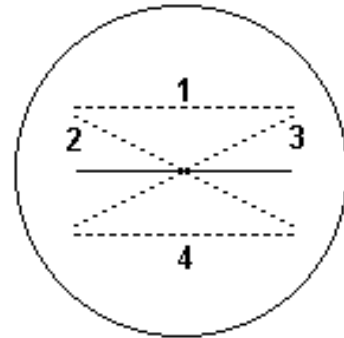


Campo Magnético

(Fundamentos de Física Vol.3 Halliday, Resnick e Walker, Cap. 30)

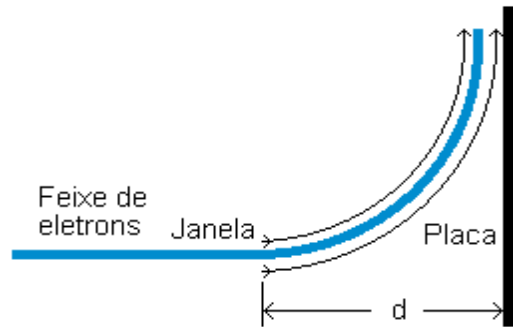
- Um elétron num tubo de TV está se movendo a 7.2×10^6 m/s num campo magnético de intensidade 83 mT. **(a)** Sem conhecermos a direção do campo, quais são o maior e o menor módulo da força que o elétron pode sentir devido a este campo? **(b)** Num certo ponto a aceleração do elétron é 4.9×10^{14} m/s². Qual é o ângulo entre a velocidade do elétron e o campo magnético?
- Um elétron que se move tem velocidade $\mathbf{v} = (2 \times 10^6 \text{ m/s})\mathbf{i} + (3 \times 10^6 \text{ m/s})\mathbf{j}$ penetra num campo magnético $\mathbf{B} = (0.03 \text{ T})\mathbf{i} - (0.15 \text{ T})\mathbf{j}$. **(a)** Determine o módulo, a direção e o sentido da força sobre o elétron. **(b)** Repita o cálculo para um próton tendo a mesma velocidade.
- Um osciloscópio típico emprega um tubo de raios catódicos em que, por meio de campos elétricos, o feixe de elétrons pode ser defletido não só na vertical como também horizontalmente. A figura ao lado ilustra a tela de um tubo como este. A linha reta cheia aparece quando o feixe é repetidamente varrido da esquerda para a direita por um campo elétrico variável no tempo. Se um campo magnético uniforme for aplicado perpendicularmente e para dentro do tubo, devemos esperar que a linha horizontal seja deslocada ou ao menos inclinada. Qual das quatro linhas será a linha resultante na tela?



- Um campo elétrico de 1.5 kV/m e um campo magnético de 0.4 T atuam sobre um elétron em movimento de modo a produzir uma força resultante nula. **(a)** Calcule a velocidade escalar mínima v do elétron. **(b)** Desenhe os vetores \mathbf{E} , \mathbf{B} e \mathbf{v} .
- Uma fonte de íons está produzindo íon de ${}^6\text{Li}$ ($m = 6$ uma) cada um com carga $+e$. Os íons são acelerados por uma diferença de potencial de 10 kV e entram numa região onde existe um campo magnético uniforme vertical $B = 1.2$ T. Calcule a intensidade do menor campo elétrico, a ser estabelecido na região que permitira aos íons a passagem sem desvios.
- Mostre que, em termos do campo elétrico Hall e da densidade de corrente J , o número de portadores de carga por unidade de volume é dado por: $n = J \cdot B / e \cdot E$.
- Um feixe de elétrons cuja energia cinética é K emerge da "janela" de saída na extremidade de um tubo acelerador. Existe uma placa metálica a uma distância d dessa janela, perpendicular à direção do feixe emergente, conforme mostrado a seguir. Demonstre que podemos evitar que o feixe colida com a placa se aplicarmos um campo magnético B de acordo com a seguinte expressão:

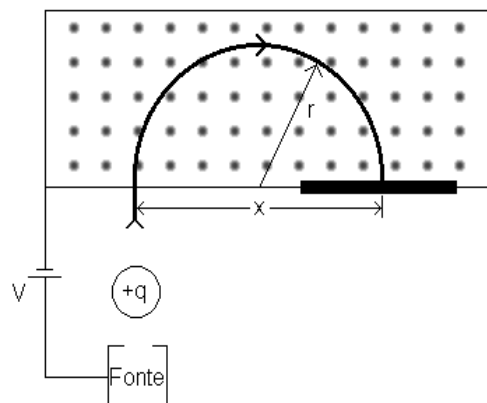
$$B \geq \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot K}{q^2 \cdot d^2}}$$

onde m e q são a massa e a carga do elétron, respectivamente. Qual deve ser a orientação de B ?

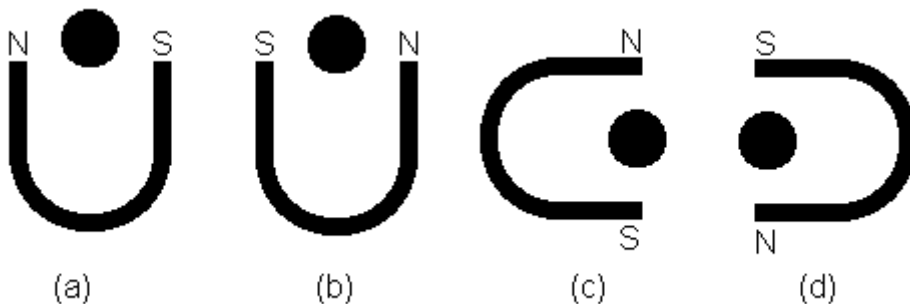


8. A figura a seguir mostra os aspectos mais importantes de um espectrometro de massa, que é usado para medir as massas dos ions. Um íon de massa m e carga $+q$ é produzido numa fonte de íons, tal como indicado. O íon produzido, praticamente em repouso, deixa a fonte, é acelerado por uma diferença de potencial V e, então, entra numa câmara onde existe um campo magnético B . No campo ele se move num semicírculo, incidindo sobre uma chapa fotográfica a uma distancia x da abertura de entrada. Mostre que a massa m do íon é dada por.

$$m = \frac{B^2 \cdot q}{8 \cdot V} \cdot x^2$$



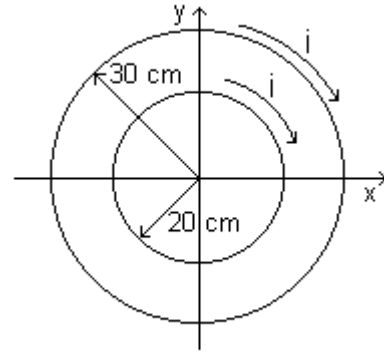
9. A figura abaixo mostra quatro posições de um imã e um fio retilíneo pelo qual elétrons estão fluindo para fora de pagina, perpendicular ao plano do imã. Em que caso a força sobre o fio aponta para o topo da pagina.



10. Um fio de 50 cm de comprimento, situado ao longo do eixo x , é percorrido por uma corrente de 0.5 A, no sentido positivo deste eixo. O fio esta imerso num campo magnético dado por $\mathbf{B} = (0.003 \text{ T})\mathbf{j} + (0.01 \text{ T})\mathbf{k}$. Determine a força sobre o fio.
11. Um fio de comprimento L transporta uma corrente i . Mostre que se o fio for enrolado na forma de uma bobina circular e colocado num campo magnético B , o torque máximo será obtido quando a bobina tiver uma única volta e que o modulo máximo do torque é dado por:

$$\tau = \frac{1}{4\pi} \cdot L^2 \cdot i \cdot B$$

12. Duas espiras circulares concêntricas de raios 20 e 30 cm no plano xy são percorridas por uma corrente de 7 A no sentido horário, como mostra a figura. **(a)** Determine o momento de dipolo magnético resultante deste sistema. **(b)** Responda a mesma pergunta se a corrente na espira de menor raio for invertida.



13. Uma espira circular condutora, de raio 8 cm, transporta uma corrente de 0.2 A. Um vetor unitário, paralelo ao momento de dipolo μ da espira, é dado por $0.6\mathbf{i} - 0.8\mathbf{j}$. A espira está num campo magnético dado por $\mathbf{B} = (0.25 \text{ T})\mathbf{i} + (0.3 \text{ T})\mathbf{k}$. Determine **(a)** o torque sobre a espira (usando notação vetorial) e **(b)** a energia potencial magnética da espira.

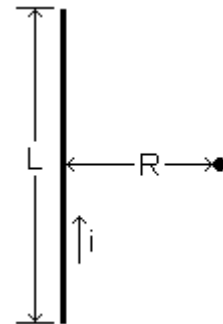
Lei de Ampere

(Fundamentos de Física Vol.3 Halliday, Resnick e Walker, Cap. 31)

14. Um topógrafo está usando uma bússola a 6 m abaixo de uma linha de transmissão na qual existe uma corrente constante de 100 A. **(a)** Qual é o campo magnético no local da bússola em virtude da linha de transmissão? **(b)** Isso irá interferir seriamente na leitura da bússola? O componente horizontal do campo magnético da terra no local é de $20 \mu\text{T}$.

15. Um segmento retilíneo de fio, de comprimento L , transporta uma corrente i . Mostre que o módulo do campo magnético \mathbf{B} produzido por este fio, a uma distância R do segmento ao longo de sua mediatriz é:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot R} \cdot \frac{L}{\sqrt{L^2 + 4 \cdot R^2}}$$



16. Uma espira quadrada de fio de lado a transporta uma corrente i . Mostre que, no centro da espira, o módulo do campo magnético produzido pela corrente é:

$$\mathbf{B} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \mu_0 \cdot i}{\pi \cdot a}$$

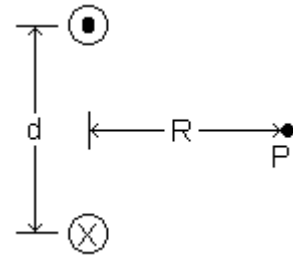
17. Mostre que o módulo do campo magnético produzido no centro de uma espira retangular de fio, de comprimento L e largura W , transportando uma corrente i , é:

$$\mathbf{B} = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot i}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{L^2 + W^2}}{L \cdot W}$$

18. Dois fios longos estão separados por uma distância de 8 cm. Que correntes iguais devem passar pelos fios para que o campo magnético a meia distância entre eles tenha módulo igual a $300 \mu\text{T}$? Considere as correntes paralelas e antiparalelas.

19. Dois fios longos, separados por uma distancia d , transportam correntes iguais i antiparalelas, como mostrado na figura abaixo. Indicando em que direção aponta \mathbf{B} , mostre que o modulo do campo magnetico no ponto P, que é equidistante dos fios é dado pela expressão:

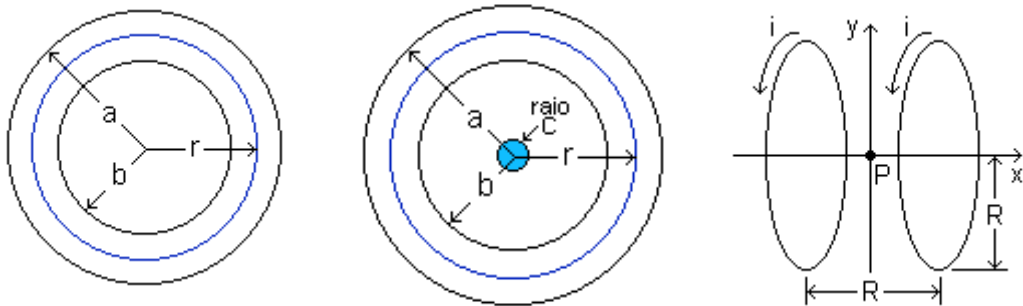
$$B = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot i \cdot d}{\pi \cdot (4 \cdot R^2 + d^2)}$$



20. A figura abaixo a esquerda mostra uma seção transversal de um condutor de um condutor cilíndrico, oco, de raios a e b , transportando uma corrente i uniformemente distribuída. (a) Mostre que o campo magnético B , entre a e b , é dado por:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot (a^2 - b^2)} \cdot \left(\frac{r^2 - b^2}{r} \right)$$

- (b) Mostre que para $r = a$, esta equação fornece o campo B para um fio retilíneo, para $r = b$ obtemos um campo nulo e quando $b = 0$ o campo no interior de um condutor solido.



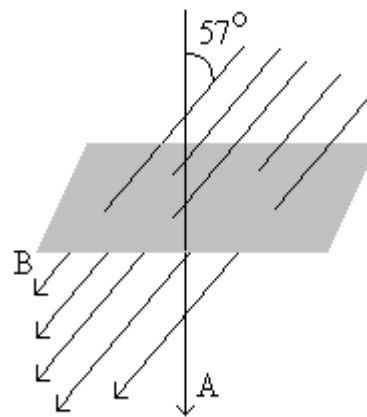
21. A figura mostrada acima ao centro, ilustra uma seção transversal de um condutor longo de um tipo chamado co-axial. Seu raios (a , b , c) são mostrados na figura. Existem correntes iguais i mas de sentidos opostos nos dois condutores. Obtenha as expressões para $B(r)$ em todas as faixas na qual r pode variar.
22. A chamada bobina de Helmholtz consiste em um arranjo de duas bobinas circulares co-axiais (como mostrado na figura acima a direita), cada uma com N espiras, raio R e separadas por uma distancia R , conforme a ilustração. As duas bobinas são percorridas por correntes iguais i com sentido idêntico. Determine o campo magnético no ponto P, a meio caminho entre as bobinas.
23. Referente ao problema anterior, suponha $i=1512$ mA e $R=24$ cm. Calcule o valor do campo magnético no ponto P e trace um gráfico da energia potencial que um magneto permanente com $\mu=22$ C.m²/s teria quando colocado sobre este ponto.

Lei da Indução de Faraday

(Fundamentos de Física Vol.3 Halliday, Resnick e Walker, Cap. 32)

24. Um toroide tem uma seção transversal quadrada de lado igual a 5 cm, raio interno de 15 cm, 500 espiras e transporta uma corrente de 0.8 A. Qual é o fluxo magnético através da seção transversal ?

25. Num certo local do hemisfério norte, o campo magnético da terra tem módulo de $42 \mu\text{T}$ e aponta para baixo, formando um ângulo de 57° com a vertical. Calcular o fluxo através de uma superfície horizontal de área igual a 2.5 m^2 ; ver figura ao lado, na qual o vetor **A** foi arbitrariamente escolhido para baixo.

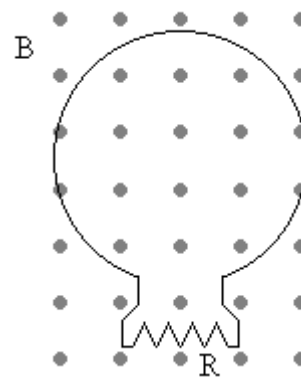


26. Uma antena circular de TV para UHF tem diâmetro de 11 cm. O campo magnético de um sinal de TV é normal ao plano da antena e, num dado instante, seu módulo está variando na taxa de 0.16 T/s . O campo é uniforme. Qual é o valor de \mathcal{E} (a **fem** induzida) ?

27. O fluxo magnético através da espira, mostrada na figura ao lado, cresce com o tempo de acordo com a função:

$$\Phi_B = 6.0 \cdot t^2 + 7.0 \cdot t$$

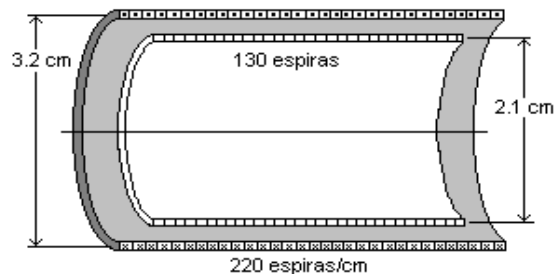
onde Φ_B é dado em mWb e t em segundos. (a) Qual é o módulo de **fem** induzida na espira quando $t = 2 \text{ s}$? (b) Qual é o sentido da corrente em R ?



28. Suponha que a corrente no solenóide, mostrado ao lado, varie de acordo com a relação:

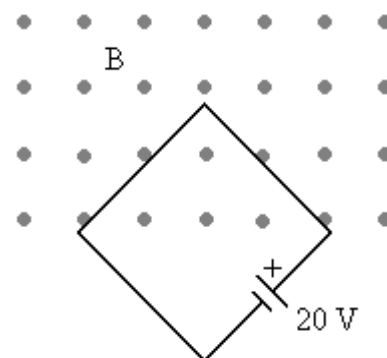
$$i = 3.0 \cdot t + 1.0 \cdot t^2$$

onde i se expressa em ampères e t em segundos. (a) Faça o gráfico da **fem** na bobina desde $t = 0$ até $t = 4 \text{ s}$? (b) A resistência da bobina vale 0.15Ω . Qual a corrente na bobina para $t = 2 \text{ s}$?



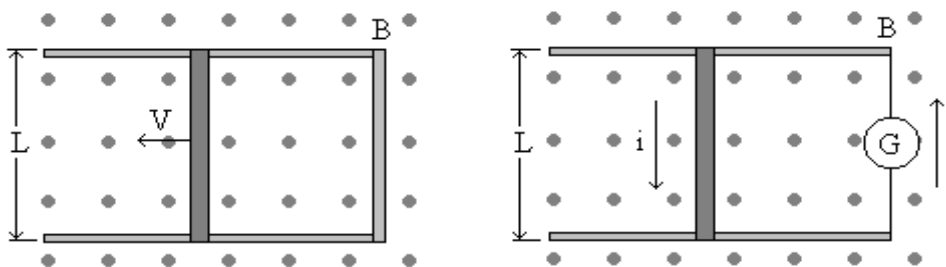
29. Uma espira quadrada cujo lado mede 2 m está disposta perpendicularmente a um campo magnético uniforme com metade de sua área imersa no campo, como mostrado na figura ao lado. A espira contém uma bateria de 20 V e resistência interna desprezível. Sabendo que o módulo do campo varia com o tempo de acordo com a relação:

$$B = 0.042 - 0.87 \cdot t$$



Com B em Teslas e t em segundos. (a) Qual é a **fem** total no circuito ? (b) Qual sentido da corrente através da bateria ?

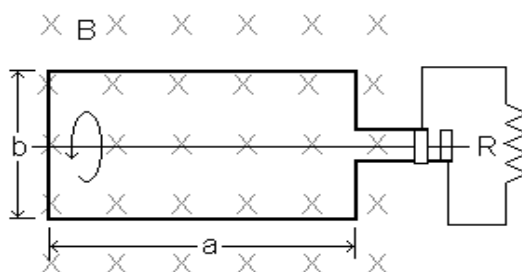
30. Um solenóide longo com raio de 25 mm possui 100 espiras/cm. Uma espira circular de 5 cm de raio é colocada em trono do solenóide de modo que seu eixo coincida com o eixo do solenóide. A corrente no solenóide é reduzida de 1 para 0.5 A numa taxa constante durante um intervalo de tempo de 10 ms. Que **fem** aparece na espira ?
31. Uma barra metálica esta se movendo com velocidade constante ao longo de dois trilhos metálicos paralelos, ligados por uma tira metálica numa das extremidades, como mostrado na figura abaixo a esquerda. Um campo magnético $B = 0.35 \text{ T}$ aponta para fora da pagina. (a) Sabendo-se que os trilhos estão separados em 25 cm e a velocidade escalar da barra é 55 cm/s, que **fem** é gerada ? (b) Sabendo-se que a resistência da barra vale 18Ω e que resistência dos trilhos é desprezível, qual é a corrente na barra ?



32. Na figura mostrada acima a direita, uma barra condutora de massa m e comprimento L desliza sem atrito sobre dois trilhos horizontais longos. Um campo magnético vertical, uniforme B , preenche a região onde a barra esta livre para mover-se. O gerador G fornece uma corrente constante i que flui ao longo de um trilho, através da barra e volta ao gerador ao longo do outro trilho. Determine a velocidade da barra em função do tempo, supondo que ele esteja em repouso no instante $t = 0$.

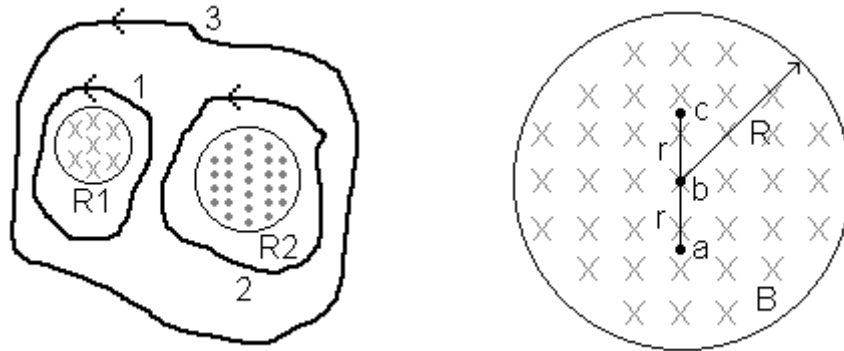
33. Uma bobina retangular, com N espiras, comprimento a e largura b , é girada com uma frequência f num campo magnético uniforme B . Mostre que a **fem** induzida é dada por:

$$\varepsilon = 2\pi f N a b B \sin(2\pi f t)$$



34. A figura da esquerda, mostrada na próxima pagina, ilustra duas regiões circulares, R_1 e R_2 , com raios $r_1 = 20 \text{ cm}$ e $r_2 = 30 \text{ cm}$, respectivamente. Em R_1 existe um campo magnético uniforme $B_1 = 50 \text{ mT}$ para dentro da pagina e em R_2 um campo uniforme $B_2 = 75 \text{ mT}$ para dentro da pagina. Os dois campos estão diminuindo na taxa de 8.5 mT/s . Calcular $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$ para cada um dos três caminhos indicados.

35. A figura da direita, mostrada na próxima pagina, ilustra um campo magnético uniforme B confinado a um volume cilíndrico de raio R . O modulo de B esta decrescendo numa taxa constante de 10 mT/s . Qual é a aceleração instantânea experimentada por um elétron, quando posto sucessivamente nos pontos a, b e c ? Suponha que o valor de r é 5 cm ?



Leituras complementares

Veja capítulos 26, 27 e 28 do livro Física Vol.2, de autoria de F.J.Keller, W.E.Gettys e M.J.Skove, em especial o item 28.4. Leia também Fundamentos de Física Vol.3 Halliday, Resnick e Walker, Cap. 34, onde temos um bom capítulo introdutório ao magnetismo em materiais.

Respostas dos problemas propostos

1. (a) $9.56 \times 10^{-14} \text{ N}$; 0 (b) 0.267°
2. (a) $(6.2 \times 10^{-14} \text{ N})\mathbf{z}$ (b) $-(6.2 \times 10^{-14} \text{ N})\mathbf{z}$
3. 2
4. (a) 3.75 km/s
5. 680 kV/m
9. Caso b
10. $-(2.5 \times 10^{-3} \text{ N})\mathbf{j} + (0.75 \times 10^{-3} \text{ N})\mathbf{k}$
13. (a) $(8 \times 10^{-4} \text{ N}\cdot\text{m})(-1.2\mathbf{x} - 0.9\mathbf{y} + 1\mathbf{z})$ (b) $-6 \times 10^{-4} \text{ J}$
14. (a) $3.3 \times 10^{-6} \text{ T}$ (b) Sim
Para correntes paralelas o único valor possível é $\mathbf{B} = 0 \text{ T}$.
Para correntes antiparalelas teremos o valor $i = 30 \text{ A}$.
21. (a) $\frac{\mu_0 \cdot i \cdot r}{2\pi \cdot c^2}$ (b) $\frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r}$ (c) $\frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot (a^2 - b^2)} \cdot \left(\frac{a^2 - r^2}{r}\right)$ (d) 0
22. $\frac{8 \cdot \mu_0 \cdot N \cdot i}{5 \cdot \sqrt{5} \cdot R}$
24. $1.15 \mu\text{Wb}$
25. $57.19 \mu\text{Wb}$
26. 1.5 mV
27. (a) 31 mV (b) da direita para a esquerda
28. (b) 58 mA
29. (a) 21.7 V (b) Antihorario
30. 1.2 mV
31. (a) 48.13 mV (b) 2.67 mA
32. B.i.L.t/m se afastando do gerador
34. 1: -1.07 mV 2: -2.4 mV 3: 1.33 mV
35. Em a: $4.4 \times 10^7 \text{ m/s}$, para a direita. Em b: 0. Em c: $4.4 \times 10^7 \text{ m/s}$, para a esquerda.