ENADE: QUESTÕES COMENTADAS + REVISÃO

Prof. Dr. Marcelo Pires

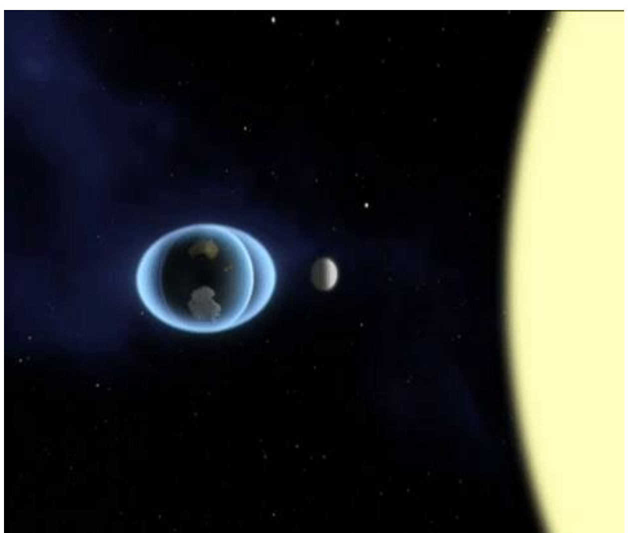
Sumário

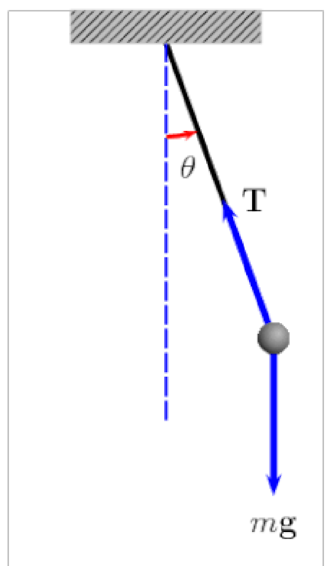
1. Panorama
2. Mecânica Clássica
3. Eletromagnetismo

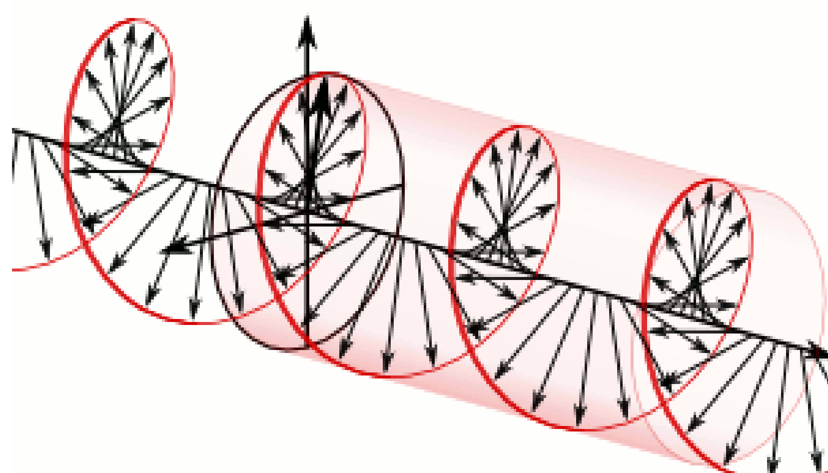
ENADE 2011
EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

ENADE 2014
EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

2017 enade
Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes







Panorama

Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 3, 3401 (2014)
www.sbfisica.org.br

Pesquisa em Ensino de Física

O ENADE para a licenciatura em física: Uma proposta de Matriz de Referência

(The ENADE for a degree in Physics: A proposal for Matrix Reference)

João Paulo de Castro Costa[1], Maria Inês Martins[2]

[1] *Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Timóteo, MG, Brasil*
[2] *Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil*
Recebido em 24/2/2014; Aceito em 10/5/2014; Publicado em 7/8/2014

ENADE

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

O ENADE para a licenciatura em física: Uma proposta de Matriz de Referência

(The ENADE for a degree in Physics: A proposal for Matrix Reference)

Tabela 2 - Objetos de Conhecimento do conteúdo específico no ENADE.

Conteúdos	Objeto de conhecimento
Gerais da licenciatura e bacharelado	Evolução das ideias da física
	Mecânica
	Termodinâmica
	Eletricidade e magnetismo
	Física ondulatória e óptica física
	Física moderna
	Estrutura da matéria
Específicos da licenciatura	Fundamentos históricos, filosóficos e sociológicos da física e o ensino da física
	Políticas educacionais e o ensino de física
	Resolução de problemas e a organização curricular para o ensino da física
	Metodologia do ensino de física

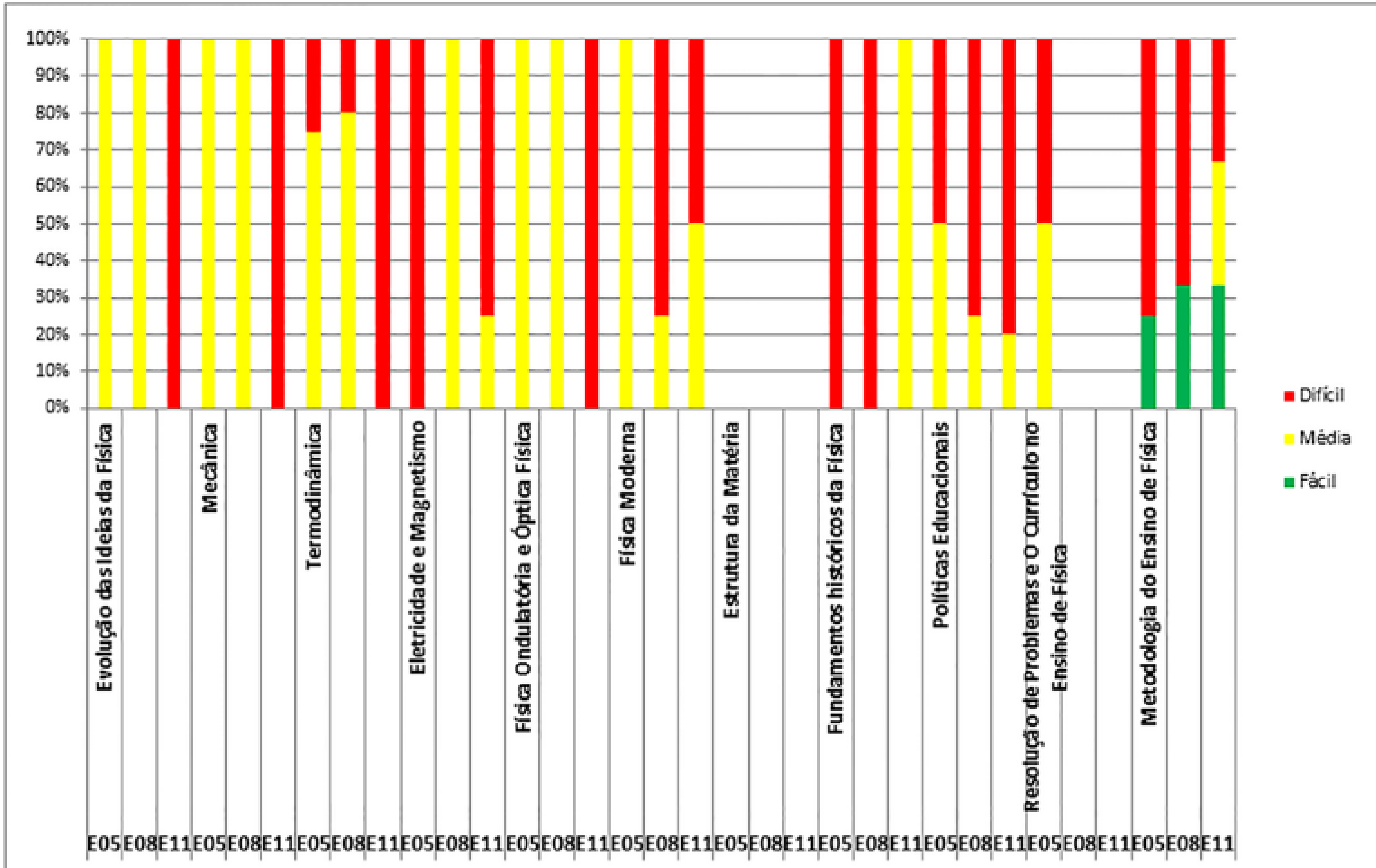


Figura 2 - Frequência dos OC por índice de facilidade nas edições do ENADE 2005(E05), 2008(E08) e 2011(E11).

Mecânica Clássica

QUESTÃO 16

Após uma maré alta que atingiu vários carros parados nas proximidades de uma praia, um grupo de estudantes procurou estudar o fenômeno com o objetivo de estabelecer algumas previsões. Cientes de que o fenômeno é causado pelas forças de atração gravitacionais diferenciais da Lua sobre a Terra, os estudantes acompanharam as variações da altura da maré em determinado ponto apenas nos dias de passagem de fase da Lua. A tabela a seguir mostra os valores máximos e mínimos obtidos.

Dia 03		Dia 10		Dia 17		Dia 25	
Lua Crescente		Lua Cheia		Lua Minguante		Lua Nova	
02h22min	0,72 m	01h29min	1,26 m	02h22min	0,62 m	02h56min	1,23 m
07h05min	0,96 m	08h21min	0,37 m	07h18min	1,09 m	09h12min	0,21 m
14h05min	0,34 m	14h44min	1,37 m	14h13min	0,45 m	15h17min	1,42 m
19h56min	1,03 m	20h58min	0,44 m	21h15min	1,07 m	22h11min	0,5 m

Ao pesquisar sobre o tema, os estudantes concluíram que a força diferencial gravitacional, obtida pela derivada da equação da força da gravitação universal, é diretamente proporcional à massa do corpo que provoca a maré e inversamente proporcional ao cubo da distância entre os corpos. Eles utilizaram os seguintes dados referentes às massas e às distâncias envolvidas: distância Terra-Lua = $3{,}8\text{x}10^{5}$ km, distância Sol-Terra = $1{,}5\text{x}10^{8}$ km, massa do Sol = $2{,}0\text{x}10^{30}$ kg e massa da Lua = $7{,}3\text{x}10^{22}$ kg.

Nesse contexto, avalie as seguintes afirmações feitas pelos estudantes.

I. As marés altas de maior amplitude ocorrem nas proximidades das luas cheia e nova, constatação que evidencia a não dependência da atração gravitacional do Sol na ocorrência do fenômeno.

II. Embora a massa do Sol seja muito maior que a massa da Lua, o fato de ele estar muito mais distante da Terra do que a Lua faz com que a maré provocada por ele tenha 1/10 da maré provocada pela Lua.

III. Durante o intervalo de tempo de um dia, ocorrem, em um mesmo local, duas marés altas e duas marés baixas, de forma que, quando ocorre maré alta em dado lugar da Terra, simultaneamente ocorre maré alta no lado da Terra diametralmente oposto.

É correto o que se afirma em

A I, apenas.

B III, apenas.

C I e II, apenas.

D II e III, apenas.

E I, II e III.

Após uma maré alta que atingiu vários carros parados nas proximidades de uma praia, um grupo de estudantes procurou estudar o fenômeno com o objetivo de estabelecer algumas previsões. Cientes de que o fenômeno é causado pelas forças de atração gravitacionais diferenciais da Lua sobre a Terra, os estudantes acompanharam as variações da altura da maré em determinado ponto apenas nos dias de passagem de fase da Lua. A tabela a seguir mostra os valores máximos e mínimos obtidos.

Dia 03		Dia 10		Dia 17		Dia 25	
Lua Crescente		Lua Cheia		Lua Minguante		Lua Nova	
02h22min	0,72 m	01h29min	1,26 m	02h22min	0,62 m	02h56min	1,23 m
07h05min	0,96 m	08h21min	0,37 m	07h18min	1,09 m	09h12min	0,21 m
14h05min	0,34 m	14h44min	1,37 m	14h13min	0,45 m	15h17min	1,42 m
19h56min	1,03 m	20h58min	0,44 m	21h15min	1,07 m	22h11min	0,5 m

Ao pesquisar sobre o tema, os estudantes concluíram que a força diferencial gravitacional, obtida pela derivada da equação da força da gravitação universal, é diretamente proporcional à massa do corpo que provoca a maré e inversamente proporcional ao cubo da distância entre os corpos. Eles utilizaram os seguintes dados referentes às massas e às distâncias envolvidas: distância Terra-Lua = $3,8 \times 10^5$ km, distância Sol-Terra = $1,5 \times 10^8$ km, massa do Sol = $2,0 \times 10^{30}$ kg e massa da Lua = $7,3 \times 10^{22}$ kg.

Nesse contexto, avalie as seguintes afirmações feitas pelos estudantes.

? I. As marés altas de maior amplitude ocorrem nas proximidades das luas cheia e nova, constatação que evidencia a não dependência da atração gravitacional do Sol na ocorrência do fenômeno.

? II. Embora a massa do Sol seja muito maior que a massa da Lua, o fato de ele estar muito mais distante da Terra do que a Lua faz com que a maré provocada por ele tenha 1/10 da maré provocada pela Lua.

? III. Durante o intervalo de tempo de um dia, ocorrem, em um mesmo local, duas marés altas e duas marés baixas, de forma que, quando ocorre maré alta em dado lugar da Terra, simultaneamente ocorre maré alta no lado da Terra diametralmente oposto.

Revisão

A força gravitacional que a lua exerce sobre a terra provoca protuberâncias de água. Baseado nisso, qual das ilustrações abaixo está correta em relação a elevação dos oceanos?

(a)

?

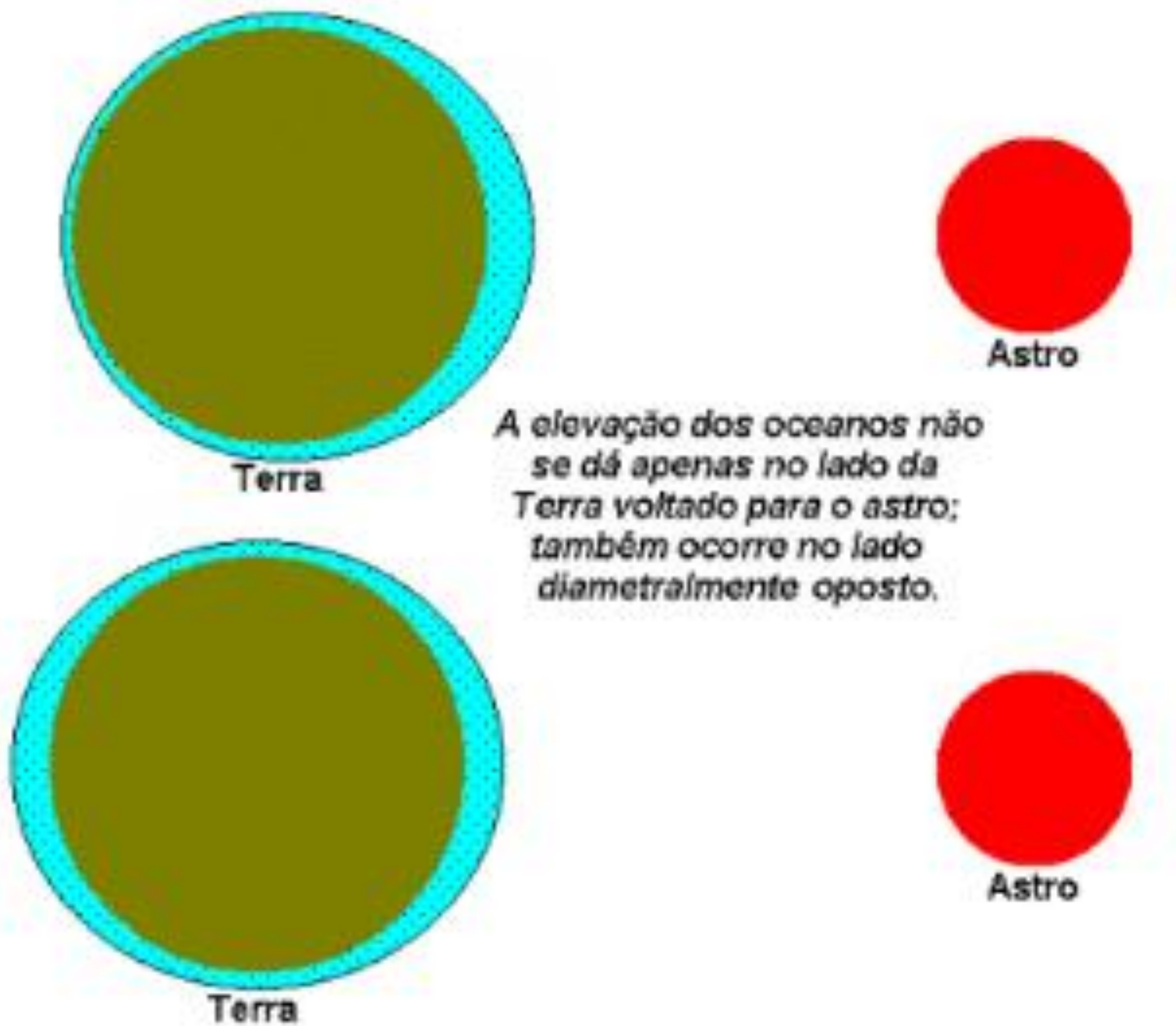
(b)

Artigo de ensino:
FL da Silveira. "Marés, fases principais da Lua e bebês." ***Caderno Brasileiro de Ensino de Física*** 20.1 (2003): 10-29.

Revisão

(a)
Concepção errada

(b)
Concepção certa



Artigo de ensino:
FL da Silveira. "Marés, fases principais da Lua e bebês." ***Caderno Brasileiro de Ensino de Física*** 20.1 (2003): 10-29.

Revisão

A explicação das marés pode ser feita com a física básica presente na lei da gravitação universal de Newton

- V
- F

?

$$F_G(r) = \frac{GMm}{r^2} \qquad \uparrow r \Rightarrow \downarrow F_G$$

Revisão

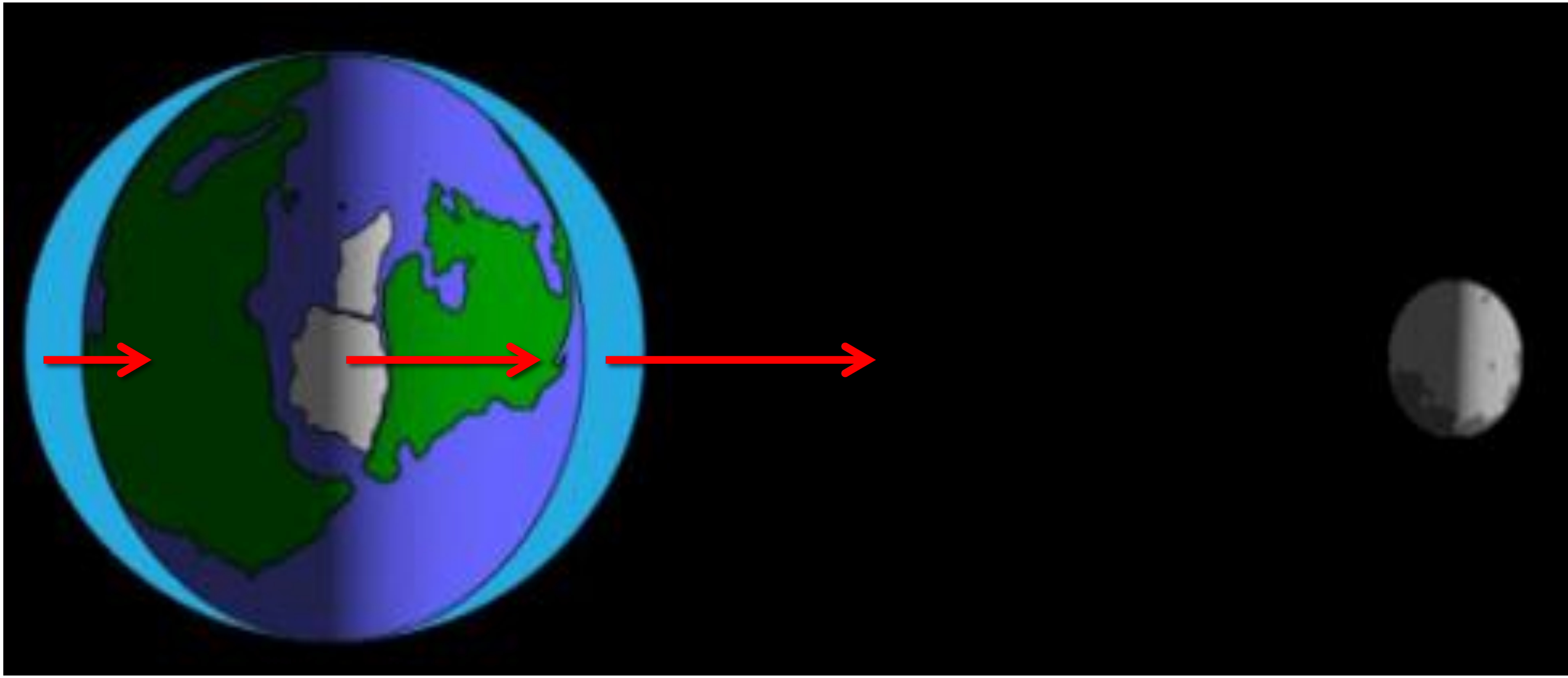
A explicação das marés pode ser feita com a física básica presente na lei da gravitação universal de Newton

- V
- F

$$F_G(r) = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\uparrow r \Rightarrow \downarrow F_G$$

Fora do referencial não-inercial da terra



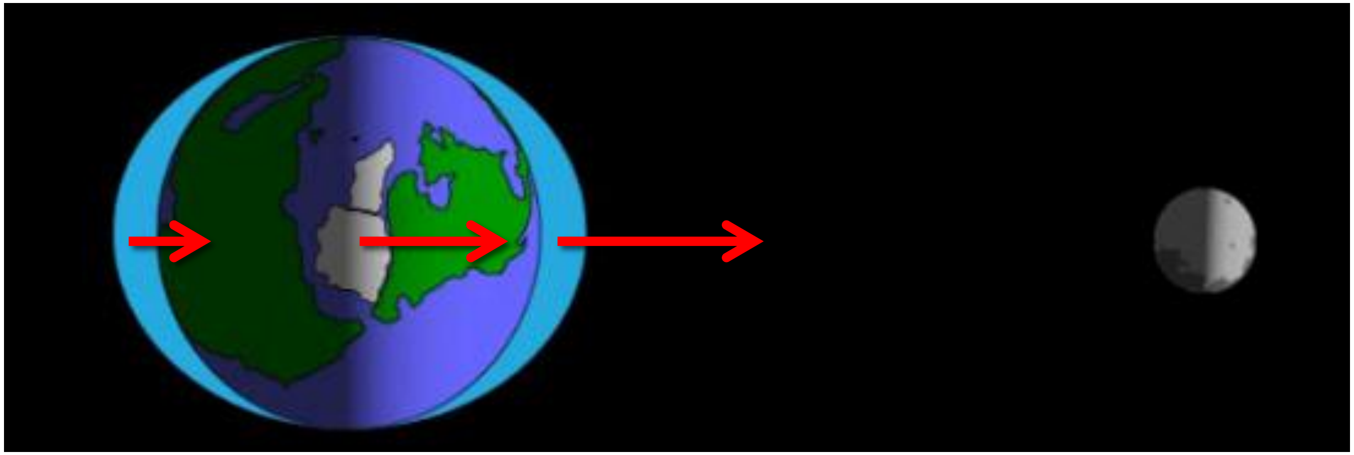
$$F_G(r) = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\uparrow r \Rightarrow \downarrow F_G$$

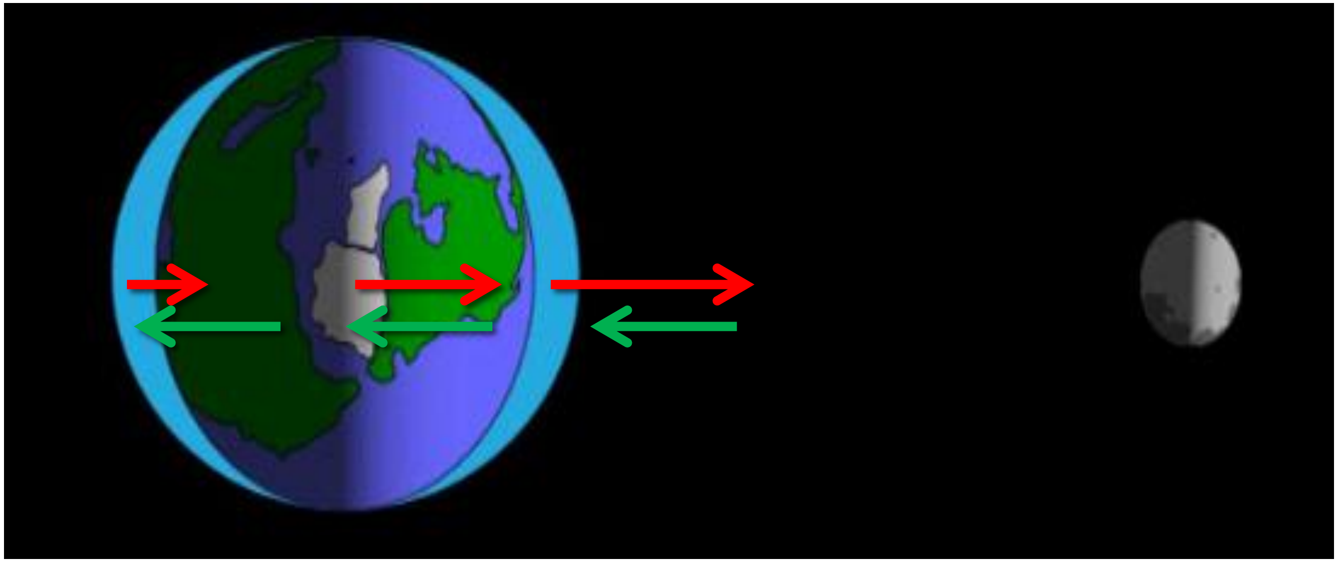
Observe o tamanho do vetor (vermelho)

Revisão

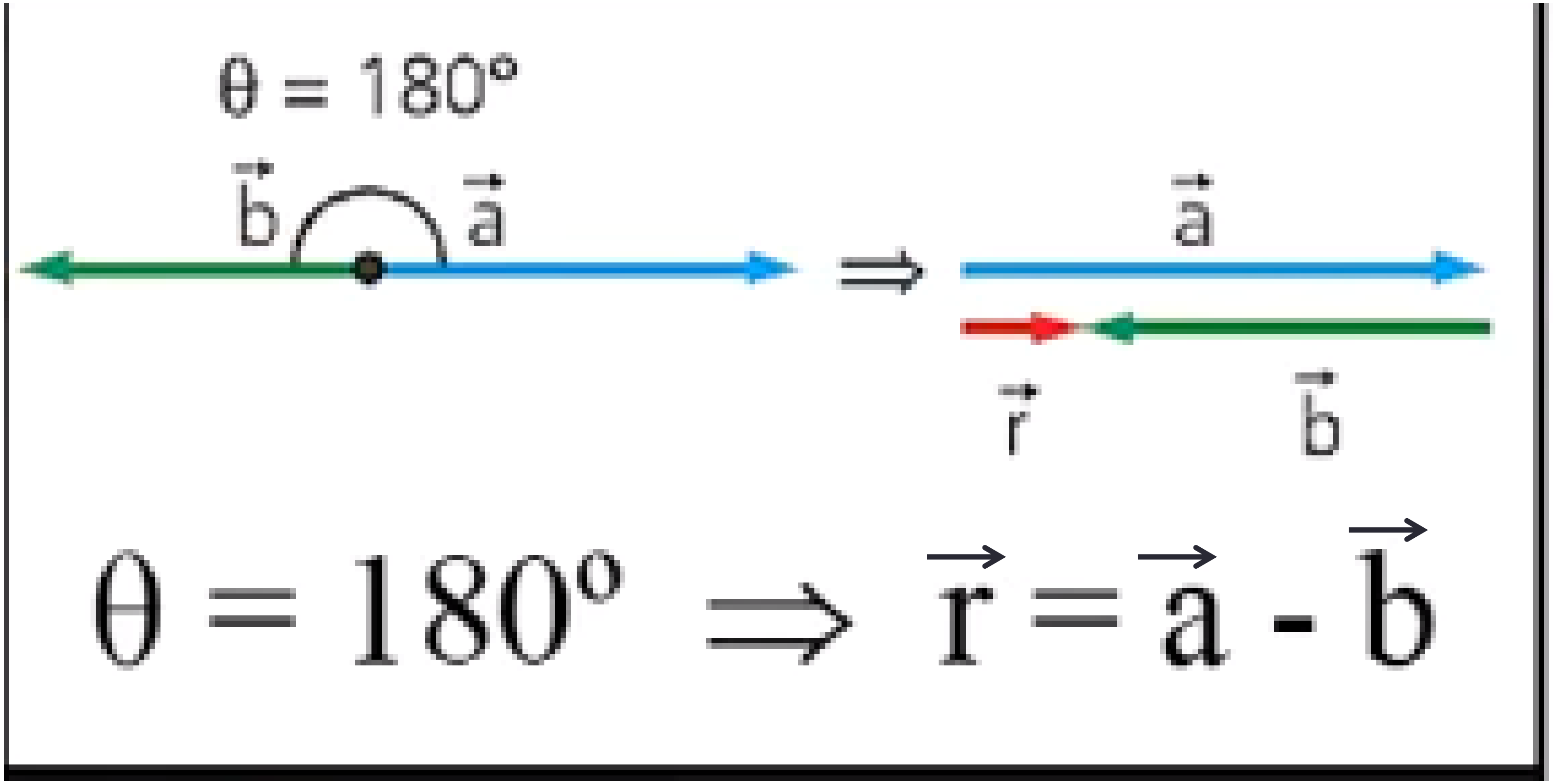
Fora do referencial não-inercial da terra



No referencial não-inercial da terra

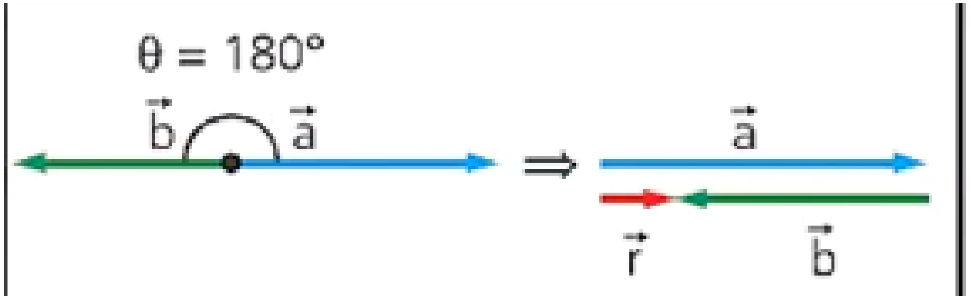


Subtração de vetores



O vetor diferença aponta no
sentido do vetor participante da
subtração com maior magnitude

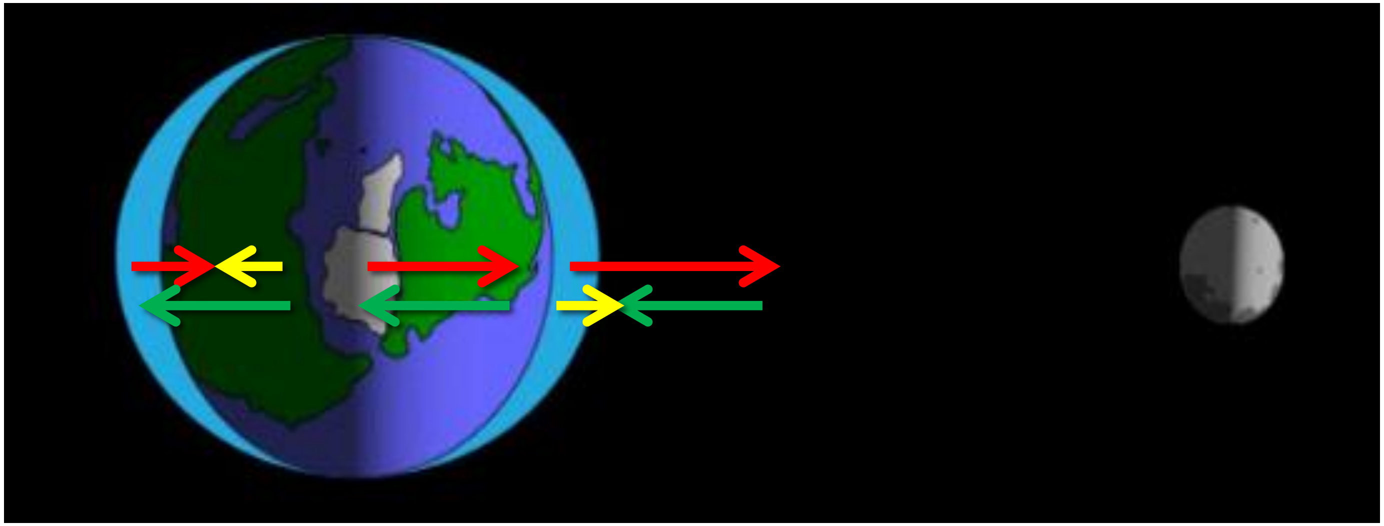
Subtração de vetores



$$\theta = 180^{\circ} \Rightarrow \vec{r} = \vec{a} - \vec{b}$$

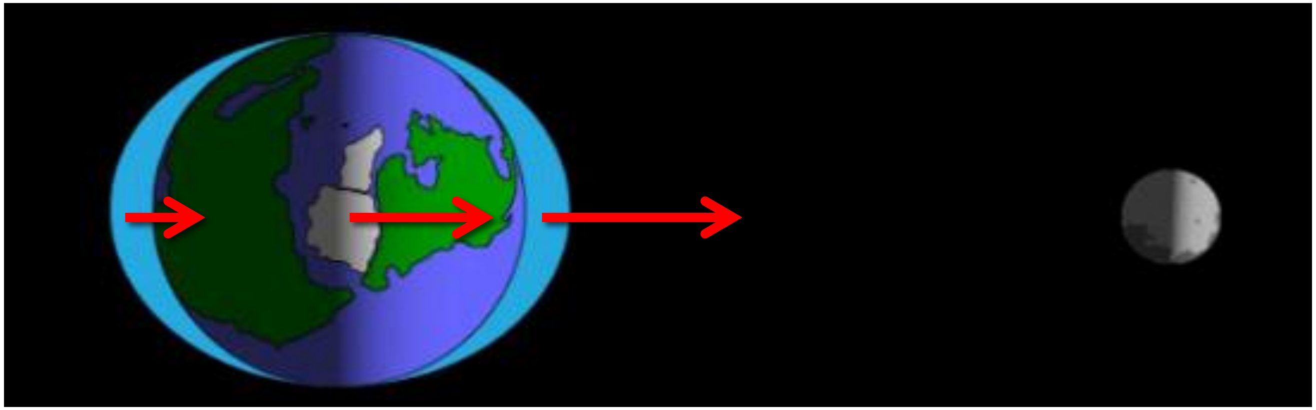
O vetor diferença aponta no sentido do vetor participante da subtração com maior magnitude

No referencial não-inercial da terra

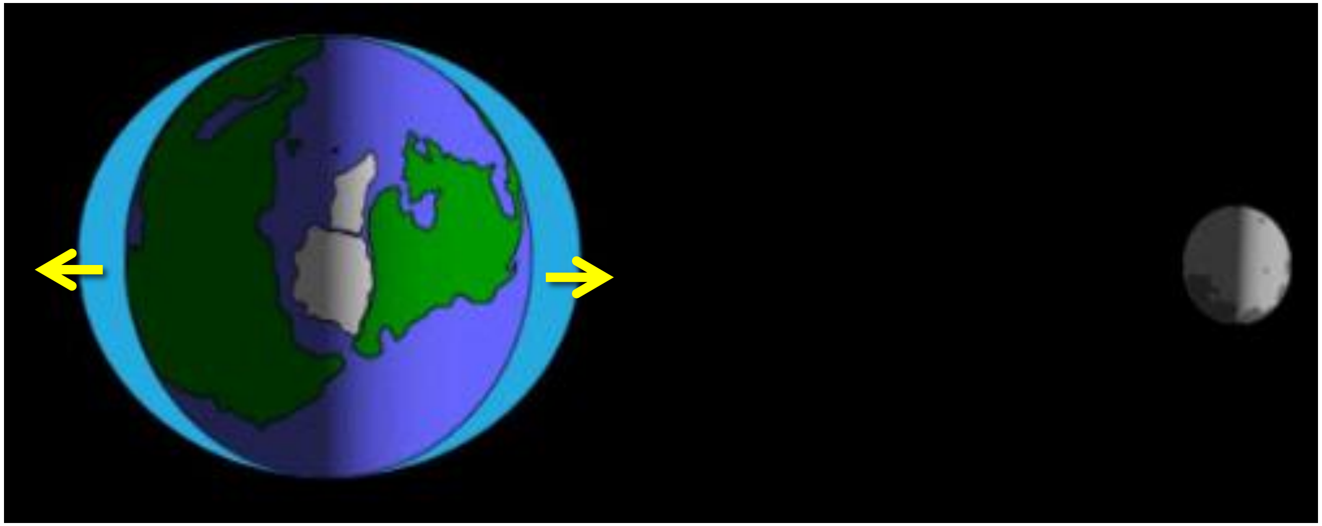


Solução

Fora do referencial não-inercial da terra

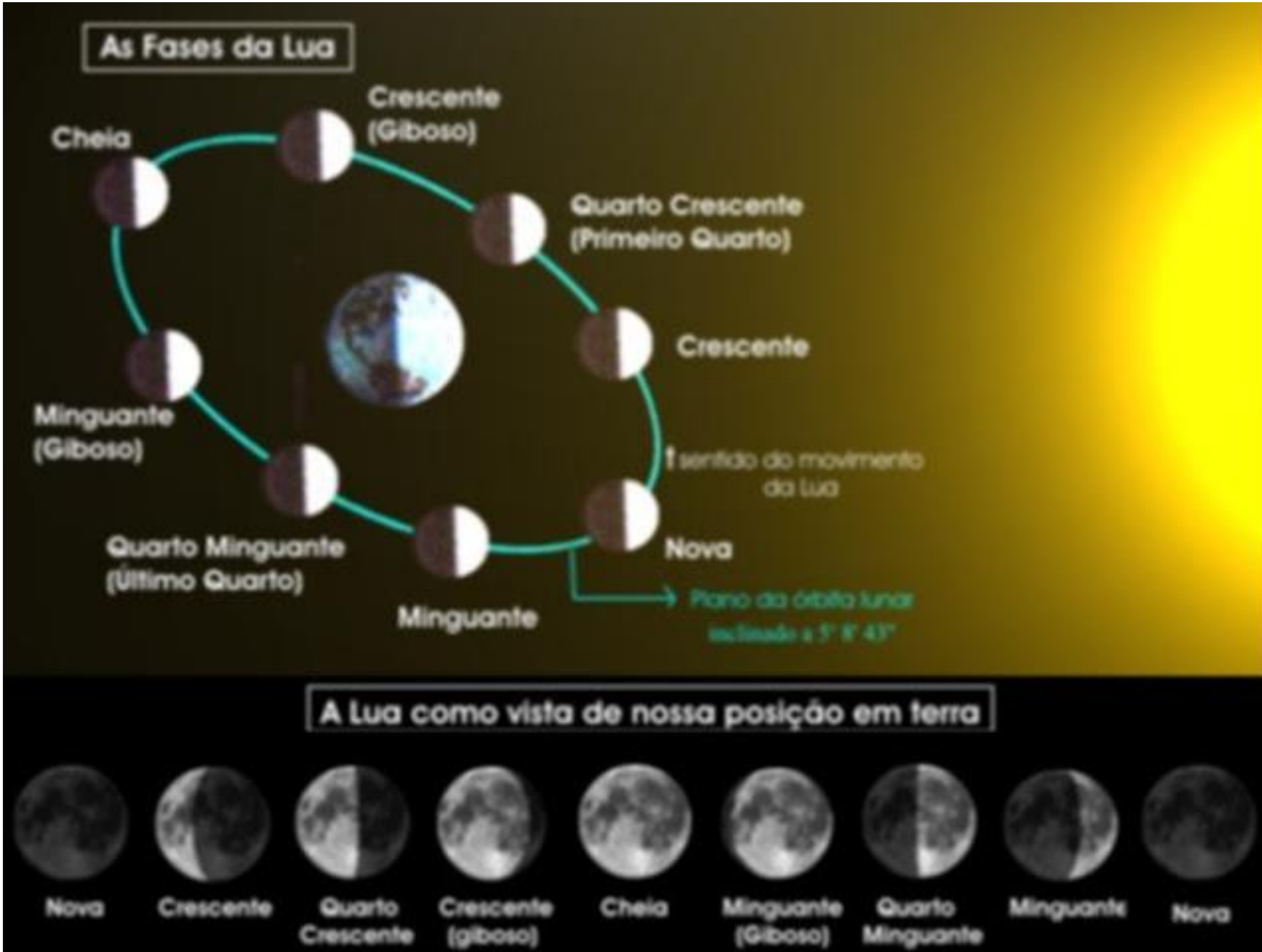


No referencial não-inercial da terra

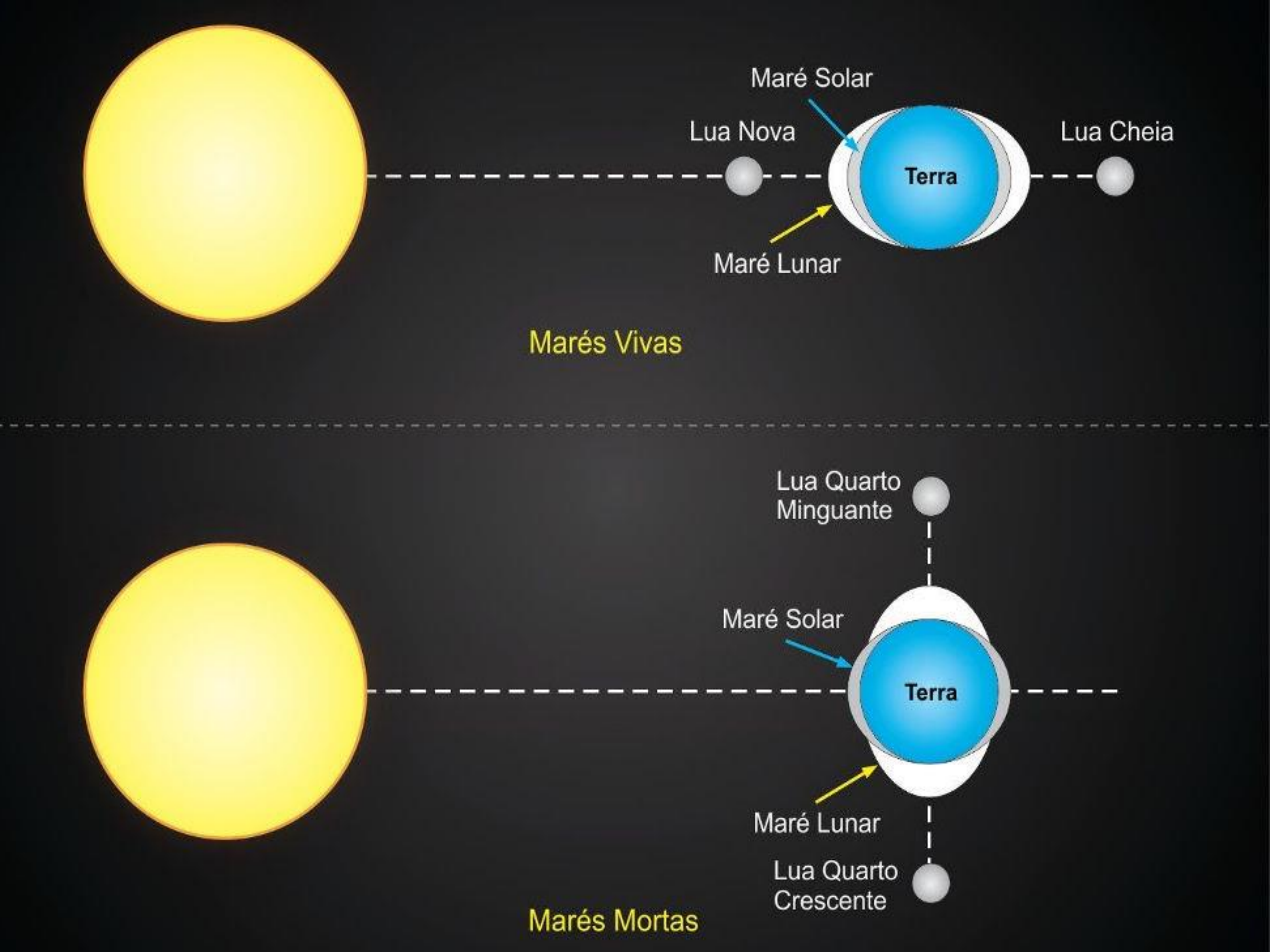


III. Durante o intervalo de tempo de um dia, ocorrem, em um mesmo local, duas marés altas e duas marés baixas, de forma que, quando ocorre maré alta em dado lugar da Terra, simultaneamente ocorre maré alta no lado da Terra diametralmente oposto. **V**

Revisão



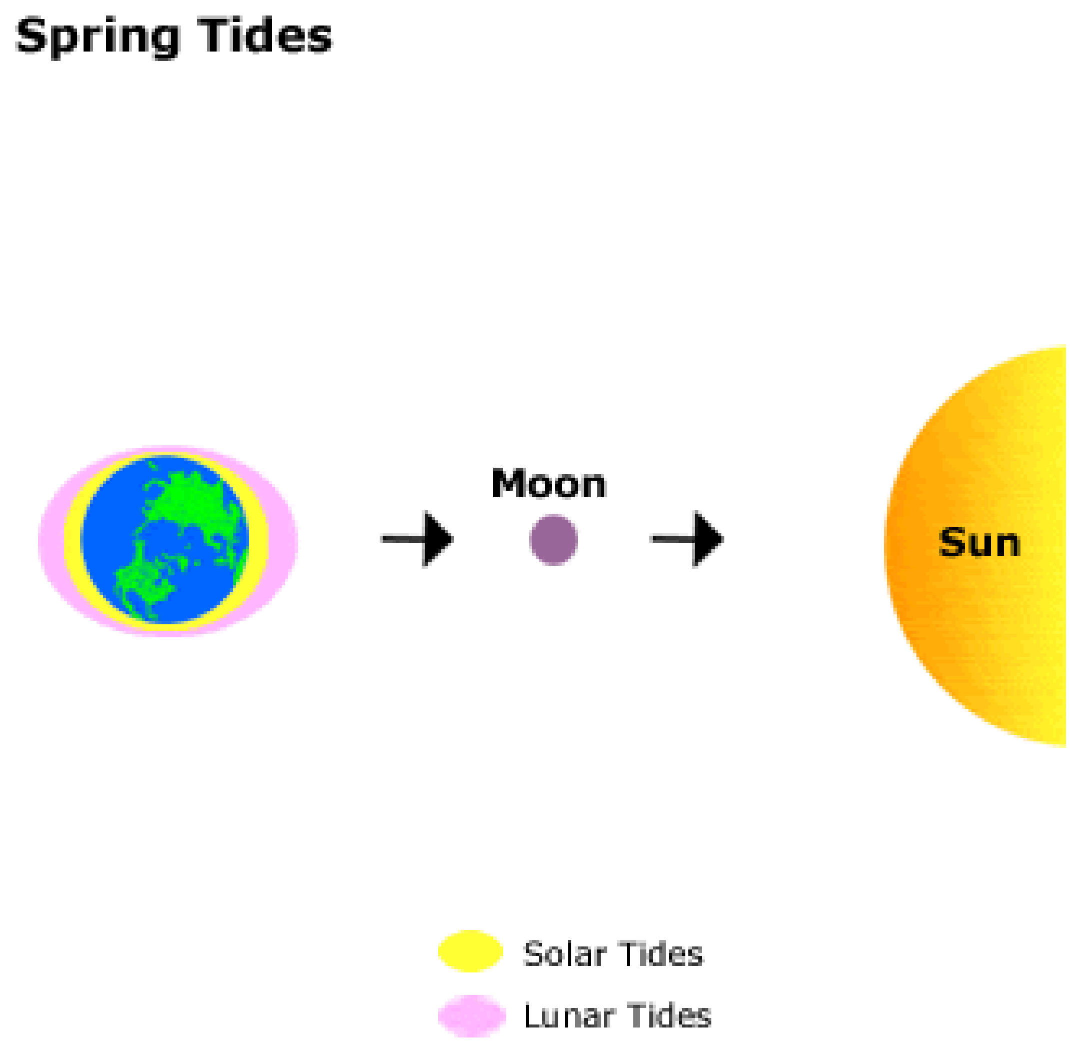
As Fases da Lua
Crescente (Giboso)
Cheia
Quarto Crescente (Primeiro Quarto)
Crescente
Minguante (Giboso)
sentido do movimento da Lua
Nova
Quarto Minguante (Último Quarto)
Minguante
Plano da órbita lunar
A Lua como vista de nossa posição em terra
Nova
Crescente
Quarto Crescente
Crescente (giboso)
Cheia
Minguante (Giboso)
Quarto Minguante
Minguante
Nova



Maré Solar
Lua Nova
Lua Cheia
Terra
Maré Lunar
Marés Vivas
Lua Quarto Minguante
Maré Solar
Terra
Maré Lunar
Lua Quarto Crescente
Marés Mortas

I. As marés altas de maior amplitude ocorrem nas proximidades das luas cheia e nova, constatação que evidencia a não dependência da atração gravitacional do Sol na ocorrência do fenômeno.

F



Ao pesquisar sobre o tema, os estudantes concluíram que a força diferencial gravitacional, obtida pela derivada da equação da força da gravitação universal, é diretamente proporcional à massa do corpo que provoca a maré e inversamente proporcional ao cubo da distância entre os corpos.

Ao pesquisar sobre o tema, os estudantes concluíram que a força diferencial gravitacional, obtida pela derivada da equação da força da gravitação universal, é diretamente proporcional à massa do corpo que provoca a maré e inversamente proporcional ao cubo da distância entre os corpos.

$$F_G(r) = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\frac{dF(r)}{dr} = GMm\frac{d}{dr}r^{-2} = -\frac{2GMm}{r^3} \Rightarrow dF = -\frac{2GMm}{r^3}dr$$

Agora, podemos comparar as marés produzidas pelo Sol e pela Lua na Terra.

Ao pesquisar sobre o tema, os estudantes concluíram que a força diferencial gravitacional, obtida pela derivada da equação da força da gravitação universal, é diretamente proporcional à massa do corpo que provoca a maré e inversamente proporcional ao cubo da distância entre os corpos.

$$F_G(r) = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\frac{dF(r)}{dr} = GMm\frac{d}{dr}r^{-2} = -\frac{2GMm}{r^3} \Rightarrow dF = -\frac{2GMm}{r^3}dr$$

Agora, podemos comparar as marés produzidas pelo Sol e pela Lua na Terra.

$$\frac{dF_S}{dF_L} = \frac{-\dfrac{2GM_S m}{r_S{}^3}dr}{-\dfrac{2GM_L m}{r_L{}^3}dr} = \frac{\dfrac{M_S}{r_S{}^3}}{\dfrac{M_L}{r_L{}^3}} \Rightarrow \frac{dF_S}{dF_L} = \frac{M_S}{M_L}\left(\frac{r_L}{r_S}\right)^3$$

$$F_G(r) = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\frac{dF(r)}{dr} = GMm\frac{d}{dr}r^{-2} = -\frac{2GMm}{r^3} \Rightarrow dF = -\frac{2GMm}{r^3}dr$$

Agora, podemos comparar as marés produzidas pelo Sol e pela Lua na Terra.

$$\frac{dF_S}{dF_L} = \frac{-\frac{2GM_Sm}{r_S^3}dr}{-\frac{2GM_Lm}{r_L^3}dr} = \frac{\frac{M_S}{r_S^3}}{\frac{M_L}{r_L^3}} \Rightarrow \frac{dF_S}{dF_L} = \frac{M_S}{M_L}\left(\frac{r_L}{r_S}\right)^3$$

Utilizando os valores fornecidos pelo problema:

$$\frac{dF_S}{dF_L} = \frac{2{,}0.10^{30}kg}{7{,}3.10^{22}kg}\left(\frac{3{,}8.10^5km}{1{,}5.10^8km}\right)^3 = 0{,}45.$$

Sendo assim, a influência do Sol não é 1/10 daquela provocada pela Lua.

II. Embora a massa do Sol seja muito maior que a massa da Lua, o fato de ele estar muito mais distante da Terra do que a Lua faz com que a maré provocada por ele tenha 1/10 da maré provocada pela Lua. **F**

QUESTÃO 16

Após uma maré alta que atingiu vários carros parados nas proximidades de uma praia, um grupo de estudantes procurou estudar o fenômeno com o objetivo de estabelecer algumas previsões. Cientes de que o fenômeno é causado pelas forças de atração gravitacionais diferenciais da Lua sobre a Terra, os estudantes acompanharam as variações da altura da maré em determinado ponto apenas nos dias de passagem de fase da Lua. A tabela a seguir mostra os valores máximos e mínimos obtidos.

Dia 03		Dia 10		Dia 17		Dia 25	
Lua Crescente		Lua Cheia		Lua Minguante		Lua Nova	
02h22min	0,72 m	01h29min	1,26 m	02h22min	0,62 m	02h56min	1,23 m
07h05min	0,96 m	08h21min	0,37 m	07h18min	1,09 m	09h12min	0,21 m
14h05min	0,34 m	14h44min	1,37 m	14h13min	0,45 m	15h17min	1,42 m
19h56min	1,03 m	20h58min	0,44 m	21h15min	1,07 m	22h11min	0,5 m

Ao pesquisar sobre o tema, os estudantes concluíram que a força diferencial gravitacional, obtida pela derivada da equação da força da gravitação universal, é diretamente proporcional à massa do corpo que provoca a maré e inversamente proporcional ao cubo da distância entre os corpos. Eles utilizaram os seguintes dados referentes às massas e às distâncias envolvidas: distância Terra-Lua = $3,8 \times 10^5$ km, distância Sol-Terra = $1,5 \times 10^8$ km, massa do Sol = $2,0 \times 10^{30}$ kg e massa da Lua = $7,3 \times 10^{22}$ kg.

Nesse contexto, avalie as seguintes afirmações feitas pelos estudantes.

F I. As marés altas de maior amplitude ocorrem nas proximidades das luas cheia e nova, constatação que evidencia a não dependência da atração gravitacional do Sol na ocorrência do fenômeno.

F II. Embora a massa do Sol seja muito maior que a massa da Lua, o fato de ele estar muito mais distante da Terra do que a Lua faz com que a maré provocada por ele tenha 1/10 da maré provocada pela Lua.

V III. Durante o intervalo de tempo de um dia, ocorrem, em um mesmo local, duas marés altas e duas marés baixas, de forma que, quando ocorre maré alta em dado lugar da Terra, simultaneamente ocorre maré alta no lado da Terra diametralmente oposto.

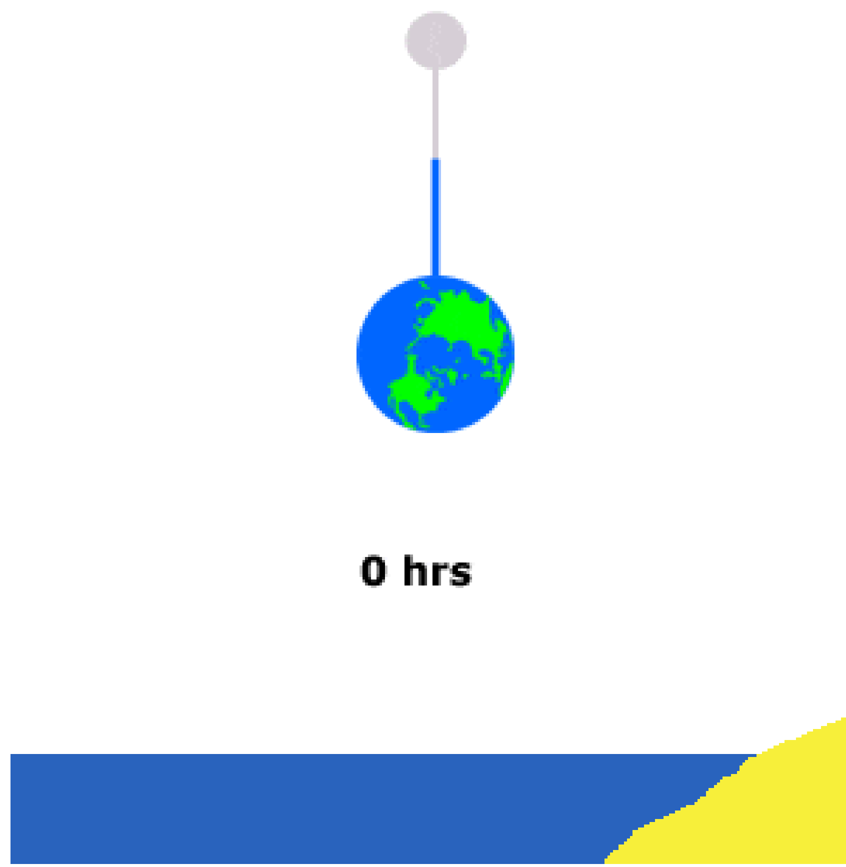
É correto o que se afirma em

A. I, apenas.
B. III, apenas.
C. I e II, apenas.
D. II e III, apenas.
E. I, II e III.

ENADE 2014
EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

Sabe-se que as marés acontecem duas vezes a cada 24h. Isso ocorre pois uma é a maré da lua e a outra a maré do sol. Essa afirmação é:

- ○ V
- ○ F



QUESTÃO 26

No início do século XVII, a partir de cuidadosas análises das medidas astronômicas realizadas por Tycho Brahe, o astrônomo e matemático Johannes Kepler enunciou três leis para descrever o movimento dos planetas e que se mostraram fundamentais para os trabalhos de Isaac Newton acerca da lei de gravitação universal dos corpos, quais sejam:

1ª Lei: os planetas movem-se em elipses com o Sol em um dos focos.

2ª Lei: o raio vetor que liga o Sol a um planeta varre áreas iguais em tempos iguais.

3ª Lei: o quadrado do período de revolução de um planeta é proporcional ao cubo do semi-eixo maior da órbita elíptica.

A respeito das leis de Kepler de movimento dos planetas, avalie as afirmações a seguir.

I. A 1ª Lei está relacionada ao fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos.

II. A 2ª Lei está relacionada ao fato de a conservação do momento angular do planeta se manter durante seu movimento em torno do Sol.

III. A 3ª Lei está relacionada ao fato de o movimento planetário ser regido por uma força central.

É correto o que se afirma em

A I, apenas.

B III, apenas.

C I e II, apenas.

D II e III, apenas.

E I, II e III.

2017 enade
Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes

Revisão

Comparação	Rotação em torno de um eixo fixo	Movimento de translação
Energia cinética	$K_R = \frac{1}{2} I \omega^2$	$K = \frac{1}{2} m v^2$
Equilíbrio	$\vec{\tau} = \vec{0}$	$\vec{f} = \vec{0}$
2ª lei de Newton	$\vec{\tau} = I\vec{\alpha}$	$\vec{f} = m\,\vec{a}$
2ª lei de Newton	$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$	$\vec{f} = \frac{d\vec{p}}{dt}$
Momento	$\vec{L} = I\vec{\omega}$	$\vec{p} = m\vec{v}$
Conservação	$\vec{L}_i = \vec{L}_f$	$\vec{p}_i = \vec{p}_f$
	Momento de inércia I	**massa** m

I. A 1ª Lei está relacionada ao fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos.

?

Elementos para demonstrar a 1ª Lei de Kepler

$$E = \frac{m}{2} v^2 + U(r)$$

$$E = \frac{m}{2} \left(\dot{r}^2 + r^2 \omega^2 \right) + U(r)$$

I. A 1ª Lei está relacionada ao fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos. ?

Elementos para demonstrar a 1ª Lei de Kepler

$$E = \frac{m}{2}v^2 + U(r)$$

$$E = \frac{m}{2}\left(\dot{r}^2 + r^2\omega^2\right) + U(r)$$

$$L = r\underbrace{p}_{mv} = rm\underbrace{v}_{r\omega} = mr^2\underbrace{\omega}_{\dot{\theta}}$$

$$L = mr^2\dot{\theta}$$

I. A 1ª Lei está relacionada ao fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos. ?

Elementos para demonstrar a 1ª Lei de Kepler

$$E = \frac{m}{2}v^2 + U(r)$$

$$E = \frac{m}{2}\left(\dot{r}^2 + r^2\omega^2\right) + U(r)$$

$$F(r) = -\frac{GM_{\odot}m}{r^2}$$

$$U(r) = -\frac{GM_{\odot}m}{r}$$

$$L = r\underbrace{p}_{mv} = rm\underbrace{v}_{r\omega} = mr^2\underbrace{\omega}_{\dot{\theta}}$$

$$L = mr^2\dot{\theta}$$

I. A 1ª Lei está relacionada ao fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos. **?**

Elementos para demonstrar a 1ª Lei de Kepler

$$E = \frac{m}{2}v^2 + U(r)$$

$$E = \frac{m}{2}\left(\dot{r}^2 + r^2\omega^2\right) + U(r)$$

$$F(r) = -\frac{GM_{☼}m}{r^2}$$

$$U(r) = -\frac{GM_{☼}m}{r}$$

$$L = r\underbrace{p}_{mv} = rm\underbrace{v}_{r\omega} = mr^2\underbrace{\omega}_{\dot{\theta}}$$

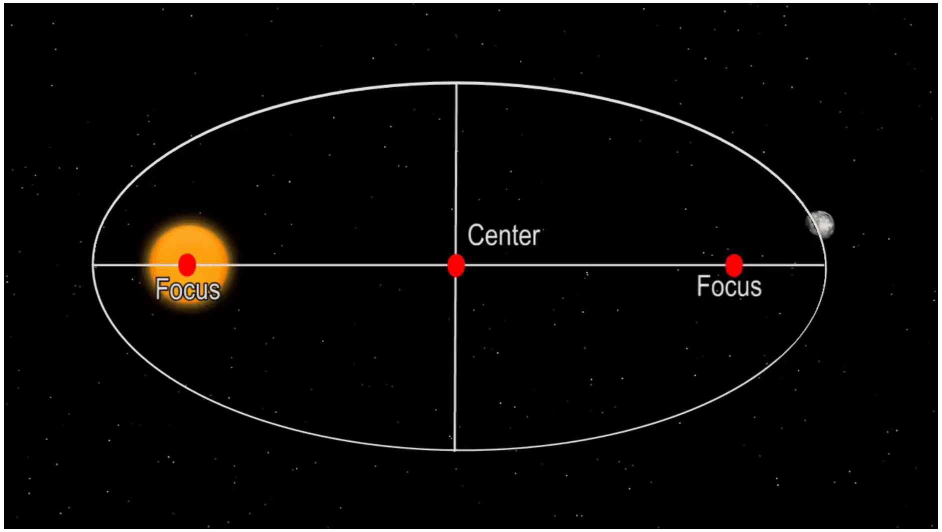
$$L = mr^2\dot{\theta}$$

$$\frac{1}{r^4}\left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2 = \frac{2mE}{L^2} - \frac{1}{r^2} + \frac{2m\alpha}{rL^2} \qquad \alpha = GM_{☼}m$$

$$r(\theta) = \frac{L^2}{m\alpha(1-\epsilon\cos\theta)}$$

$$\epsilon = \left(1 + \frac{2EL^2}{m\alpha^2}\right)^{1/2}$$

$$E < 0$$

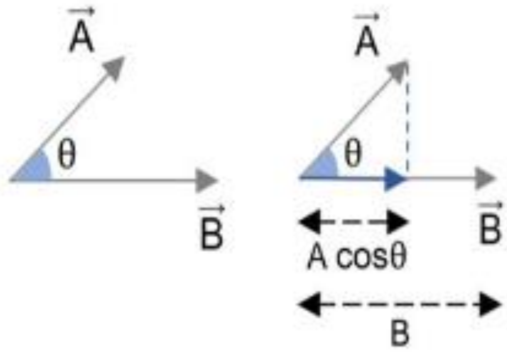


I. A 1ª Lei está relacionada ao fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos. **V**

II. A 2ª Lei está relacionada ao fato de a conservação do momento angular do planeta se manter durante seu movimento em torno do Sol.

?

Produto escalar



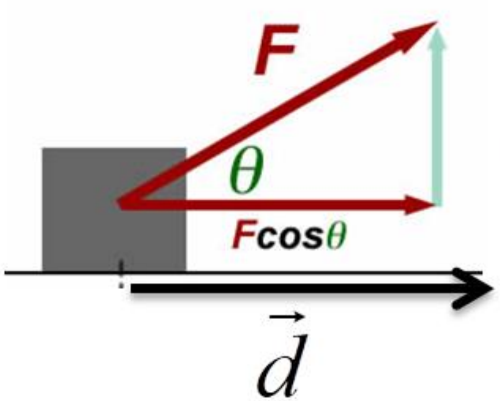
$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB\cos\theta$

Ângulo formado entre os vetores $\vec{A}$ e $\vec{B}$

Produto vetorial

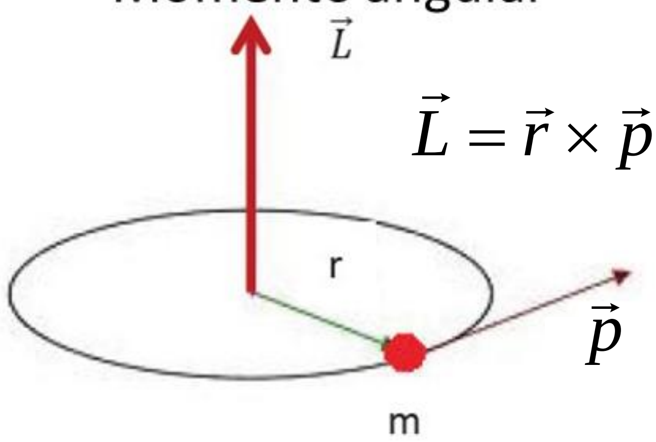
Exemplo de aplicação

Trabalho de uma força constante



$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

Momento angular



$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

Demonstração da 2ª Lei de Kepler: parte I

Consideremos agora uma porção infinitesimal da trajetória correspondente a um deslocamento **dr** a partir do ponto *P*. Nesse deslocamento, o raio vetor **r** que liga *P* ao centro de forças varre o triângulo sombreado na figura 11.22, cuja área *dA* é dada por

$$dA = \frac{1}{2}|\mathbf{r} \times d\mathbf{r}| \qquad \textbf{(11.4.7)}$$

A taxa de variação com o tempo da área varrida pelo raio vetor, que se chama de *velocidade areolar*, é dada então por

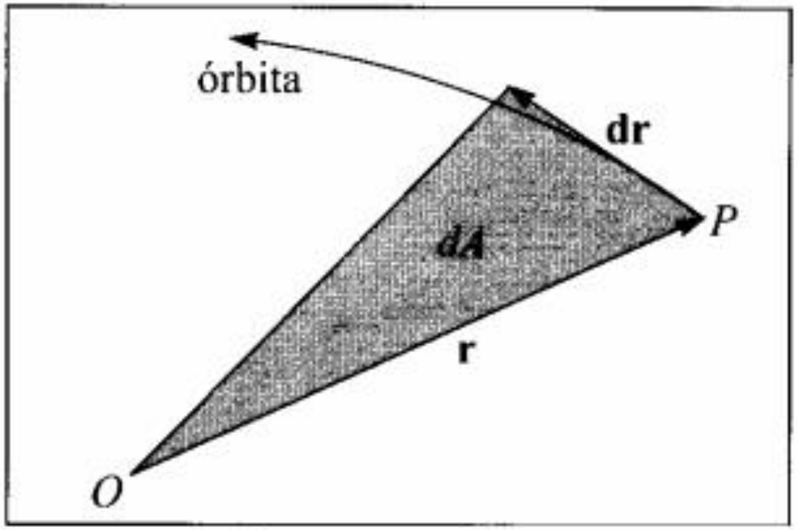


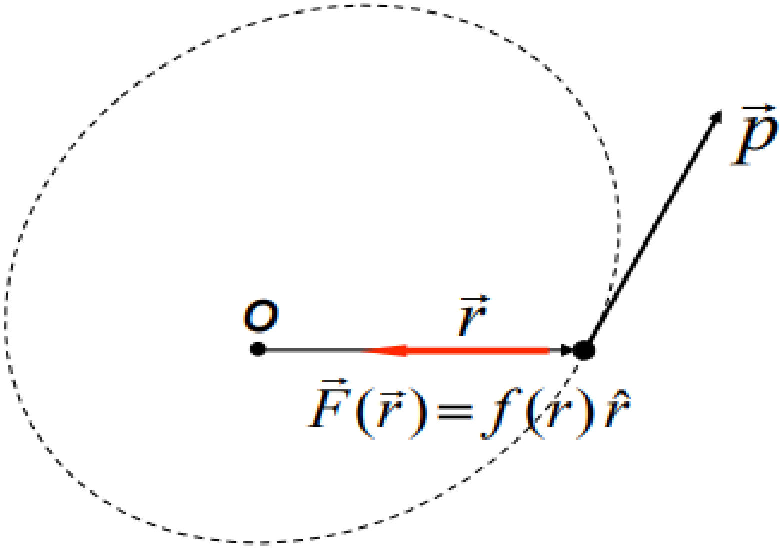
Figura11.22 Área varrida.

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}\left|\vec{r} \times \frac{d\vec{r}}{dt}\right| = \frac{1}{2}|\vec{r} \times \vec{v}| = \frac{1}{2m}|\vec{r} \times \vec{p}| = \frac{L}{2m}$$

ou seja, *a velocidade areolar é diretamente proporcional à magnitude do momento angular.*

Moysés Nussenzveig. *Curso de física básica: Mecânica (vol. 1).*

Forças centrais



$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\tau} = \underbrace{\vec{r}}_{r\hat{r}} \times \underbrace{\vec{f}}_{\hat{r}f(r)} = f(r)\,r\underbrace{\hat{r}\times\hat{r}}_{=\vec{0}} = \vec{0}$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0} \Rightarrow \vec{L} = \text{constante}$$

II. A 2ª Lei está relacionada ao fato de a conservação do momento angular do planeta se manter durante seu movimento em torno do Sol. V

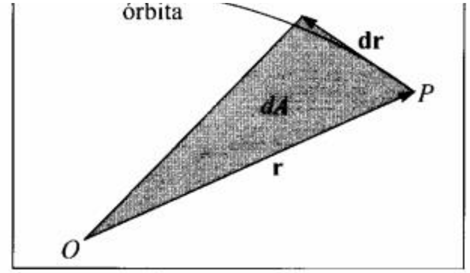
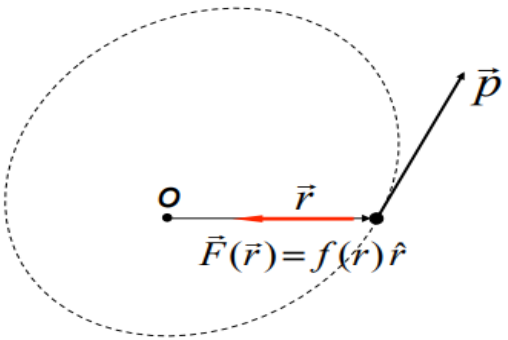


Figura 11.22 Área varrida.

Velocidade Areolar

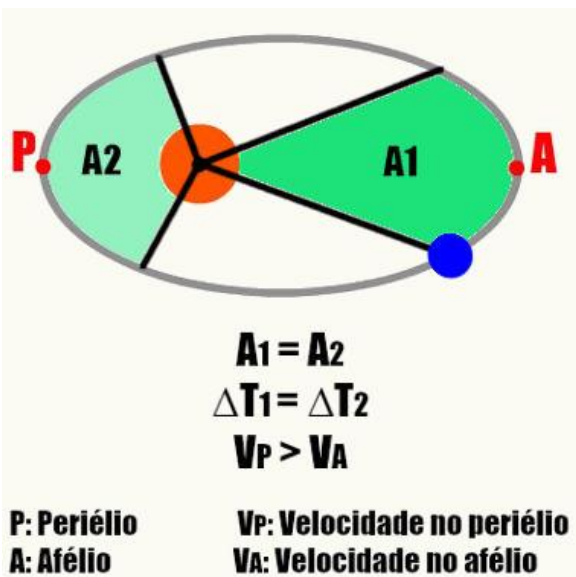
$$\frac{dA}{dt}=\frac{1}{2}\left|\vec{r}\times\frac{d\vec{r}}{dt}\right|=\frac{1}{2}\left|\vec{r}\times\vec{v}\right|=\frac{1}{2m}\left|\vec{r}\times\vec{p}\right|=\frac{L}{2m}$$

Forças centrais



$$\frac{d\vec{L}}{dt}=\vec{\tau}=\underbrace{\vec{r}}_{r\hat{r}}\times\underbrace{\vec{f}}_{\hat{r}f(r)}=f(r)r\underbrace{\hat{r}\times\hat{r}}_{=\vec{0}}=\vec{0}$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt}=\vec{0}\Rightarrow\vec{L}=\text{constante}$$



No movimento sob a ação de forças centrais, l se conserva, de modo que a *velocidade areolar é constante*: o raio vetor que liga a partícula ao centro de forças descreve áreas iguais em tempos iguais. Como a gravitação é uma força central, vemos (cf. pg. 194) que a 2.ª *lei de Kepler nada mais é do que a lei de conservação do momento angular* neste caso específico.

III. A 3ª Lei está relacionada ao fato de o movimento planetário ser regido por uma força central.

?

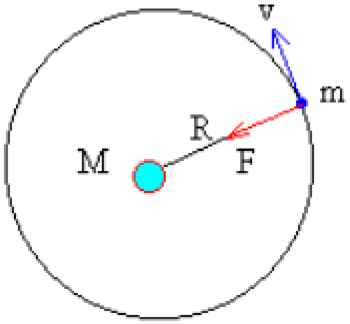
3ª Lei: O quadrado do período de um planeta é proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol.

Demonstração (heurística) da 3ª Lei de Kepler

Modelo aproximado: as órbitas planetárias são circunferências.

Assim, a força gravitacional do Sol sobre o planeta é a força resultante centrípeta do MCU correspondente:

$$F_{RC} = F_G \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2} \Rightarrow v^2 = \frac{GM}{R}$$



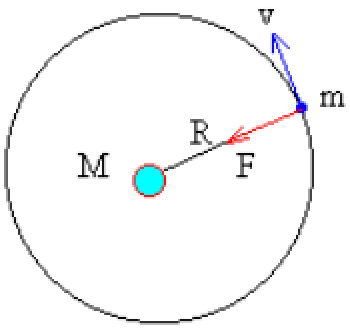
III. A 3ª Lei está relacionada ao fato de o movimento planetário ser regido por uma força central.

?

Demonstração (heurística) da 3ª Lei de Kepler

Modelo aproximado: as órbitas planetárias são circunferências.

Assim, a força gravitacional do Sol sobre o planeta é a força resultante centrípeta do MCU correspondente:



$$F_{RC} = F_G \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2} \Rightarrow v^2 = \frac{GM}{R}$$

Se o planeta leva um tempo T para dar uma volta completa ao redor do Sol:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \Rightarrow v^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2}$$

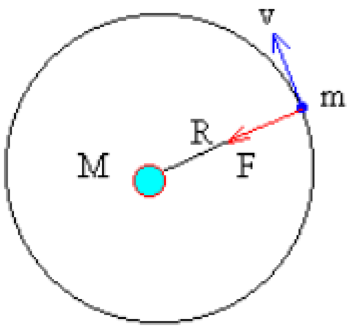
III. A 3ª Lei está relacionada ao fato de o movimento planetário ser regido por uma força central.

?

Demonstração (heurística) da 3ª Lei de Kepler

Modelo aproximado: as órbitas planetárias são circunferências.

Assim, a força gravitacional do Sol sobre o planeta é a força resultante centrípeta do MCU correspondente:



$$F_{RC} = F_G \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2} \Rightarrow v^2 = \frac{GM}{R}$$

Se o planeta leva um tempo T para dar uma volta completa ao redor do Sol:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \Rightarrow v^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2}$$

Logo

$$v^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \frac{GM}{R} \Rightarrow \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2 R^2}{GM} = \underbrace{\text{cte}}_{\text{k}} \Rightarrow T^2 = kR^3$$

III. A 3ª Lei está relacionada ao fato de o movimento planetário ser regido por uma força central.

F

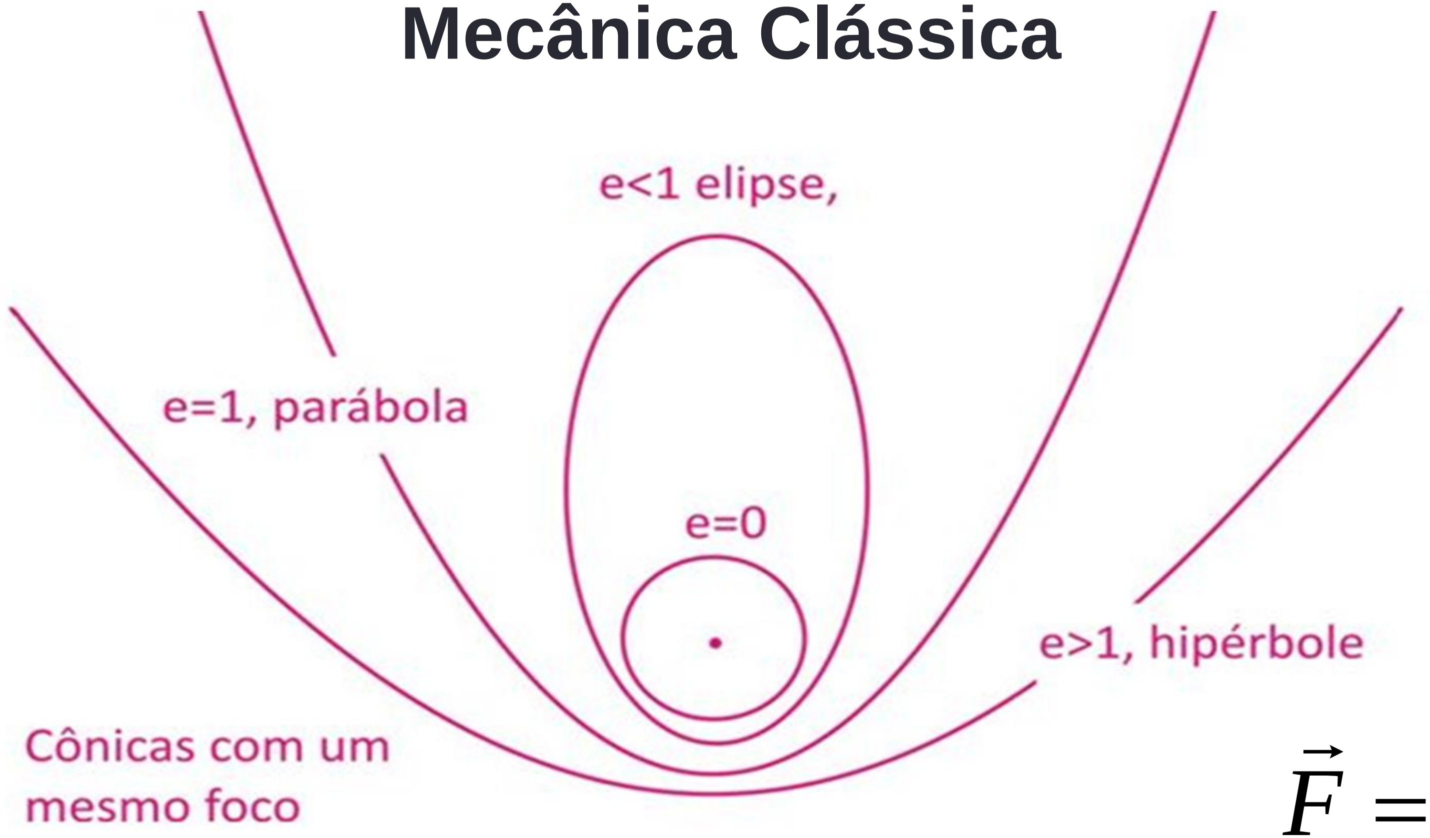
Bases das Leis de Kepler

(Ingredientes para demonstrar)

1ª Lei Lei das órbitas	**2ª Lei** Lei das áreas	**3ª Lei** Lei dos Períodos
$E = E_c + U(r) = \text{cte}$	$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}\left\vert \vec{r} \times \frac{d\vec{r}}{dt} \right\vert = \frac{L}{2m}$	Mov. Cir. Unif (aproximação)
$L = \text{cte}$	$L = \text{cte}$	-
$F(r) = -\frac{GM_{☼}m}{r^2}$	-	$F(r) = -\frac{GM_{☼}m}{r^2}$

Revisão

Cônicas em Mecânica Clássica



$$\vec{F} = \hat{r} f(r)$$

Energia Mecânica(E)	Tipo de trajetória de uma partícula num campo de força central atrativa
$E < 0$	Trajetória elíptica
$E = 0$	Trajetória parabólica
$E > 0$	Trajetória hiperbólica

QUESTÃO 17

Os modelos mais precisos de sistemas físicos são não lineares. Exemplo disso é o sistema de um pêndulo simples, definido como uma partícula de massa m (desprezível), suspenso por um fio inextensível de comprimento L, cuja equação diferencial que descreve o movimento do pêndulo é

$$\frac{L}{g}\frac{\partial^2\theta(t)}{\partial t^2} = -sen\theta(t)$$

A resolução da equação é simplificada por linearização (em função da amplitude), resultando em

$$\frac{\partial^2\theta(t)}{\partial x^2} + \frac{g}{L}\theta(t) = 0$$

Isso ocorre quando se supõe θ igual a aproximadamente

A) 0 rad.
B) π/6 rad.
C) π/4 rad.
D) π/3 rad.
E) π/2 rad.

$$\frac{L}{g}\frac{\partial^2\theta(t)}{\partial t^2} = -sen\theta(t)$$

A resolução da equação é simplificada por linearização (em função da amplitude), resultando em

$$\frac{\partial^2\theta(t)}{\partial x^2} + \frac{g}{L}\theta(t) = 0$$

Isso ocorre quando se supõe θ igual a aproximadamente

(A) 0 rad.

(B) π/6 rad.

(C) π/4 rad.

(D) π/3 rad.

(E) π/2 rad.

Série de Taylor $senx \approx x - \frac{x^3}{3!}$

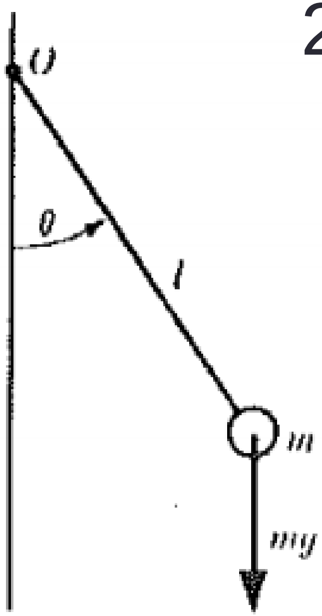
Para oscilações de pequena amplitude

$$sen\theta \sim \theta$$

Revisão

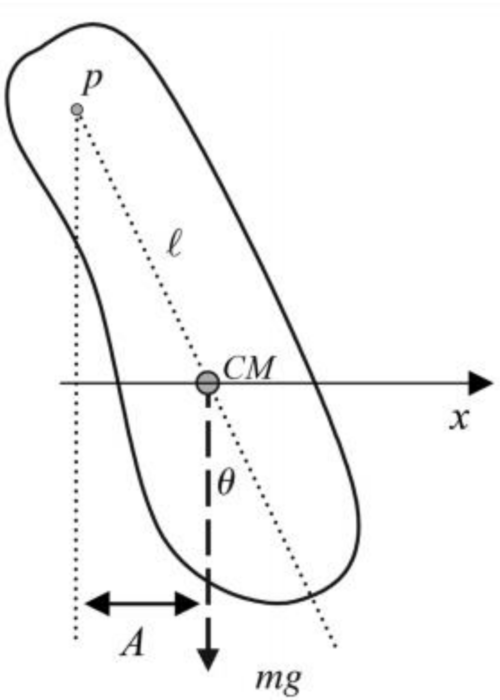
Pêndulo Simples

Pêndulo Físico



2ª Lei de Newton para Rotação

$$\tau = I_p \ddot{\theta}$$

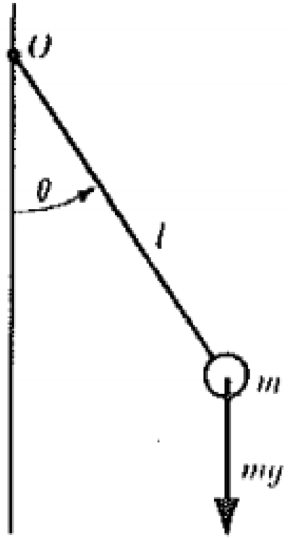


$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} sen\,\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{I_p} sen\,\theta = 0$$

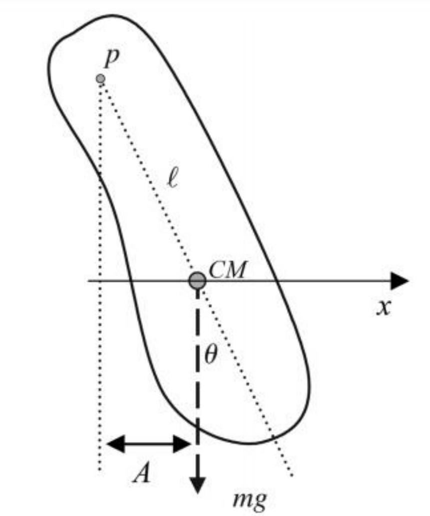
Pêndulo Simples

Pêndulo Físico



2ª Lei de Newton para Rotação

$$\tau = I_p \ddot{\theta}$$



$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} sen\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{I_p} sen\theta = 0$$

LINEARIZAÇÃO

Para oscilações de pequena amplitude

$$sen\theta \sim \theta$$

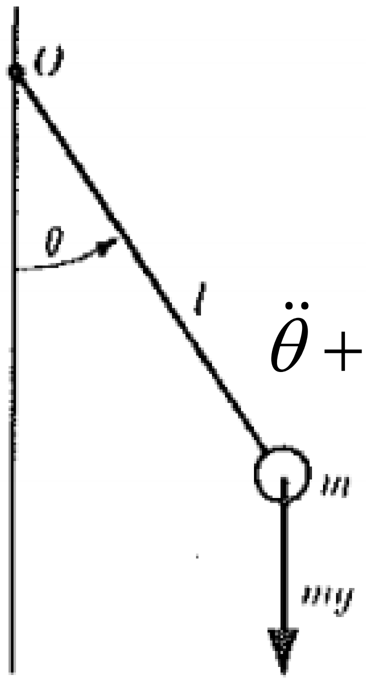
$$\ddot{\theta} + \omega^2\theta = 0$$

Equação do oscilador

$$\ddot{\theta} + \omega^2\theta = 0$$

Pêndulo Simples

Pêndulo Físico

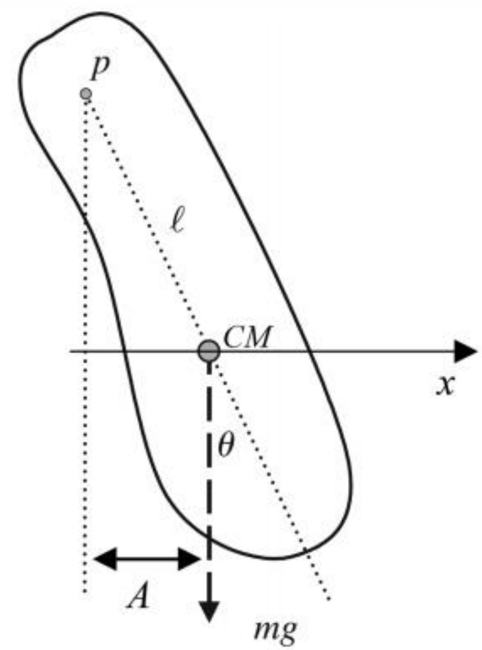


2ª Lei de Newton para Rotação

$$\tau = I_p \ddot{\theta}$$

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} sen\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{I_p} sen\theta = 0$$



Para oscilações de pequena amplitude

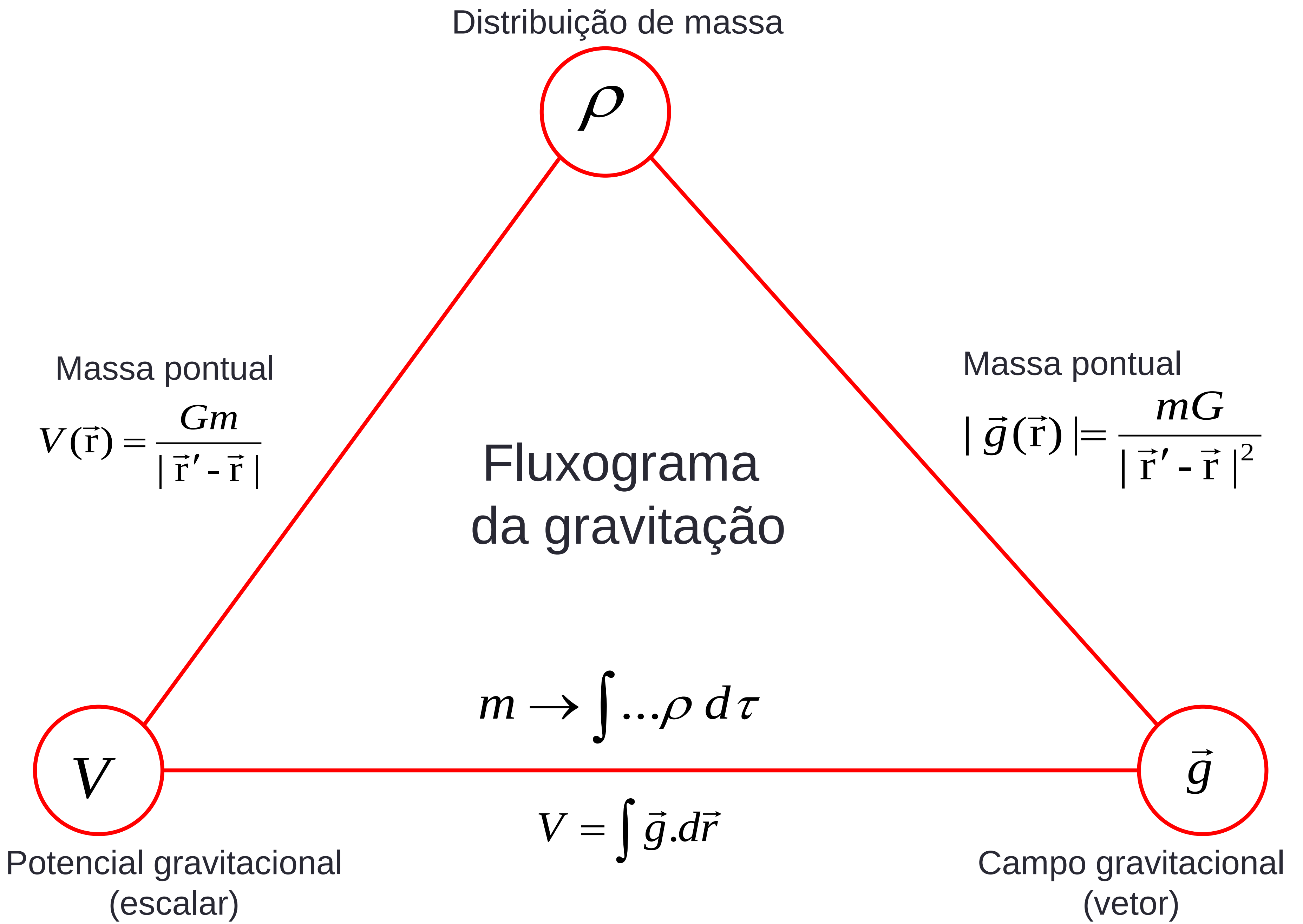
$$sen\theta \sim \theta$$

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{I_p}\theta = 0$$

$$T = 2\pi\left(\frac{l}{g}\right)^{1/2}$$

$$T = 2\pi\left(\frac{I_p}{mgl}\right)^{1/2}$$


Distribuição de massa
ρ
Fluxograma da gravitação
Massa pontual
$V(\vec{r}) = \frac{Gm}{|\vec{r}' - \vec{r}|}$
Massa pontual
$|\vec{g}(\vec{r})| = \frac{mG}{|\vec{r}' - \vec{r}|^2}$
$m \rightarrow \int \ldots \rho \, d\tau$
V
$\vec{g}$
$V = \int \vec{g} . d\vec{r}$
Potencial gravitacional
(escalar)
Campo gravitacional
(vetor)

Distribuição de massa

$$\rho$$

$$V(\vec{\mathrm{r}}) = \int \frac{G\rho(\vec{\mathrm{r}}')}{|\vec{\mathrm{r}}' - \vec{\mathrm{r}}|}\, d\tau$$

$$|\vec{g}(\vec{\mathrm{r}})| = \int \frac{G\rho(\vec{\mathrm{r}}')}{|\vec{\mathrm{r}}' - \vec{\mathrm{r}}|^2}\, d\tau$$

Massa pontual

$$V(\vec{\mathrm{r}}) = \frac{Gm}{|\vec{\mathrm{r}}' - \vec{\mathrm{r}}|}$$

Massa pontual

$$|\vec{g}(\vec{\mathrm{r}})| = \frac{mG}{|\vec{\mathrm{r}}' - \vec{\mathrm{r}}|^2}$$

Fluxograma da gravitação

$$m \rightarrow \int \ldots \rho\, d\tau$$

$$V$$

$$\vec{g}$$

$$V = \int \vec{g} . d\vec{r}$$

Potencial gravitacional (escalar)

Campo gravitacional (vetor)

Forças centrais

$$\vec{F} = \hat{r}F(r)$$

Exemplos:

$$\vec{F}_G(r) = \frac{GMm}{r^2}\hat{r}$$

Gravitação

$$\vec{F}_E(r) = \frac{kQq}{r^2}\hat{r}$$

Eletrostática

O momento angular é conservado para toda força central!

A força gravitacional de Newton NÃO é uma força central *

V

F

$$\vec{F}_G(r) = \frac{GMm}{r^2}\hat{r} \qquad \vec{F} = \hat{r}F(r)$$

A força de Coulomb (eletrostática) NÃO é uma força central *

V

F

$$\vec{F}_E(r) = \frac{kQq}{r^2}\hat{r} \qquad \vec{F} = \hat{r}F(r)$$

Eletromagnetismo

QUESTÃO 10

A interação entre dois corpos foi historicamente concebida como uma ação instantânea a distância. Por outro lado, ela pode ser pensada como uma ação intermediada por um campo.

Considerando que a noção de força está associada à concepção de ação instantânea, avalie as afirmações a seguir.

I. A existência de ondas eletromagnéticas pode ser definida a partir das concepções de campo eletromagnético e de ação instantânea a distância.

II. O campo eletromagnético e a força eletromagnética não necessitam de meios materiais entre cargas de uma distribuição para existir.

III. O campo elétrico depende da posição, enquanto a força eletrostática depende da distância entre a carga-fonte e a carga-teste.

É correto o que se afirma em

A. I, apenas.
B. III, apenas.
C. I e II, apenas.
D. II e III, apenas.
E. I, II e III.

I. A existência de $\boxed{\text{ondas}}$ eletromagnéticas pode ser definida a partir das concepções de campo eletromagnético e de ação instantânea a distância.

?

Equação de onda (genérica)

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} - \nabla^2 f(x,t) = 0$$

Onda: uma perturbação que se propaga nas coordenadas espaciais e temporal

Equação de onda (genérica)

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} - \nabla^2 f(x,t) = 0$$

Onda: uma perturbação que se propaga nas coordenadas espaciais e temporal

Exemplo

Luz

Equação de propagação das ondas eletromagnéticas

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0$$

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{B} = 0$$

c= velocidade da luz no vácuo

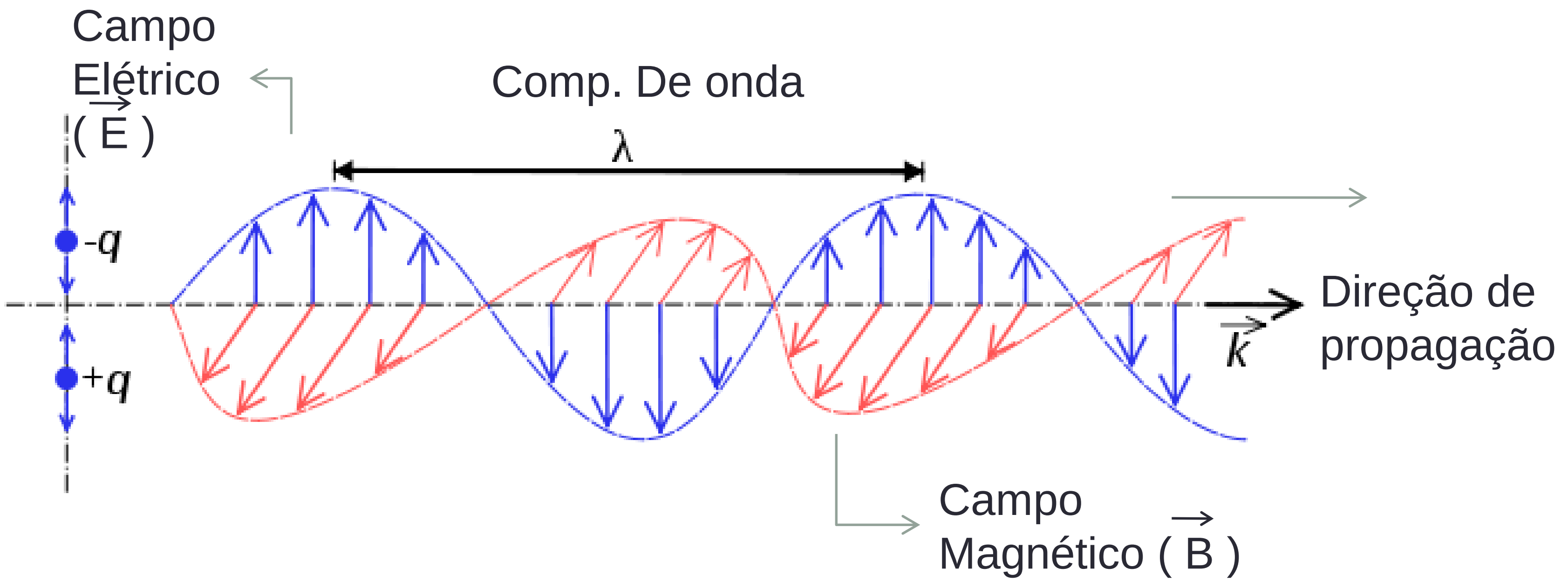
Equação de onda (genérica)

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} - \nabla^2 f(x,t) = 0$$

Exemplo: luz

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0 \qquad \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{B} = 0$$

velocidade da luz no vácuo $\mathrm{c} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3.10^8 \text{ m/s}$



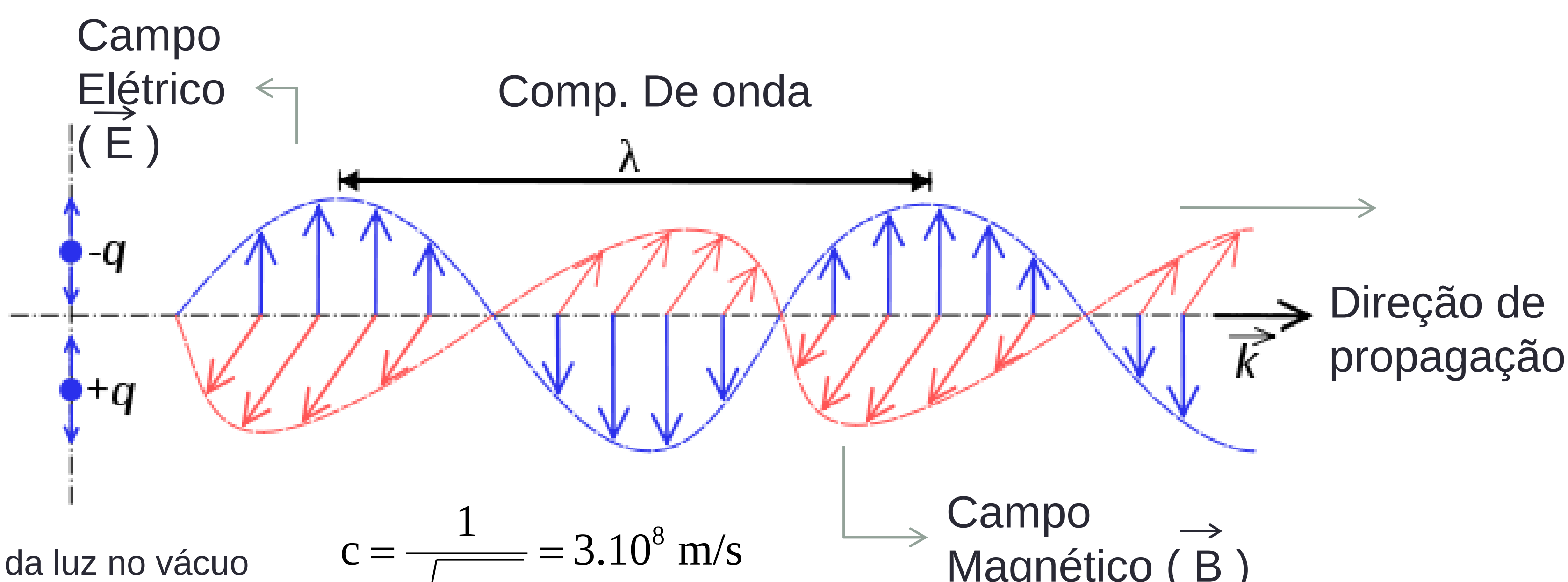
Equação de onda (genérica)

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} - \nabla^2 f(x,t) = 0$$

Exemplo: luz

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0 \qquad \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{B} = 0$$

A luz é uma onda eletromagnética e se propaga com uma dada velocidade c. Portanto não tem ação instantânea a distância.



velocidade da luz no vácuo

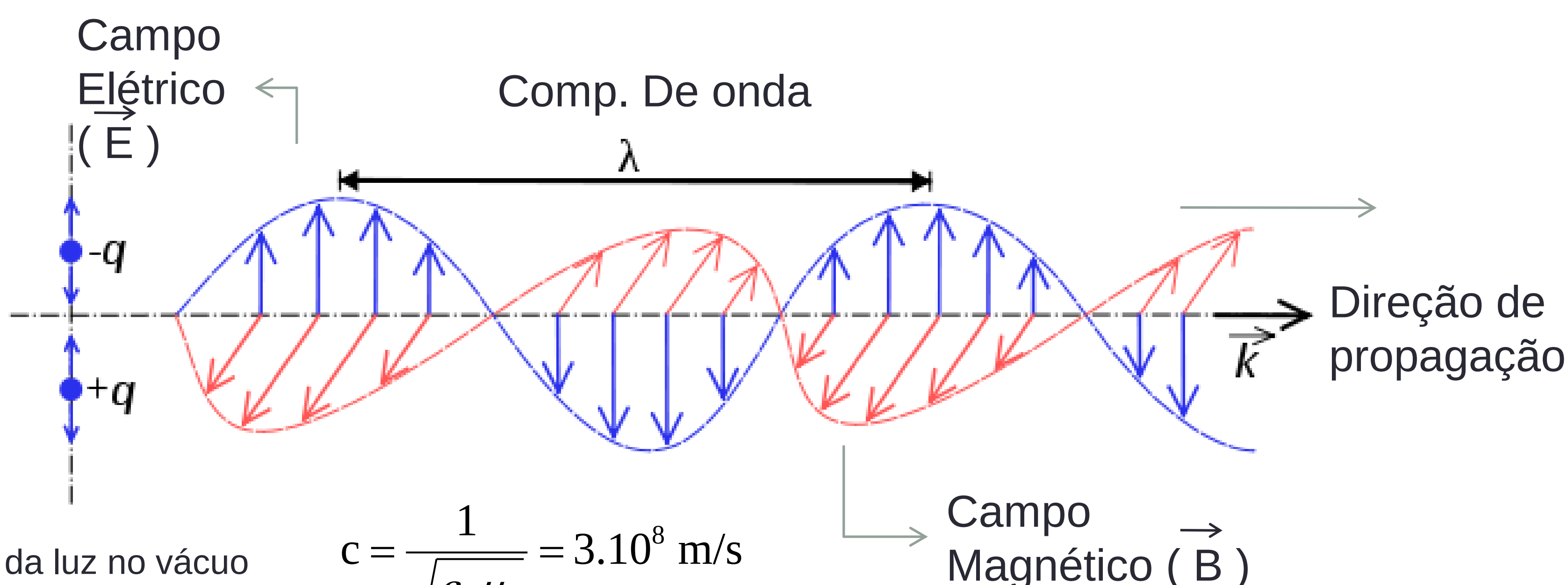
$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3.10^8 \text{ m/s}$$

I. A existência de ondas eletromagnéticas pode ser definida a partir das concepções de campo eletromagnético e de ação instantânea a distância.

F

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0 \qquad \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{B} = 0$$

A onda eletromagnética se propaga com uma dada velocidade c. Portanto não tem ação instantânea a distância.



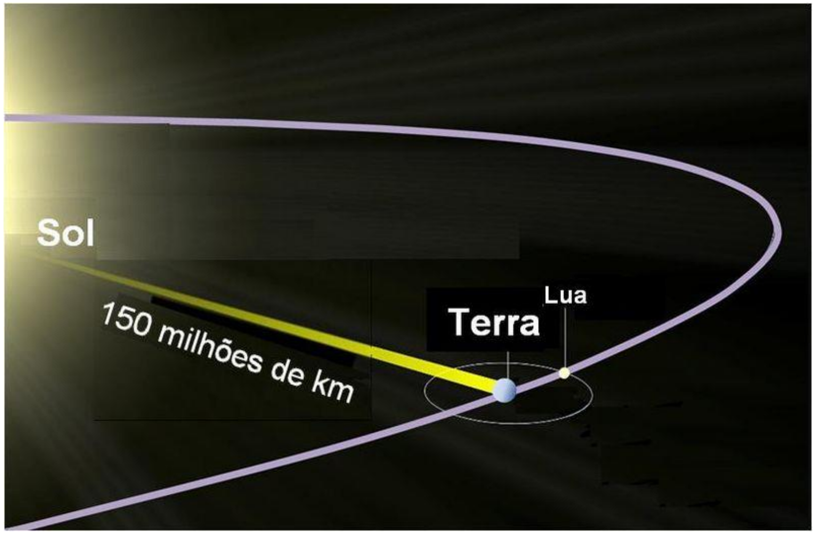
velocidade da luz no vácuo

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3.10^8 \text{ m/s}$$

I. A existência de ondas eletromagnéticas pode ser definida a partir das concepções de campo eletromagnético e de ação instantânea a distância.

F

A velocidade de propagação, no vácuo, de uma onda eletromagnética é **3.10^8 m/s.**



A distância entre a Terra e Sol é de aproximadamente 150.000.000 km.

A luz do Sol demora aproximadamente 8 minutos até chegar a Terra.

II. O campo eletromagnético e a força eletromagnética não necessitam de meios materiais entre cargas de uma distribuição para existir.

?

II. O campo eletromagnético e a força eletromagnética não necessitam de meios materiais entre cargas de uma distribuição para existir.

V

Não é necessário ter um meio material para ter interações eletromagnéticas.

III. O campo elétrico depende da posição, enquanto a força eletrostática depende da distância entre a carga-fonte e a carga-teste.

?

III. O campo elétrico depende da posição, enquanto a força eletrostática depende da distância entre a carga-fonte e a carga-teste.

V

$$\vec{E}(r) = \frac{kq}{r^2}\hat{r} \qquad \vec{F}_E(r_{Qq}) = \frac{kQq}{r_{Qq}^2}\hat{r}_{Qq}$$

QUESTÃO 10

A interação entre dois corpos foi historicamente concebida como uma ação instantânea a distância. Por outro lado, ela pode ser pensada como uma ação intermediada por um campo.

Considerando que a noção de força está associada à concepção de ação instantânea, avalie as afirmações a seguir.

F
I. A existência de ondas eletromagnéticas pode ser definida a partir das concepções de campo eletromagnético e de ação instantânea a distância.

V
II. O campo eletromagnético e a força eletromagnética não necessitam de meios materiais entre cargas de uma distribuição para existir.

V
III. O campo elétrico depende da posição, enquanto a força eletrostática depende da distância entre a carga-fonte e a carga-teste.

É correto o que se afirma em

A. I, apenas.
B. III, apenas.
C. I e II, apenas.
D. II e III, apenas.
E. I, II e III.

Revisão + Conexões

Equação de onda (genérica)

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2}-\nabla^2 f(x,t)=0$$

Toda onda se propaga com uma dada velocidade v≤c. Portanto nenhuma onda tem ação instantânea a distância.

Exemplos

Som

Equação de propagação das ondas sonoras

$$\boxed{\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}=0}$$

v=velocidade do som no meio (fluido)

Luz

Equação de propagação das ondas eletromagnéticas

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}-\nabla^2\vec{E}=0$$

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}-\nabla^2\vec{B}=0$$

c= velocidade da luz no vácuo

Moysés Nussenzveig. *Vol.2*

Existe *onda* de calor?

Equação de onda (genérica)

$$\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} - \nabla^2 f(x,t) = 0$$

Toda onda se propaga com uma dada velocidade v≤c. Portanto nenhuma onda tem ação instantânea a distância.

Exemplos

Som

Equação de propagação das ondas sonoras

$$\boxed{\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0}$$

v=velocidade do som no meio (fluido)

Luz

Equação de propagação das ondas eletromagnéticas

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0$$

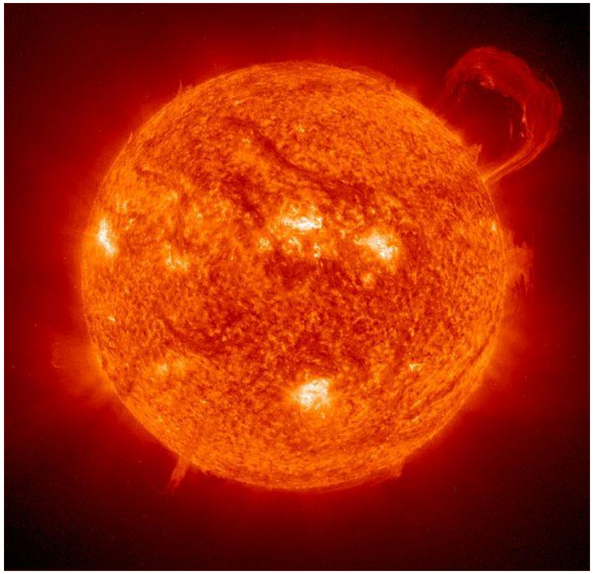
$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{B} = 0$$

c= velocidade da luz no vácuo

Obs: rigorosamente não existe *onda de calor.* Isto é, o calor não se propaga como uma onda, mas sua transmissão ocorre por outros mecanismos.

Questões conceituais

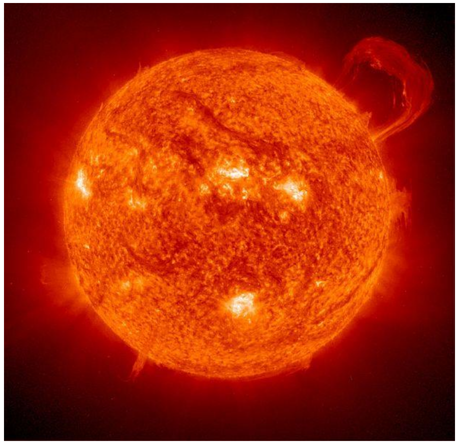
O sol envia calor à Terra?



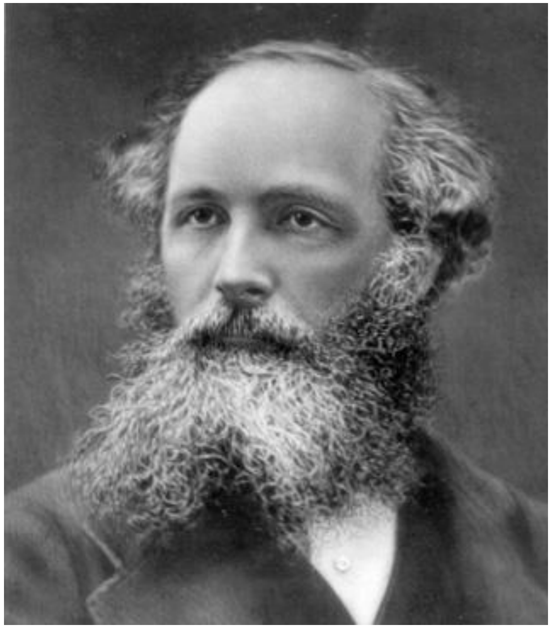
O sol *não* envia calor à Terra!

- O sol não envia calor direto à Terra. O calor não se propaga no vácuo.

- O sol envia ondas eletromagnéticas à Terra, que interagindo com a matéria produzem calor.



Equações de Maxwell



James Clerk Maxwell

Equações de Maxwell

I $$\nabla . \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

II $$\nabla . \vec{B} = 0$$

III $$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

IV $$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

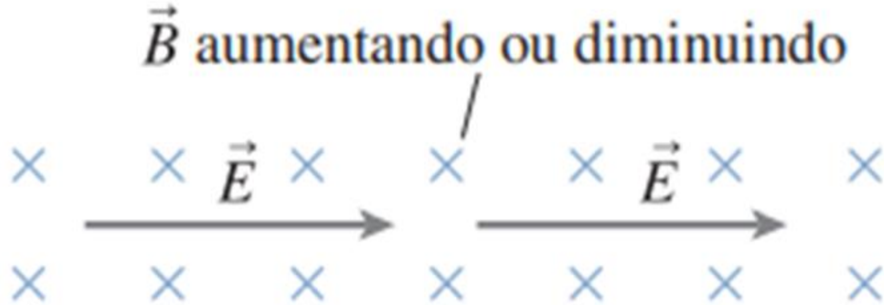
Duas maneiras de criar um campo elétrico

$$\nabla . \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

Um campo elétrico coulombiano
é criado por cargas.

$$\oiint \vec{E} . d\vec{S} = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0}$$

$$\nabla x \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$



Um campo elétrico não-
coulombiano é criado por uma
variação do campo magnético.

$$\oint \vec{E} . d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

Fundamentalmente pode-se criar campos elétricos por 2 modos. Um campo elétrico coulombiano pode ser criado por distribuições de cargas (Eq. de Maxwell I). Por outro lado, um campo elétrico não-coulombiano pode ser criado por variações de campos magnéticos (Eq. de Maxwell III). Essa afirmação é: *

- V
- F

$$\nabla.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

O campo elétrico coulombiano é divergente (Eq. de Maxwell I). Por outro lado, o campo elétrico não-coulombiano é rotacional (Eq. de Maxwell III). Essa afirmação é: *

- V
- F

$$\nabla.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Duas maneiras de produzir campo magnético

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\vec{J}_d \propto \vec{v}$$

Corrente ordinária

$$\vec{J}_d \propto \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Corrente de deslocamento

Permite que equações de eletromagnetismo respeitam conservação de carga elétrica

A Eq. de Maxwell IV nos informa que campos MAGNÉTICOS podem ser criados de 2 modos: por distribuições de correntes e por variações de campos elétricos. Essa afirmação é:

- V
- F

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

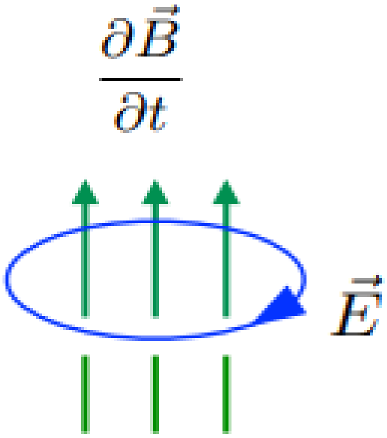
A Eq. de Maxwell I no informa que pode existir monopolos elétricos, porém a Eq. de Maxwell II informa que não existe monopolo magnético. Essa afirmação é:

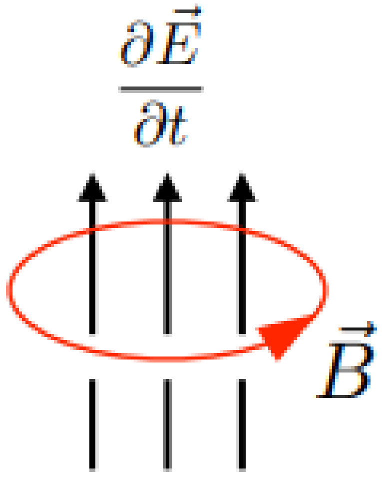
- V
- F

$$\nabla . \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \nabla . \vec{B} = 0$$

Indução eletromagnética é um mecanismo em qual variação de um dos campos (elétrico ou magnético) gera outro campo.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$





Variação temporal do campo magnético gera campo elétrico com linhas fechadas.

Variação temporal do campo elétrico gera campo magnético com linhas fechadas.

$$\text{Experimentos} \xrightarrow{\text{Faraday}} \text{Teoria}$$

$$\boxed{\text{Variação temporal de } \vec{B} \text{ gera } \vec{E}}$$

$$\underset{\text{Experimentos}}{\text{(Hertz)}} \xleftarrow{\text{Maxwell}} \text{Teoria}$$

$$\boxed{\text{Variação temporal de } \vec{E} \text{ gera } \vec{B}}$$

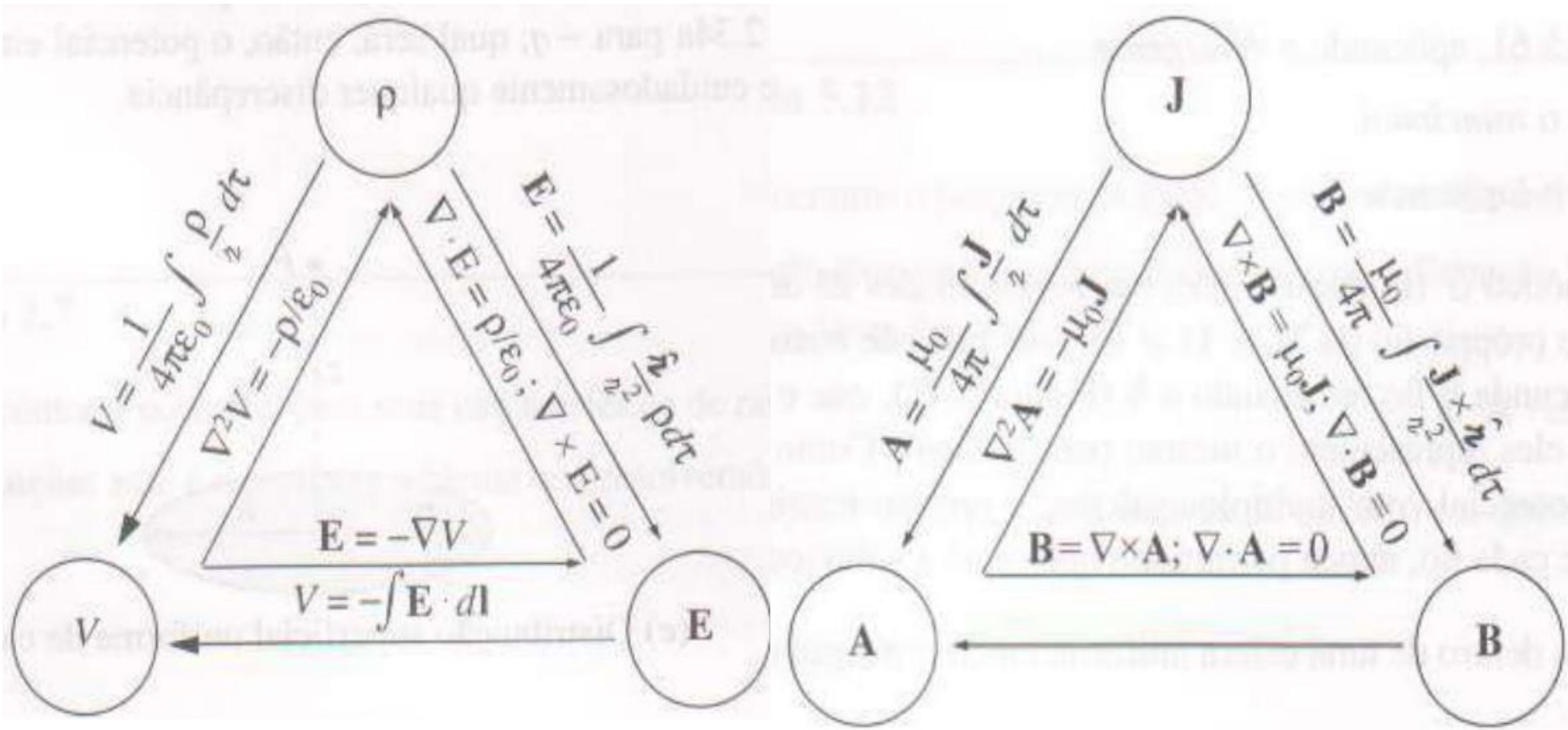
O Eletromagnetismo pode ser separado em Eletrostática e Magnetostática nas situações onde não há variação temporal dos campos elétricos e magnéticos. Essa afirmação é:

- ◯ V
- ◯ F

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \vec{0} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Eletrostática

Magnetostática

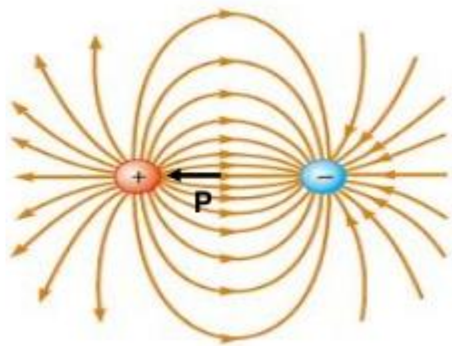


Eletrodinâmica David J. Griffiths 3ª edição

dipolo elétrico

O momento do dipolo elétrico para um par de cargas opostas de magnitude q:

$$\vec{p} \equiv q\vec{d}$$



$$U = -\vec{p}.\vec{E} = -pE\cos\theta$$

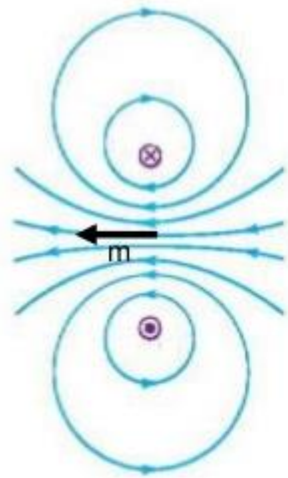
$$\tau = -\frac{dU}{d\theta} = pEsen\theta$$

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

dipolo magnético

Se uma corrente circula em torno de uma área o momento magnético associado é

$$\vec{m} \equiv I\vec{A}$$



$$U = -\vec{m}.\vec{B} = -mB\cos\theta$$

$$\tau = -\frac{dU}{d\theta} = mBsen\theta$$

$$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$$

A energia é mínima quando os momentos estão alinhados com o campo externo

Opcional

$$\nabla\times\nabla\times\vec{E}=\nabla(\nabla.\vec{E})-\nabla.\nabla\vec{E}$$

$$\nabla\times\left(-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}\right)=0-\nabla^2\vec{E}$$

$$-\frac{\partial}{\partial t}\nabla\times\vec{B}=-\nabla^2\vec{E}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\right)=\nabla^2\vec{E}$$

$$\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}-\nabla^2\vec{E}=0$$

$$\boxed{\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}-\nabla^2\vec{E}=0}$$

$$\mathrm{c}=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$$

$$\nabla\times\nabla\times\vec{B}=\nabla(\nabla.\vec{B})-\nabla.\nabla\vec{B}$$

$$\nabla\times\left(\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\right)=0-\nabla^2\vec{B}$$

$$\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial}{\partial t}\nabla\times\vec{E}=-\nabla^2\vec{B}$$

$$\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial}{\partial t}\left(-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}\right)=-\nabla^2\vec{B}$$

$$\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}-\nabla^2\vec{B}=0$$

$$\boxed{\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}-\nabla^2\vec{B}=0}$$

Outras questões do QUIZ

A 2ª Lei de Newton fornece um protocolo para se obter a trajetória x(t) de uma partícula, analiticamente ou numericamente:

- ◯ V
- ◯ F

$$\vec{F}_R = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\frac{d^2\vec{x}}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\vec{x}}{dt^2} - \frac{1}{m}\vec{F}_R = \vec{0} \Rightarrow \vec{x}(t)$$

A 3ª Lei de Newton leva a conservação do momentum total do sistema. *

- ( ) V
- ( ) F

O princípio da ação e reação também se aplica a força centrífuga *

- ( ) V
- ( ) F

O princípio da ação e reação também se aplica a força centrípeta: *

- ( ) V
- ( ) F

A 3ª Lei de Newton leva a conservação do momentum total do sistema. *

V

Demonstração heurística

$$\vec{F}_R = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

F

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \Rightarrow \frac{d\vec{p}_1}{dt} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt} \Rightarrow \frac{d(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)}{dt} = \vec{0} \Rightarrow \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = ct\vec{e}$$

O principio da ação e reação também se aplica a força centrífuga *

V

F

A força centrífuga só atua em referenciais não inerciais. (acelerados).
O princípio da Ação e Reação não se aplica em referenciais não inerciais.

O principio da ação e reação também se aplica a força centrípeta: *

V

F

A chamada **força centrípeta** é apenas uma denominação para a **força resultante na direção radial.** Isto é, não tem reação.


Tenham uma ótima prova