não podemos desprezar o raio da Terra.



$$d = R + h$$

$$g_{ext} = \frac{GM}{(R + h)^2}$$

Por exemplo, vamos calcular a aceleração da gravidade na superfície da Terra. São dados:

$R_T = 6,4 \times 10^3 \text{ km}$ (Raio da Terra)

$M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ (Massa da Terra)

$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ (Constante de Gravitação Universal)

Solução:

$$g = G \cdot \frac{M}{d^2} \rightarrow g = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2 \cdot \frac{6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6,4 \cdot 10^6 \text{ m})^2}$$

$$g \cong 9,8 \left(\frac{(\text{kg.m/s}^2) \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\boxed{g \cong 9,8 \text{ m/s}^2}$$

Observação: Devido ao movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo, a aceleração da gravidade sofre um pequeno desvio em relação ao valor calculado pela lei de Newton. Esse desvio não existe nos polos e cresce à medida que nos aproximamos do equador. No Equador, onde o desvio é máximo, a diferença entre o valor dado pela lei de Newton e o valor real é da ordem de 0,5%.

Satélites em órbitas circulares

Considere um satélite em órbita da Terra. Quem mantém o satélite nessa órbita é a força Peso. Essa mesma força Peso (**Figura 1**) é que é a responsável pela força centrípeta que mantém o satélite em órbita circular. O corpo não cai para a superfície da Terra pois ele tem que ter uma velocidade orbital para que isso não aconteça. Cada órbita terá sua própria velocidade independente da massa do satélite, como veremos.

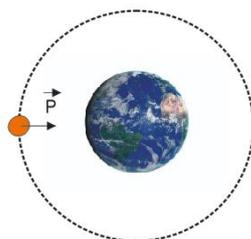


Figura 1

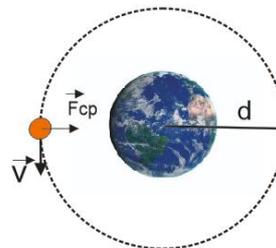


Figura 2

Como o peso é o responsável pela força centrípeta, teremos:

$$\vec{F}_{cp} = \vec{P}$$

$$m \cdot a_{cp} = m \cdot g$$

$$m \cdot \frac{v^2}{d} = m \cdot g$$

Como já vimos:

$$g = G \cdot \frac{M}{d^2}$$

Sendo assim, teremos:

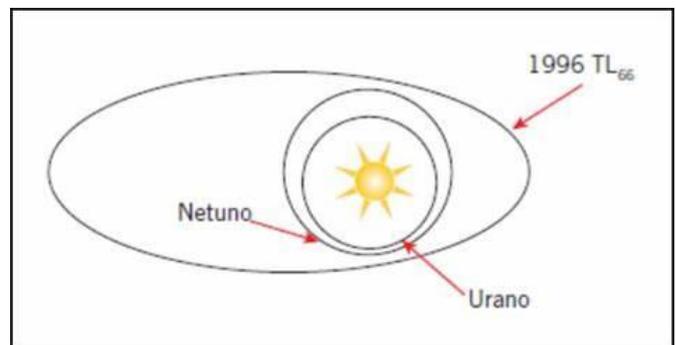
$$v^2 = G \cdot \frac{M}{d^2} \cdot d \rightarrow \boxed{v = \sqrt{G \frac{M}{d}}} \quad \text{lembrando que } d = R + h$$

A velocidade orbital do satélite é dada pela igualdade acima, onde d é a distância do satélite ao centro de massa da Terra.

Obs. O satélite está em queda livre. Então se tiver um astronauta dentro do satélite, ele também estará em queda livre. Por isso teremos uma “aparente ausência de gravidade”. Existe gravidade, porém estão todos em queda livre.

Exercícios de aprendizagem:

1/6 - (PUC-MG) - A figura a seguir representa o Sol, três astros celestes e suas respectivas órbitas em torno do Sol: Urano, Netuno e um objeto descoberto em 1996 de nome 1996 TL66. Analise as afirmativas a seguir:



- I. Essas órbitas são elípticas, estando o Sol em um dos focos dessas elipses.
- II. Os três astros representados executam movimento uniforme em torno do Sol, cada um com um valor de velocidade diferente dos outros.
- III. Dentre todos os astros representados, quem gasta menos tempo para completar uma volta em torno do Sol é Urano.

Indique:

- a) Todas as afirmativas são corretas.
- b) Todas as afirmativas são falsas.
- c) Apenas as afirmativas I e II são corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e III são corretas.
- e) Apenas as afirmativas II e III são corretas.

2/6) (UFMG) - Para um observador no interior de uma nave espacial em órbita em torno da Terra, os objetos do interior da nave parecem flutuar no espaço. Indique a alternativa que apresenta a melhor explicação para esse fenômeno.



- a) A força gravitacional que atua sobre a nave é anulada pela força centrípeta.

- b) A força gravitacional que atua sobre a nave é anulada pela força exercida pelo motor da nave.
- c) A nave espacial está sujeita a forças gravitacionais muito pequenas.
- d) A nave espacial se movimenta numa região do espaço onde existe vácuo.
- e) Os objetos dentro da nave espacial e a nave têm a mesma aceleração.

3/6) (UFRN) - Se a massa da Terra não se alterasse, mas o seu raio fosse reduzido à metade, o nosso peso seria:

- a) reduzido à quarta parte.
- b) reduzido à metade.
- c) o mesmo.
- d) dobrado.
- e) quadruplicado.

4/6) Admitindo que a Lua executa um movimento circular e uniforme em torno da Terra, sem ser perturbada pelo resto do universo, analise as afirmações seguintes:

I. Se a Lua descreve uma órbita circular de raio "d" em torno da Terra, deve existir uma força agindo sobre ela, dirigida para o centro da Terra.

II. A força centrípeta que age na Lua é a própria força de atração gravitacional entre a Terra e a Lua.

III. A velocidade escalar da Lua ao redor da Terra não é constante.

- a) todas as afirmações são verdadeiras.
- b) todas as afirmações são falsas.
- c) somente a afirmação I é verdadeira.
- d) existem duas afirmações verdadeiras: I e II.
- e) a afirmação III é correta.

5/6) (Uneb-BA) - Um dinamômetro muito sensível é usado para pesar um corpo no equador e no polo norte terrestres. Considerando-se a forma esférica da Terra e o seu movimento de rotação, julgue as afirmações seguintes:

- I. O peso medido é menor no equador do que no polo.
- II. O peso real do corpo é o mesmo no equador e no polo.
- III. A massa do corpo é a mesma no equador e no polo.

IV. Caso o mesmo dinamômetro pesasse o corpo no polo sul, o resultado da medida seria igual ao do polo norte.

- a) Apenas as afirmativas I e II são verdadeiras.
- b) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.
- c) Apenas as afirmativas I , II e IV são verdadeiras.
- d) Apenas as afirmativas II , III e IV são verdadeiras.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

6/6) - Considere dois astronautas A e B, devidamente trajados para uma viagem à Lua. Na superfície da Terra, eles com seus trajes têm massas M_A e M_B , pesos P_A e P_B e se atraem mutuamente com forças muito fracas e de intensidade F quando separados por uma distância d . Na superfície da Lua, eles têm massas M'_A e M'_B , pesos P'_A e P'_B e se atraem com forças de intensidade F' quando separados pela mesma distância d . Sabendo-se que a intensidade do campo gravitacional na superfície da Lua é aproximadamente um sexto da intensidade do campo gravitacional na superfície da Terra, compare:

- a) $M_A = M'_A$, $M_B = M'_B$; $P_A = P'_A$, $P_B = P'_B$; $F = F'$
- b) $M_A = M'_A$, $M_B = M'_B$; $P_A > P'_A$, $P_B > P'_B$; $F = F'$
- c) $M_A > M'_A$, $M_B > M'_B$; $P_A > P'_A$, $P_B > P'_B$; $F > F'$
- d) $M_A < M'_A$, $M_B < M'_B$; $P_A < P'_A$, $P_B < P'_B$; $F < F'$
- e) $M_A = M'_A$, $M_B = M'_B$; $P_A > P'_A$, $P_B > P'_B$; $F > F'$

Exercícios de Fixação

1) Dois corpos estão situados a uma distância R um do outro, atraindo-se com força de intensidade $5N$. Qual será a nova intensidade da força de interação entre eles se:

- a) a massa de um deles for duplicada?
- b) a massa de ambos for triplicada?
- c) a distância entre eles for reduzida à metade.

2) (Ufu) - Muitas estrelas, em sua fase final de existência, começam a colapsar e a diminuir seu diâmetro, ainda que preservem sua massa. Imagine que fosse possível você viajar até uma estrela em sua fase final de existência, usando uma espaçonave preparada para isso.

Se na superfície de uma estrela nessas condições seu peso fosse P , o que ocorreria com ele à medida que ela colapsa?

- a) Diminuiria, conforme a massa total da pessoa fosse contraindo.
- b) Aumentaria, conforme o inverso de sua distância ao centro da estrela.
- c) Diminuiria, conforme o volume da estrela fosse contraindo.
- d) Aumentaria, conforme o quadrado do inverso de sua distância ao centro da estrela.

3) (Unicamp) - Recentemente, a agência espacial americana anunciou a descoberta de um planeta a trinta e nove anos-luz da Terra, orbitando uma estrela anã vermelha que faz parte da constelação de Cetus. O novo planeta possui dimensões e massa pouco maiores do que as da Terra e se tornou um dos principais candidatos a abrigar vida fora do sistema solar.

Considere este novo planeta esférico com um raio igual a $R_P = 2R_T$ e massa $M_P = 8M_T$, em que R_T e M_T são o raio e a massa da Terra, respectivamente. Para planetas esféricos de massa M e raio R , a aceleração da gravidade na superfície do planeta é dada por $g = \frac{GM}{R^2}$, em que G é uma constante universal. Assim, considerando a Terra esférica e usando a aceleração da gravidade na sua superfície, o valor da aceleração da gravidade na superfície do novo planeta será de

- a) 5 m/s^2 .
- b) 20 m/s^2 .
- c) 40 m/s^2 .
- d) 80 m/s^2 .

4) (Puccamp) É a força gravitacional que governa as estruturas do universo, desde o peso dos corpos próximos à superfície da Terra até a interação entre as galáxias, assim como a circulação da Estação Espacial Internacional em órbita ao redor da Terra.

Suponha que um objeto de massa M_T e peso P_T quando próximo à superfície da Terra seja levado para a Estação Espacial Internacional. Lá, o objeto terá

- a) massa igual a M_T e peso menor que P_T , mas não nulo.
- b) massa igual a M_T e peso maior que P_T .
- c) massa menor que M_T e peso maior que P_T .
- d) massa igual a M_T e peso nulo.
- e) massa maior que M_T e peso menor que P_T .

5) (Enem (Libras)) Conhecer o movimento das marés é de suma importância para a navegação, pois permite definir com segurança quando e onde um navio pode navegar em áreas, portos ou canais. Em média, as marés oscilam entre alta e baixa num período de 12 horas e 24 minutos. No conjunto de marés altas, existem algumas que são maiores do que as demais.

A ocorrência dessas maiores marés tem como causa

- a) a rotação da Terra, que muda entre dia e noite a cada 12 horas.
- b) os ventos marítimos, pois todos os corpos celestes se movimentam juntamente.
- c) o alinhamento entre a Terra, a Lua e o Sol, pois as forças gravitacionais agem na mesma direção.
- d) o deslocamento da Terra pelo espaço, pois a atração gravitacional da Lua e do Sol são semelhantes.
- e) a maior influência da atração gravitacional do Sol sobre a Terra, pois este tem a massa muito maior que a da Lua.

6) (Uff-pism 1) Um satélite geoestacionário é um satélite que se move em uma órbita circular acima do Equador da Terra seguindo o movimento de rotação do planeta em uma altitude de 35.786 km. Nesta órbita, o satélite parece parado em relação a um observador na Terra. Satélites de comunicação, como os de TV por assinatura, são geralmente colocados nestas órbitas geoestacionárias. Assim, as antenas colocadas nas casas dos consumidores podem ser apontadas diretamente para o satélite para receber o sinal.

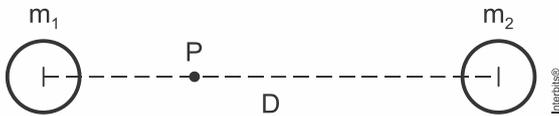
Sobre um satélite geoestacionário é correto afirmar que:

- a) a força resultante sobre ele é nula, pois a força centrípeta é igual à força centrífuga.
- b) como no espaço não existe gravidade, ele permanece em repouso em relação a um ponto fixo na superfície Terra.
- c) o satélite somente permanece em repouso em relação à Terra se mantiver acionados jatos propulsores no sentido oposto ao movimento de queda.

d) a força de atração gravitacional da Terra é a responsável por ele estar em repouso em relação a um ponto fixo na superfície da Terra.

e) por estar fora da atmosfera terrestre, seu peso é nulo.

7) (Ufrgs) A figura abaixo representa dois planetas, de massas m_1 e m_2 , cujos centros estão separados por uma distância D , muito maior que os raios dos planetas.

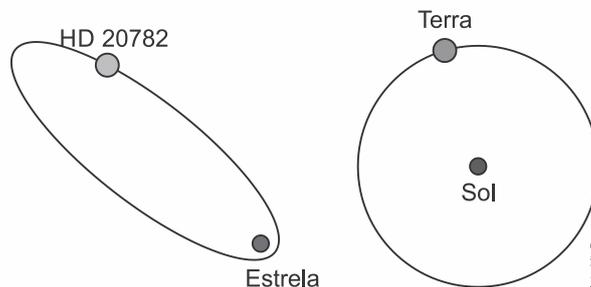


Sabendo que é nula a força gravitacional sobre uma terceira massa colocada no ponto P , a uma distância $D/3$ de m_1 , a razão m_1/m_2 entre as massas dos planetas é

- a) $1/4$.
- b) $1/3$.
- c) $1/2$.
- d) $2/3$.
- e) $3/2$.

8) (Acafe) Foi encontrado pelos astrônomos um exoplaneta (planeta que orbita uma estrela que não o Sol) com uma excentricidade muito maior que o normal. A excentricidade revela quão alongada é sua órbita em torno de sua estrela. No caso da Terra, a excentricidade é $0,017$, muito menor que o valor $0,96$ desse planeta, que foi chamado HD 20782.

Nas figuras a seguir pode-se comparar as órbitas da Terra e do HD 20782.



Nesse sentido, assinale a **correta**.

- a) As leis de Kepler não se aplicam ao HD 20782 porque sua órbita não é circular como a da Terra.
- b) As leis de Newton para a gravitação não se aplicam ao HD 20782 porque sua órbita é muito excêntrica.
- c) A força gravitacional entre o planeta HD 20782 e sua estrela é máxima quando ele está passando no afélio.
- d) O planeta HD 20782 possui um movimento acelerado quando se movimenta do afélio para o periélio.

9) (Uece) A força da gravidade sobre uma massa m acima da superfície e a uma distância d do centro da Terra é dada por mGM/d^2 , onde M é a massa da Terra e G é a constante de gravitação universal. Assim, a aceleração da gravidade sobre o corpo de massa m pode ser corretamente escrita como

- a) mG/d^2 .
- b) GM/d^2 .
- c) mGM/d^2 .
- d) mM/d^2 .

10) (Ufrgs) Em 23 de julho de 2015, a NASA, agência espacial americana, divulgou informações sobre a existência de um exoplaneta (planeta que orbita uma estrela que não seja o Sol) com características semelhantes às da Terra. O planeta foi denominado Kepler 452-b. Sua massa foi estimada em cerca de 5 vezes a massa da Terra e seu raio em torno de 1,6 vezes o raio da Terra.

Considerando g o módulo do campo gravitacional na superfície da Terra, o módulo do campo gravitacional na superfície do planeta Kepler 452-b deve ser aproximadamente igual a:

- a) $g/2$.
- b) g .
- c) $2g$.
- d) $3g$.
- e) $5g$.

Respostas:

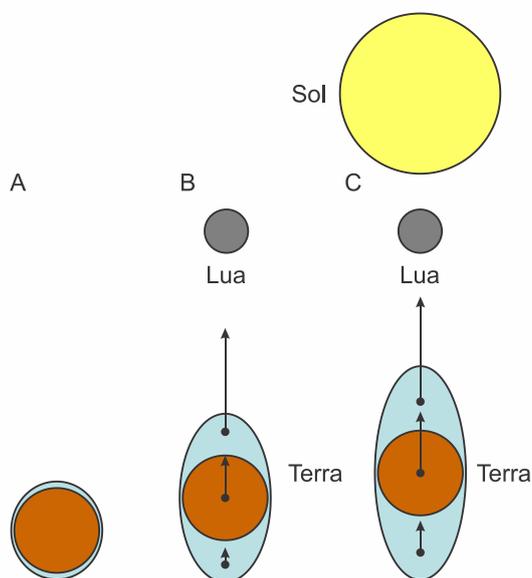
Exercícios de aprendizagem:

1) E 1/6) d 2/6) E 3/6) E 4/6) D 5/6) E 6/6) B

Exercícios de Fixação:

1) a) 10N (dobrada) b) 45N (9 vezes maior) c) 20N (4 vezes maior) 2) d 3) b 4) a 5) c 6) d 7) a 8) d 9) b 10) c

Resposta 5) As marés ocorrem devido às forças gravitacionais de atração entre a Terra e a Lua e entre a Terra e o Sol. Portanto, quando os centros desses astros estão sobre a mesma linha, nos pontos da superfície da Terra que estão sobre essa linha a maré é ainda mais alta, sendo mais baixa nos pontos a 90° .



Ação das marés, mostrada de maneira exagerada para melhor entendimento.

A – situação isopotencial (sem maré); B – maré lunar; C – maré lunissolar.