

ENADE: QUESTÕES COMENTADAS + REVISÃO

Prof. Dr. Marcelo Pires

Sumário

1. Panorama
2. Mecânica Clássica
3. Eletromagnetismo

ENADE 2011

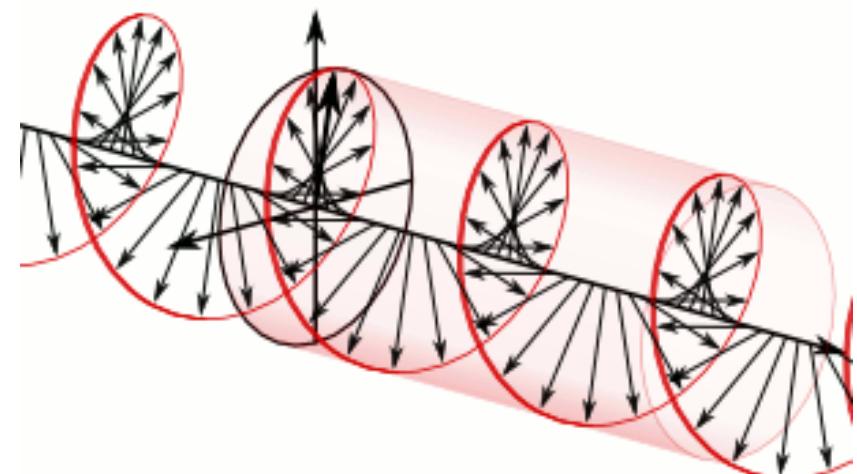
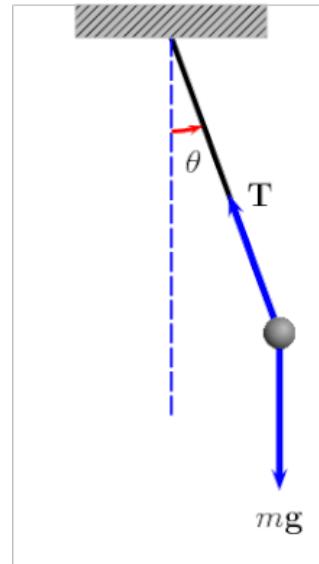
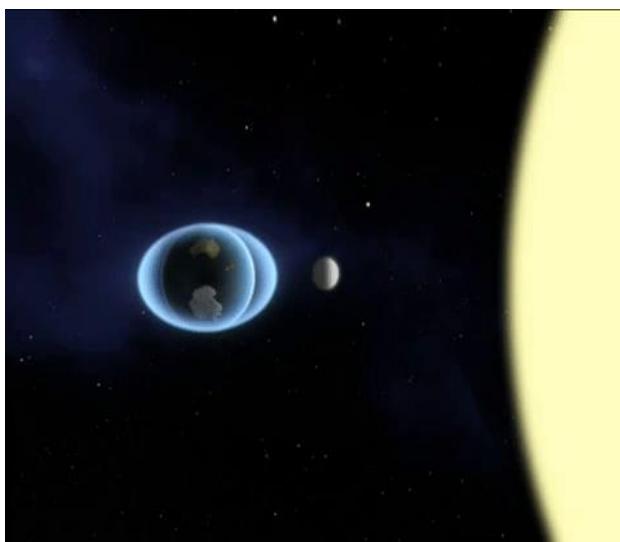
EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

ENADE 2014

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

enade²⁰¹⁷

Exame Nacional de Desempenho
dos Estudantes



Panorama

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 Costa¹, Maria Inês Martins²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Timóteo, MG, Brasil

²Pontifícia 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

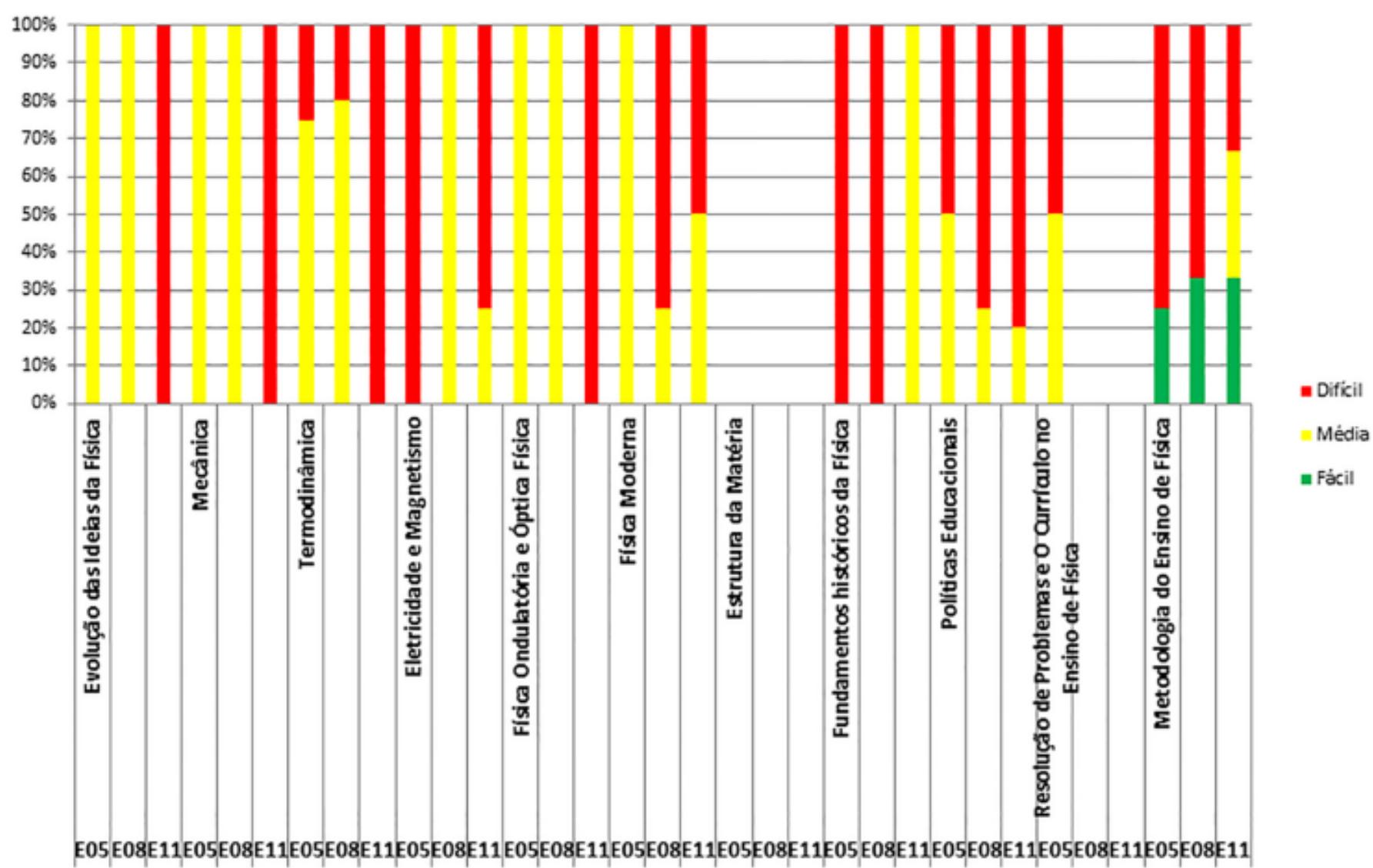


Figura 2 - Frequência dos OC por índice de facilidade nas edições do ENADE 2005(E05), 2008(E08) e 2011(E11).

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 = $3,8 \times 10^5$ 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.

- 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.
- 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.
- 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

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?



?



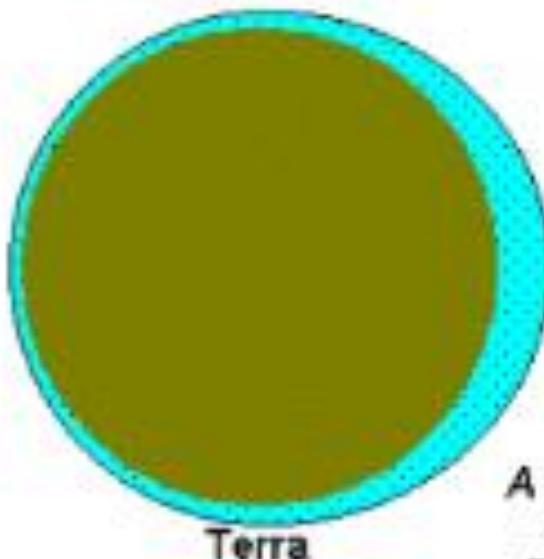
Artigo de ensino:

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

Revisão

(a)

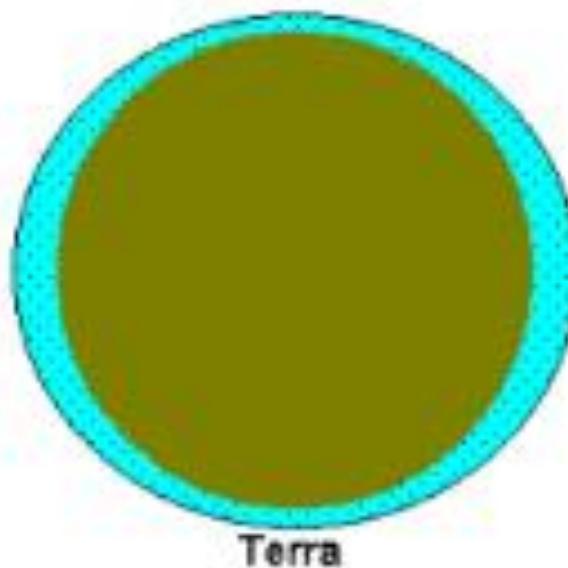
Concepção errada



A elevação dos oceanos não se dá apenas no lado da Terra voltado para o astro; também ocorre no lado diametralmente oposto.

(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.

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

v

?

F

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

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

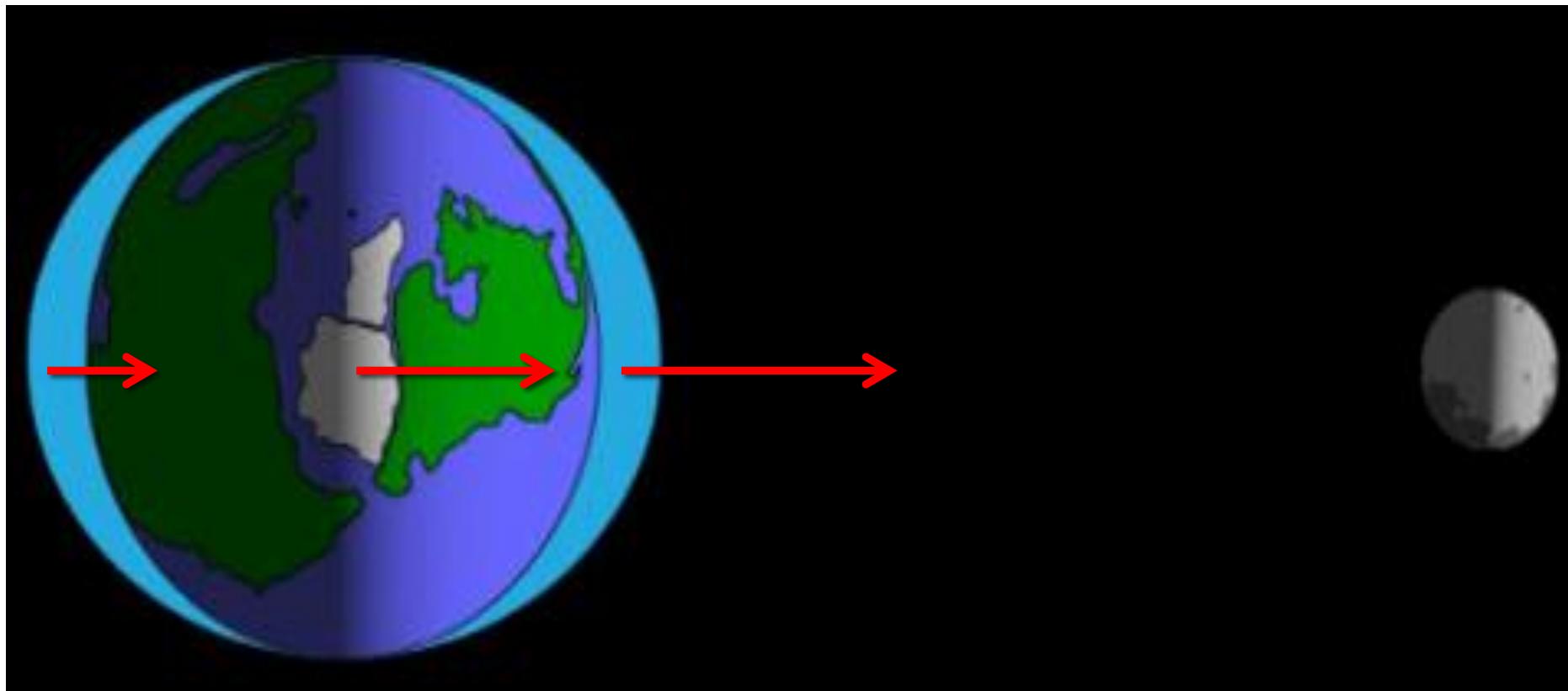
- v
- F

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

↑ $r \Rightarrow \downarrow F_G$

Revisão

Fora do referencial não-inercial da terra

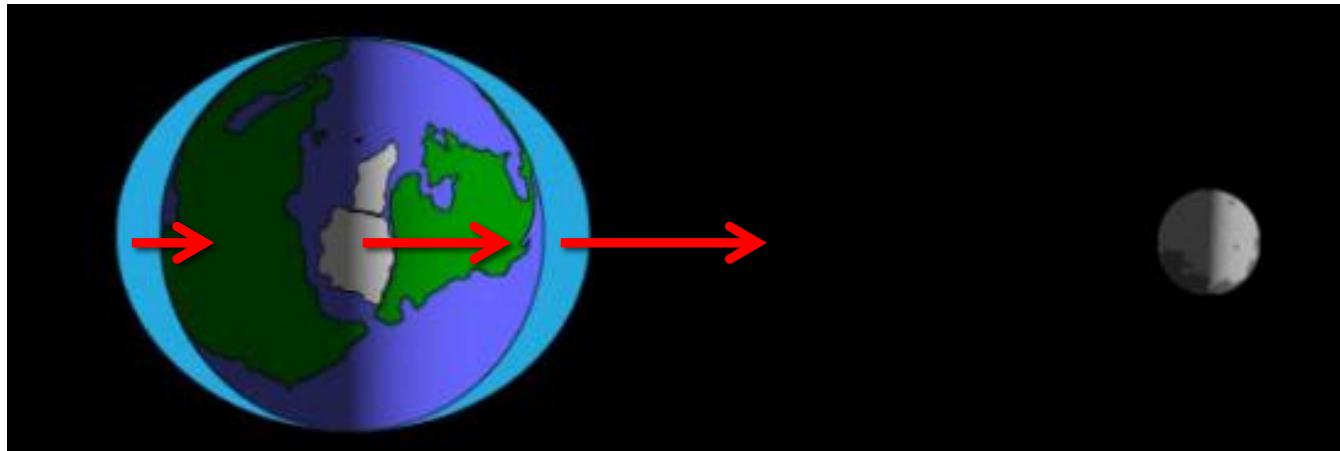


$$F_G(r) = \frac{GMm}{r^2}$$
 $\uparrow r \Rightarrow \downarrow F_G$

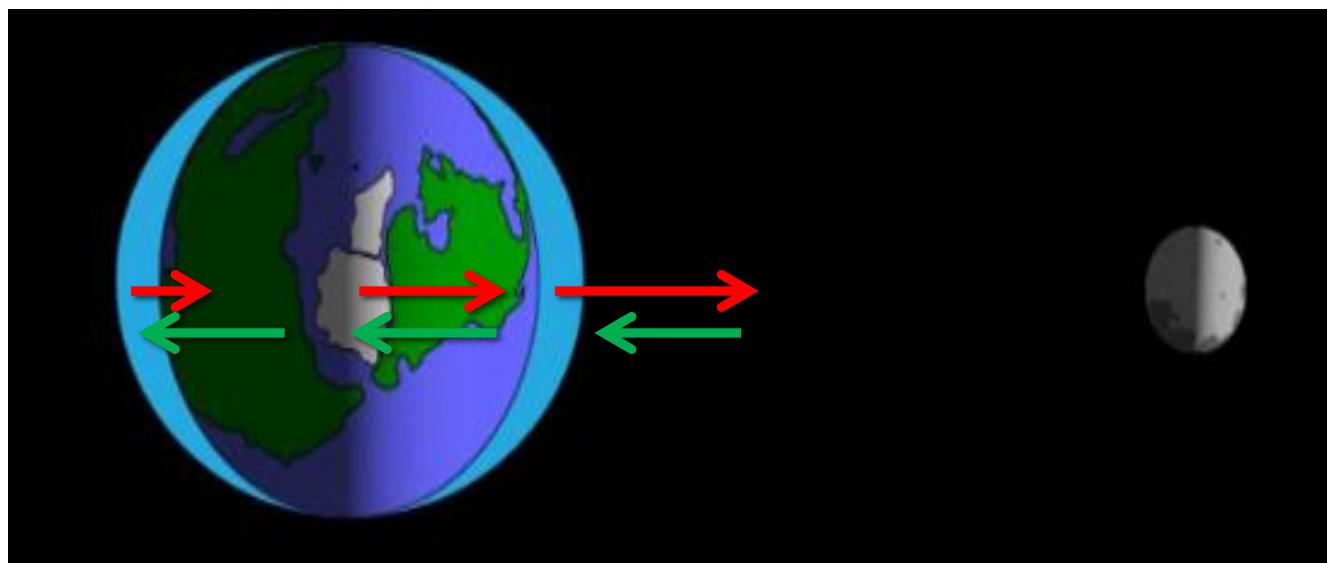
Observe o tamanho do vetor (vermelho)

Revisão

Fora do referencial não-inercial da terra

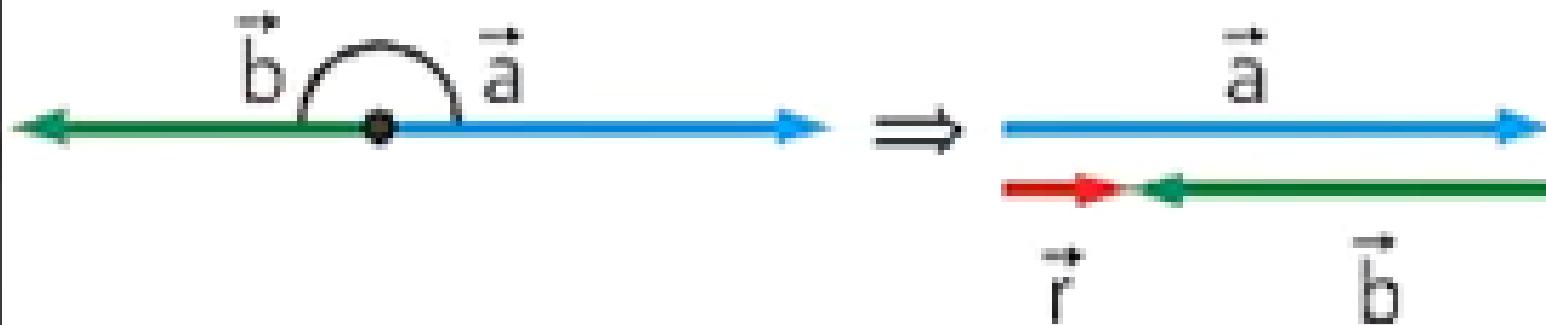


No referencial não-inercial da terra



Subtração de vetores

$$\theta = 180^\circ$$

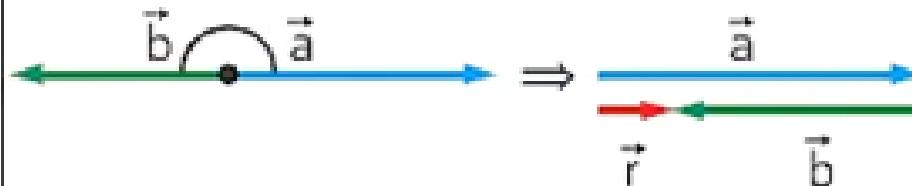


$$\theta = 180^\circ \Rightarrow \vec{r} = \vec{a} - \vec{b}$$

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

Subtração de vetores

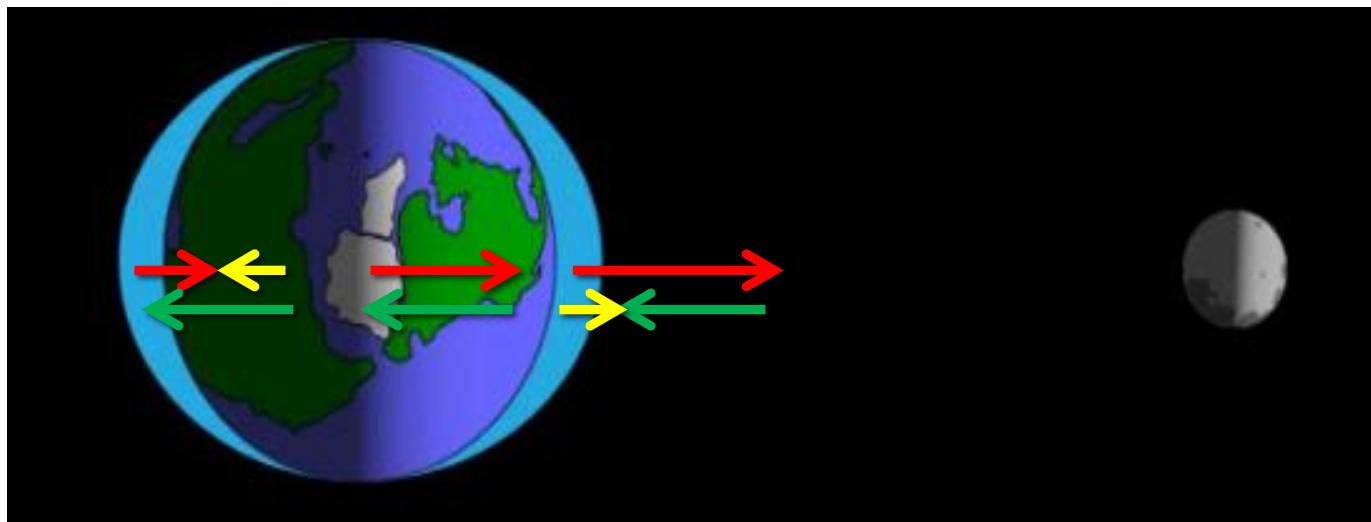
$$\theta = 180^\circ$$



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

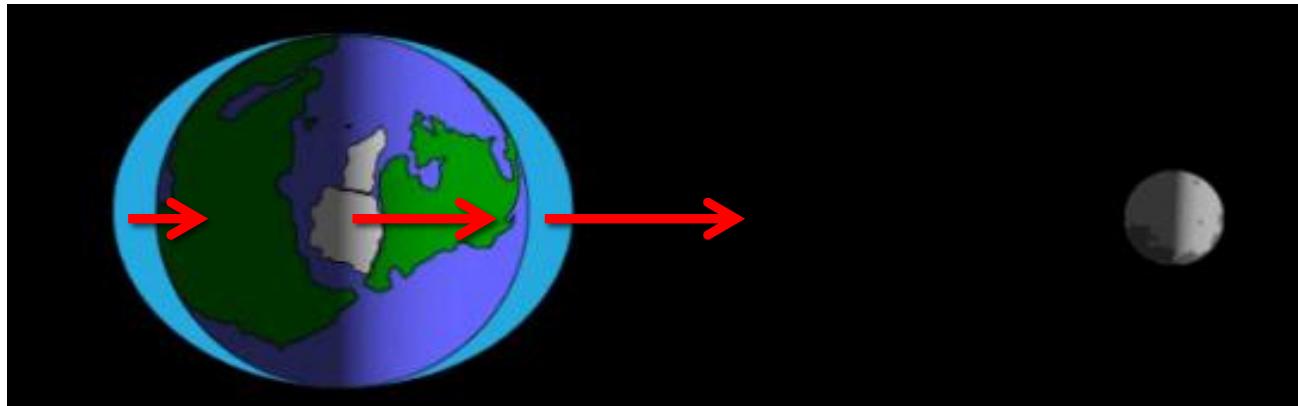
O vetor diferença aponta no sentido do vetor participante da subtração com maior magnitude

No referencial não-inercial da terra

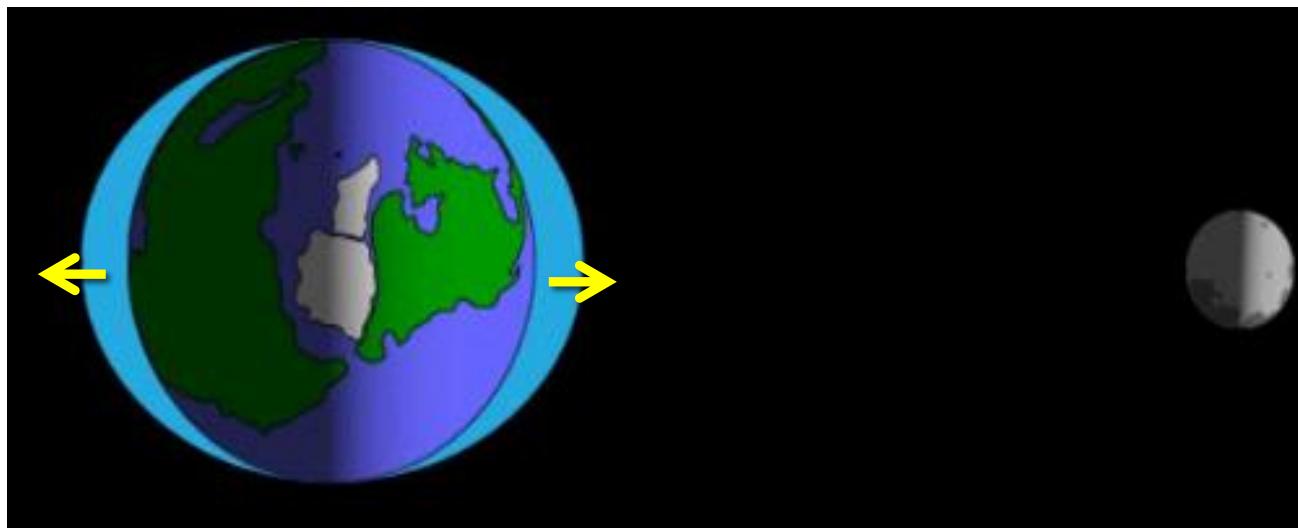


Solução

Fora do referencial não-inercial da terra



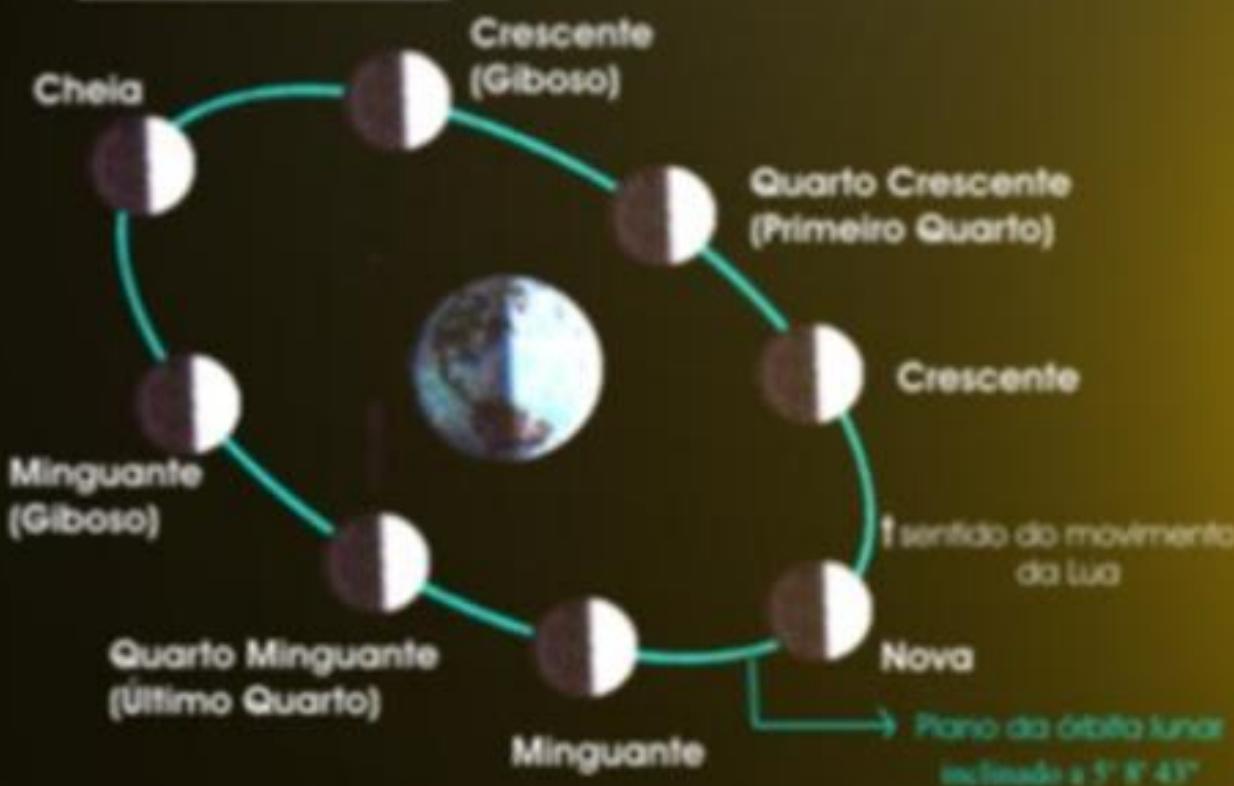
No referencial não-inercial da terra



- 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



A Lua como vista de nossa posição em terra





Marés Vivas

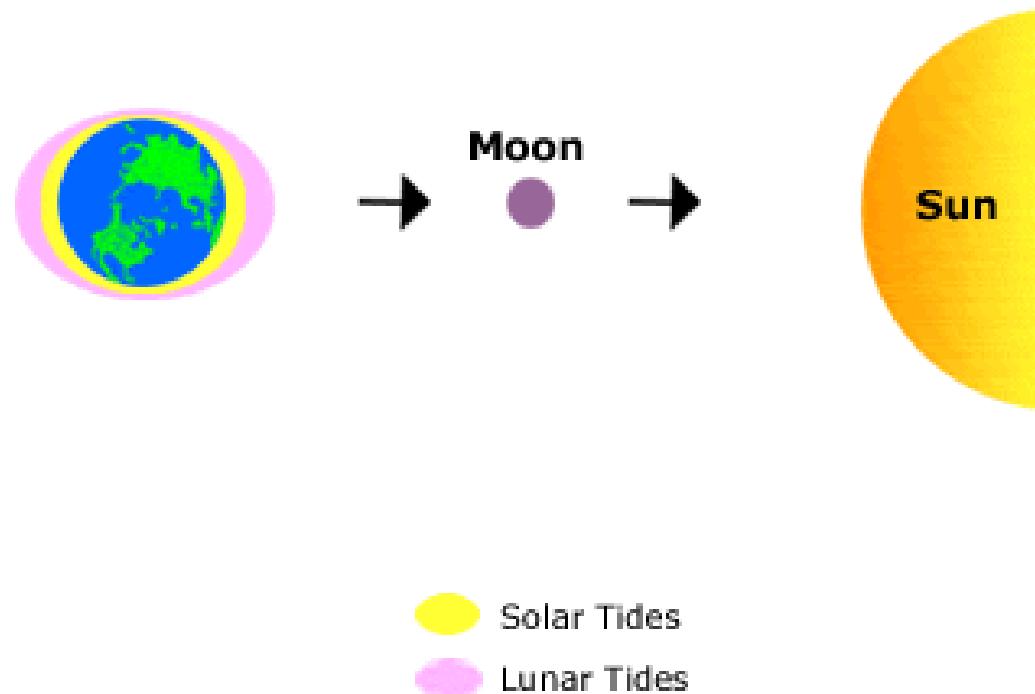


Marés Mortas

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.

Spring Tides



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.

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

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

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

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

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

Utilizando os valores fornecidos pelo problema:

$$\frac{dF_S}{dF_L} = \frac{2,0 \cdot 10^{30} kg}{7,3 \cdot 10^{22} kg} \left(\frac{3,8 \cdot 10^5 km}{1,5 \cdot 10^8 km} \right)^3 = 0,45.$$

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.

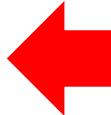
ENADE 2014

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



0 hrs



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:

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

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

3^a 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 1^a Lei está relacionada ao fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos.
- II. A 2^a Lei está relacionada ao fato de a conservação do momento angular do planeta se manter durante seu movimento em torno do Sol.
- III. A 3^a 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.

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

?

Elementos para demonstrar a 1^a Lei de Kepler

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

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

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

Elementos para demonstrar a 1^a Lei de Kepler

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

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

$$L = \underbrace{rp}_{mv} = \underbrace{rmv}_{r\omega} = mr^2 \underbrace{\dot{\theta}}_{\dot{\theta}}$$

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

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

Elementos para demonstrar a 1^a Lei de Kepler

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

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

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

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

$$L = \underbrace{rp}_{mv} = \underbrace{rmv}_{r\omega} = \underbrace{mr^2\dot{\theta}}_{\dot{\theta}}$$

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

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

Elementos para demonstrar a 1^a Lei de Kepler

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

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

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

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

$$L = \underbrace{rp}_{mv} = \underbrace{rmv}_{r\omega} = mr^2\underbrace{\dot{\theta}}_{\omega}$$

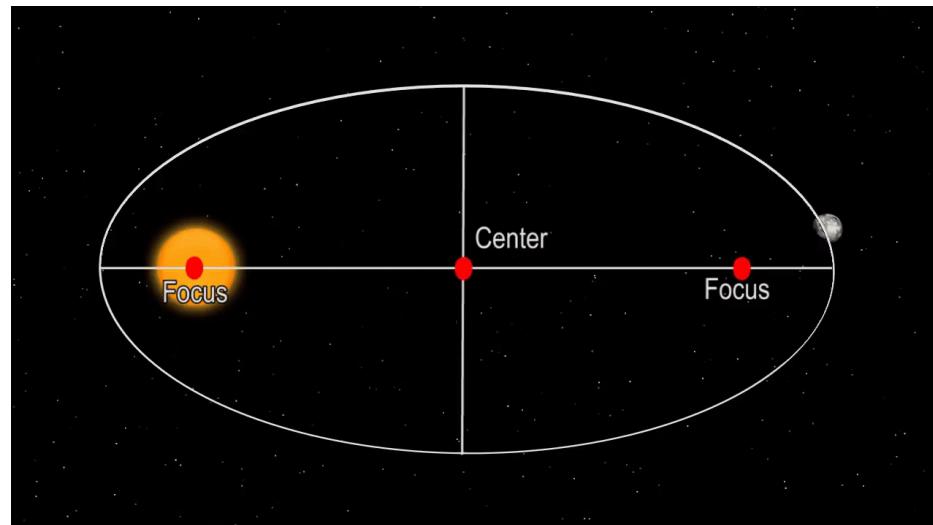
$$L = mr^2\dot{\theta}$$

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

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

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

$E < 0$

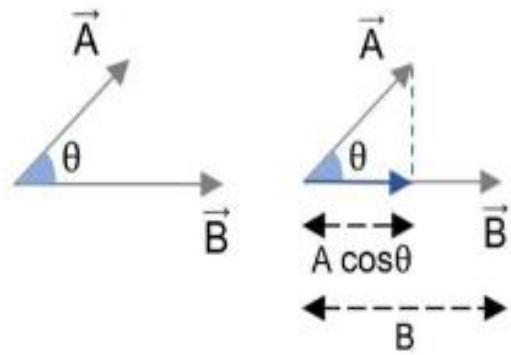


- I. A 1^a Lei está relacionada ao fato de a força gravitacional ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos. **V**

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

?

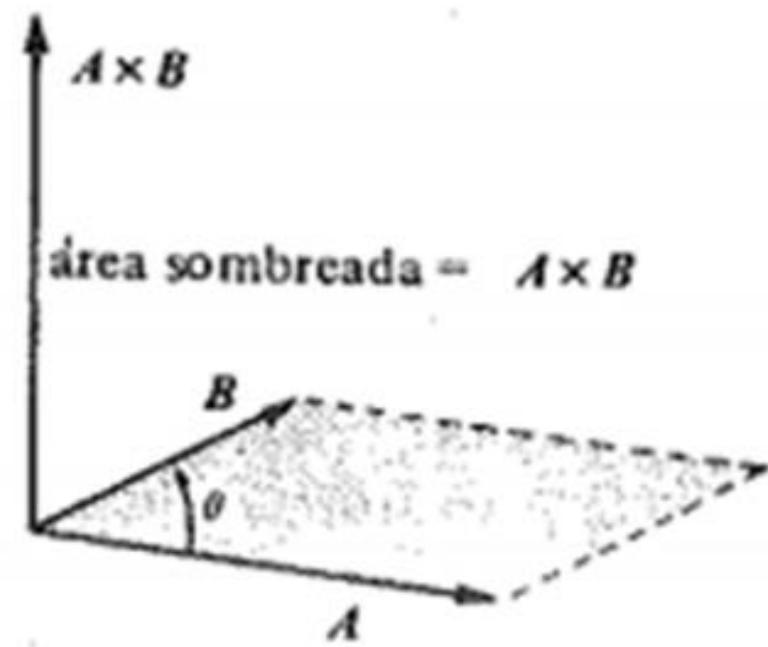
Produto escalar



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

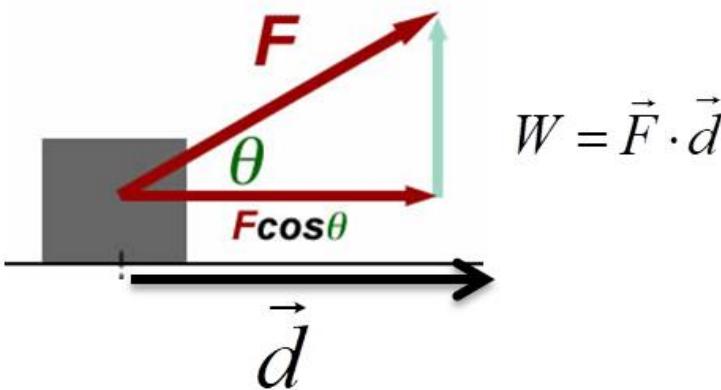
Ângulo formado entre os vetores \vec{A} e \vec{B}

Produto vetorial

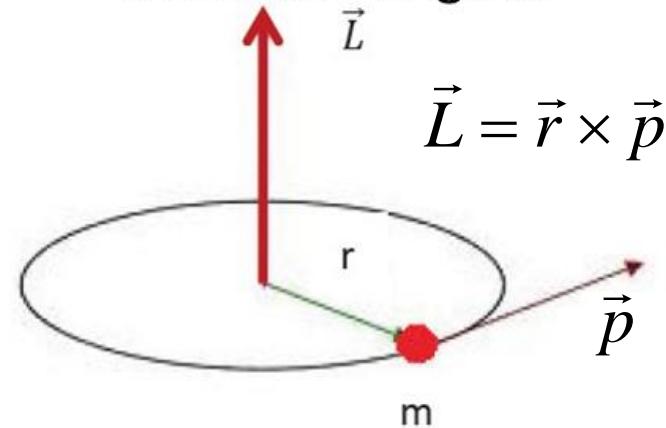


Exemplo de aplicação

Trabalho de uma força constante



Momento angular



Demonstração da 2^a Lei de Kepler: parte I

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

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

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

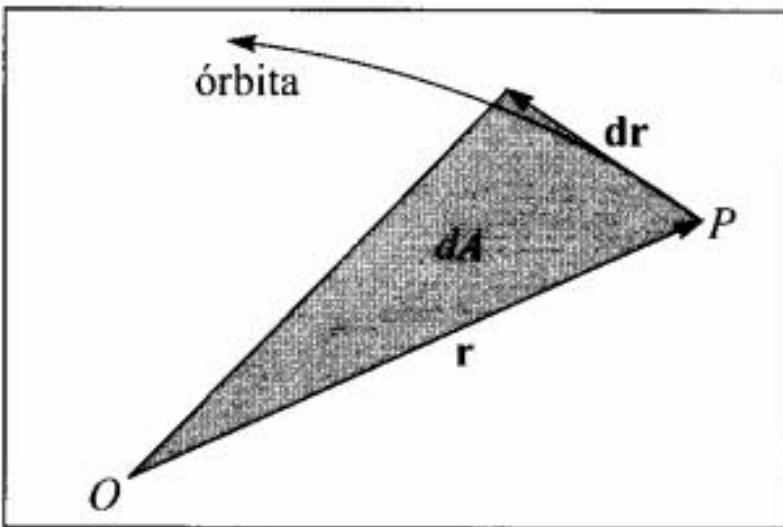
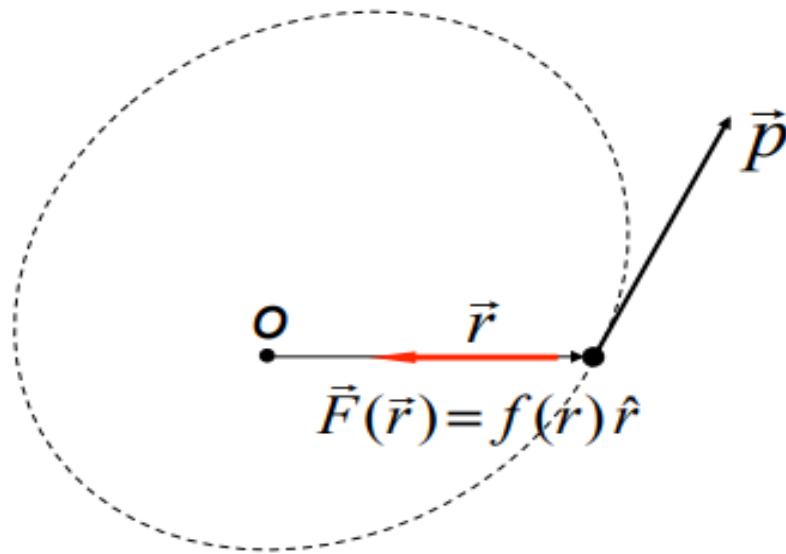


Figura 11.22 Área varrida.

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

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

Forças
centrais



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

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

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

Velocidade Areolar

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

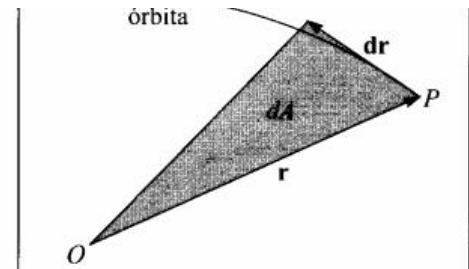
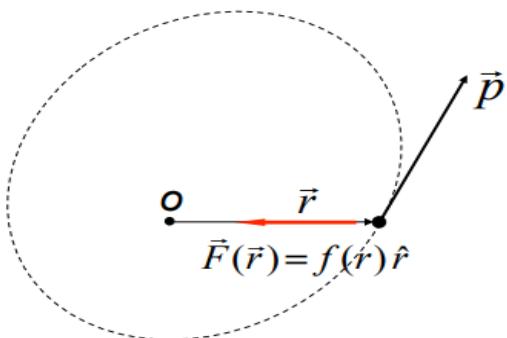


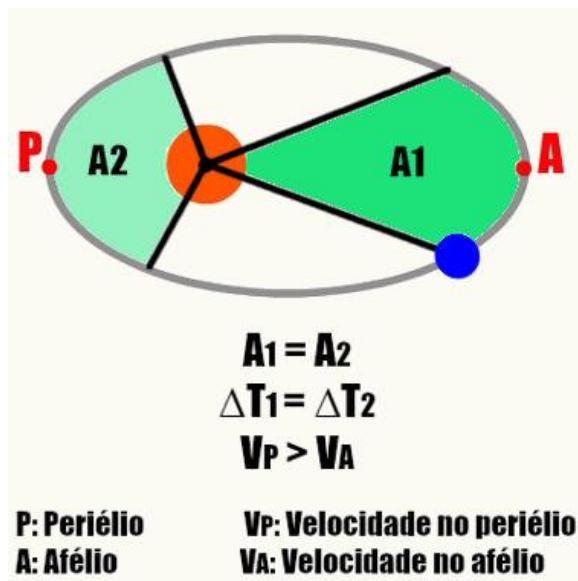
Figura 11.22 Área varrida.

Forças centrais



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

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



No movimento sob a ação de forças centrais, I 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 3^a Lei está relacionada ao fato de o movimento planetário ser regido por uma força central.

?

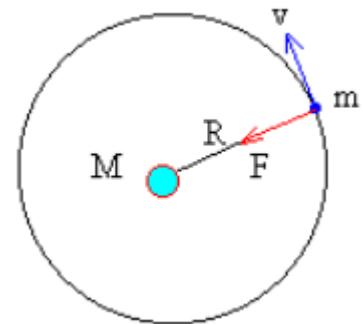
3^a Lei: O quadrado do período de um planeta é proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol.

Demonstração (heurística) da 3^a 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 3^a Lei está relacionada ao fato de o movimento planetário ser regido por uma força central.

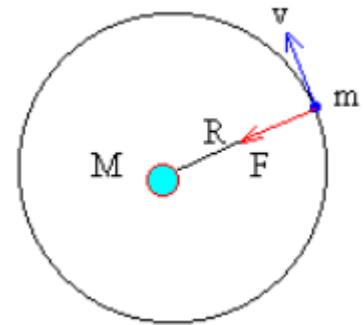
?

Demonstração (heurística) da 3^a 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:

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

?

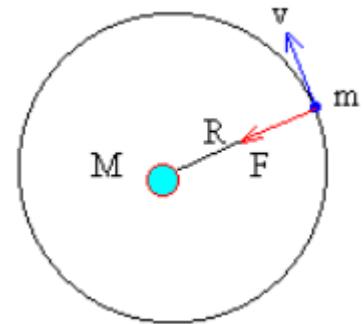
III. A 3^a Lei está relacionada ao fato de o movimento planetário ser regido por uma força central.

Demonstração (heurística) da 3^a 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

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

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

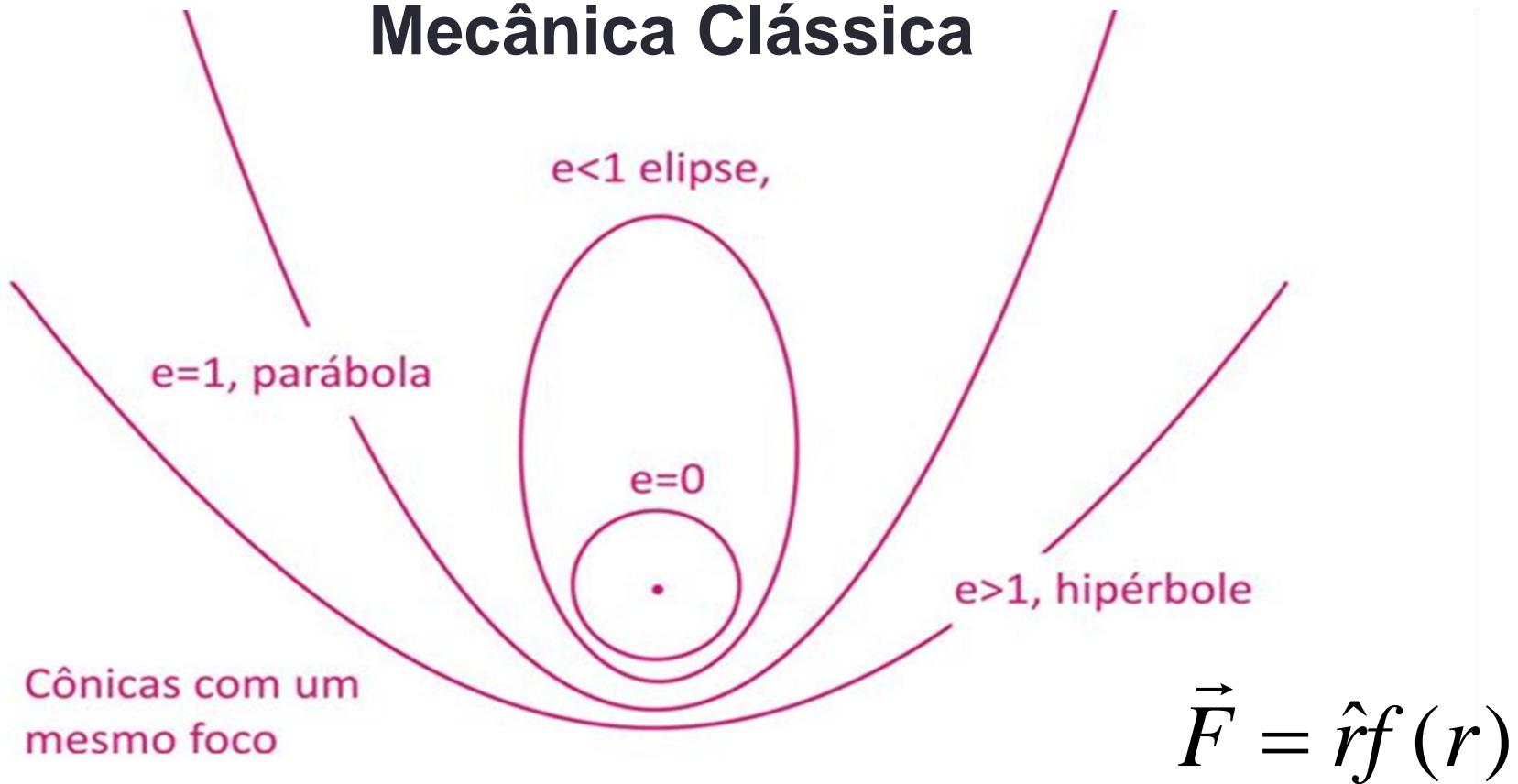
F

Bases das Leis de Kepler

(Ingredientes para demonstrar)

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

Cônicas em Mecânica Clássica



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

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

ENADE 2011

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

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 $\pi/6$ rad.
- C $\pi/4$ rad.
- D $\pi/3$ rad.
- E $\pi/2$ rad.

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

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

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

Isso ocorre quando se supõe θ igual a aproximadamente

- A 0 rad.
- B $\pi/6$ rad.
- C $\pi/4$ rad.
- D $\pi/3$ rad.
- E $\pi/2$ rad.

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

Para oscilações
de pequena amplitude

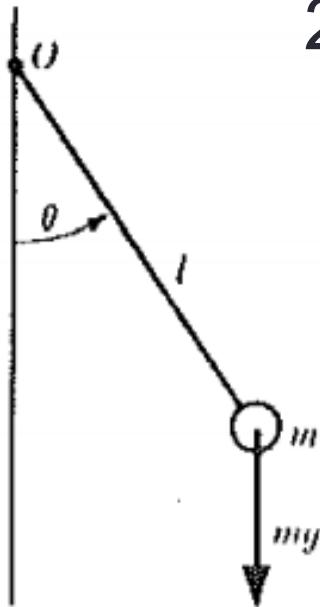
$$\sin \theta \sim \theta$$

Revisão

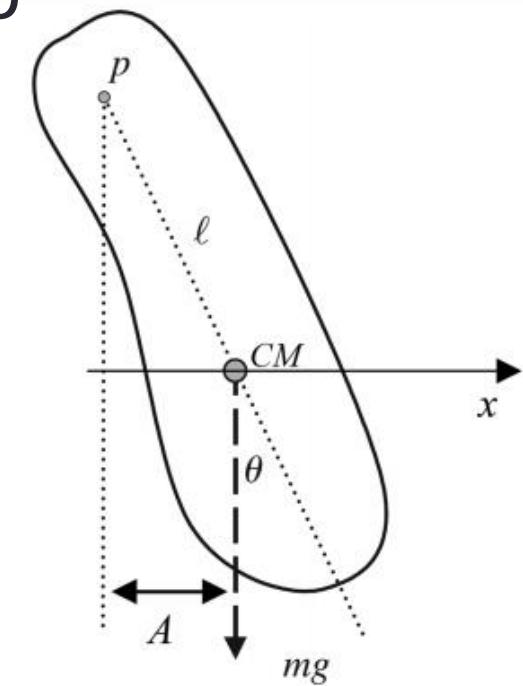
Pêndulo Simples

Pêndulo Físico

2^a Lei de Newton para Rotação



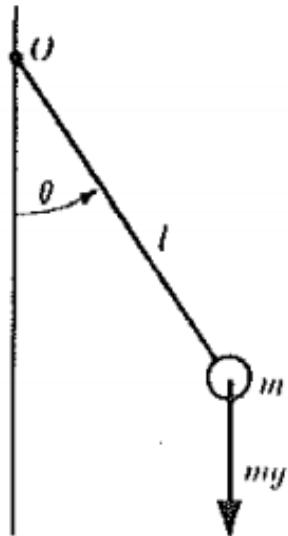
$$\tau = I_p \ddot{\theta}$$



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

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

Pêndulo Simples



2^a Lei de Newton para Rotação

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

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

LINEARIZAÇÃO

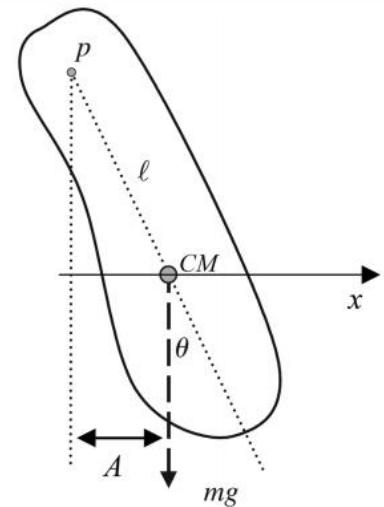
Para oscilações de pequena amplitude

$$\sin \theta \sim \theta$$

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

Equação
do
oscilador

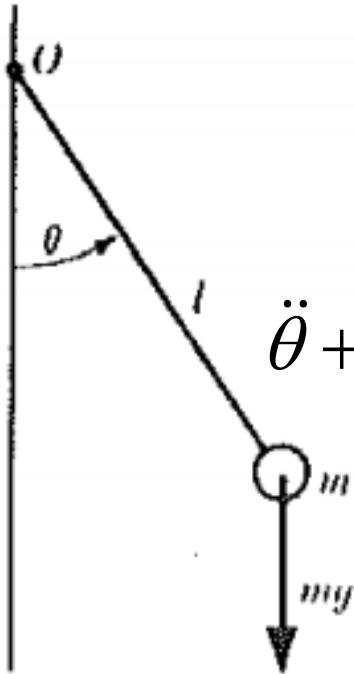
Pêndulo Físico



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

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

Pêndulo Simples



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

2ª Lei de Newton para Rotação

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

Para oscilações de pequena amplitude

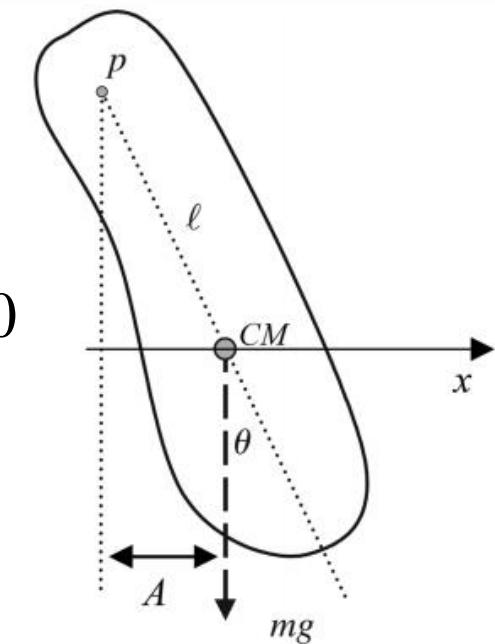
$$\sin \theta \sim \theta$$

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

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

Pêndulo Físico

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



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

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

Distribuição de massa

ρ

Massa pontual

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

Massa pontual

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

Fluxograma
da gravitação

V

Potencial gravitacional
(escalar)

$$m \rightarrow \int \dots \rho d\tau$$

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

\vec{g}

Campo gravitacional
(vetor)

Distribuição de massa

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

Massa pontual

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

ρ

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

Massa pontual

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

Fluxograma
da gravitação

$$m \rightarrow \int \dots \rho d\tau$$

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

Potencial gravitacional
(escalar)

V

\vec{g}

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 ←

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

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

v

F ←

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

Eletromagnetismo

ENADE 2014

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

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 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

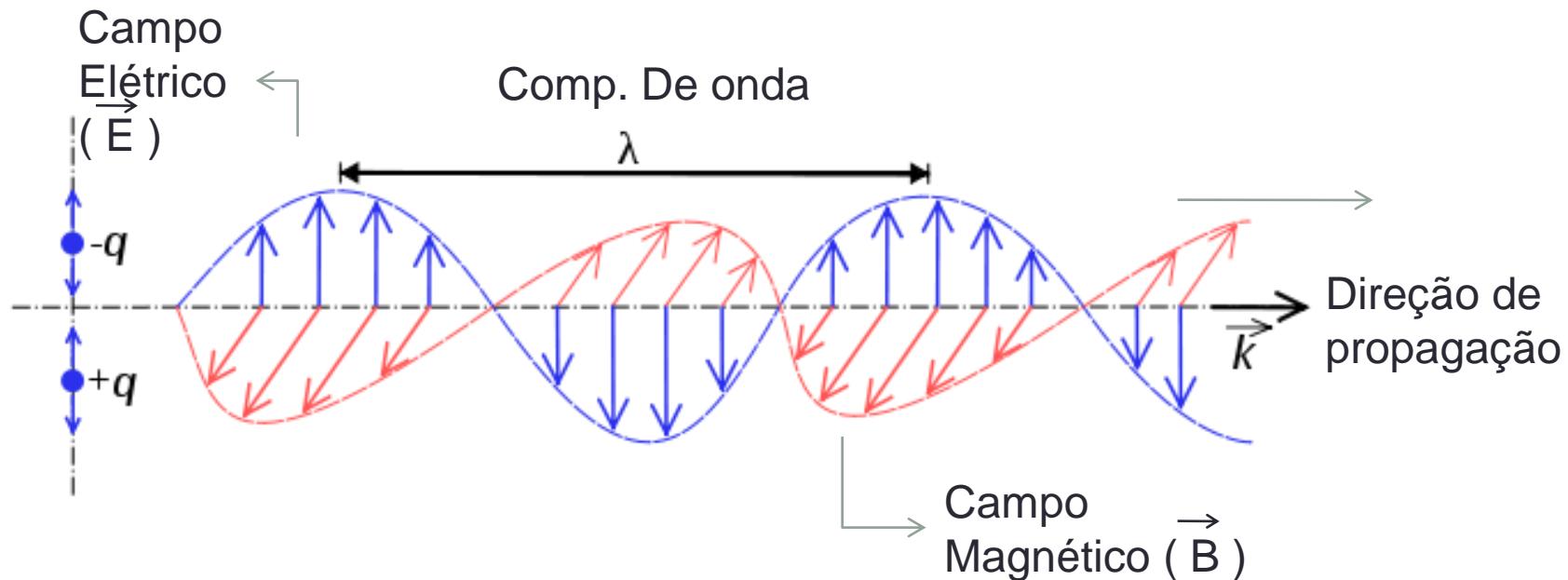
Equação de onda
(genérica) $\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} - \nabla^2 f(x,t) = 0$

Exemplo: luz

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

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

velocidade da luz no vácuo $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3.10^8 \text{ m/s}$



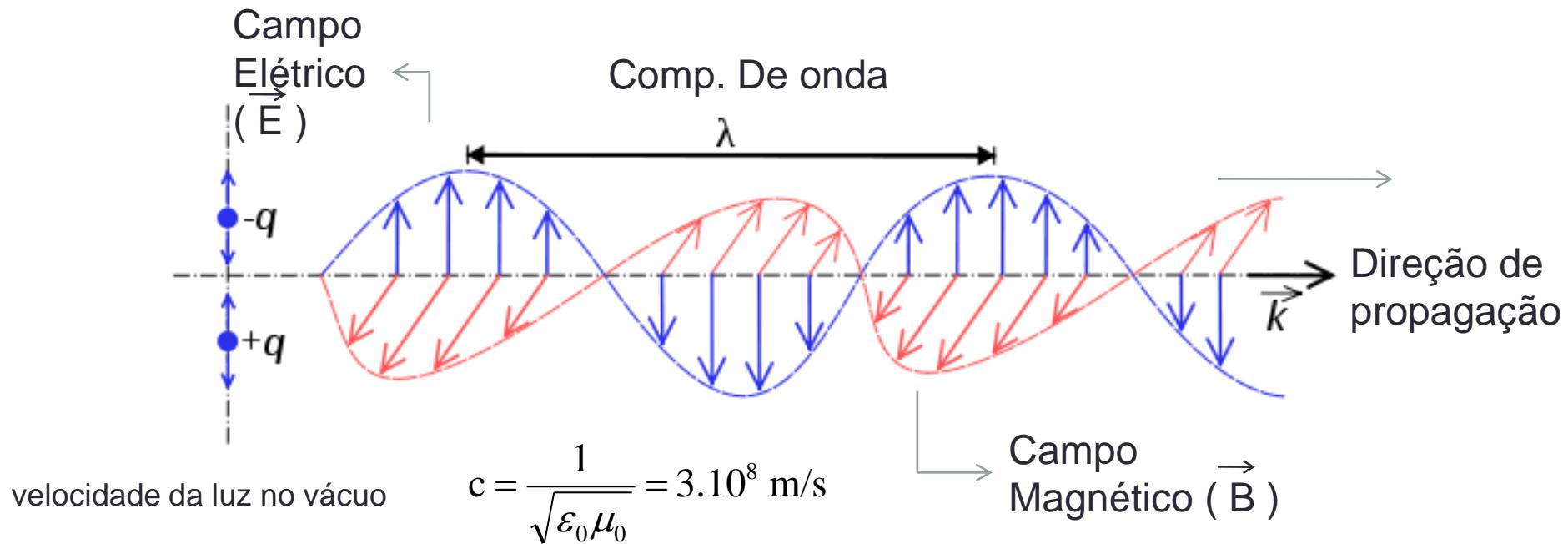
Equação de onda
(genérica) $\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} - \nabla^2 f(x,t) = 0$

Exemplo: luz

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

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

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



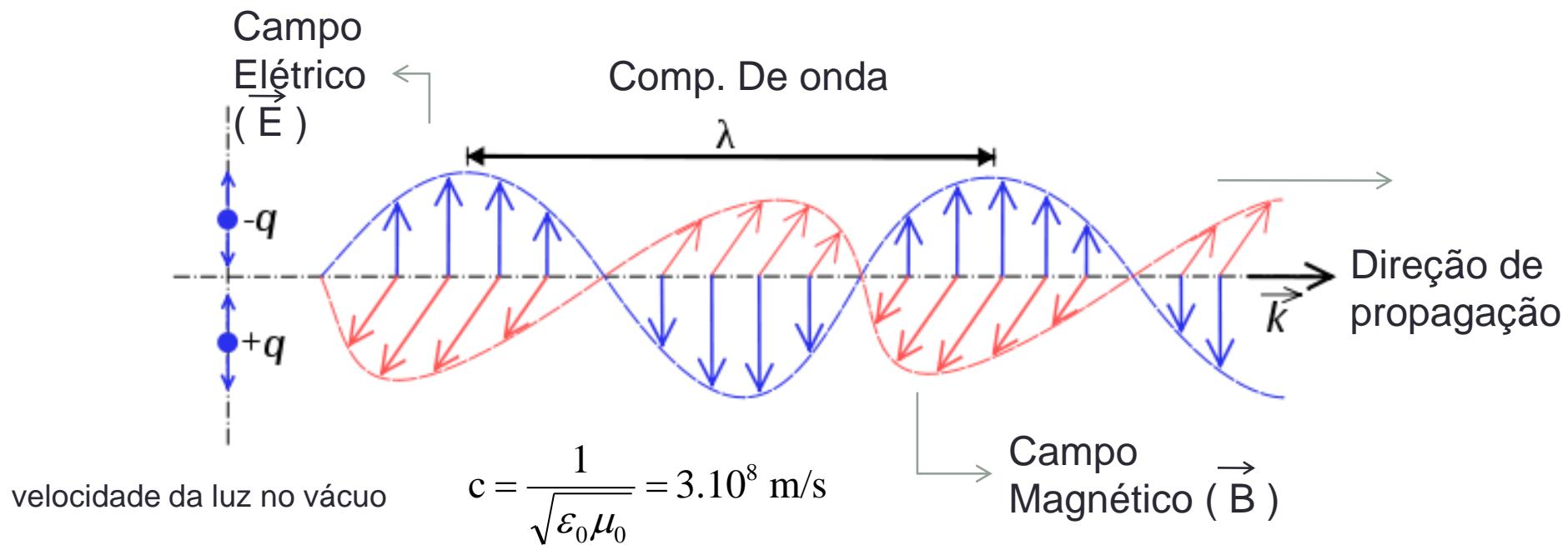
I. A existência de ondas eletromagnéticas pode ser definida a partir das concepções de campo eletromagnético e de ação instantânea a distância.

F

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

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

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

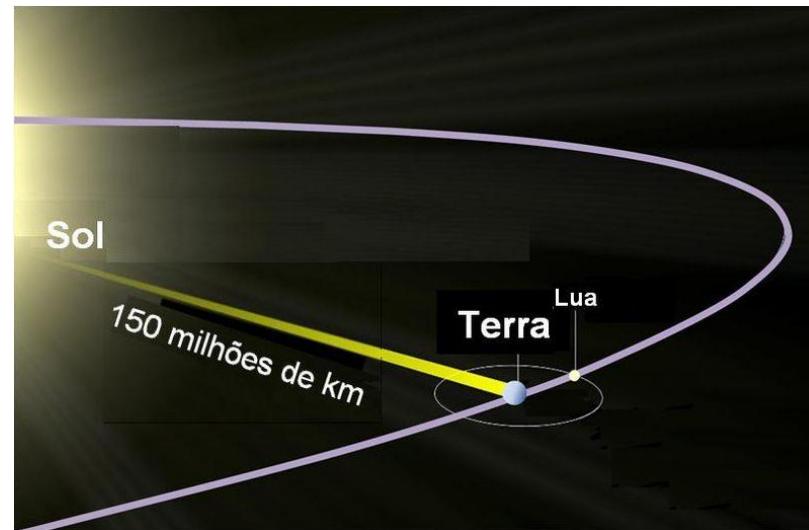


$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

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 $3 \cdot 10^8$ 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.

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

III. 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

$$\vec{E}(r) = \frac{kq}{r^2} \hat{r}$$

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

ENADE 2014

EXAME NACIONAL DE DESEMPENHO DOS ESTUDANTES

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 $v \leq c$. Portanto nenhuma onda tem ação instantânea a distância.

Exemplos

Som

Equação de propagação das ondas sonoras

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

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

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 $v \leq c$.
Portanto nenhuma onda tem ação instantânea a distância.

Exemplos

Som

Equação de propagação das ondas sonoras

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

v =velocidade do som no meio (fluído)

Luz

Equação de propagação das ondas eletromagnéticas

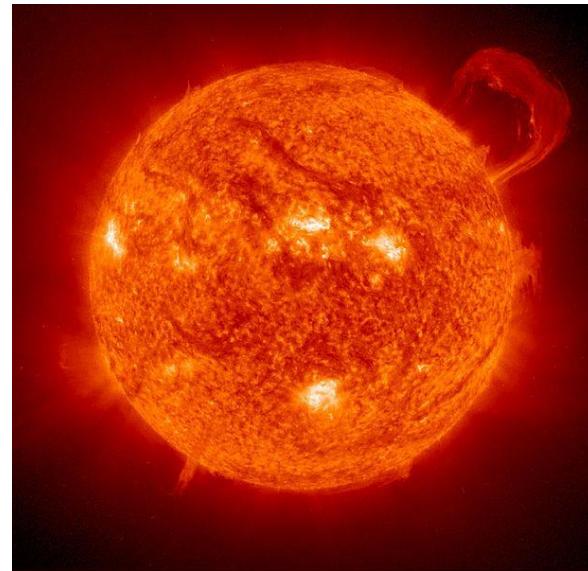
$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0$$

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

c = velocidade da luz no vácuo

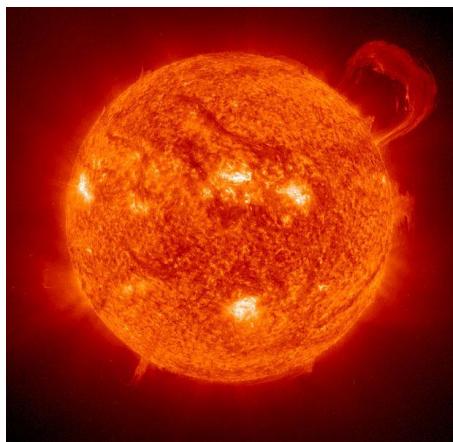
Obs: rigorosamente não existe onda de calor. Isto é, o calor não se propaga como uma onda, mas sua transmissão ocorre por outros mecanismos.

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 $\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

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

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

IV $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Duas maneiras de criar um campo elétrico

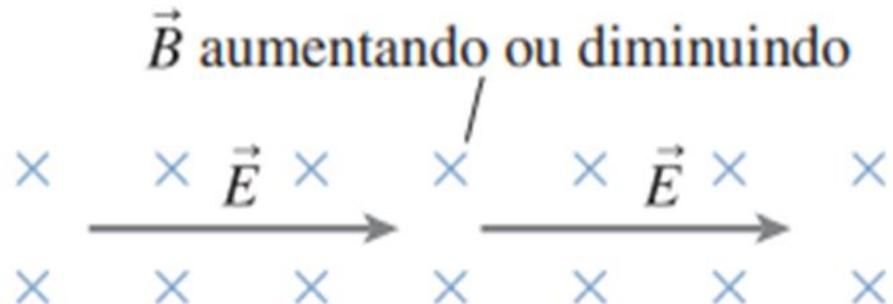
$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$



Um campo elétrico coulombiano
é criado por cargas.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

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



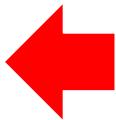
Um campo elétrico não-
coulombiano é criado por uma
variação do campo magnético.

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

*

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

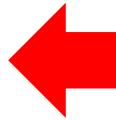


$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

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

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



$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

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

Duas maneiras de produzir campo magnético

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



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

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

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

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

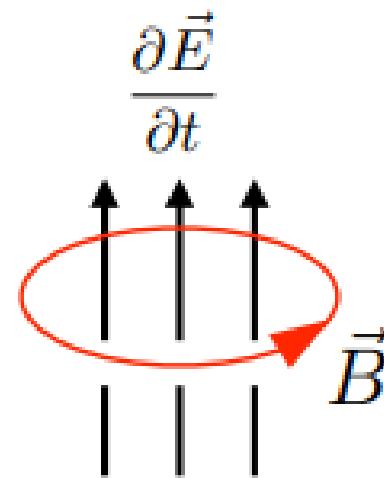
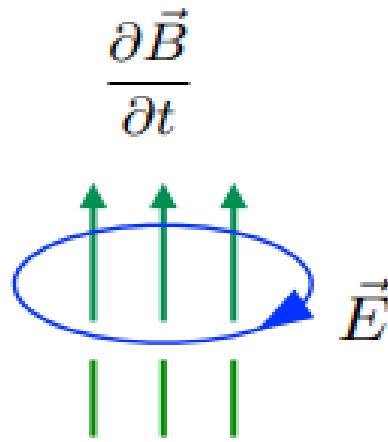
$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

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

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

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



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

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



Variação temporal de \vec{B} gera \vec{E}



Variação temporal de \vec{E} 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:

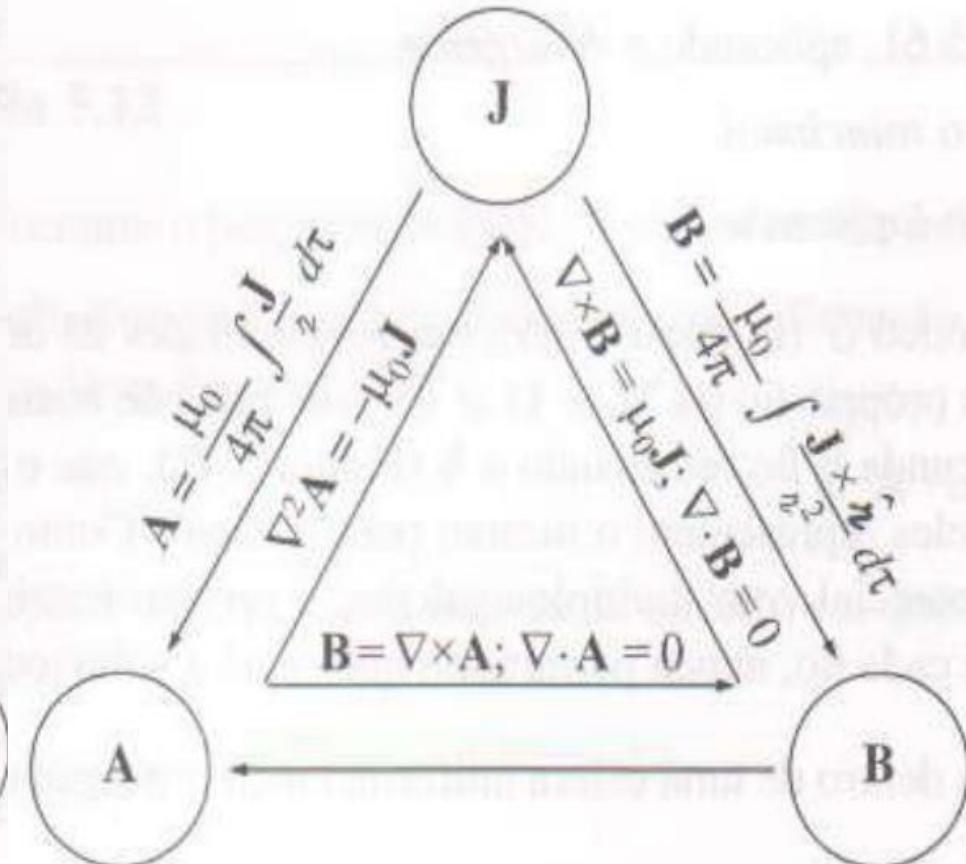
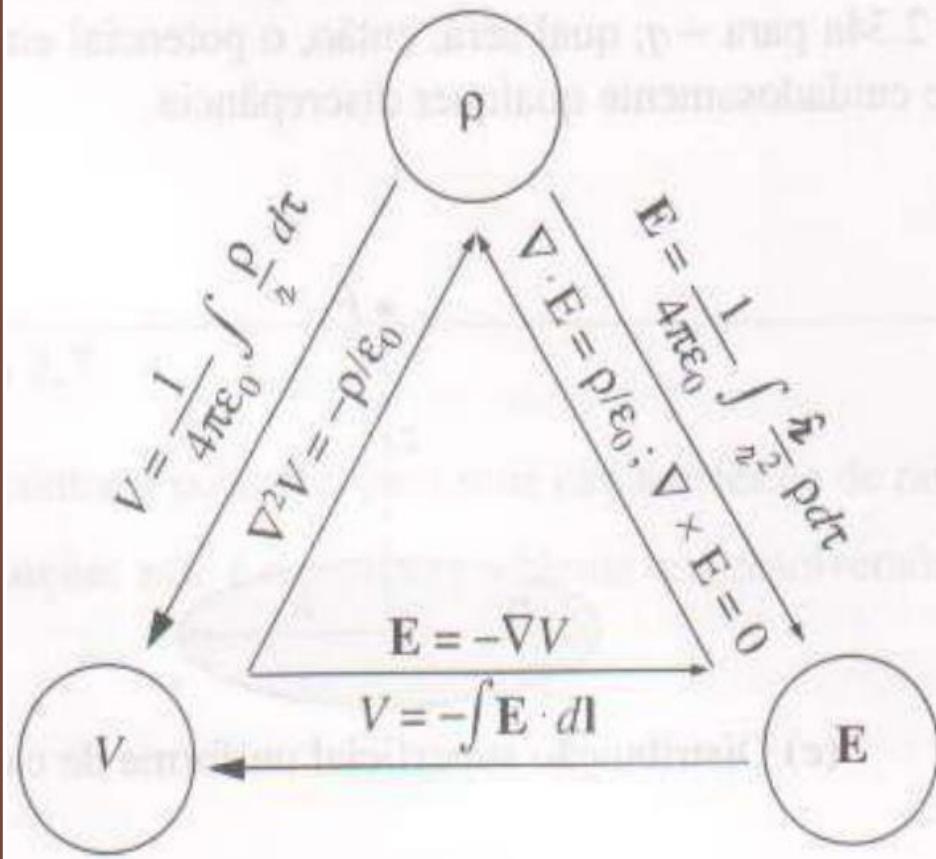
- v
- F



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

Eletrostática

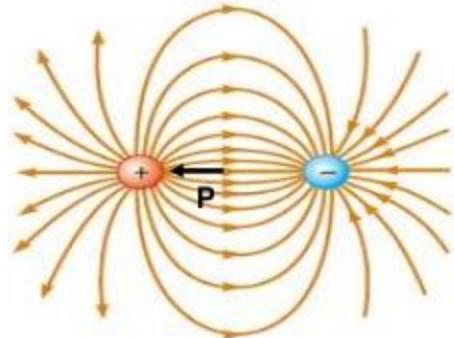
Magnetostática



dipolo elétrico

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

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



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



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

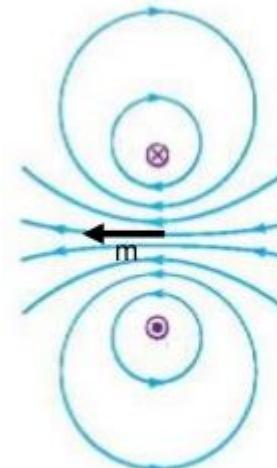
$$\tau = -\frac{dU}{d\theta} = pE \sin \theta$$

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

dipolo magnético

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

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



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



$$\tau = -\frac{dU}{d\theta} = mB \sin \theta$$

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

Opcional

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

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

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

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) = \nabla^2 \vec{E}$$

$$\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0$$

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

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

$$\nabla \times \left(\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) = 0 - \nabla^2 \vec{B}$$

$$\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \nabla \times \vec{E} = -\nabla^2 \vec{B}$$

$$\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = -\nabla^2 \vec{B}$$

$$\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{B} = 0$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

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

Outras questões do QUIZ

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

- v
- F

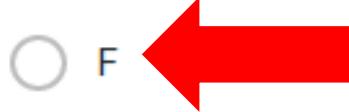
$$\vec{F}_R = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \frac{d\vec{x}^2}{dt^2}$$

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

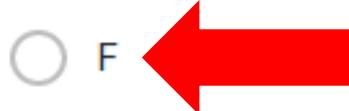
A 3^a Lei de Newton leva a conservação do momentum total do sistema. *



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



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



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



Demonstração heurística

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



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

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



A força centrífuga só atua em referenciais não inerciais.
(acelerados).



O princípio da Ação e Reação não se aplica em referenciais não inerciais.

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



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





**Tenham uma
ótima prova**