

Índice

## LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

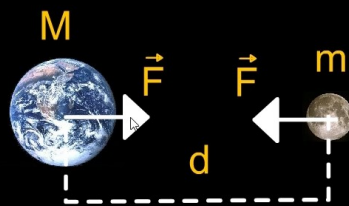
Newton explicou as leis dos movimentos dos planetas por uma hipótese aplicável à universalidade dos casos desde a atração dos planetas até as atrações moleculares dos corpos.

Estudando o movimento da Lua, ele concluiu que a força que a mantém em órbita é do mesmo tipo da força que a Terra exerce sobre um corpo colocado nas suas proximidades. Chamou essas forças de gravitacionais e enunciou a lei da gravitação universal.

"Matéria atrai matéria, na razão direta do produto das massas e inversa do quadrado da distância".

Índice

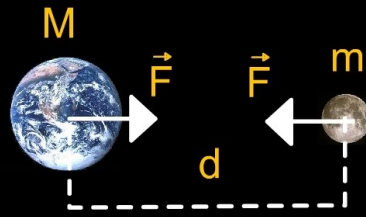
Esquemáticamente teremos:



A intensidade da força de atração gravitacional entre dois corpos, segundo o enunciado de Newton, é dada por:

$$F = G \times \frac{M \times m}{d^2}$$

Índice


$$F = G \times \frac{M \times m}{d^2}$$

Nesta equação, **G** é a **constante de gravitação universal** ou constante de proporcionalidade entre **F** e **M x m / d<sup>2</sup>**, e seu valor é aproximadamente  $6,7 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ .

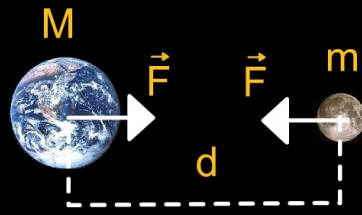
M = Massa do corpo 1

m = Massa do corpo 2

d = distância entre os centros de massa

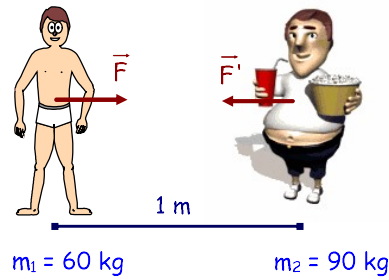


Índice


$$F = G \times \frac{M \times m}{d^2}$$

Como a constante de gravitação universal (**G**) possui um valor muito pequeno, para que a força gravitacional seja considerável, é preciso que uma das massas seja muito grande. Essa é a razão pela qual a força de atração que prevalece entre os corpos próximo à superfície da Terra seja a força **peso** aplicada pela Terra, pois a massa da Terra é sempre muito maior que a de qualquer corpo próximo a ela. Assim, **G** não depende do meio nem do tipo ou do movimento das partículas.



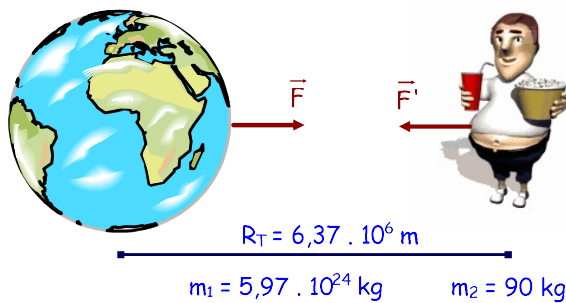
Gravitação Universal

$$|\vec{F}| = |\vec{F}'|$$

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

$$F = 6,7 \times 10^{-11} \cdot \frac{60 \cdot 90}{1^2}$$

$$F = 0,0000003618 \text{ N}$$

Gravitação Universal

$$|\vec{F}| = |\vec{F}'|$$

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

$$F = 6,7 \times 10^{-11} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24} \cdot 90}{(6,37 \cdot 10^6)^2}$$

$$F \cong 887 \text{ N}$$

## Exercício de aprendizagem:

(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)  $8 F$

## Exercício de aprendizagem:

(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)  $8 F$

Solução:

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



$$F' = 8 \cdot F$$

$$F' = G \cdot \frac{2m_1 \cdot m_2}{\left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$F' = G \cdot \frac{2m_1 \cdot m_2}{\frac{d^2}{4}}$$

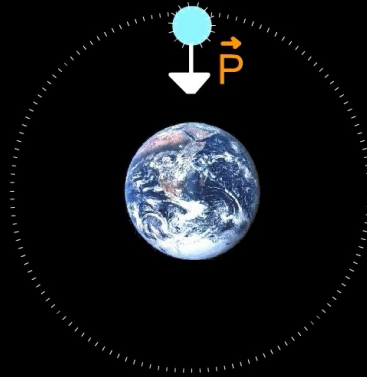
$$F' = G \cdot \frac{8m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

$$F' = 8 \cdot G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Índice

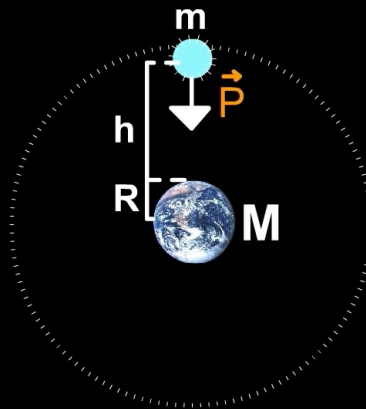
## Campo Gravitacional

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.



Índice

## Aceleração da Gravidade

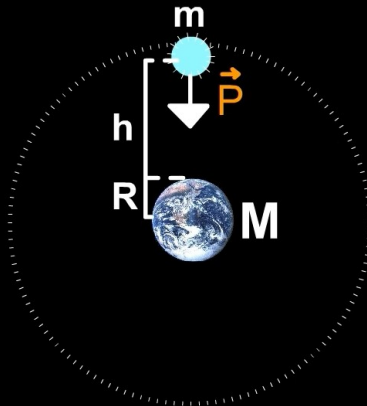


Qualquer corpo de massa " $m$ ", colocado a uma altura  $h$  da superfície da Terra, é atraído pelo campo gravitacional da Terra, para o centro da mesma, por uma força  $F$ . Como esta força é o próprio peso do corpo teremos:



Índice

## Aceleração da Gravidade



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

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

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

Nessa expressão, "d" representa a distância de um ponto externo até o centro do planeta de massa "M". ( $d = R + h$ )

O campo gravitacional num ponto qualquer depende somente da posição do ponto considerado e da massa "M" do corpo que gera o campo, ou seja, é uma característica do local, e não do corpo de prova utilizado.



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)

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:

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

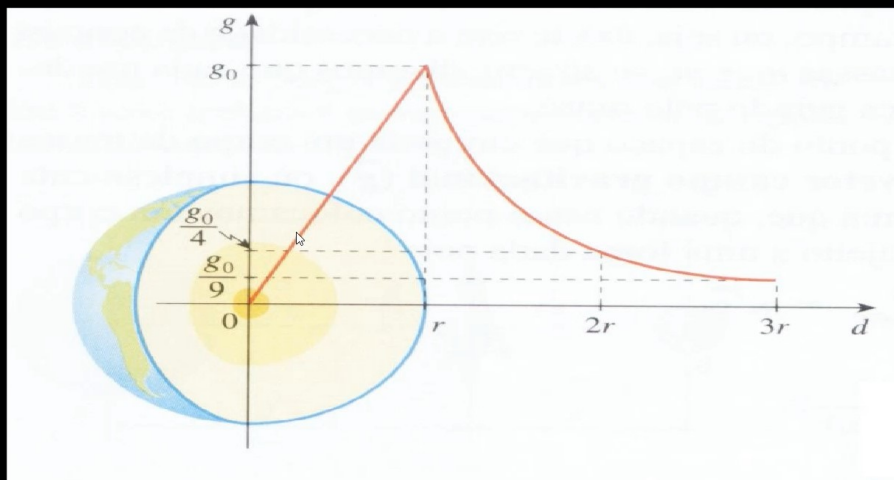
$$g \cong 9,8 \left( \frac{(\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2) \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$

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

### Índice

## Aceleração da Gravidade

Para pontos a uma distância "d" do centro da Terra, o campo gravitacional irá variar linearmente com a distância, medida a partir de seu centro.

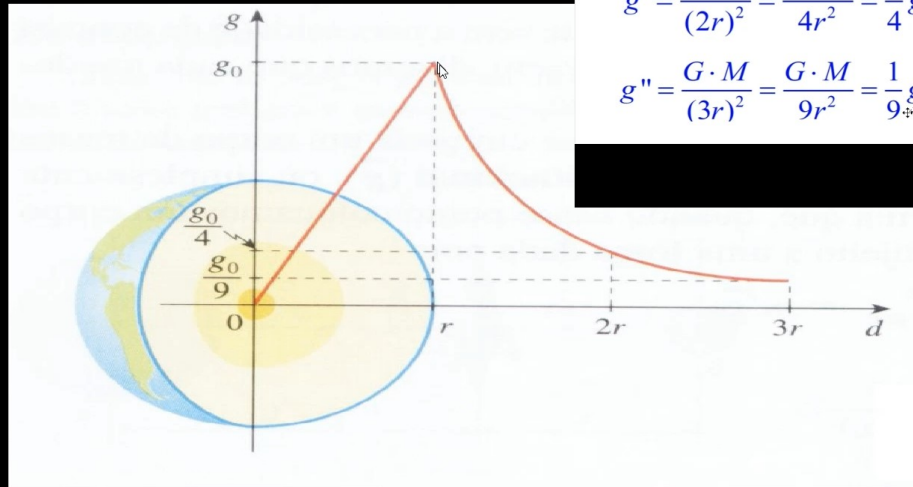




Índice

## Aceleração da Gr

Para pontos a uma distância "d" do centro gravitacional irá variar linearmente com a distância de seu centro.



$$g = \frac{G \cdot M}{(r)^2}$$

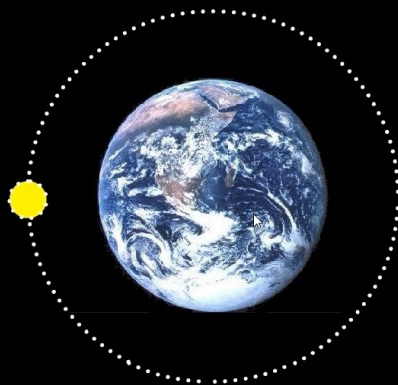
$$g' = \frac{G \cdot M}{(2r)^2} = \frac{G \cdot M}{4r^2} = \frac{1}{4}g$$

$$g'' = \frac{G \cdot M}{(3r)^2} = \frac{G \cdot M}{9r^2} = \frac{1}{9}g$$

Índice

## Satélites em órbitas circulares:

Consideremos um satélite de massa  $m$  em órbita de um planeta de massa  $M$ .



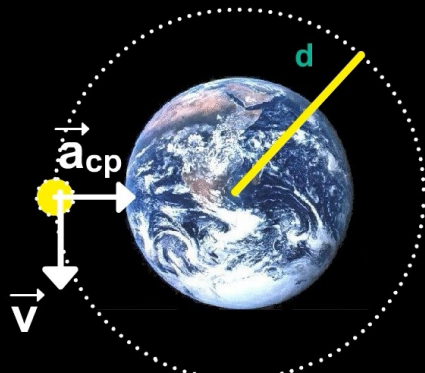
Quem mantém o satélite nesta órbita circular é a força peso. Esta mesma força peso é quem é a responsável pela força centrípeta que mantém o satélite na órbita circular.



Índice

## Satélites em órbitas circulares:

Consideremos um satélite de massa  $m$  em órbita de um planeta de massa  $M$ .



$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d}}$$

$$F_{cp} = G \frac{M \times m}{d^2}$$

onde  $d = R + h$  (raio do planeta mais altura do satélite.)

$$\cancel{m} \times a_{cp} = G \frac{M \times \cancel{m}}{d^2}$$

$$\frac{v^2}{d} = G \frac{M}{d^2}$$

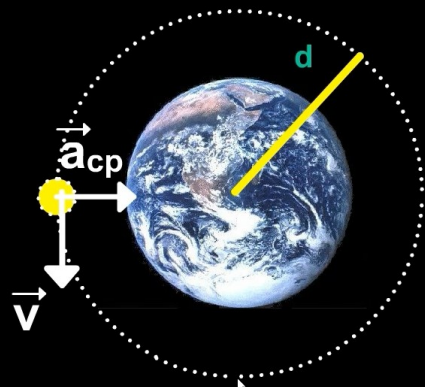


Índice

## Satélites em órbitas circulares:

Consideremos um satélite de massa  $m$  em órbita de um planeta de massa  $M$ .

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d}}$$



Observe que a velocidade que um satélite deve ter para se manter em órbita, depende apenas da massa do planeta e da altura da órbita em relação ao centro do planeta. Não depende da massa do satélite.



Índice

## EXERCÍCIOS GERAIS

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 TL<sub>66</sub>. 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, o que gasta menos tempo para completar uma volta em torno do Sol é Urano.



Se todas as afirmativas são corretas



Se todas as afirmativas são falsas



Se apenas as afirmativas I e II são corretas



Se apenas as afirmativas I e III são corretas



Se apenas as afirmativas II e III são corretas

Índice

## EXERCÍCIOS GERAIS

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 TL<sub>66</sub>. 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, o que gasta menos tempo para completar uma volta em torno do Sol é Urano.



Se todas as afirmativas são corretas



Se todas as afirmativas são falsas



Se apenas as afirmativas I e II são corretas



Se apenas as afirmativas I e III são corretas



Se apenas as afirmativas II e III são corretas

**Índice**

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



A força gravitacional que atua sobre a nave é anulada pela força exercida pelo motor da nave.



A nave espacial está sujeita a forças gravitacionais muito pequenas.



A nave espacial se movimenta numa região do espaço onde existe vácuo.



Os objetos dentro da nave espacial e a nave têm a mesma aceleração.

**Índice**

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



A força gravitacional que atua sobre a nave é anulada pela força exercida pelo motor da nave.



A nave espacial está sujeita a forças gravitacionais muito pequenas.



A nave espacial se movimenta numa região do espaço onde existe vácuo.



Os objetos dentro da nave espacial e a nave têm a mesma aceleração. →



## Índice

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

-  reduzido à quarta parte.
-  reduzido à metade.
-  o mesmo.
-  dobrado.
-  quadruplicado.

## Índice

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

-  reduzido à quarta parte.
-  reduzido à metade.
-  o mesmo.
-  dobrado.
-  quadruplicado.

$$\begin{aligned}
 P &= m \cdot g & g &= \frac{G \cdot M}{R^2} \\
 P' &= m \cdot g' & g' &= \frac{G \cdot M}{\left(\frac{R}{2}\right)^2} = \frac{G \cdot M}{\frac{R^2}{4}} \\
 P' &= 4 \cdot m \cdot g & g' &= 4 \cdot \frac{G \cdot M}{R^2} \\
 \boxed{P' &= 4 \cdot P} & g' &= 4 \cdot g
 \end{aligned}$$

**Índice**

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

-  reduzido à quarta parte.
-  reduzido à metade.
-  o mesmo.
-  dobrado.
-  quadruplicado. ←

**Índice**

4/6 - (Cesesp-PE) - 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.

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

**Índice**

4/6 - (Cesesp-PE) - 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.



todas as afirmações são verdadeiras.



todas as afirmações são falsas.



somente a afirmação I é verdadeira.



existem duas afirmações verdadeiras: I e II. ←



a afirmação III é correta.

**Índice**

5/6 - (Unesp-BA) - Um dinamômetro muito sensível é usado para pesar um corpo no equador e no pólo 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 pólo.

II. O peso real do corpo é o mesmo no equador e no pólo.

III. A massa do corpo é a mesma no equador e no pólo.

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



Apenas as afirmativas I e II são verdadeiras.



Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.



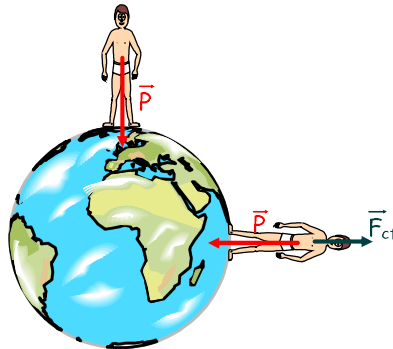
Apenas as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.



Apenas as afirmativas II, III e IV são verdadeiras.



Todas as afirmativas são verdadeiras.

**Índice**

5/6 - (Uneb-BA) - Um dinamômetro muito sensível é usado para pesar um corpo no equador e no pólo 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 pólo.
- II. O peso real do corpo é o mesmo no equador e no pólo.
- III. A massa do corpo é a mesma no equador e no pólo.
- IV. Caso o mesmo dinamômetro pesasse o corpo no pólo sul, o resultado da medida seria igual ao do pólo norte.



Apenas as afirmativas I e II são verdadeiras.



Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.



Apenas as afirmativas I , II e IV são verdadeiras.



Apenas as afirmativas II , III e IV são verdadeiras.



Todas as afirmativas são verdadeiras. ←



# Índice

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:

-   $M_A = M'_A, M_B = M'_B; P_A = P'_A, P_B = P'_B; F = F'$
-   $M_A = M'_A, M_B = M'_B; P_A > P'_A, P_B > P'_B; F = F'$
-   $M_A > M'_A, M_B > M'_B; P_A > P'_A, P_B > P'_B; F > F'$
-   $M_A < M'_A, M_B < M'_B; P_A < P'_A, P_B < P'_B; F < F'$
-   $M_A = M'_A, M_B = M'_B; P_A > P'_A, P_B > P'_B; F > F'$

# Índice

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:

-   $M_A = M'_A, M_B = M'_B; P_A = P'_A, P_B = P'_B; F = F'$
-   $M_A = M'_A, M_B = M'_B; P_A > P'_A, P_B > P'_B; F = F'$
-   $M_A > M'_A, M_B > M'_B; P_A > P'_A, P_B > P'_B; F > F'$
-   $M_A < M'_A, M_B < M'_B; P_A < P'_A, P_B < P'_B; F < F'$
-   $M_A = M'_A, M_B = M'_B; P_A > P'_A, P_B > P'_B; F > F'$