OBJETIVO

ITA

Física

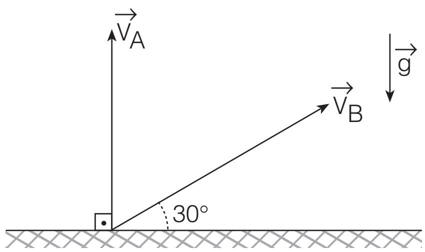
Livro do Professor

11

MÓDULO 41

Cinemática XI

1.



Em um local onde o efeito do ar é desprezível e a aceleração da gravidade é constante, dois projéteis, A e B, são lançados **simultaneamente** do mesmo ponto do solo com velocidades iniciais $\vec{V}_A$ e $\vec{V}_B$, que têm o mesmo módulo V_0.

A velocidade $\vec{V}_A$ é vertical e a velocidade $\vec{V}_B$ é inclinada de 30° em relação à horizontal. A aceleração da gravidade tem módulo igual a **g**. A distância **d** entre os projéteis varia com o tempo de movimento **t**, segundo a relação:

a) $d = V_0 t$

b) $d = V_0 \dfrac{\sqrt{3}}{2} t$

c) $d = \dfrac{V_0}{2} t$

d) $d = V_0 \dfrac{\sqrt{3}}{2} t - \dfrac{g}{2} t^2$

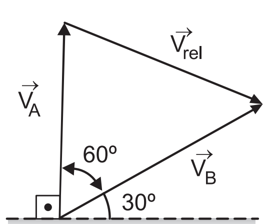
e) $d = \dfrac{V_0}{2} t - \dfrac{g}{2} t^2$

RESOLUÇÃO:

(1) Os projéteis têm acelerações iguais ($\vec{a}_A = \vec{a}_B = \vec{g}$). Assim, a aceleração relativa entre eles é nula ($\vec{a}_{rel} = \vec{a}_B - \vec{a}_A = \vec{0}$) e, portanto, o movimento relativo é retilíneo e uniforme.

(2) A velocidade relativa é dada por: $\vec{V}_{rel} = \vec{V}_B - \vec{V}_A$

(3)



Mas $|\vec{V}_A| = |\vec{V}_B|$ e o triângulo formado pelos vetores é equilátero. Assim, temos:

$$|\vec{V}_{rel}| = |\vec{V}_A| = |\vec{V}_B| = V_0$$

(4) A distância d é dada por: $\Delta s = V_{rel} \cdot t$

$$\boxed{d = V_0 \cdot t}$$

Resposta: A

2. **(ITA-2009)** – Considere hipoteticamente duas bolas lançadas de um mesmo lugar ao mesmo tempo: a bola 1, com velocidade para cima de 30 m/s, e a bola 2, com velocidade de 50 m/s formando um ângulo de 30° com a horizontal. Considerando g = 10 m/s^2, assinale a distância entre as bolas no instante em que a primeira alcança sua máxima altura.

a) $d = \sqrt{6250}$ m

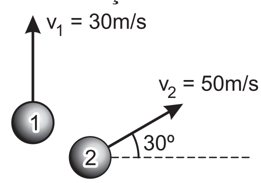
b) $d = \sqrt{7217}$ m

c) $d = \sqrt{17100}$ m

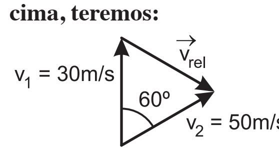
d) $d = \sqrt{19375}$ m

e) $d = \sqrt{26875}$ m

RESOLUÇÃO:



1) Admitindo-se que "para cima" signifique verticalmente para cima, teremos:



A velocidade relativa entre as bolas terá módulo dado por:

$$V_{rel}^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos 60°$$

$$V_{rel}^2 = 900 + 2500 - 2 \cdot 30 \cdot 50 \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{rel}^2 = 1900 \Rightarrow \boxed{V_{rel} = \sqrt{1900}\ \text{m/s}}$$

2) Cálculo do tempo de subida da bola 1:

$$V = V_1 + \gamma t$$

$$0 = 30 - 10\, t_s \Rightarrow \boxed{t_s = 3{,}0\text{s}}$$

3) O movimento relativo entre as bolas é retilíneo e uniforme, pois ambos têm aceleração igual à da gravidade.

$$d_{rel} = V_{rel} \cdot t$$

$$d = \sqrt{1900} \cdot 3\ (\text{m})$$

$$\boxed{d = \sqrt{17100}\ \text{m}}$$

Resposta: C

3. **(AFA-2008)** – Considere um pequeno avião voando em trajetória retilínea com velocidade constante nas situações a seguir.

(1) A favor do vento, isto é, na mesma direção e sentido do vento.

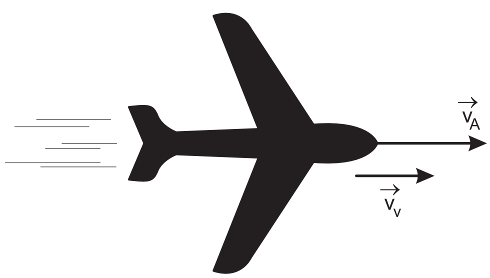
(2) Perpendicularmente ao vento.

Sabe-se que o módulo da velocidade do vento é 75% do módulo da velocidade do avião. Para uma mesma distância percorrida, a razão $\dfrac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$, entre os intervalos de tempo nas situações (1) e (2), vale

a) $\dfrac{1}{3}$ b) $\dfrac{3}{5}$ c) $\dfrac{7}{9}$ d) $\dfrac{5}{7}$

RESOLUÇÃO:

1) Avião voando "a favor" do vento:

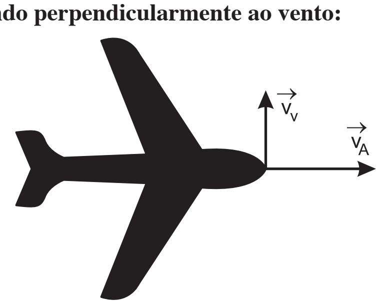


$$V_1 = V_A + V_V$$
$$V_1 = V_A + 0{,}75V_A$$
$$V_1 = \frac{7}{4}\,V_A$$

Para uma distância D percorrida, temos:

$$V_1 = \frac{\Delta s}{\Delta t_1}$$
$$\frac{7}{4}\,V_A = \frac{D}{\Delta t_1}$$
$$\Delta t_1 = \frac{4D}{7V_A} \quad \text{(I)}$$

2) Avião voando perpendicularmente ao vento:



$$V_2^2 = V_A^2 + V_V^2$$
$$V_2 = \sqrt{V_A^2 + (0{,}75V_A)^2}$$
$$V_2 = \frac{5}{4}\,V_A$$

Para uma mesma distância D percorrida, temos:

$$V_2 = \frac{\Delta s}{\Delta t_2}$$
$$\frac{5}{4}\,V_A = \frac{D}{\Delta t_2}$$
$$\Delta t_2 = \frac{4D}{5V_A} \quad \text{(II)}$$

3) De I e II, vem:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{\dfrac{4D}{7V_A}}{\dfrac{4D}{5V_A}}$$

$$\boxed{\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{5}{7}}$$

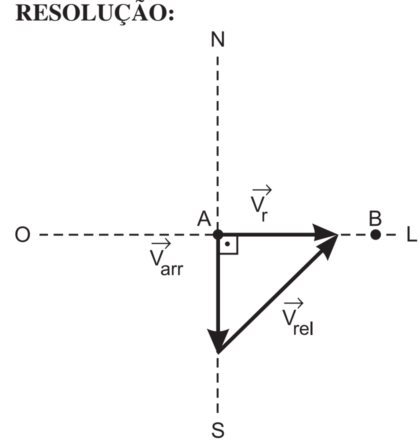
Resposta: D

4. **(AFA-2007)** – Um avião voa na direção leste a 120 km/h para ir da cidade *A* à cidade *B* em ausência de vento. Havendo vento para o sul com velocidade de módulo 50 km/h, para que o tempo de viagem seja o mesmo, o módulo da velocidade do avião, relativa ao ar, deverá ser

a) 130 km/h b) 145 km/h

c) 170 km/h d) 185 km/h

RESOLUÇÃO:



$$|\vec{V}_r| = 120 \text{ km/h}$$
$$|\vec{V}_{arr}| = 50 \text{ km/h}$$
$$|\vec{V}_{rel}| = ?$$
$$|\vec{V}_{rel}|^2 = |\vec{V}_R|^2 + |\vec{V}_{arr}|^2$$

$|\vec{V}_{rel}| = (120)^2 + (50)^2$

$|\vec{V}_{rel}|^2 = 14400 + 2500 = 16900$

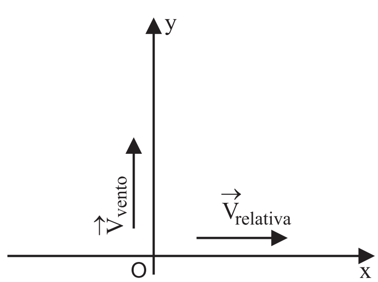
$\boxed{|\vec{V}_{rel}| = 130 \text{ km/h}}$

Resposta: A

MÓDULO 42

Cinemática XII

1. **(AFA)** – Quando uma aeronave decola, ela descreve na pista horizontal uma trajetória retilínea Ox, partindo do repouso do ponto O com aceleração escalar constante de $6{,}0\text{m/s}^2$.
Contudo, em um determinado dia, está soprando um vento que arrasta o avião com velocidade constante de módulo 9,0m/s, em uma direção Oy paralela ao solo e perpendicular a Ox.



Nestas condições, para um observador fixo na pista, a equação da trajetória da aeronave, em unidades do SI, é dada por:

a) $y = \dfrac{x^2}{81}$ b) $y = \dfrac{x^2}{27}$ c) $y = \dfrac{x}{3}$

d) $y = \dfrac{x}{2}$ e) $y = \sqrt{27x}$

RESOLUÇÃO:
1) Na direção Ox, temos:

$$x = x_0 + V_{0x}\, t + \frac{a_x}{2}\, t^2$$

$$x = 0 + 0 + \frac{6{,}0}{2}\, t^2$$

$$\text{(I)} \quad \boxed{x = 3{,}0t^2} \quad \text{(SI)}$$

2) Na direção Oy, temos:
$y = y_0 + V_y\, t$

$$\text{(II)} \quad \boxed{y = 9{,}0t} \quad \text{(SI)}$$

3) Em (II): $t = \dfrac{y}{9{,}0}$ Em (I): $x = 3{,}0 \cdot \dfrac{y^2}{81} \Rightarrow \boxed{y = \sqrt{27x}}$

Resposta: E

2. **(ITA-2009)** – Um barco leva 10 horas para subir e 4 horas para descer um mesmo trecho do rio Amazonas, mantendo constante o módulo de sua velocidade em relação à água. Quanto tempo o barco leva para descer esse trecho com os motores desligados?
a) 14 horas e 30 minutos
b) 13 horas e 20 minutos
c) 7 horas e 20 minutos
d) 10 horas
e) Não é possível resolver porque não foi dada a distância percorrida pelo barco.

RESOLUÇÃO:

$\Delta s = V\, t$ (MU)

$d = (V_b - V_c)\, 10$ (1)

$d = (V_b + V_c)\, 4$ (2)

$d = V_c\, T$ (3)

(1) = (2)

$(V_b - V_c)\, 10 = (V_b + V_c)\, 4$

$5V_b - 5V_c = 2V_b + 2V_c$

$3V_b = 7V_c \Rightarrow \boxed{V_b = \dfrac{7}{3} V_c}$

(1) = (3)

$(V_b - V_c)\, 10 = V_c\, T$

$$\left(\frac{7}{3} V_c - V_c\right) 10 = V_c\, T$$

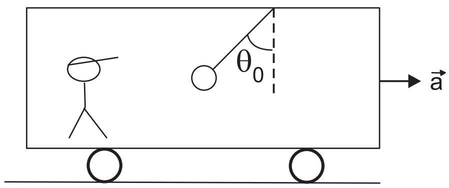
$$\frac{4}{3} \cdot 10 = T$$

$$T = \frac{40}{3}\text{ h} = 13\text{h} + \frac{1}{3}\text{ h}$$

$$\boxed{T = 13\text{h} + 20\text{min}}$$

Resposta: B

3. **(ITA-98)** – No início do século XX, Albert Einstein propôs que forças inerciais, como aquelas que aparecem em referenciais acelerados, são equivalentes às forças gravitacionais. Considere um pêndulo de comprimento L suspenso no teto de um vagão de trem em movimento retilíneo com aceleração constante de módulo a, como mostra a figura.



Em relação a um observador no trem, o período de pequenas oscilações do pêndulo ao redor da sua posição de equilíbrio θ_0 é

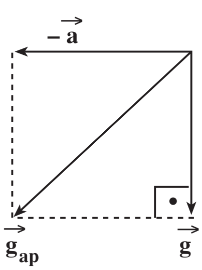
a) $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$ b) $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g+a}}$

c) $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{\sqrt{g^2-a^2}}}$ d) $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{\sqrt{g^2+a^2}}}$

e) $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{\sqrt{ag}}}$

RESOLUÇÃO:

Para calcular o período do pêndulo, devemos calcular a gravidade aparente (g_{ap}) no interior do veículo.
Quando o veículo acelera para a direita com aceleração $\vec{a}$, surge, em seu interior, uma gravidade artificial $-\vec{a}$.
A gravidade aparente é a soma vetorial da gravidade terrestre $\vec{g}$ com a gravidade artificial $-\vec{a}$.



$$g_{ap}^2 = g^2 + a^2$$

$$\boxed{g_{ap} = \sqrt{g^2 + a^2}}$$

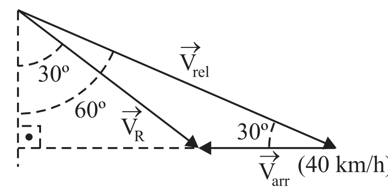
O período de pequenas oscilações de um pêndulo é dado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g_{ap}}} \Rightarrow \boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{\sqrt{g^2+a^2}}}}$$

Resposta: D

4. **(OLÍMPIADA BRASILEIRA DE FÍSICA)** – Um estudante dentro de um carro parado observa a chuva cair fazendo um ângulo de 30° com a vertical. Com o carro em movimento retilíneo e uniforme contra a chuva com uma velocidade de módulo 40km/h, o estudante nota que o ângulo de inclinação da chuva com a vertical aumenta para 60°. Calcule os módulos da:
a) velocidade da chuva em relação solo;
b) velocidade da chuva em relação ao carro.

RESOLUÇÃO:



1) Projetando-se na horizontal, temos:
$$V_{rel} \cdot \cos 30° - V_R \cos 60° = 40$$
$$V_{rel}\,\frac{\sqrt{3}}{2} - V_R \cdot \frac{1}{2} = 40$$
$$\boxed{\sqrt{3}\ V_{rel} - V_R = 80} \quad (1)$$

2) Projetando-se na vertical:
$$V_R \cos 30° = V_{rel} \cdot \cos 60°$$
$$V_R\,\frac{\sqrt{3}}{2} = V_{rel} \cdot \frac{1}{2}$$
$$\boxed{V_{rel} = V_R\sqrt{3}} \quad (2)$$

Substituindo-se (2) em (1), vem:

$$\sqrt{3} \cdot V_R\sqrt{3} - V_R = 80 \rightarrow 2V_R = 80 \qquad \boxed{V_R = 40\text{km/h}}$$

Respostas: **a) $V_R = 40$km/h**
b) $V_{rel} = 40\sqrt{3}$ km/h

MÓDULO 43

Eletromagnetismo I

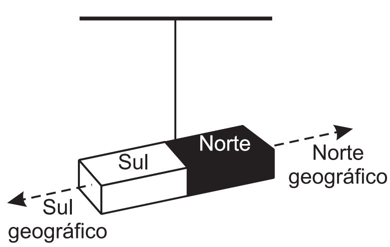
Ímãs e Campo Magnético

1. INTRODUÇÃO

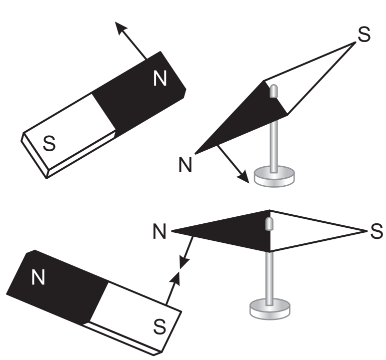
Certos corpos, denominados ímãs, diferenciam-se por apresentar propriedades notáveis, entre as quais citamos:

a) **Atraem fragmentos de ferro** (limalha de ferro). Estes aderem às regiões extremas de um ímã em forma de barra. Essas regiões constituem os polos do ímã.

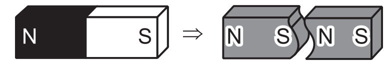
b) Quando suspensos pelo centro de gravidade, orientam-se, aproximadamente, na direção norte-sul geográfica do lugar. A região do ímã que se volta para o Polo Norte geográfico é denominada **polo norte** (N) e a outra região, **polo sul** (S).



c) Exercem entre si **forças de atração** ou de **repulsão**, conforme a posição em que são postos em presença. A experiência mostra que **polos de mesmo nome repelem-se e de nomes contrários atraem-se**.



d) Cortando-se transversalmente um ímã, obtêm-se dois novos ímãs. É a **inseparabilidade** dos polos de um ímã.

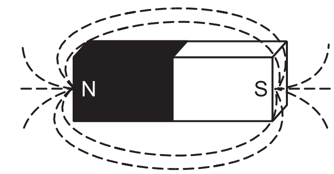


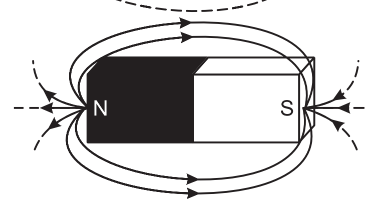
2. CAMPO MAGNÉTICO – LINHAS DE INDUÇÃO

Uma região do espaço modificada pela presença de um ímã recebe a denominação de **campo magnético**.

Uma visualização do aspecto que assume a região que envolve um ímã – uma visualização do espaço que constitui o campo magnético – pode ser obtida com o auxílio de limalhas de ferro (que se comportam como minúsculas agulhas magnéticas).

A limalha de ferro concentra-se ao redor dos polos e distribui-se em linhas curvas determinadas, que se estendem de um polo a outro.





Essas linhas, segundo as quais as limalhas de ferro se distribuem, chamam-se **linhas de indução**. Elas permitem visualizar o campo magnético de um ímã. Convenciona-se que as linhas de indução saem do polo norte e entram no polo sul.

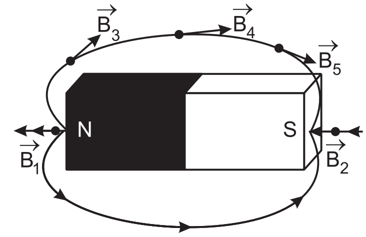
3. VETOR INDUÇÃO MAGNÉTICA

A fim de se caracterizar a ação de um ímã, em cada ponto do campo magnético associa-se um vetor, denominado **vetor indução magnética** ($\vec{B}$), que atende às seguintes características.

a) Sua **direção** é tangente à linha de indução que passa pelo ponto considerado.

b) Seu **sentido** concorda com o sentido da linha de indução, na convenção dada.

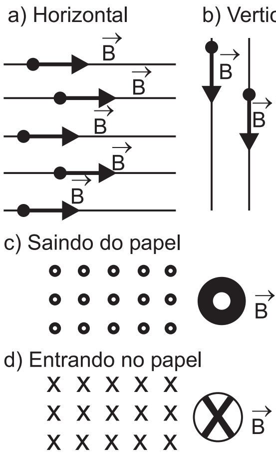
c) Seu **módulo** assume valor que, em geral, depende da posição do ponto.



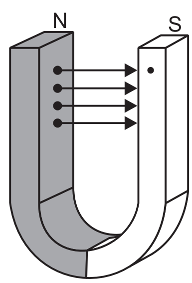
A unidade do módulo do vetor indução no Sistema Internacional denomina-se **tesla** (T).

Campo magnético uniforme é aquele cujo vetor indução $\vec{B}$ é **constante**, isto é, em todos os pontos $\vec{B}$ tem mesma direção, mesmo sentido e mesmo módulo.

As linhas de indução de um campo magnético uniforme são retas paralelas e igualmente distribuídas.



Um campo magnético uniforme aproximado pode ser obtido entre os polos de um ímã em forma de U. Ressalve-se, no entanto, que esse campo ocorre longe das extremidades, conforme a figura abaixo.



A produção de campos magnéticos não se prende somente à presença de ímãs. Em 1820, o físico Oersted descobriu que a passagem de corrente elétrica por um fio também produz campos magnéticos.

Assim, podemos estender o conceito de campo magnético, considerando-o uma região em torno de um ímã ou uma região do espaço que envolve um condutor percorrido por corrente elétrica. Estes últimos serão estudados nos próximos capítulos.

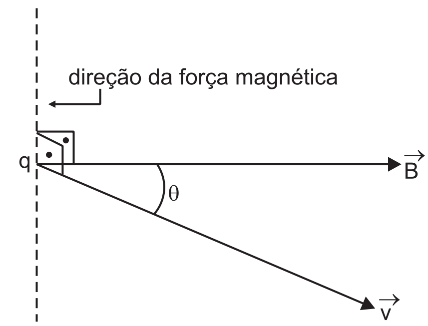
Uma generalização maior ainda é considerar que, no caso do ímã, o campo magnético é decorrente de movimentos particulares que os elétrons realizam no interior de seus átomos.

Força Magnética de Lorentz

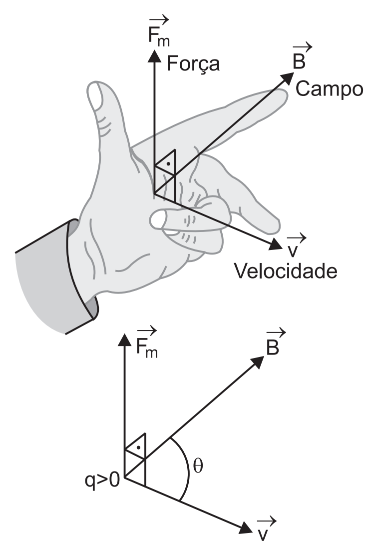
Mostra a experiência que o campo magnético é capaz de atuar sobre uma carga em movimento, exercendo nela uma força de campo denominada **Força magnética de Lorentz**, que desvia a carga de sua trajetória original.

Se indicarmos por $\vec{B}$ o vetor indução magnética que caracteriza o campo magnético no ponto por onde está passando a carga elétrica q, cuja velocidade é $\vec{v}$, e por θ o ângulo que o vetor velocidade forma com o vetor indução, a força de origem magnética que passa a agir na carga apresentará as seguintes características:

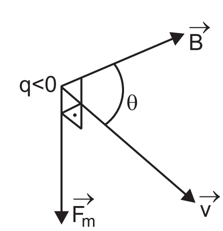
a) **Direção**: é sempre perpendicular ao vetor indução $\vec{B}$ e ao vetor velocidade $\vec{v}$, isto é, perpendicular ao plano $(\vec{B}, \vec{v})$.



b) **Sentido**: é dado pela regra da mão esquerda, para cargas positivas.



Se a carga elétrica q é negativa, o sentido da $\vec{F}_m$ é o oposto àquele fornecido pela regra da mão esquerda.



c) **Módulo**

$$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta$$

θ é o ângulo que o vetor $\vec{v}$ forma com o vetor $\vec{B}$.

Movimento de uma Partícula Eletrizada em um Campo Magnético Uniforme

1. DINÂMICA DO MOVIMENTO DE UMA CARGA ELÉTRICA NUM CAMPO MAGNÉTICO

Sabemos que quando uma carga elétrica (q) se movimenta num campo magnético, ela pode ficar sujeita à ação da Força magnética de Lorentz.

Essa força ($\vec{F}_m$), quando existe, é sempre perpendicular ao vetor indução magnética ($\vec{B}$) e ao vetor velocidade ($\vec{v}$).

Concluímos, então, que a força magnética é uma resultante centrípe-ta (pois $\vec{F}_m \perp \vec{v}$) e, portanto, altera a direção do vetor velocidade $\vec{v}$, mas não altera seu módulo.

Decorre, portanto, que

O movimento de uma carga elétrica, sob a ação exclusiva de um campo magnético, é uniforme.

2. MOVIMENTOS PARTICULARES DE UMA CARGA ELÉTRICA EM CAMPOS MAGNÉTICOS UNIFORMES

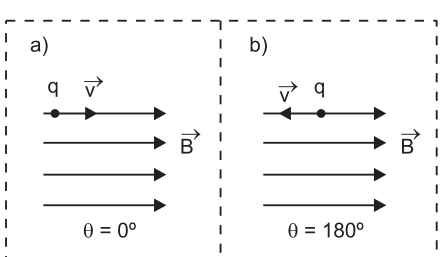
O movimento particular que uma carga elétrica passa a executar quando penetra numa região onde reina um campo magnético uniforme depende do modo pelo qual ela penetra no campo.

Analisaremos, a seguir, três casos distintos.

1º Caso

Carga elétrica lançada na mesma direção das linhas de indução do campo magnético.

Neste caso: $\theta = 0°$ ou $\theta = 180°$; ($\vec{v} \parallel \vec{B}$).



Sendo sen 0° = 0 e sen 180° = 0, da expressão do módulo da Força magnética de Lorentz

$$F_m = |\,q\,| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta$$

decorre

$$F_m = 0$$

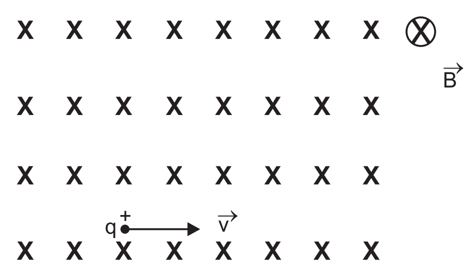
e concluímos:

Carga elétrica lançada na direção das linhas de indução de um campo magnético uniforme realiza um movimento retilíneo e uniforme.

2º Caso

Carga elétrica lançada perpendicularmente às linhas de indução do campo magnético uniforme.

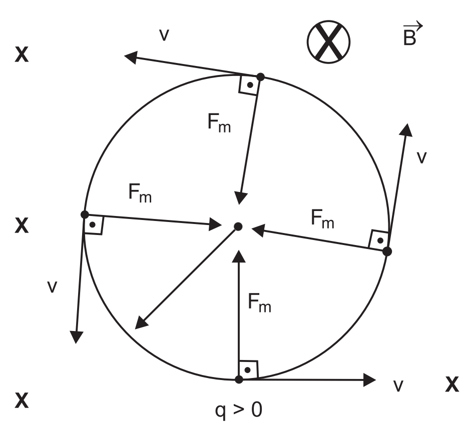
Neste caso: $\theta = 90°$; ($\vec{v} \perp \vec{B}$).

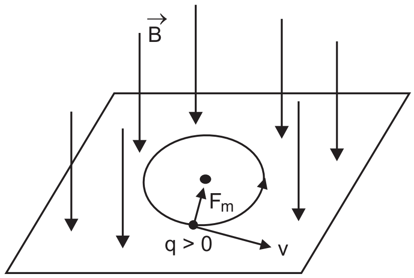


Sendo sen 90° = 1, resulta

$F_m = |q| \cdot v \cdot B$. Esta expressão mostra que a força magnética tem intensidade constante, uma vez que q, v e B são constantes. Desse modo a carga elétrica está sob ação de uma força de intensidade constante, cuja direção é perpendicular ao vetor velocidade ($\vec{v}$). $\vec{F}_m$ e $\vec{v}$ estão sempre no mesmo plano e são perpendiculares às linhas de indução. Nessas condições, da dinâmica, concluímos que a carga elétrica realiza **movimento circular e uniforme**.

Uma carga elétrica lançada perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético uniforme realiza movimento circular e uniforme sobre uma circunferência cujo plano é perpendicular às linhas de indução.





3. CÁLCULO DO RAIO DA CIRCUNFERÊNCIA

Como a força magnética ($\vec{F}_m$) é uma resultante centrípeta ($\vec{F}_{cp}$), resulta

$$F_m = F_{cp}$$

$$|q| \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Portanto

$$\mathbf{R = \frac{m \cdot v}{|q|\ B}}$$

4. CÁLCULO DO PERÍODO

Sendo o movimento uniforme, podemos escrever $\Delta s = v \cdot \Delta t$. Numa volta completa, tem-se

$\Delta s = 2\pi R$ e $\Delta t = T$

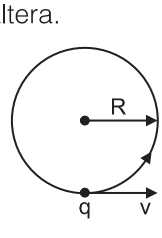
Logo, $2\pi \cdot R = vT$

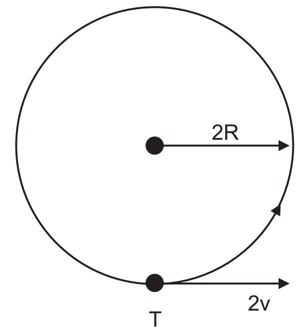
$$2\pi \cdot \frac{m \cdot v}{|q|\,B} = v \cdot T$$

$$\mathbf{T = \frac{2\pi m}{|q|\ B}}$$

Observações

1.ª) Nem o período nem a frequência do movimento dependem da velocidade de lançamento. Aumentando-se a velocidade v de lançamento, aumenta o raio da circunferência descrita. A distância a ser percorrida aumenta na mesma proporção com que v foi aumentado e o período não se altera.

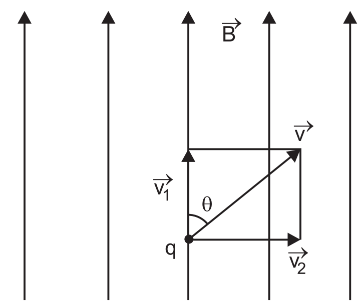




2.ª) O trabalho da força magnética é nulo, pois ela é centrípeta.

3.º Caso

Carga elétrica lançada obliquamente às linhas de indução.



A análise desse movimento fica simples quando se decompõe a velocidade $\vec{v}$ em duas componentes perpendiculares, uma na direção de $\vec{B}$ e outra na direção perpendicular a $\vec{B}$.

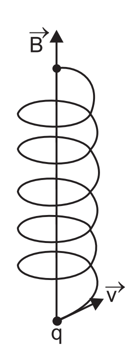
a) A componente na direção de $\vec{B}$ ($\vec{v}_1$) permanece constante e, ao longo dessa direção, a partícula descreve MRU (1.º caso).

b) A componente perpendicular a $\vec{B}$ ($\vec{v}_2$), de acordo com o 2.º caso, determina que a partícula execute MCU.

A superposição desses dois movimentos é um movimento helicoidal e uniforme. A trajetória é uma hélice de eixo paralelo às linhas de indução do campo.

A hélice é descrita na superfície de um cilindro cujo eixo tem a direção de $\vec{B}$ e cujo raio é dado por

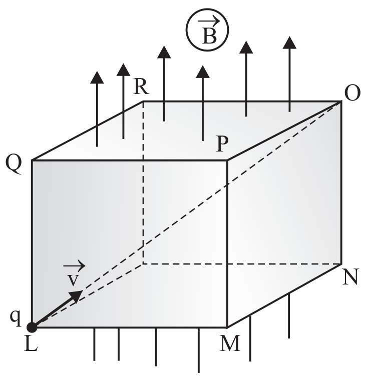
$$R = \frac{m \cdot v_2}{|q| \cdot B} \quad \text{ou} \quad R = \frac{m \cdot v \cdot \text{sen}\ \theta}{|q| \cdot B}$$



MÓDULO 44

Eletromagnetismo II

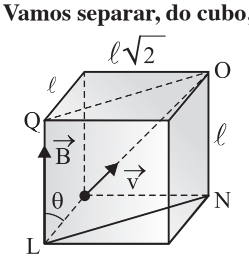
1. Considere um cubo abstrato, inserto com suas bases perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético uniforme, de intensidade $\sqrt{6}\ .\ 10^5$ T. Uma carga puntiforme q = 1,6 . 10^{-19}C "adentra o cubo" com velocidade 4,0 . 10^5 m/s na direção da diagonal $\overline{LO}$ e no sentido de L para O.

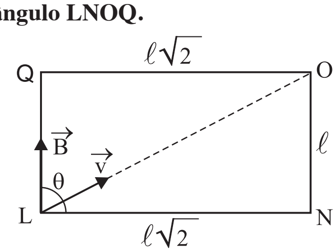


A intensidade da força magnética à qual está sujeita a referida carga, no instante da penetração em L, é

a) 1,6 . 10^{-9}N b) 3,2 . 10^{-9}N c) 4,8 . 10^{-9}N
d) 1,28 . 10^{-8}N e) 2,56 . 10^{-8}N

RESOLUÇÃO:
Vamos separar, do cubo, o retângulo LNOQ.





$\overline{ON} = \ell$

$\overline{OL} = \ell\sqrt{3}$

$\overline{OQ} = \ell\sqrt{2}$

No triângulo LOQ, vem: $\text{sen}\,\theta = \dfrac{\overline{OQ}}{\overline{OL}}$

$$\text{sen}\,\theta = \frac{\ell\sqrt{2}}{\ell\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{6}}{3}$$

A força magnética tem módulo dado por

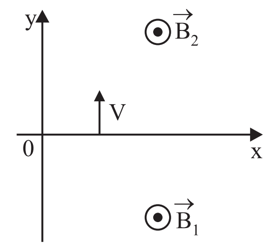
$F_m = |q|\ .\ V\ .\ B\ .\ \text{sen}\,\theta$

$$F_m = (1{,}6\ .\ 10^{-19})\ .\ (4{,}0\ .\ 10^5)\ .\ (\sqrt{6}\ .\ 10^5)\ .\ \frac{\sqrt{6}}{3}$$

$$\boxed{F_m = 1{,}28\ .\ 10^{-8}\text{N}}$$

Resposta: D

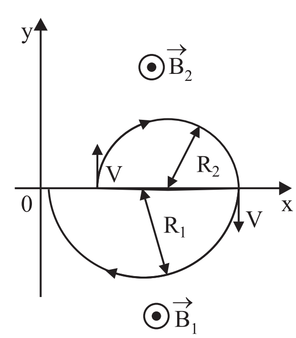
2. **(ITA-96)** – Na figura abaixo, numa experiência hipotética, o eixo x delimita a separação entre duas regiões com valores diferentes de campo de indução magnética, B_1 para y < 0 e B_2 para y > 0, cujos sentidos são iguais (saindo da página). Uma partícula de carga positiva, +q, é lançada de um ponto do eixo x com velocidade V no sentido positivo do eixo y.



Nessas condições pode-se afirmar que

a) a partícula será arrastada, com o passar do tempo, para a esquerda (valores de x decrescentes) se $B_1 < B_2$.
b) a partícula será arrastada, com o passar do tempo, para a esquerda (valores de x decrescentes) se $B_1 > B_2$.
c) a partícula seguirá uma trajetória retilínea.
d) a partícula descreverá uma trajetória circular.
e) nenhuma das afirmativas acima é correta.

RESOLUÇÃO:



Ao penetrar no campo $\vec{B}_2$, a partícula vai descrever uma semicircunferência de raio $R_2 = \dfrac{m\,V}{q\,B_2}$.

Após descrever esta semicircunferência, a partícula entra na região do campo $\vec{B}_1$ e descreve uma nova semicircunferência de raio

$$R_1 = \frac{m\,V}{q\,B_1}\ .$$

Se $B_1 < B_2$, resulta $R_1 > R_2$; concluímos desta maneira que com o decorrer do tempo a partícula será arrastada para a esquerda, ou seja, para valores de x decrescentes.

Resposta: A

3. **(ITA-2000)** – A figura mostra duas regiões nas quais atuam campos magnéticos orientados em sentidos opostos e de magnitudes B_1 e B_2, respectivamente. Um próton de carga q e massa m é lançado do ponto A com uma velocidade $\vec{V}$ perpendicular às linhas de campo magnético. Após um certo tempo t, o próton passa por um ponto B com a mesma velocidade inicial $\vec{V}$ (em módulo, direção e sentido). Qual é o menor valor desse tempo?

a) $\dfrac{m\,\pi}{q}\left(\dfrac{B_1 + B_2}{B_1\,B_2}\right)$

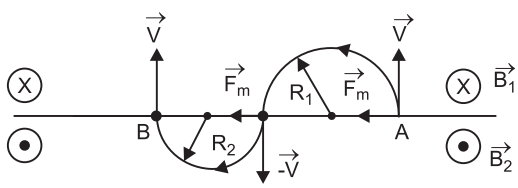
b) $\dfrac{2\,m\,\pi}{q\,B_1}$

c) $\dfrac{2\,m\,\pi}{q\,B_2}$

d) $\dfrac{4\,m\,\pi}{q\,(B_1 + B_2)}$

e) $\dfrac{m\,\pi}{q\,B_1}$

RESOLUÇÃO:



O intervalo de tempo mínimo para o próton partir de A e chegar a B com a mesma velocidade $\vec{V}$ corresponde à trajetória esquematizada na figura.
Cálculo do intervalo de tempo t_1 para percorrer a semicircunferência de raio R_1:
A força magnética é centrípeta:

$$F_m = F_{cp}$$

$$q\,V\,B_1 = m\,.\,\frac{V^2}{R_1}$$

$$q\,B_1 = m\,.\,\frac{V}{R_1}$$

Sendo $V = \dfrac{\pi R_1}{t_1}$ **, vem:**

$$q\,B_1 = \frac{m\,\pi}{t_1} \quad \therefore\ t_1 = \frac{m\,\pi}{q\,B_1}$$

Analogamente, para percorrer a semicircunferência de raio R_2, o intervalo de tempo é $t_2 = \dfrac{m\,\pi}{q\,B_2}$

O intervalo de tempo total é:

$$t = t_1 + t_2$$

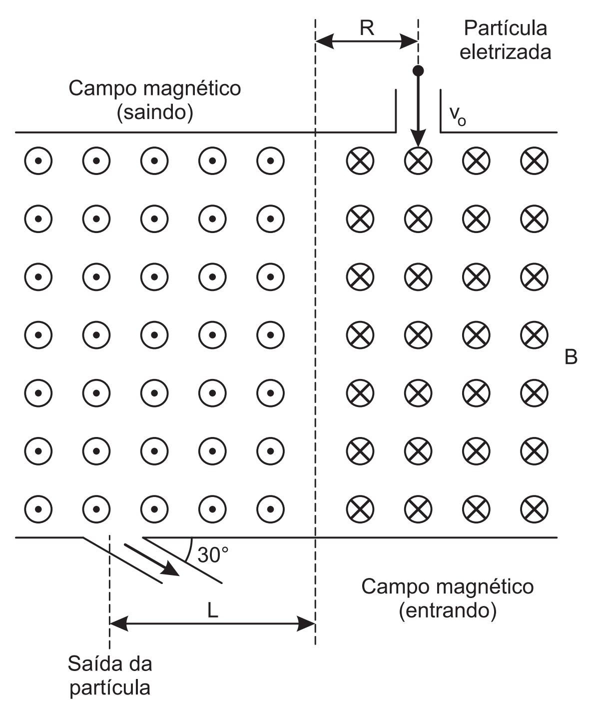
$$t = \frac{m\,\pi}{q\,B_1} + \frac{m\,\pi}{q\,B_2}$$

$$t = \frac{m\,\pi}{q}\left(\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2}\right)$$

$$\boxed{t = \frac{m\,\pi\,(B_1 + B_2)}{q\,B_1\,B_2}}$$

Resposta: A

4. **(IME-2010)** – Uma partícula eletrizada penetra perpendicularmente em um local imerso em um campo magnético de intensidade B. Este campo é dividido em duas regiões, onde os seus sentidos são opostos, conforme é apresentado na figura.

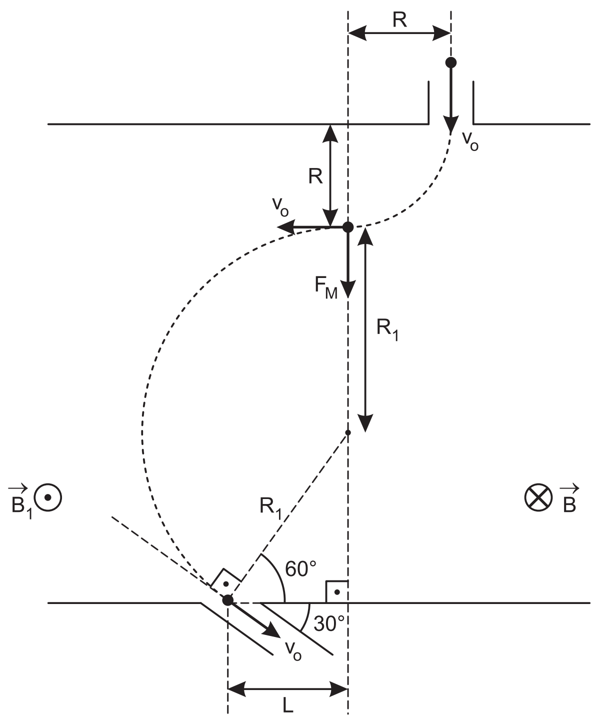


Para que a partícula deixe o local com um ângulo de 30°, é correto afirmar que a eletrização da partícula e a intensidade do campo magnético que possui o sentido saindo do plano do papel devem ser, respectivamente:
Dados:

- R: raio da trajetória da partícula na região onde existe um campo magnético.
- L/R = 3

a) positiva e de valor B/3.
b) positiva e de valor B/6.
c) negativa e de valor B/6.
d) positiva e de valor 2B/3.
e) negativa e de valor 2B/3.

RESOLUÇÃO:



1) Pela Regra da Mão Esquerda, podemos concluir que a partícula está eletrizada com carga de sinal *negativo*.

2) Da figura, temos:

$$\cos\theta = \frac{\text{cat. adjacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\cos 60° = \frac{L}{R_1}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{L}{R_1}$$

$$R_1 = 2L$$

3) Na região à direita, temos:

$$R = \frac{m\,V_0}{|q|\,B}$$

$$B = \frac{m\,V_0}{|q|\,R} \quad \text{(I)}$$

4) Na região à esquerda, temos:

$$R_1 = \frac{m\,V_0}{|q|\,B_1}$$

$$B_1 = \frac{m\,V_0}{|q|\,R_1} \quad \text{(II)}$$

5) De I e II, vem:

$$\frac{B_1}{B} = \frac{\dfrac{m\,V_0}{|q|\,R_1}}{\dfrac{m\,V_0}{|q|\,R}} = \frac{R}{R_1} = \frac{\dfrac{L}{3}}{2L}$$

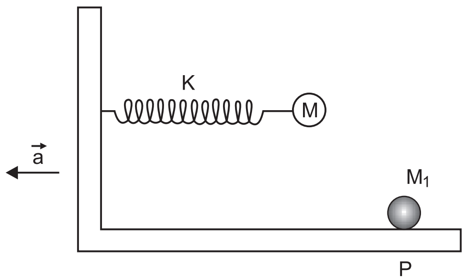
$$\frac{B_1}{B} = \frac{L}{3} \cdot \frac{1}{2L}$$

$$\boxed{B_1 = \frac{B}{6}}$$

Resposta: C

■ MÓDULOS 41 E 42

1. **(ITA)** – A plataforma P da figura está fora do campo gravitacional da Terra. Ela é acelerada para a esquerda com aceleração $\vec{a}$ em relação a um observador inercial B, fora da plataforma.



Seja A um observador solidário à plataforma.
Sejam M e M_1 dois corpos quaisquer, sendo que o primeiro está ligado à plataforma por meio de uma mola K que mantém seu comprimento constante e o segundo está apenas apoiado sobre a plataforma. Os observadores A e B observam os dois corpos, de modo que,

a) para A, M_1 está em repouso e M tem aceleração $-\vec{a}$;
b) para B, M_1 e M têm aceleração $\vec{a}$;
c) para A, M_1 tem aceleração $-\vec{a}$ e M tem aceleração $\vec{a}$;
d) para B, M_1 está parado e M tem aceleração $\vec{a}$;
e) nenhuma é correta.

2. **(ITA)** – Uma partícula move-se no plano (x, y) de acordo com as equações:

$$x = V_0 t \quad \text{e} \quad y = A \cos \omega t$$

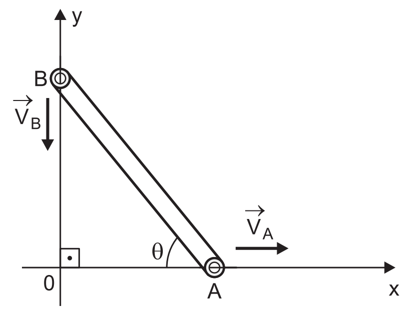
em que $V_0 = 3{,}0\text{m/s}$, $A = 1{,}00\text{m}$ e $\omega = 8{,}0\text{rad/s}$.
Calcule o módulo da velocidade da partícula no instante em que $\omega t = \dfrac{\pi}{6}$ rad.

a) V = 4,2m/s b) V = 5,0m/s c) V = 7,6m/s
d) V = 8,0m/s e) V = 9,4m/s

$\left(\text{Dado: } V_y = \dfrac{dy}{dt} = -A\omega \text{ sen } \omega t\right)$

3. **(ITA-94)** – Um barco, com motor em regime constante, desce um trecho de um rio em 2,0 horas e sobe o mesmo trecho em 4,0 horas. Quanto tempo levará o barco para percorrer o mesmo trecho, rio abaixo, com o motor desligado?
a) 3,5 horas b) 6,0 horas c) 8,0 horas
d) 4,0 horas e) 4,5 horas

4. Uma haste rígida tem, em suas duas extremidades, argolas que podem deslizar livremente em dois eixos perpendiculares e fixos, x e y.

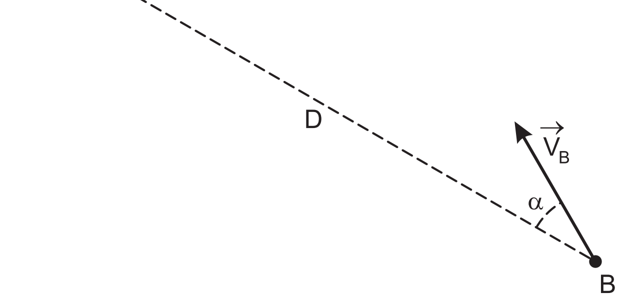


Num determinado instante t_1, a argola A tem velocidade de módulo V_A e a haste forma um ângulo θ com o eixo Ox.
Nesse instante t_1, a velocidade da argola B tem módulo V_B dado por

a) $V_B = V_A \cos \theta$ b) $V_B = V_A \text{ sen } \theta$
c) $V_B = V_A \text{ tg } \theta$ d) $V_B = V_A \text{ cotg } \theta$
e) $V_B = V_A$

5. **(UERJ)** – Um barco percorre seu trajeto de descida de um rio, a favor da correnteza, com velocidade de módulo 2,0m/s em relação à água. Na subida, contra a correnteza, retornando ao ponto de partida, sua velocidade tem módulo de 8,0m/s, também em relação à água.
Considere que
– o barco navegue sempre em linha reta e na direção da correnteza;
– a velocidade da correnteza seja sempre constante;
– a soma dos tempos de descida e de subida do barco seja igual a 10 min.
Assim, a maior distância, em metros, que o barco pode percorrer, em relação às margens, neste intervalo de tempo, é igual a:
a) 1250 b) 1500 c) 1750 d) 2000 e) 3000

6. Em um plano horizontal sem atrito, duas partículas, A e B, deslocam-se livremente com movimentos retilíneos e uniformes e velocidades de módulos V_A e V_B. Em um dado instante $t_0 = 0$, a distância entre as partículas vale **D** e as orientações de suas velocidades estão indicadas na figura.



Determine

a) a relação entre V_A, V_B, θ e α para que haja encontro das partículas.

b) na condição de encontro, com V_A e θ fixos, o ângulo α para que V_B seja mínimo e calcule o respectivo valor de V_B.

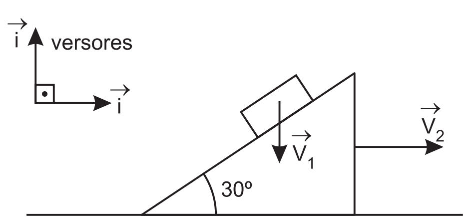
c) o instante de encontro entre as partículas.

7. Uma escada rolante tem velocidade constante de módulo V_E em relação ao solo terrestre.
Uma pessoa caminha ao longo da escada rolante, no mesmo sentido em que ela se movimenta, com velocidade constante de módulo V_P em relação à escada e faz um trajeto do andar térreo até o 1° andar em um tempo T_1.
A mesma pessoa, usando a mesma escada, vai do 1° andar para o andar térreo, caminhando em sentido contrário ao do movimento da escada, com velocidade constante de mesmo módulo V_P em relação à escada em um tempo T_2.
Se a pessoa voltar a fazer o mesmo trajeto do andar térreo ao 1° andar, usando a mesma escada rolante, porém parada em relação à escada, o tempo de percurso será T.
Determine em função de T_1 e T_2:

a) a razão $\dfrac{V_P}{V_E}$

b) o valor de T

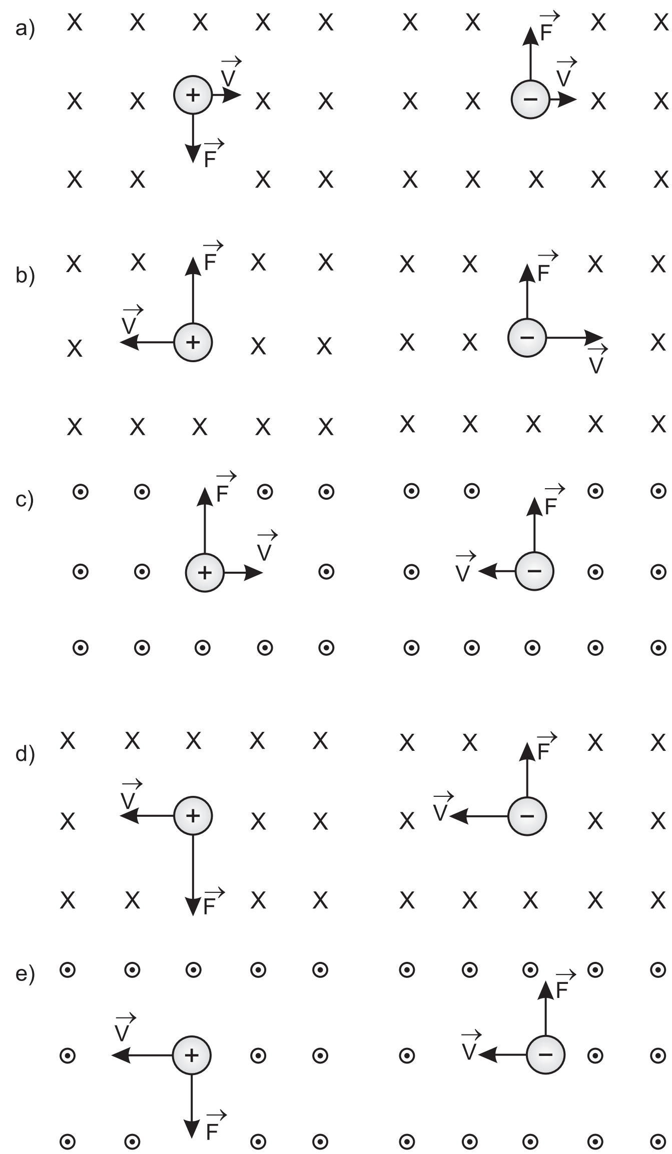
8. **(FUVEST-SP)** – Um bloco desliza sobre a superfície inclinada de uma cunha que, por sua vez, move-se horizontalmente sobre o solo, conforme figura abaixo. Num dado instante de tempo, a velocidade do bloco em relação ao solo é $\vec{V}_1 = -(3{,}0\text{m/s})\,\vec{j}$. Nesse mesmo instante de tempo, a velocidade $\vec{V}_2$ da cunha, em relação ao solo, medida no SI, é igual a



a) 3,0 $\vec{i}$ b) 4,0 $\vec{i}$ c) 5,2 $\vec{i}$
d) 6,0 $\vec{i}$ e) 6,9 $\vec{i}$

■ MÓDULOS 43 E 44

1. **(ITA-82)** – Qual dos esquemas abaixo ilustra o movimento de uma partícula carregada em um campo magnético uniforme?
Convenções: ⊕ carga elétrica positiva; ⊖ carga elétrica negativa; ⊗ campo magnético "entrando" na página; ⊙ campo magnético "saindo" da página; $\vec{F}$ força de origem magnética; $\vec{B}$ campo de indução magnética; $\vec{V}$ velocidade da partícula.



2. **(ITA-92)** – Consideremos uma carga elétrica q entrando com velocidade $\vec{V}$ num campo magnético $\vec{B}$. Para que a trajetória de q seja uma circunferência é necessário e suficiente que:

a) $\vec{V}$ seja perpendicular a $\vec{B}$ e que $\vec{B}$ seja uniforme e constante.

b) $\vec{V}$ seja paralelo a $\vec{B}$.

c) $\vec{V}$ seja perpendicular a $\vec{B}$.

d) $\vec{V}$ seja perpendicular a $\vec{B}$ e que $\vec{B}$ tenha simetria circular.

e) Nada se pode afirmar pois não é dado sinal de q.

3. **(ITA-86)** – Numa experiência inédita, um pesquisador dirigiu um feixe de partículas desconhecidas para dentro de uma região em que existe um campo de indução magnética uniforme $\vec{B}$. Ele observou que todas as partículas descreveram trajetórias circulares de diferentes raios (R), mas todas com mesmo período. Poderá ele afirmar com certeza que o feixe é constituído

a) de partículas iguais e com mesma velocidade inicial, pois todas as partículas descrevem órbitas circulares de mesmo período;
b) de partículas diferentes, mas todas com mesma velocidade inicial, pois todas as partículas descrevem órbitas circulares de mesmo período;
c) de partículas que apresentam o mesmo quociente entre carga elétrica (q) e massa (m), independentemente de sua velocidade inicial;
d) de partículas que apresentam o mesmo quociente entre carga elétrica (q) e massa (m) e mesma velocidade inicial, pois todas as partículas descrevem órbitas circulares de mesmo período;
e) nenhuma das afirmações anteriores está correta.

4. **(ITA-80)** – Uma partícula de carga elétrica q e massa m realiza um movimento circular uniforme, sob a ação de um campo de indução magnética uniforme. Calcular o período do movimento.

a) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{qB}{m}}$ b) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{mB}{q}}$

c) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{q}{mB}}$ d) $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{qB}}$

e) $T = \dfrac{2\pi \,.\, m}{qB}$

5. **(IME-2007)** – Uma partícula com carga elétrica penetra, ortogonalmente, num campo magnético uniforme com velocidade v no ponto cujas coordenadas (x, y) são (0,0) e sai do campo no ponto (0,2R). Durante a permanência no campo magnético, a componente x da velocidade da partícula no instante t é dada por:

a) $v \text{ sen}\left(\dfrac{\pi vt}{R}\right)$ b) $v \cos\left(\dfrac{\pi vt}{R}\right)$

c) $v \cos\left(\dfrac{vt}{R}\right)$ d) $v \cos\left(\dfrac{2vt}{R}\right)$

e) $v \cos\left(\dfrac{vt}{2R}\right)$

resolução dos exercícios-tarefa

■ MÓDULOS 41 E 42

1) Resposta: D

2) **1)** $x = V_0 t$

$$V_x = \frac{dx}{dt} = V_0 = 3{,}0\text{m/s}$$

2) $y = A \cos \omega t$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = -A\omega \text{ sen } \omega t$$

$$V_y = -1{,}00 \,.\, 8{,}0 \text{ sen } \frac{\pi}{6}$$

$$V_y = -4{,}0\text{m/s}$$

3) $V^2 = V_x^2 + V_y^2$

$$V = \sqrt{3{,}0^2 + (-4{,}0)^2} \Rightarrow \boxed{V = 5{,}0\text{m/s}}$$

Resposta: B

3) Seja V_B o módulo da velocidade do barco em relação às águas, e V_C o módulo da velocidade da correnteza.

1) Na descida do rio, temos:

$$V_B + V_C = \frac{d}{\Delta t_1} \Rightarrow V_B + V_C = \frac{d}{2{,}0} \quad (1)$$

2) Na subida do rio, temos:

$$V_B - V_C = \frac{d}{\Delta t_2} \Rightarrow V_B - V_C = \frac{d}{4{,}0} \quad (2)$$

3) Comparando-se (1) e (2), vem:

$$2{,}0\,(V_B + V_C) = 4{,}0\,(V_B - V_C)$$

$$V_B + V_C = 2{,}0\,V_B - 2{,}0\,V_C \Rightarrow \boxed{V_B = 3{,}0\,V_C}$$

4) Com o motor desligado, temos:

$$V_C = \frac{d}{\Delta t_3} \quad (3)$$

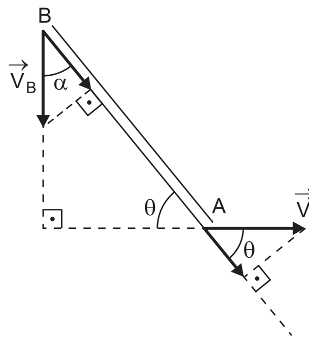
5) Comparando-se (1) e (3), vem:

$$2{,}0\,(V_B + V_C) = V_C \,.\, \Delta t_3$$

$$2{,}0\,(3{,}0\,V_C + V_C) = V_C\,\Delta t_3 \Rightarrow \boxed{\Delta t_3 = 8{,}0\text{h}}$$

Resposta: C

4) Como a haste é rígida (tamanho constante), os componentes de $\vec{V}_A$ e $\vec{V}_B$, na direção da haste, deverão ser iguais.



$V_A \cos\theta = V_B \cos\alpha$

Porém, $\cos\alpha = \text{sen}\,\theta$

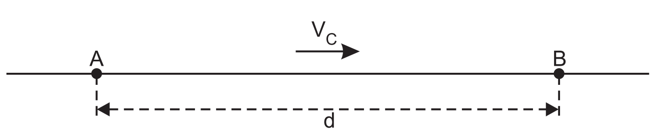
$V_A \cos\theta = V_B\, \text{sen}\,\theta$

$$V_B = V_A \cdot \frac{\cos\theta}{\text{sen}\,\theta}$$

$$\boxed{V_B = V_A \cdot \text{cotg}\,\theta}$$

Resposta: D

5)



1) Na descida do rio de A para B, temos:
$d = (2{,}0 + v_c)\, t_1$ (I)

2) Na subida do rio de B para A, temos:
$d = (8{,}0 - v_c)\, t_2$ (II)

3) O tempo total T é dado por:
$T = t_1 + t_2$

$$600 = \frac{d}{2{,}0 + v_c} + \frac{d}{8{,}0 - v_c}$$

$$600 = d\left[\frac{1}{2{,}0 + v_c} + \frac{1}{8{,}0 - v_c}\right]$$

$$600 = d\,\frac{(8{,}0 - v_c + 2{,}0 + v_c)}{(2{,}0 + v_c)(8{,}0 - v_c)}$$

$$600 = \frac{10{,}0\,d}{(2{,}0 + v_c)(8{,}0 - v_c)}$$

$d = 60\,(2{,}0 + v_c)(8{,}0 - v_c)$

A distância total é $D = 2d$

$D = 120\,(2{,}0 + v_c)(8{,}0 - v_c)$

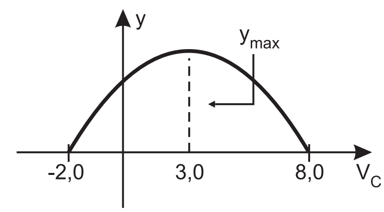
Seja $y = (2{,}0 + v_c)(8{,}0 - v_c)$

$y = f(v_c)$ é um trinômio do 2º grau com raízes

$v_c = -2{,}0$ e $v_c = 8{,}0$

O valor máximo de y ocorre para

$$v_c = \frac{-2{,}0 + 8{,}0}{2} = 3{,}0$$



Portanto:

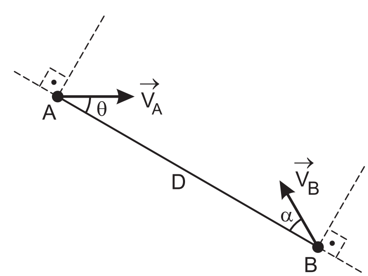
$D_{máx} = 120\,(2{,}0 + 3{,}0)(8{,}0 - 3{,}0)$ (m)

$D_{máx} = 120 \,.\, 5{,}0 \,.\, 5{,}0$ (m)

$$\boxed{D_{máx} = 3000\text{m}}$$

Resposta: E

6)



a) Para que haja encontro, a velocidade relativa entre A e B deve ser dirigida segundo a reta AB, isto é, as componentes das velocidades $\vec{V}_A$ e $\vec{V}_B$, na direção perpendicular a AB, deverão ser iguais:

$\boxed{V_A\, \text{sen}\,\theta = V_B\, \text{sen}\,\alpha}$ (condição de encontro)

b) Da relação anterior, vem:

$$V_B = \frac{V_A\, \text{sen}\,\theta}{\text{sen}\,\alpha}$$

V_B será mínima quando $\text{sen}\,\alpha = 1$ e $\boxed{\alpha = 90°}$

$$\boxed{V_{B\,(mín)} = V_A\, \text{sen}\,\theta}$$

c) $$V_{rel} = \frac{\Delta s_{rel}}{\Delta t}$$

$$V_A \cos\theta + V_B \cos\alpha = \frac{D}{T_E}$$

$$\boxed{T_E = \frac{D}{V_A \cos\theta + V_B \cos\alpha}}$$

Respostas: a) V_A sen $\theta = V_B$ sen α

b) $\alpha = 90°$ e $V_B = V_A$ sen θ

c) $T_E = \dfrac{D}{V_A \cos\theta + V_B \cos\alpha}$

7) a) $\Delta s = Vt$ (MU)

Na subida: $d = (V_P + V_E)\,T_1$ (1)

Na descida: $d = (V_P - V_E)\,T_2$ (2)

Na subida com a pessoa parada: $d = V_E\,T$ (3)

(1) = (2) : $(V_P + V_E)\,T_1 = (V_P - V_E)\,T_2$

Dividindo-se toda a expressão por V_E:

$$\left(\frac{V_P}{V_E} + 1\right) T_1 = \left(\frac{V_P}{V_E} - 1\right) T_2$$

$$\frac{V_P}{V_E}\,T_1 + T_1 = \frac{V_P}{V_E}\,T_2 - T_2$$

$$\frac{V_P}{V_E}\,(T_2 - T_1) = T_2 + T_1 \Rightarrow \boxed{\frac{V_P}{V_E} = \frac{T_2 + T_1}{T_2 - T_1}}$$

b) (1) = (3)

$(V_P + V_E)\,T_1 = V_E\,T$

$$\left(\frac{T_2 + T_1}{T_2 - T_1} V_E + V_E\right) T_1 = V_E\,T$$

$$\left(\frac{T_2 + T_1}{T_2 - T_1} + 1\right) T_1 = T$$

$$\left(\frac{T_2 + T_1 + T_2 - T_1}{T_2 - T_1}\right) T_1 = T$$

$$\boxed{T = \frac{2T_2\,T_1}{T_2 - T_1}}$$

Respostas: a) $\dfrac{V_P}{V_E} = \dfrac{T_2 + T_1}{T_2 - T_1}$

b) $T = \dfrac{2T_2\,T_1}{T_2 - T_1}$

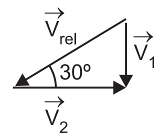
8) De acordo com o teorema de Roberval, temos:

$\vec{V}_R = \vec{V}_{rel} + \vec{V}_{arr}$

$\vec{V}_R = \vec{V}_1 = -3{,}0\ \vec{j}$ (SI)

$\vec{V}_{arr} = \vec{V}_2$

A velocidade relativa é paralela à superfície da cunha:



Da figura, temos: tg 30° = $\dfrac{|\vec{V}_1|}{|\vec{V}_2|}$

$$\frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{3{,}0}{|\vec{V}_2|} \Rightarrow |\vec{V}_2| = 3{,}0\sqrt{3}\ \text{m/s} \cong 5{,}2\text{m/s}$$

Portanto: $\boxed{\vec{V}_2 = 5{,}2\ \vec{i}}$

Resposta: C

■ Módulos 43 e 44

1) Utilizando-se a Regra da Mão Esquerda em cada uma das alternativas, observa-se que a única em que as duas figuras são corretas é a alternativa D.
Resposta: D

2) Resposta: A

3) 1) $F_{mag} = F_{cp}$

$$B\,|q|\,V \text{ sen } \theta = \frac{m\,V^2}{R}$$

$$B\,|q| \text{ sen } 90° = \frac{m\,V}{R}$$

$$R = \frac{m\,V}{|q|\,B}$$

2) $V = \dfrac{2\pi R}{T}$

$$T = \frac{2\pi}{V}\,\frac{m\,V}{|q|\,B} \Rightarrow \boxed{T = \frac{2\pi}{B}\,\frac{m}{|q|}}$$

Da expressão acima, conclui-se que, se todas as partículas descrevem movimentos circulares e uniformes de mesmo período, então a razão $\dfrac{m}{|q|}$ é a mesma para todas as partículas, independentemente do módulo da velocidade com que estas penetram no campo magnético.

Resposta: C

4) 1) $F_{mag} = F_{cp}$

$$B\,|q|\,V \text{ sen } \theta = \frac{m\,V^2}{R}$$

$$B\,|q| \text{ sen } 90° = \frac{m\,V}{R}$$

$$V = \frac{B\,|q|\,R}{m} \quad (I)$$

2) No movimento circular e uniforme, temos:

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{T} \quad (II)$$

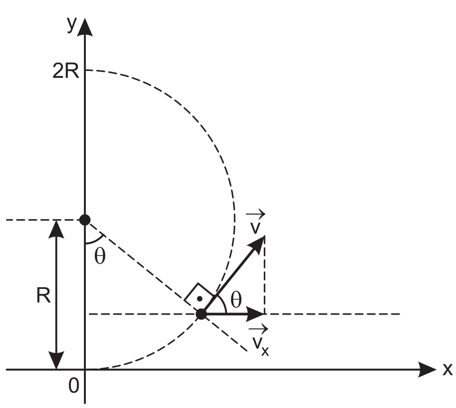
3) Igualando I e II, vem:

$$\frac{2\pi R}{T} = \frac{B\,|q|\,R}{m}$$

$$\boxed{T = \frac{2\pi \,.\, m}{|q| \,.\, B}}$$

Resposta: E

5)



1) Da figura, temos:

$$\cos \theta = \frac{V_x}{V}$$

$$V_x = V \cos \theta \quad (I)$$

2) Mas, no movimento circular e uniforme, temos:
$V = \omega R$

$$V = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \,.\, R$$

$$V = \frac{\theta}{t} \,.\, R$$

$$\theta = \frac{V \,.\, t}{R} \quad (II)$$

3) Substituindo II em I, vem:

$$\boxed{V_x = V \cos\left(\frac{Vt}{R}\right)}$$

Resposta: C