



CADERNO DE
ESTUDOS

conecte
L I V E

RONALDO FOGO
NEWTON VILLAS BÔAS
RICARDO HELOU DOCA

TÓPICOS DE

Física

3

 **Editora
Saraiva**

plurall



TÓPICOS DE

Física

RONALDO FOGO

Licenciado em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo.
Engenheiro metalurgista pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Coordenador das Turmas Olímpicas de Física do Colégio Objetivo.
Vice-Presidente da IJSO (*International Junior Science Olympiad*).

NEWTON VILLAS BÔAS

Licenciado em Física pela Universidade de São Paulo (USP).
Professor de Física na rede particular de ensino.

RICARDO HELOU DOCA

Engenheiro eletricitista formado pela Faculdade de Engenharia Industrial (FEI-SP).
Professor de Física na rede particular de ensino.

Direção geral: Guilherme Luz

Direção editorial: Luiz Tonolli e Renata Mascarenhas

Gestão de projeto editorial: Viviane Carpegiani

Gestão e coordenação de área: Julio Cesar Augustus de Paula Santos
e Juliana Grassmann dos Santos

Edição: Mateus Carneiro Ribeiro Alves e Thais Bueno de Moura

Gerência de produção editorial: Ricardo de Gan Braga

Planejamento e controle de produção: Paula Godo,
Roseli Saíd e Marcos Toledo

Revisão: Hélia de Jesus Gonsaga (ger.), Kátia Scaff Marques (coord.),
Rosângela Muricy (coord.), Ana Paula C. Malfa, Brenda T. M. Morais,
Carlos Eduardo Sigrist, Célia Carvalho, Cesar G. Sacramento,
Lilian M. Kumai, Luciana B. Azevedo, Luís M. Boa Nova,
Maura Loria, Patricia Cordeiro, Patrícia Travanca,
Amanda T. Silva e Bárbara de M. Genereze (estagiárias)

Arte: Daniela Amaral (ger.), André Gomes Vitale (coord.)
e Lisandro Paím Cardoso (edição de arte)

Diagramação: Setup

Iconografia: Silvío Kligin (ger.), Roberto Silva (coord.)
e Carlos Luvizari (pesquisa iconográfica)

Licenciamento de conteúdos de terceiros: Thiago Fontana (coord.),
Flávia Zambon (licenciamento de textos), Erika Ramires,
Luciana Pedrosa Bierbauer e Claudia Rodrigues (analistas adm.)

Tratamento de imagem: Cesar Wolf e Fernanda Crevin

Ilustrações: CJT/Zapt e Paulo Manzi

Design: Gláucia Correa Koller (ger.),
Erika Yamauchi Asato, Filipe Dias (proj. gráfico) e Adilson Casarotti (capa)

Composição de capa: Segue Pro

Foto de capa: Igartist 79/Shutterstock,
solarseven/Shutterstock, George Rudy/Shutterstock

Todos os direitos reservados por Saraiva Educação S.A.

Avenida das Nações Unidas, 7221, 1º andar, Setor A –

Espaço 2 – Pinheiros – SP – CEP 05425-902

SAC 0800 011 7875

www.editorasaraiva.com.br

2018

Código da obra CL 800856

CAE 628184 (AL) / 628185 (PR)

3ª edição

1ª impressão



Impressão e acabamento

Apresentação

Caro estudante,

Este material foi elaborado especialmente para você, estudante do Ensino Médio que está se preparando para ingressar no Ensino Superior.

Além de todos os recursos do Conecte LIVE, como material digital integrado ao livro didático, banco de questões, acervo de simulados e trilhas de aprendizagem, você tem à sua disposição este Caderno de Estudos, que o ajudará a se qualificar para as provas do Enem e de diversos vestibulares do Brasil.

O material foi estruturado para que você consiga utilizá-lo autonomamente, em seus estudos individuais além do horário escolar, ou sob orientação de seu professor, que poderá lhe sugerir atividades complementares às dos livros.

Para cada ano do Ensino Médio, há um Caderno de Estudos com uma revisão completa dos conteúdos correspondentes, atividades de aplicação imediata dos conceitos trabalhados e grande seleção de questões de provas oficiais que abordam esses temas.

No Caderno de Estudos do 3º ano, há ainda um material complementar com o qual, ao terminar de se dedicar aos conteúdos destinados a esse ano escolar, você poderá se planejar para uma retomada final do Ensino Médio! Revisões estruturadas de todos os conteúdos desse ciclo são acompanhadas de simulados, propostos para que você os resolva como se realmente estivesse participando de uma prova oficial de vestibular ou do Enem, de maneira que consiga fazer um bom uso do seu tempo.

Desejamos que seus estudos corram bem e que você tenha sucesso **Rumo ao Ensino Superior!**

Equipe Conecte LIVE!

Conheça este Caderno de Estudos

9 Introdução ao Eletromagnetismo

Reveja o que aprendeu

Use papel e caneta

- Utilizar linhas de campo na representação de fenômenos magnéticos de corpos cônicos.
- Caracterizar o movimento das cargas elétricas de acordo com o campo magnético em que se encontram.

Propriedades fundamentais dos ímãs

Todo ímã é sempre dotado de **dois polos**.

As linhas de ferro e os cílios de papel concentram-se em quantidade maior nos polos dos ímãs.

As forças de atração e repulsão que os ímãs exercem mutuamente entre si são representadas na imagem a seguir.

entre dois polos norte, há uma força de repulsão.

entre dois polos sul, há uma força de repulsão.

entre um polo norte e um polo sul, há uma força de atração.

Portanto:

Polos magnéticos de nomes diferentes atraem-se e polos magnéticos de mesmo nome repelem-se.

Quando um ímã é cortado, é possível verificar experimentalmente que é **impossível** obter um polo magnético isolado.

Cada ímã cortado ao meio produz dois ímãs menores, cada qual dotado de um polo norte e um polo sul.

Reveja o que aprendeu

Nesta seção, os principais conceitos de cada tópico de conteúdo do livro são apresentados de maneira resumida, para que você tenha a oportunidade de, sempre que desejar, retomar aprendizagens que vem construindo ao longo do terceiro ano do Ensino Médio.

Aplique o que aprendeu

Depois de retomar os conceitos no **Reveja o que aprendeu**, é o momento de aplicar esses conceitos resolvendo atividades.

A seção se inicia com **Exercícios resolvidos**, que trarão uma solução detalhada de uma atividade. Em seguida, haverá uma seleção de atividades para você resolver.

Ao final da seção, registre a quantidade de acertos que você teve em relação ao total de atividades. Se o seu desempenho estiver aquém de suas expectativas, verifique em quais páginas do seu livro-texto os conceitos são trabalhados e procure retomá-los, individualmente ou em grupos de estudo, dedicando mais tempo para se aprofundar neles.

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (UEM) Na figura a seguir, temos um capacitor de placas paralelas de área A separadas pela distância d . Inicialmente, o dielétrico entre as placas é o ar e a carga máxima suportada é Q_0 . Para que esse capacitor suporte uma carga máxima Q_1 , foi introduzida uma placa de porcelana de constante dielétrica k e espessura $\frac{d}{2}$. Considerando que seja mantida a diferença de potencial entre as placas, determine a razão entre as cargas Q_1 e Q_0 .

Resolução:

Capacitâncias de ímãs C_1 e de $\text{fm } C_2$ (com $k = 1$):

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 A}{d}; C_2 = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{d}{2}} = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{\frac{d}{2}} = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{\frac{d}{2}} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Como $Q = C U$, vem:

$$Q_1 = \frac{\epsilon_0 A U}{d} + \frac{\epsilon_0 A U}{d} = \frac{2 \epsilon_0 A U}{d}; Q_0 = \frac{\epsilon_0 A U}{d}$$

Resposta: A

Questões

13. (FPE) Uma barra metálica de massa $m = 250 \text{ g}$ desliza ao longo de dois trilhos condutores, paralelos e horizontais, com uma velocidade de módulo $v = 2,0 \text{ m/s}$. A distância entre os trilhos é igual a $s = 50 \text{ cm}$, estando eles conectados por um sistema com dois capacitores ligados em série, de capacitâncias $C_1 = C_2 = 4,0 \mu\text{F}$, conforme ilustra a figura ao lado.

O conjunto está no vácuo, inserido em um campo de indução magnética uniforme, de módulo $B = 0,01 \text{ T}$, perpendicular ao plano dos trilhos.

Desprezando os efeitos do ar, calcule a energia elétrica armazenada no capacitor C_2 , em microjoules.

a) 20. b) 10. c) 5. d) 25.

Rumo ao Ensino Superior

1. (ITA-SP) Uma diferença de potencial eletrostático V é estabelecida entre os pontos M e P da rede elétrica de capacitores cônicos mostrada na figura.

A diferença de potencial entre os pontos N e P é:

a) $V/2$. b) $3V/4$. c) $V/4$. d) $V/3$.

2. (Unesp) Um gerador eletromagnético de um ferro-velho é capaz de fornecer tensões de saída, dependendo da intensidade da indução magnética em seu enrolamento. O enrolamento é um dispositivo que utiliza corrente elétrica para gerar um campo magnético, sendo geralmente construído enrolando-se um fio condutor ao redor de um núcleo de material ferromagnético (ferro, aço, níquel, cobalto). Para aumentar a capacidade de carga do gerador, qual característica do enrolamento pode ser reduzida?

a) Diâmetro do fio condutor.
b) Distância entre as espiras.
c) Densidade linear de espiras.
d) Corrente que circula pelo fio.
e) Permeabilidade relativa do núcleo.

3. (FEAR-SP) Uma espira circular com 10 cm de diâmetro, ao ser percorrida por uma corrente elétrica de 500 mA de intensidade, produz no seu centro um vetor campo magnético de intensidade igual a 10^{-4} T .

Obs: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$

a) 1. b) 2. c) 4. d) 5.

Rumo ao Ensino Superior

Esta seção apresenta uma seleção de atividades que envolvem conteúdos estudados ao longo de todo o terceiro ano do Ensino Médio. Você encontrará questões elaboradas por nós, do Enem e de diferentes vestibulares do Brasil.

Sumário

Já revi este conteúdo

Já apliquei este conteúdo

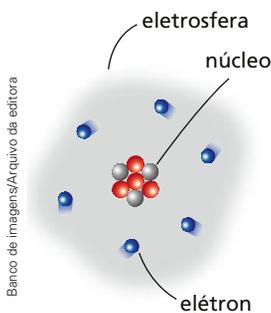
1 – Cargas elétricas	6	9 – Introdução ao Eletromagnetismo	62
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	6	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	62
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	9	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	68
2 – Campo elétrico	12	10 – Corrente elétrica e campo magnético	74
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	12	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	74
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	15	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	77
3 – Potencial elétrico	18	11 – Força magnética sobre condutores retilíneos e propriedades magnéticas	80
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	18	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	80
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	23	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	82
4 – Corrente elétrica, Tensão elétrica e resistência elétrica	26	12 – Indução eletromagnética	86
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	26	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	86
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	31	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	89
5 – Geradores elétricos e circuitos simples	36	13 – Introdução à Física Moderna	92
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	36	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	92
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	40	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	95
6 – Energia e potência elétrica	44	14 – Introdução à Física Quântica	98
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	44	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	98
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	46	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	101
7 – Leis de Kirchhoff	50	15 – Teoria da Relatividade	104
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	50	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	104
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	53	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	109
8 – Capacitores	56	Rumo ao Ensino Superior	111
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu	56	Respostas	181
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu	59		

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Caracterizar diferentes fenômenos da natureza pela presença de cargas elétricas.

Noção de carga elétrica



Representação esquemática de um átomo.

No núcleo de um átomo existem partículas denominadas **prótons** e **nêutrons**. Na **eletrosfera**, região ao redor do núcleo, movem-se outras partículas, que recebem o nome de **elétrons**.

Os prótons e os elétrons têm propriedade diferente dos nêutrons. A essa propriedade denominou-se **carga elétrica**, e, por convenção, considera-se **positiva** a carga elétrica do próton e **negativa** a carga elétrica do elétron. Em intensidade, as cargas elétricas do próton e do elétron são iguais. Essa intensidade ou valor absoluto recebe o nome de **carga elétrica elementar** e o símbolo e . Diz-se **elementar** porque é a menor quantidade de carga encontrada de maneira isolada na natureza.

O **valor da carga elétrica** elementar é:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

O sinal da carga é diferente para cada partícula:

$$\text{Carga elétrica do próton} = +e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

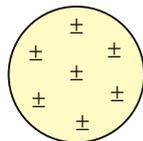
$$\text{Carga elétrica do elétron} = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{Carga elétrica do nêutron} = 0$$

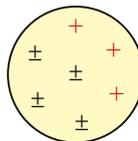
Diz-se que um **coulomb (C)** é a quantidade de carga elétrica que atravessa a secção transversal de um condutor elétrico percorrido por uma corrente contínua de intensidade igual a um ampere (A) em um segundo (s).

Um corpo está eletricamente **neutro** quando a soma algébrica de todas as cargas é igual a zero, ou seja, a quantidade de prótons e elétrons é igual.

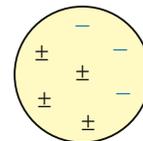
Assim, **eletrizar** um corpo é provocar a diferença de suas quantidades de prótons e elétrons.



corpo eletricamente neutro: para cada próton existe um elétron.



corpo eletrizado positivamente: há mais prótons que elétrons.



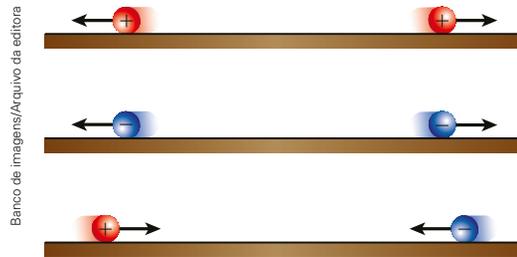
corpo eletrizado negativamente: há mais elétrons que prótons.

Seja Q a carga elétrica de um corpo eletrizado qualquer. Desse modo, temos:

$$Q = ne \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Princípios da Eletrostática

Partículas eletrizadas com cargas de sinais iguais se repelem, enquanto as eletrizadas com cargas de sinais opostos se atraem.



Sabendo-se que um "sistema eletricamente isolado é aquele que não troca cargas elétricas com o meio exterior" é possível enunciar o

Princípio da Conservação das Cargas Elétricas:

A soma algébrica das cargas elétricas existentes em um sistema eletricamente isolado é constante.

Condutores e isolantes elétricos

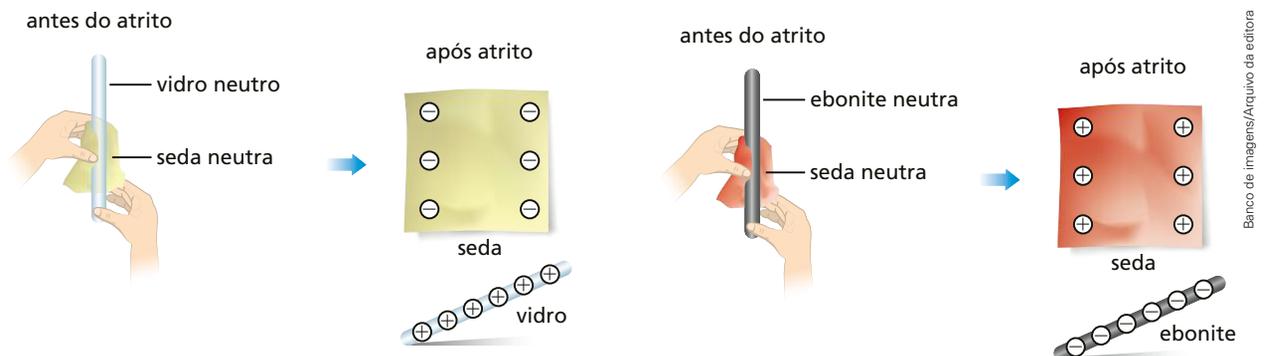
Denomina-se **condutor elétrico** o material elétrico em que há grande quantidade de portadores de carga elétrica que podem se movimentar com grande facilidade. Caso contrário, o material recebe o nome de **isolante elétrico**.

Processos de eletrização

Recebe o nome de **eletrização** o fenômeno em que um corpo neutro se torna eletrizado devido à mudança no número de seus elétrons.

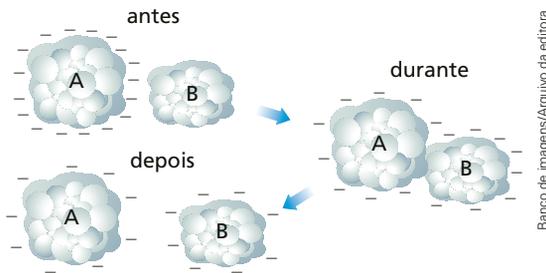
Eletrização por atrito de materiais diferentes

Comprova-se experimentalmente que, quando há atrito entre dois corpos neutros de diferentes materiais, um deles recebe elétrons do outro e fica eletrizado com carga negativa, enquanto o outro – o que perdeu elétrons – adquire carga positiva.



Eletrização por contato

Quando dois ou mais corpos condutores são colocados em contato, estando pelo menos um deles eletrizado, observa-se uma redistribuição de carga elétrica pelas suas superfícies externas.



Eletrização por indução eletrostática

Ao aproximarmos (sem colocar em contato) um condutor eletrizado de um neutro, é provocada, no condutor neutro, uma redistribuição de seus elétrons livres. Esse fenômeno recebe o nome de **indução eletrostática**, e se deve ao fato de as cargas existentes no condutor eletrizado poderem repelir ou atrair os elétrons livres do condutor neutro. O condutor eletrizado é denominado **indutor** e o condutor neutro, **induzido**.



Lei de Coulomb

As forças de interação entre duas partículas eletrizadas são sempre dirigidas segundo o segmento de reta que as une e têm intensidades iguais. Tais intensidades são diretamente proporcionais ao módulo do produto das cargas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre as partículas.

Matematicamente,

$$F_e = k \frac{|Qq|}{d^2}$$

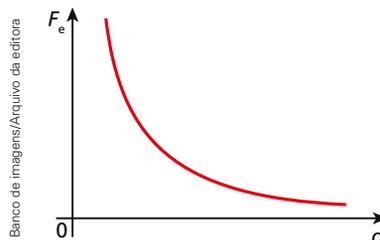
sendo

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

No vácuo,

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ C}^2$$

$$k_0 \cong 9,0 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$



Representação gráfica de F_e em função de d .

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (FGV-SP) Deseja-se eletrizar um objeto metálico, inicialmente neutro, pelos processos de eletrização conhecidos, e obter uma quantidade de carga negativa de $3,2 \mu\text{C}$. Sabendo-se que a carga elementar vale $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, para se conseguir a eletrização desejada, será preciso:

- a) retirar do objeto 20 trilhões de prótons.
- b) retirar do objeto 20 trilhões de elétrons.
- c) acrescentar ao objeto 20 trilhões de elétrons.
- d) acrescentar ao objeto cerca de 51 trilhões de elétrons.
- e) retirar do objeto cerca de 51 trilhões de prótons.

Resolução:

$$Q = n e$$

$$3,2 \cdot 10^{-6} = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$n = 2 \cdot 10^{13} \text{ elétrons}$$

$$n = 20\,000\,000\,000\,000 \text{ elétrons}$$

$$n = 20 \text{ trilhões de elétrons}$$

Esses elétrons devem ser acrescentados ao objeto metálico, inicialmente neutro.

Resposta: C

Questões

1. (UPM-SP)

Uma esfera metálica A eletrizada com carga elétrica igual a $-20,0 \mu\text{C}$ é colocada em contato com outra esfera idêntica B eletricamente neutra. Em seguida, encosta-se a esfera B em outra C, também idêntica eletrizada com carga elétrica igual a $50,0 \mu\text{C}$. Após esse procedimento, as esferas B e C são separadas.

A carga elétrica armazenada na esfera B, no final desse processo, é igual a

- a) $20,0 \mu\text{C}$ b) $30,0 \mu\text{C}$ c) $40,0 \mu\text{C}$ d) $50,0 \mu\text{C}$ e) $60,0 \mu\text{C}$



2. (UFJF/Pism-MG)

Duas pequenas esferas condutoras idênticas estão eletrizadas. A primeira esfera tem uma carga de $2Q$ e a segunda uma carga de $6Q$. As duas esferas estão separadas por uma distância d e a força eletrostática entre elas é F_1 . Em seguida, as esferas são colocadas em contato e depois separadas por uma distância $2d$. Nessa nova configuração, a força eletrostática entre as esferas é F_2 . Pode-se afirmar sobre a relação entre as forças F_1 e F_2 que:

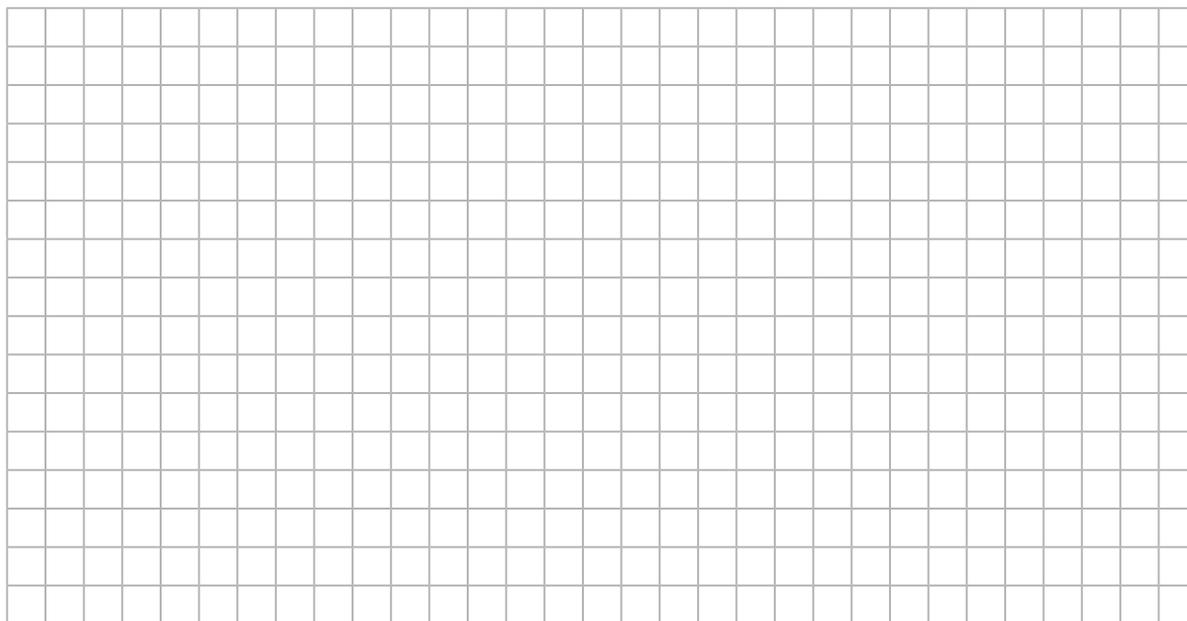
a) $F_1 = 3F_2$

b) $F_1 = \frac{F_2}{12}$

c) $F_1 = \frac{F_2}{3}$

d) $F_1 = 4F_2$

e) $F_1 = F_2$



3. (Udesc)

Duas pequenas esferas estão separadas por uma distância de 30 cm. As duas esferas repelem-se com uma força de $7,5 \times 10^{-6}$ N. Considerando que a carga elétrica das duas esferas é 20 nC, a carga elétrica de cada esfera é, respectivamente:

Dado: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

a) 10 nC e 10 nC

c) 7,5 nC e 10 nC

e) 15 nC e 5 nC

b) 13 nC e 7 nC

d) 12 nC e 8 nC



2

Campo elétrico

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Utilizar o conceito de campo elétrico na explicação de fenômenos elétricos.

Conceito e descrição de campo elétrico

Campo elétrico é uma propriedade física estabelecida em todos os pontos do espaço que estão sob a influência de uma carga elétrica (carga fonte). Quando outra carga, chamada carga de prova, é colocada em um desses pontos, fica submetida a uma força de atração ou de repulsão exercida pela carga fonte.

Carga de prova é uma carga elétrica de quantidade conhecida utilizada para verificar a existência de um campo elétrico. Pelo efeito observado sobre essa carga elétrica posicionada em um determinado local, é possível detectar se nele existe ou não um campo elétrico assim como sua intensidade.

Definição do vetor campo elétrico

A definição de campo elétrico é:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

São características do vetor \vec{E} :

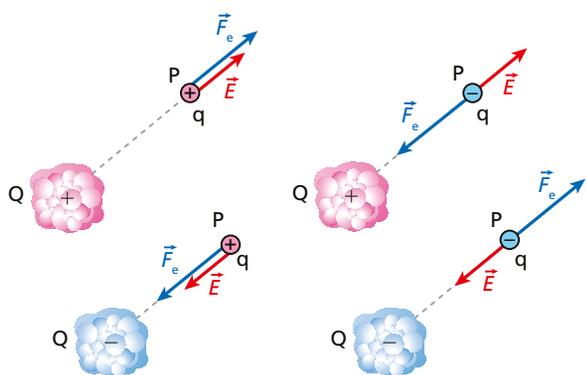
- intensidade: $E = \frac{F_e}{q}$
- direção: a mesma da força \vec{F}_e .
- sentido: o mesmo da força \vec{F}_e , se q for positiva; contrário ao da força \vec{F}_e , se q for negativa.

As orientações do vetor campo elétrico \vec{E} devido a uma carga fonte Q podem ser representadas como ao lado.

As figuras mostram que:

Quando a carga de prova q é **positiva**, os vetores campo elétrico (\vec{E}) e força elétrica (\vec{F}_e) têm a mesma direção e o mesmo sentido. Quando a carga de prova q é **negativa**, os vetores \vec{E} e \vec{F}_e têm mesma direção, mas sentidos opostos.

Em um ponto **P**, o vetor campo elétrico sempre tem sentido de **afastamento** em relação a uma carga Q **positiva**, enquanto o vetor campo elétrico sempre tem sentido de **aproximação** em relação a uma carga Q **negativa**, independentemente do sinal da carga de prova q .



Campo elétrico de uma partícula eletrizada

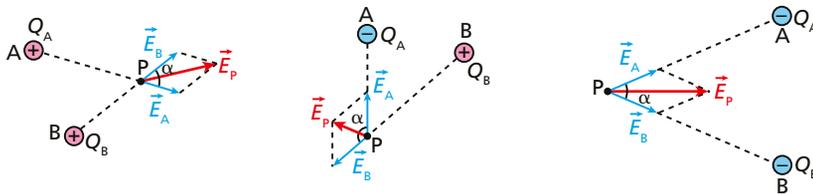
O módulo do vetor campo elétrico no ponto **P** é dado por:

$$E = k \frac{|Q|}{d^2}$$

Uma partícula eletrizada cria um campo elétrico na região do espaço ao redor de si. No entanto, no ponto em que essa partícula está situada, o vetor campo, devido à própria partícula, é nulo.

Campo elétrico devido a duas ou mais partículas eletrizadas

O vetor campo elétrico no ponto **P** é resultante da **soma dos vetores** \vec{E}_A e \vec{E}_B , provocado por Q_A e Q_B , respectivamente, conforme representado nas figuras a seguir:



$$\vec{E}_P = \vec{E}_A + \vec{E}_B$$

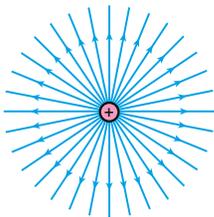
De maneira geral, no caso de n partículas eletrizadas, temos:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

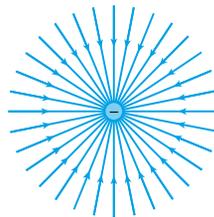
Linhas de força

Linha de força de um campo elétrico é uma linha associada a cada ponto do campo elétrico e que tangencia o vetor campo elétrico nesse ponto.

Banco de imagens/Arquivo da editora



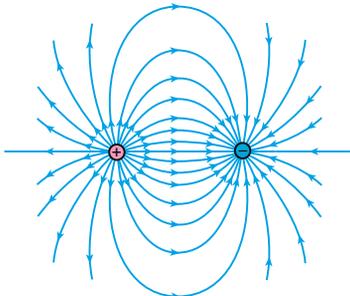
// Linhas de força de **afastamento** representativas do campo elétrico criado por uma partícula eletrizada com carga **positiva**.



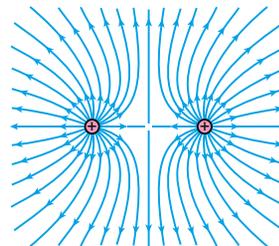
// Linhas de força de **aproximação** representativas do campo elétrico criado por uma partícula eletrizada com carga **negativa**.

As linhas de um campo elétrico formado por duas cargas têm o seguinte aspecto:

Banco de imagens/Arquivo da editora



// Observe a simetria das linhas de força representativas do campo elétrico resultante de dois campos criados por duas partículas eletrizadas com cargas de mesmo módulo, mas de sinais opostos.

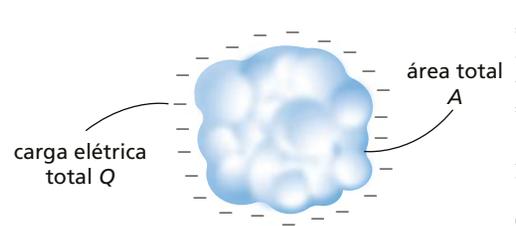


// Observe a simetria das linhas de força representativas do campo elétrico resultante de dois campos criados por duas partículas eletrizadas com cargas iguais. No exemplo, ambas são positivas. Caso fossem negativas, mudaria apenas o sentido da orientação das linhas de força, sendo conservados os demais aspectos.

Densidade superficial de cargas

A **densidade superficial média de cargas** (σ_m) em um condutor de superfície externa de área total A , eletrizado por uma carga Q e em equilíbrio eletrostático é:

$$\sigma_m = \frac{Q}{A}$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

O poder das pontas

Verifica-se experimentalmente que o módulo da densidade superficial de cargas em um condutor eletrizado é maior em regiões de maior curvatura. O módulo da densidade é ainda maior em regiões pontiagudas, e esse comportamento é conhecido por **poder das pontas**. Como consequência, devido à maior concentração de cargas, a intensidade do campo elétrico é maior em torno das regiões pontiagudas que em torno das outras regiões do condutor.

Campo elétrico criado por um condutor eletrizado

No interior de um condutor eletrizado em equilíbrio eletrostático, o vetor campo elétrico é nulo.

Na superfície externa de um condutor eletrizado em equilíbrio eletrostático, o vetor campo elétrico é indeterminado.

Campo elétrico criado por um condutor esférico eletrizado

Nos pontos internos de um condutor esférico eletrizado, o campo elétrico é nulo.

Na região externa ao condutor esférico eletrizado:

$$E_{\text{ext}} = k \frac{|Q|}{d^2}$$

Nas proximidades da superfície desse condutor, $d \cong r$. Então:

$$E_{\text{próx}} = k \frac{|Q|}{r^2}$$

Campo elétrico uniforme

O campo elétrico é **uniforme** em uma região do espaço em que o vetor do campo elétrico (\vec{E}) tem, em todos os pontos, a mesma intensidade, a mesma direção e o mesmo sentido.

O campo elétrico uniforme tem as seguintes características:

- intensidade: $E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon}$;
- direção: perpendicular à superfície;
- sentido: de afastamento ou de aproximação em relação à superfície, dependendo do sinal de sua carga elétrica.

Aplique o que aprendeu

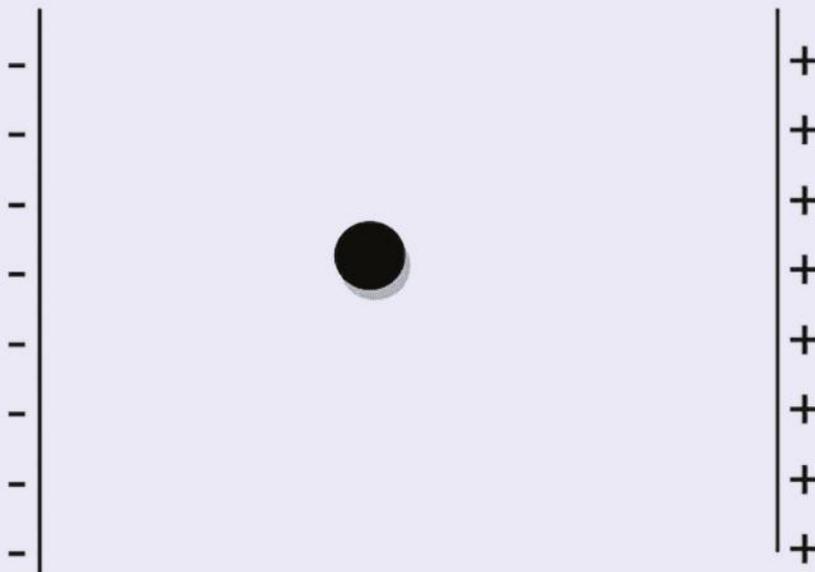
Exercício resolvido

1. (UFPB)

Impressoras de jato de tinta funcionam pelo envio sobre o papel de gotas de tinta eletricamente carregadas, que são aceleradas através de um campo elétrico. A gota é inserida em uma região onde há um campo elétrico uniforme criado por duas placas paralelas carregadas, conforme mostrado na figura abaixo, e é acelerada para a esquerda.

Uma gota de massa $m = 10^{-6}$ kg adquire uma aceleração $a = 2,0$ m/s², em um campo elétrico de intensidade $E = 5 \cdot 10^6$ N/C.

Considerando essas informações e desprezando a ação da gravidade, conclui-se que a carga elétrica da gota corresponde a:



a) $2 \cdot 10^{-13}$ C

b) $4 \cdot 10^{-13}$ C

c) $6 \cdot 10^{-13}$ C

d) $8 \cdot 10^{-13}$ C

e) $10 \cdot 10^{-13}$ C

Resolução:

A força aplicada na partícula eletrizada é dada por:

$$F = q E$$

Assim:

$$F = m a \text{ (2ª Lei de Newton)}$$

Então:

$$q E = m a$$

$$q \cdot 5 \cdot 10^6 = 10^{-6} \cdot 2,0$$

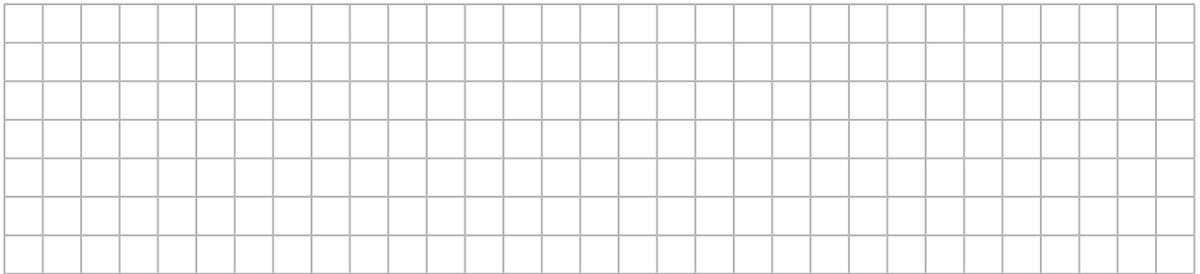
$$q = 4 \cdot 10^{-13} \text{ C}$$

Resposta: B

3. (Uece)

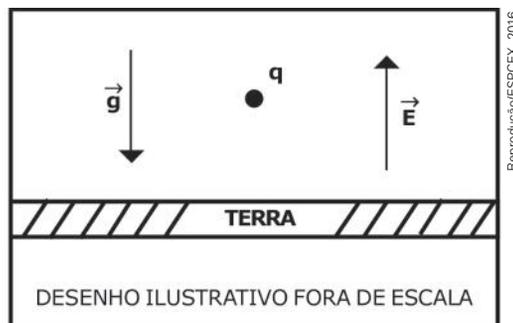
Imediatamente antes de um relâmpago, uma nuvem tem em seu topo predominância de moléculas com cargas elétricas positivas, enquanto sua base é carregada negativamente. Considere um modelo simplificado que trata cada uma dessas distribuições como planos de carga paralelos e com distribuição uniforme. Sobre o vetor campo elétrico gerado por essas cargas em um ponto entre o topo e a base, é correto afirmar que

- a) é vertical e tem sentido de baixo para cima.
- b) é vertical e tem sentido de cima para baixo.
- c) é horizontal e tem mesmo sentido da corrente de ar predominante no interior da nuvem.
- d) é horizontal e tem mesmo sentido no norte magnético da Terra.



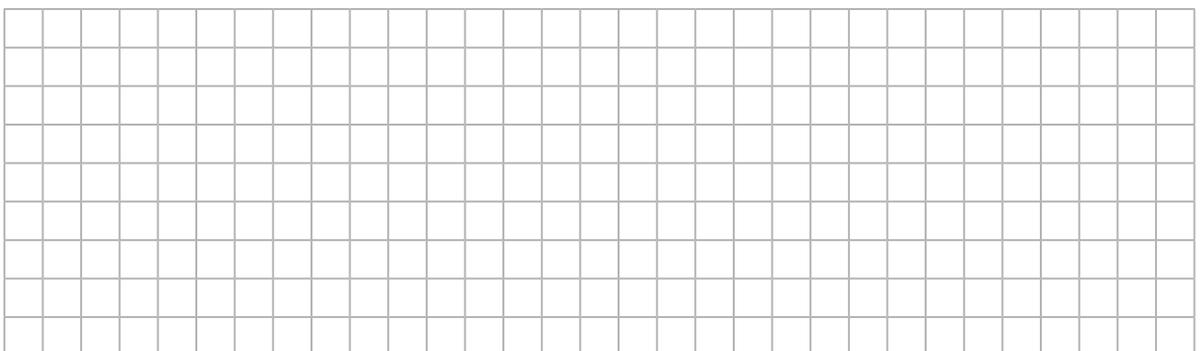
4. (Aman-RJ)

Uma partícula de carga q e massa 10^{-6} kg foi colocada num ponto próximo à superfície da Terra onde existe um campo elétrico uniforme, vertical e ascendente de intensidade $E = 10^5$ N/C.



Sabendo que a partícula está em equilíbrio, considerando a intensidade da aceleração da gravidade $g = 10$ m/s², o valor da carga q e o seu sinal são respectivamente:

- a) 10^{-3} μ C, negativa
- b) 10^{-5} μ C, positiva
- c) 10^{-5} μ C, negativa
- d) 10^{-4} μ C, positiva
- e) 10^{-4} μ C, negativa



3

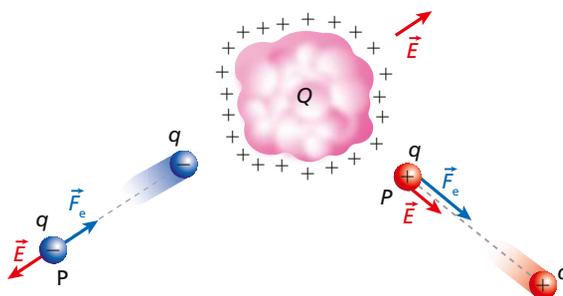
Potencial elétrico

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Reconhecer o potencial elétrico como propriedade do espaço e relacionada ao movimento de cargas elétricas.

Energia potencial eletrostática e o conceito de potencial em um campo elétrico



Banco de imagens/Arquivo da editora

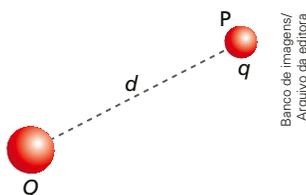
A carga de prova q localizada no ponto **P** armazena uma energia potencial que recebe o nome de **energia potencial eletrostática** ou **elétrica**, simbolizada por E_p . Essa energia potencial é transformada, em seguida, em energia cinética. Assim, é possível afirmar que a carga Q do condutor produz um campo elétrico, por sua vez representado por uma grandeza escalar chamada **potencial eletrostático** (ou elétrico).

Define-se o potencial v pela expressão:

$$v = \frac{E_p}{q} \therefore E_p = q v$$

Potencial em um campo elétrico criado por uma partícula eletrizada

Dado um campo elétrico criado por uma partícula eletrizada com carga Q , vamos colocar uma carga de prova q em um ponto **P** desse campo, a uma distância d de Q .



Banco de imagens/Arquivo da editora

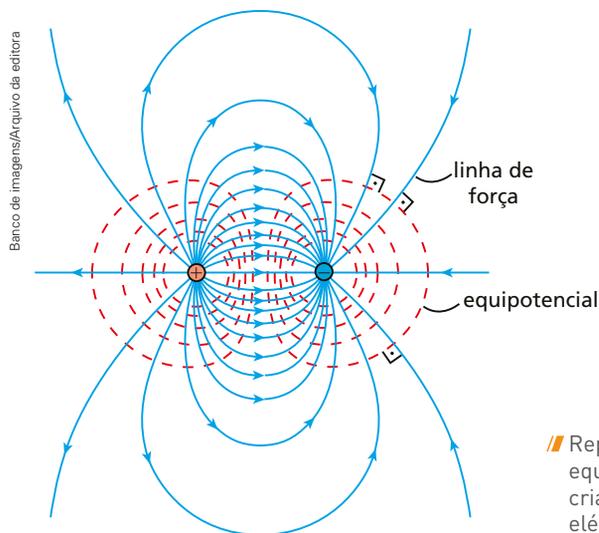
Potencial em um campo elétrico criado por duas ou mais partículas eletrizadas

Sabe-se que o potencial elétrico é uma grandeza escalar. Desse modo, tem-se, no ponto **A**, um potencial resultante de valor igual à **soma algébrica** dos n potenciais criados por cada uma das cargas. Assim, vale a soma dos potenciais conforme a equação:

$$v_A = v_1 + v_2 + \dots + v_n$$

Equipotenciais

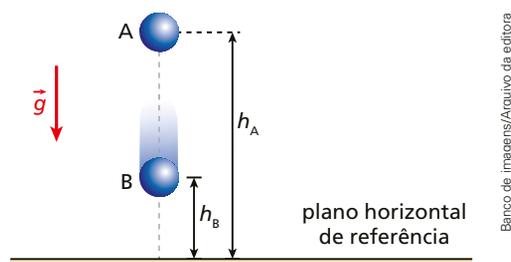
Equipotenciais é o nome dado às linhas (no plano) ou superfícies (no espaço) onde atribui-se o mesmo valor algébrico a todos os pontos do potencial.



// Representação de equipotenciais do campo criado por um dipolo elétrico.

Trabalho da força elétrica

Considere um corpo de massa m , em queda livre partindo do repouso em um campo gravitacional uniforme, conforme a figura.



A grandeza $v_A - v_B$ é a representação da diferença de potencial (ddp) ou tensão elétrica entre os pontos **A** e **B**.

Ao representar essa diferença por U , o trabalho da força elétrica entre **A** e **B** também pode ser determinado por:

$$\tau_{AB} = q (v_A - v_B) = q U$$

Vale apontar que o trabalho realizado pela força elétrica que atua sobre uma partícula eletrizada com carga q se deslocando, nesse campo, do ponto **A** para o ponto **B**, **não depende** da trajetória descrita por ela. Isso porque a força eletrostática é **conservativa**.

Propriedades do campo elétrico

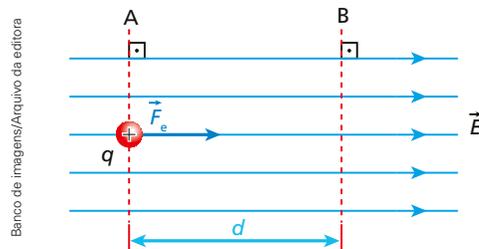
O **potencial elétrico decresce** ao longo e no sentido de uma linha de força.

Quando se abandona, sob a ação exclusiva de um campo elétrico, uma partícula eletrizada com **carga positiva**, ela move-se **no sentido da linha de força**, deslocando-se para pontos de **menor** potencial.

Quando se abandona, sob a ação exclusiva de um campo elétrico, uma partícula eletrizada com **carga negativa**, ela move-se **no sentido oposto ao da linha de força**, deslocando-se para pontos de **maior** potencial.

Diferença de potencial entre dois pontos de um campo elétrico uniforme

A diferença de potencial (ddp) entre duas equipotenciais em um campo elétrico uniforme é igual ao produto da intensidade do campo E pela distância **entre as equipotenciais**. Vale apontar, nesse caso, que o valor de U deve sempre ser usado em módulo.



$$E d = U$$

Potencial elétrico criado por um condutor eletrizado

Sob a influência exclusiva de um campo elétrico, partículas eletrizadas deslocam-se espontaneamente entre dois pontos quaisquer somente se, entre eles, houver uma diferença de potencial (ddp) diferente de zero.

Tem-se também que, em um condutor em equilíbrio eletrostático, a diferença de potencial (ddp) entre dois pontos quaisquer é sempre nula.

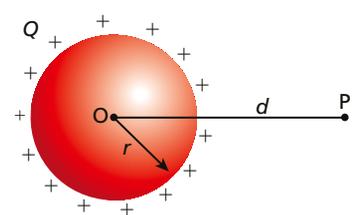
Conclui-se que, tanto nos pontos da superfície quanto nos pontos internos de um condutor em equilíbrio eletrostático, o potencial elétrico apresenta o mesmo valor. Há diferença nos valores de potencial apenas nos pontos externos ao condutor.

$$v_{\text{interno}} = v_{\text{superfície}}$$

Potencial elétrico criado por um condutor esférico eletrizado

Considere uma esfera condutora de raio r eletrizada com carga Q , isolada e em equilíbrio eletrostático. Para pontos externos à esfera condutora, o valor do potencial varia em função da distância d do ponto central O da esfera.

Dessa forma, sendo k a constante eletrostática do meio, temos, para um ponto externo P :

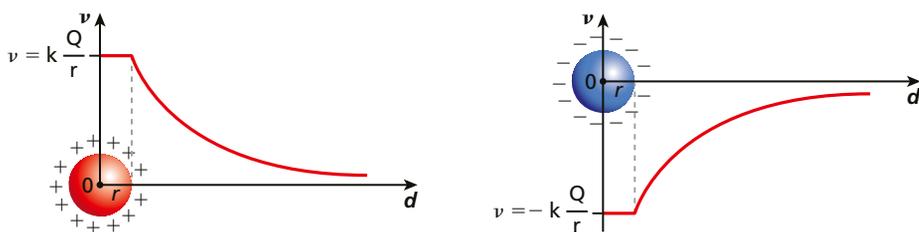


$$v_{\text{externo}} = k \frac{Q}{d}$$

Se $d = r$, obtemos

$$v_{\text{externo}} = k \frac{Q}{r}$$

Apresentamos a seguir gráficos do potencial em função da distância ao centro da esfera eletrizada.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Capacitância

Recebe o nome de capacitância C do condutor a constante igual à razão entre a carga elétrica Q recebida por um condutor e o potencial v atingido por ele.

$$C = \frac{Q}{v}$$

A capacitância indica a capacidade de armazenamento de cargas pelo condutor. Assim, no caso de dois condutores isolados e inicialmente neutros atingirem o mesmo potencial, o de maior capacitância armazenará uma carga elétrica maior.

Capacitância de um condutor esférico

A capacitância do condutor no formato esférico depende de sua dimensão e do meio em que está imerso, sendo diretamente proporcional ao raio r . Assim:

$$C = \frac{r}{k}$$

Energia potencial eletrostática de um condutor

Seja um condutor neutro de capacitância C , que recebe uma carga elétrica Q . Sendo v o potencial atingido pelo condutor, a energia potencial elétrica adquirida por ele é calculada por:

$$E_p = \frac{Qv}{2}$$

Sendo $Q = Cv$, é possível também escrever:

$$E_p = \frac{Cv^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

Condutores em equilíbrio eletrostático

O potencial de equilíbrio é a razão entre o somatório das cargas elétricas existentes nos condutores e o somatório das respectivas capacitâncias.

$$v = \frac{Q_A + Q_B + \dots + Q_n}{C_A + C_B + \dots + C_n}$$

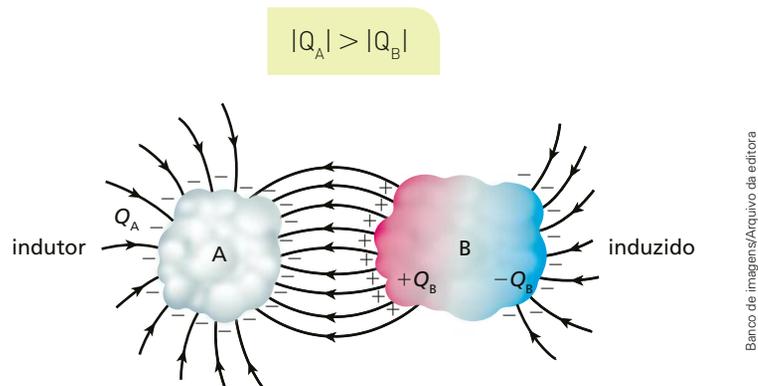
Indução eletrostática

Denomina-se **indução** ou **influência eletrostática** o fenômeno de separação ou redistribuição de cargas em um corpo causada por um campo elétrico criado por cargas presentes em outro corpo.

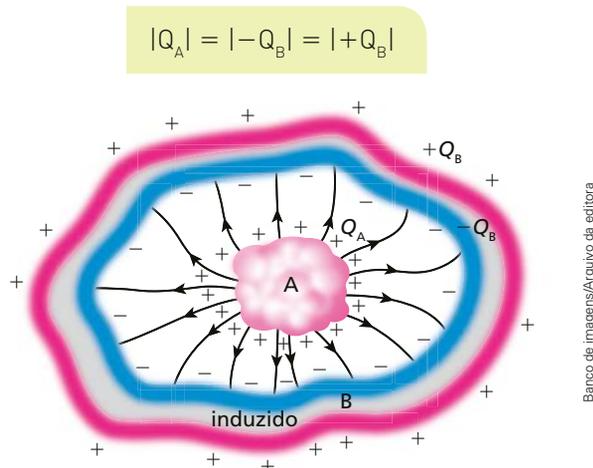
As cargas elétricas encontradas em elementos correspondentes têm o mesmo valor em módulo, mas têm sinais opostos.

Apesar de haver indução também entre condutores eletrizados, costuma-se ressaltar o caso em que um deles está neutro, ficando apenas o outro eletrizado. Nesse caso, temos duas situações a considerar: **indução parcial** e **indução total**.

Na indução parcial:



Na indução total:

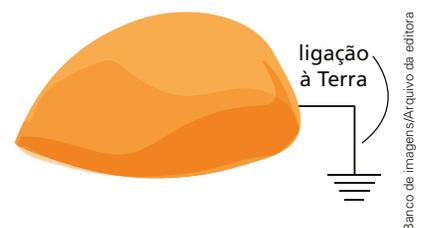


O potencial da Terra

As distribuições de carga da crosta terrestre e da atmosfera determinam, num ponto da Terra, um potencial que, a rigor, é negativo, uma vez que a crosta acumula maior quantidade de cargas negativas que a atmosfera. Como, no entanto, esse potencial – da crosta terrestre – é utilizado como referência, atribui-se a ele o valor zero. Portanto, o potencial de um corpo em relação à Terra é igual à diferença de potencial (ddp) entre ele e a Terra.

Ao lado, temos a representação simbólica de um corpo ligado à Terra.

Por convenção:

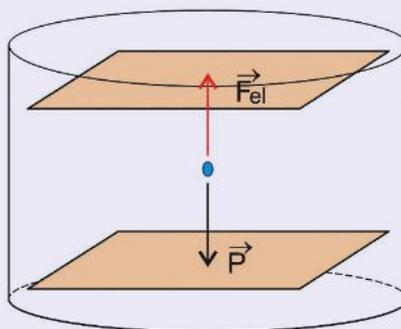


$v_{\text{Terra}} = 0$

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (FGV-SP) Muitos experimentos importantes para o desenvolvimento científico ocorreram durante o século XIX. Entre eles, destaca-se a experiência de Millikan, que determinou a relação entre a carga q e a massa m de uma partícula eletrizada e que, posteriormente, levaria à determinação da carga e da massa das partículas elementares. No interior de um recipiente cilíndrico, em que será produzido alto vácuo, duas placas planas e paralelas, ocupando a maior área possível, são mantidas a uma curta distância d , e entre elas é estabelecida uma diferença de potencial elétrico constante U . Variando-se d e U , é possível fazer com que uma partícula de massa m eletrizada com carga q fique equilibrada, mantida em repouso entre as placas. No local da experiência, a aceleração da gravidade é constante de intensidade g .



Nessas condições, a relação $\frac{q}{m}$ será dada por

- a) $\frac{d \cdot U^2}{g}$.
b) $\frac{g \cdot U^2}{d}$.
c) $\frac{d \cdot g}{U^2}$.
d) $\frac{d \cdot U}{g}$.
e) $\frac{d \cdot g}{U}$.

Resolução:

Entre as placas existe um campo elétrico uniforme de intensidade igual a:

$$E d = U \Rightarrow E = \frac{U}{d}$$

A força que esse campo aplica na retícula eletrizada é dada por:

$$F = q E$$

Assim:

$$F = \frac{qU}{d}$$

Como a partícula fica em equilíbrio, temos $F = P = m g$.

$$m g = \frac{qU}{d} \Rightarrow \frac{g d}{U} = \frac{q}{m}$$

$$\frac{q}{m} = \frac{g d}{U}$$

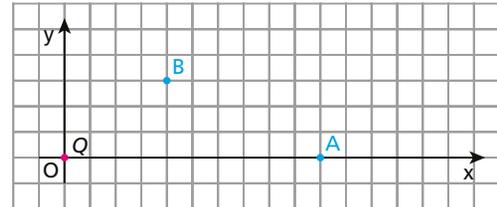
Resposta: E

Questões

1. (Ucsal-BA)

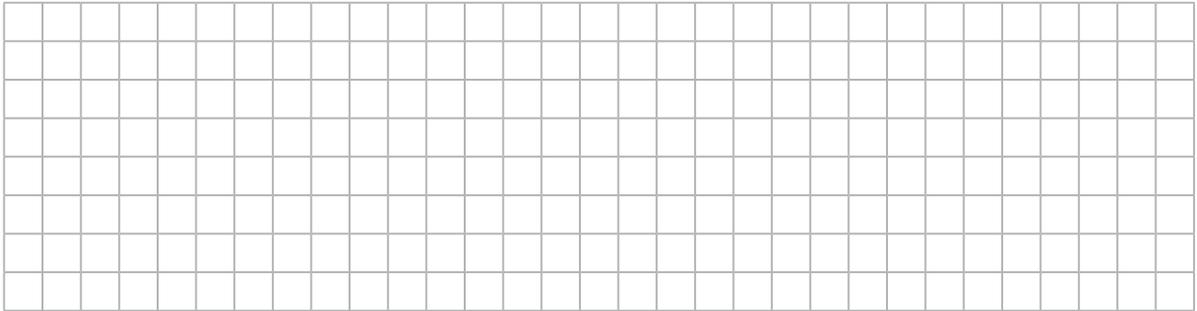
Considere uma carga puntiforme positiva Q , fixa na origem O de um sistema de eixos cartesianos, e dois pontos A e B desse plano, como mostra a figura ao lado.

No ponto B , o vetor campo elétrico tem intensidade E e o potencial elétrico é V . No ponto A , os valores dessas grandezas serão, respectivamente:



Banco de imagens/
Arquivo da editora

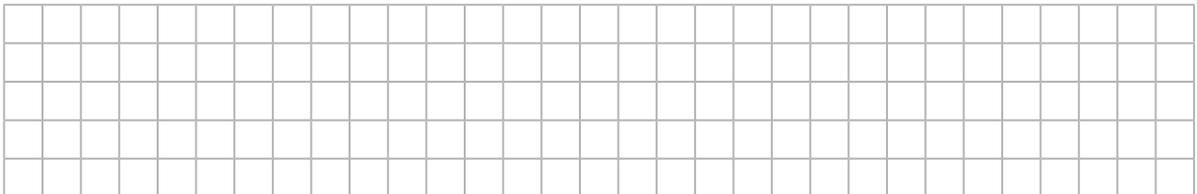
- a) $\frac{E}{4}$ e $\frac{V}{2}$. b) $\frac{E}{2}$ e $\frac{V}{2}$. c) E e V . d) $2E$ e $2V$. e) $4E$ e $2V$.



2. (UPE)

Considere a Terra como uma esfera condutora, carregada uniformemente, cuja carga total é $6,0 \mu\text{C}$ e a distância entre o centro da Terra e um ponto P na superfície da Lua é de aproximadamente $4 \cdot 10^8 \text{ m}$. A constante eletrostática no vácuo é de aproximadamente $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. É CORRETO afirmar que a ordem de grandeza do potencial elétrico nesse ponto P, na superfície da Lua vale, em volts:

- a) 10^{-2} b) 10^{-3} c) 10^{-4} d) 10^{-5} e) 10^{-12}

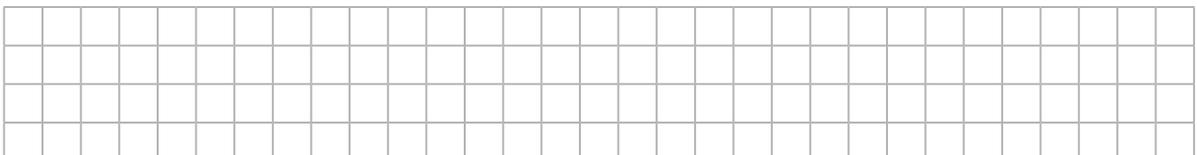


3. (Uece)

Os aparelhos de televisão que antecederam a tecnologia atual, de LED e LCD, utilizavam um tubo de raios catódicos para produção da imagem. De modo simplificado, esse dispositivo produz uma diferença de potencial da ordem de 25 kV entre pontos distantes de 50 cm um do outro. Essa diferença de potencial gera um campo elétrico que acelera elétrons até que se choquem com a frente do monitor, produzindo os pontos luminosos que compõem a imagem.

Com a simplificação acima, pode-se estimar corretamente que o campo elétrico por onde passa esse feixe de elétrons é

- a) $0,5 \text{ kV/m}$. b) 25 kV . c) $50\,000 \text{ V/m}$. d) $1,250 \text{ kV} \cdot \text{cm}$.



4

Corrente elétrica, Tensão elétrica e resistência elétrica

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Relacionar as grandezas da Eletrodinâmica às propriedades de componentes de circuitos em diferentes associações.

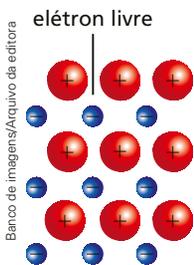
Corrente elétrica

Definimos **corrente elétrica** como um conjunto de portadores de carga elétrica em movimento ordenado em relação a um sistema de referência especificado. Na Eletrodinâmica clássica, o sistema de referência escolhido é normalmente o próprio condutor através do qual flui a corrente elétrica. Dessa forma, quando o referencial não é especificado, subentende-se que este seja o próprio condutor.

Portadores de carga elétrica

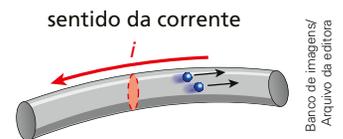
Para que os portadores de carga elétrica sejam especificados, deve-se estabelecer qual o tipo de condutor elétrico será analisado. Normalmente, os condutores de corrente elétrica são classificados em três tipos: **metálicos, eletrolíticos e gasosos**.

- Nos condutores metálicos, os elétrons “livres” são as partículas portadoras das cargas elétricas.
- Nos condutores eletrolíticos, íons positivos e negativos que se deslocam em sentidos opostos constituem a corrente elétrica.
- Nos condutores gasosos, íons positivos e negativos e elétrons livres formam a corrente elétrica.

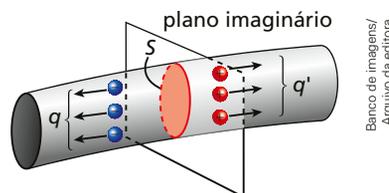


O sentido da corrente elétrica

Por convenção, é adotado **como sentido da corrente elétrica o sentido de movimento que teria, ou que tem, a carga elétrica positiva**.



Intensidade da corrente elétrica

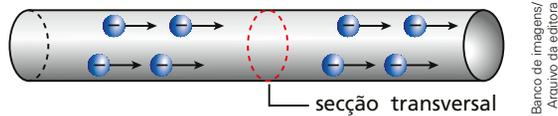


Define-se **intensidade média de corrente elétrica** entre instantes de tempo como sendo a grandeza escalar i_m , tal que:

$$i_m = \frac{|q| + |q'|}{\Delta t}$$

Chamando $\Delta Q = |q|$, é possível determinar a quantidade total de carga elétrica que atravessa a seção transversal do condutor pela equação:

$$\Delta Q = n e$$



Sendo:

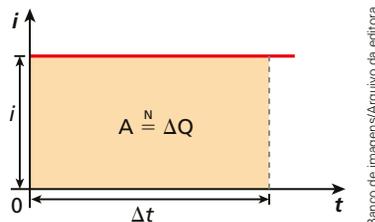
- n o número de partículas (elétrons);
- e a carga elementar;
- $e = |q_{\text{elétron}}| = q_{\text{próton}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Dessa forma, a **intensidade média de corrente elétrica** (i_m) em um condutor metálico pode ser determinada por:

$$i_m = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Propriedade gráfica

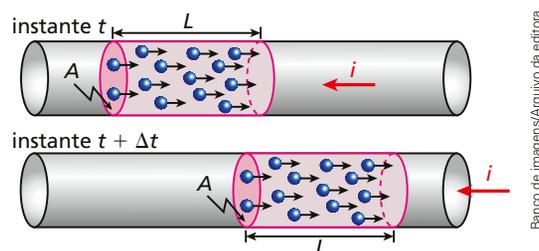
Representamos no par de eixos que se segue a intensidade da corrente elétrica i em função do tempo t para uma corrente elétrica contínua e constante. A área A indicada nos fornece a quantidade de carga elétrica (ΔQ) que atravessa a seção do condutor em um intervalo de tempo Δt .



Cálculo da velocidade de deriva

Seja um condutor com área de seção transversal A , percorrido por uma corrente elétrica contínua e constante de intensidade i . Considere que nesse metal existam N elétrons livres por unidade de volume. A velocidade média de deslocamento desses elétrons livres ao longo do fio condutor pode ser calculada por:

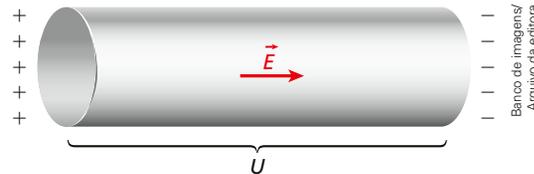
$$v = \frac{i}{NAe}$$



Tensão elétrica

A **tensão elétrica** (U) ou **diferença de potencial elétrico** relaciona a energia potencial elétrica (E_{el}) que será recebida por uma determinada unidade de carga (q), nessa movimentação de um polo para outro.

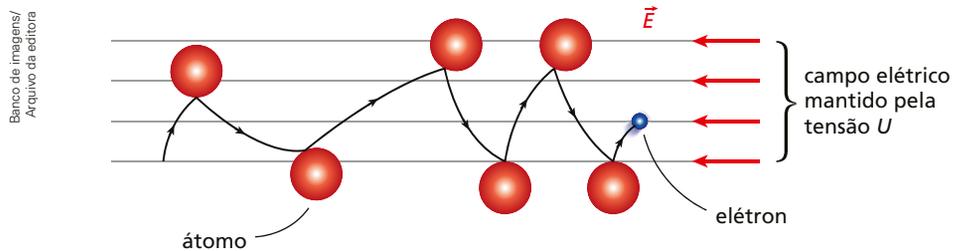
$$U = \frac{E_{el}}{q}$$



Resistor

Chama-se **resistor** todo elemento de circuito que tenha como principal propriedade sua resistência elétrica.

A seguir é representado, de forma simplificada, como um elétron livre se desloca no interior de um condutor metálico submetido a uma tensão elétrica U .



Efeito Joule – Lei de Joule

Efeito Joule é tradicionalmente conhecido como a conversão, num resistor percorrido por uma corrente elétrica, de energia elétrica em energia térmica. Sempre que houver uma corrente elétrica atravessando qualquer elemento de circuito no qual exista alguma resistência elétrica (desejável ou não), fatalmente ocorrerá algum Efeito Joule.

1ª Lei de Ohm

De acordo com essa lei, na classe de resistores ôhmicos, deve ser constante a razão entre a **tensão** (U) e a **intensidade de corrente** (i). Essa constante é a **resistência elétrica** (R) do condutor metálico. Nesse caso, essas três grandezas se relacionam pela equação:

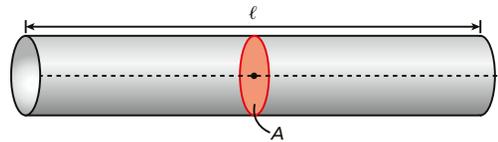
$$U = Ri$$

Para a classe dos condutores lineares, é, portanto, verdadeira a proposição seguinte, conhecida como a **1ª Lei de Ohm**.

A razão entre a tensão elétrica e a intensidade de corrente elétrica num trecho de circuito de fio condutor, para uma mesma temperatura, é constante.

2ª Lei de Ohm

Considere um fio condutor de comprimento ℓ e seção transversal constante de área A , conforme imagem a seguir.



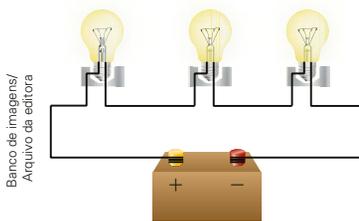
Banco de imagens/
Arquivo da editora

Constata-se experimentalmente que a resistência elétrica R desse fio pode ser escrita por:

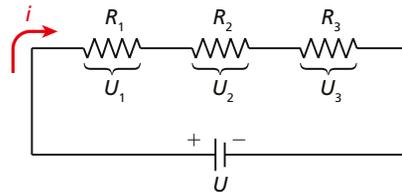
$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

Associação em série

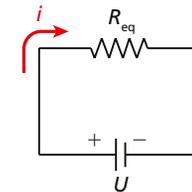
A seguir é apresentada uma sequência de imagens com três lâmpadas incandescentes (consideradas resistores) associadas em série, o esquema que representa o circuito e o circuito final equivalente.



lâmpadas associadas em série



representação esquemática do circuito



circuito equivalente

É possível aplicar a 1ª Lei de Ohm para cada elemento da associação. A soma membro a membro das tensões elétricas nos fornece:

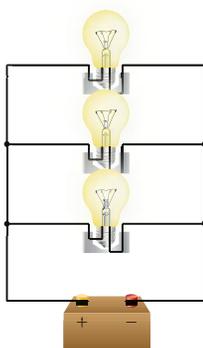
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Portanto:

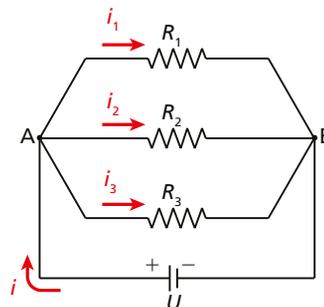
O **resistor equivalente** possui resistência igual à soma das resistências elétricas dos resistores associados em série.

Associação em paralelo

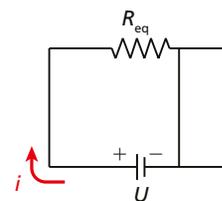
A seguir é apresentada uma sequência de imagens com três lâmpadas incandescentes associadas em paralelo, a representação esquemática e o circuito final equivalente.



lâmpadas associadas em paralelo



representação esquemática do circuito



circuito equivalente

Banco de imagens/Arquivo da editora

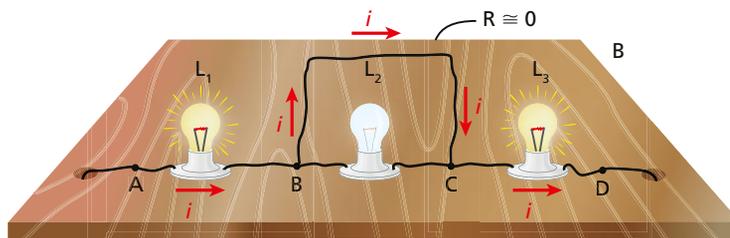
É possível aplicar a 1ª Lei de Ohm para cada elemento da associação. A soma membro a membro das intensidades de corrente elétrica nos fornece:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Portanto:

A soma dos inversos das resistências dos resistores associados em paralelo é igual ao inverso da **resistência elétrica equivalente**.

Curto-circuito



Banco de imagens/Arquivo da editora

Como não há diferença de potencial entre os pontos **B** e **C**, consequentemente a lâmpada **L₂** se apaga.

Nessa situação, a lâmpada entre os pontos **B** e **C** está em curto-circuito.

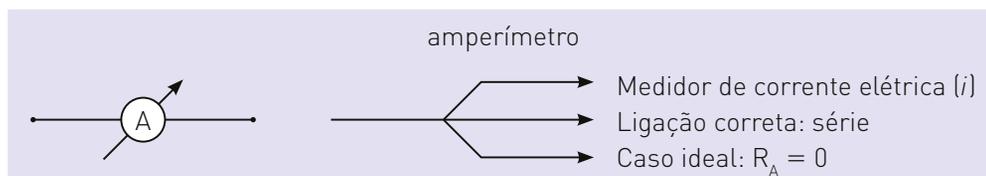
Medidores elétricos

Galvanômetro

O galvanômetro é um dispositivo utilizado em circuitos elétricos para detectar corrente elétrica ou tensão elétrica.

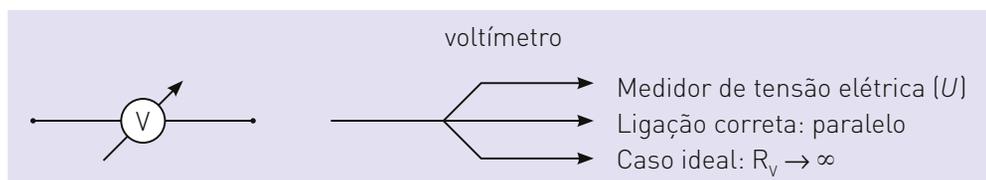
Transformação de um galvanômetro em um amperímetro

Amperímetro ideal é o aparelho hipotético cuja resistência elétrica é nula, ou seja, suas características não interferem na medida da corrente elétrica.



Transformação de um galvanômetro em um voltímetro

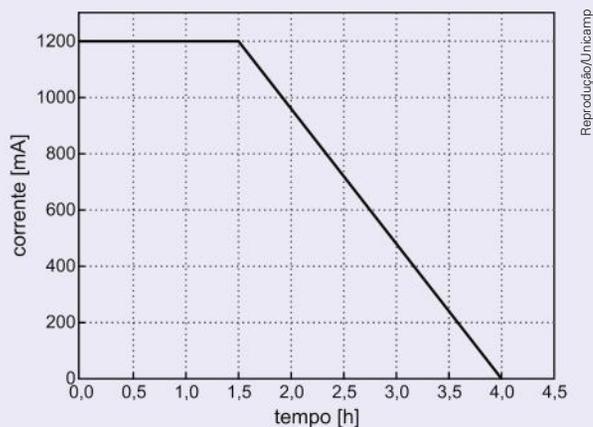
Voltímetro ideal é o aparelho hipotético cuja resistência elétrica apresenta valor que tende ao infinito.



Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (Unicamp-SP) Tecnologias móveis como celulares e tablets têm tempo de autonomia limitado pela carga armazenada em suas baterias. O gráfico abaixo apresenta, de forma simplificada, a corrente de recarga de uma célula de bateria de íon de lítio, em função do tempo.

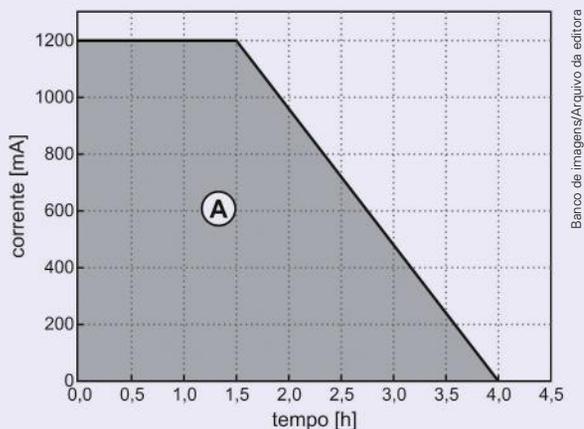


Considere uma célula de bateria inicialmente descarregada e que é carregada seguindo essa curva de corrente. A sua carga no final da recarga é de

- a) 3,3 C
- b) 11 880 C
- c) 1 200 C
- d) 3 000 C

Resolução:

A carga final é numericamente igual à área do trapézio, destacado na figura abaixo:



Logo,

$$Q \stackrel{N}{=} A = \frac{4 + 1,5}{2} \cdot 1200 \Rightarrow Q = 3300 \text{ mAh} = (3300 \cdot 10^{-3} \text{ A}) \cdot (3,6 \cdot 10^3 \text{ s}) = 11880 \text{ As}$$

$$Q = 11880 \text{ C}$$

Resposta: B

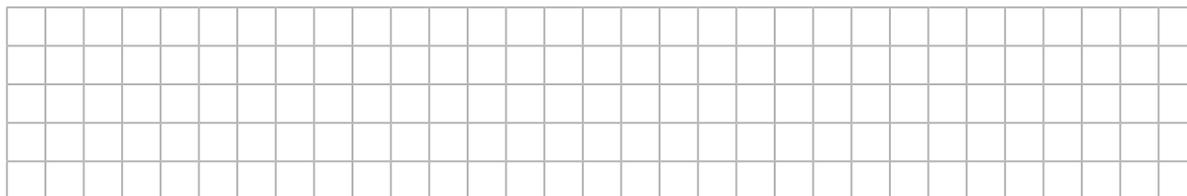
1. (Uerj)

Aceleradores de partículas são ambientes onde partículas eletricamente carregadas são mantidas em movimento, como as cargas elétricas em um condutor. No Laboratório Europeu de Física de Partículas – CERN, está localizado o mais potente acelerador em operação no mundo. Considere as seguintes informações para compreender seu funcionamento:

- os prótons são acelerados em grupos de cerca de 3000 pacotes, que constituem o feixe do acelerador;
- esses pacotes são mantidos em movimento no interior e ao longo de um anel de cerca de 30 km de comprimento;
- cada pacote contém, aproximadamente, 10^{11} prótons que se deslocam com velocidades próximas à da luz no vácuo;
- a carga do próton é igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C e a velocidade da luz no vácuo é igual a $3 \cdot 10^8$ m · s⁻¹.

Nessas condições, o feixe do CERN equivale a uma corrente elétrica, em ampères, da ordem de grandeza de:

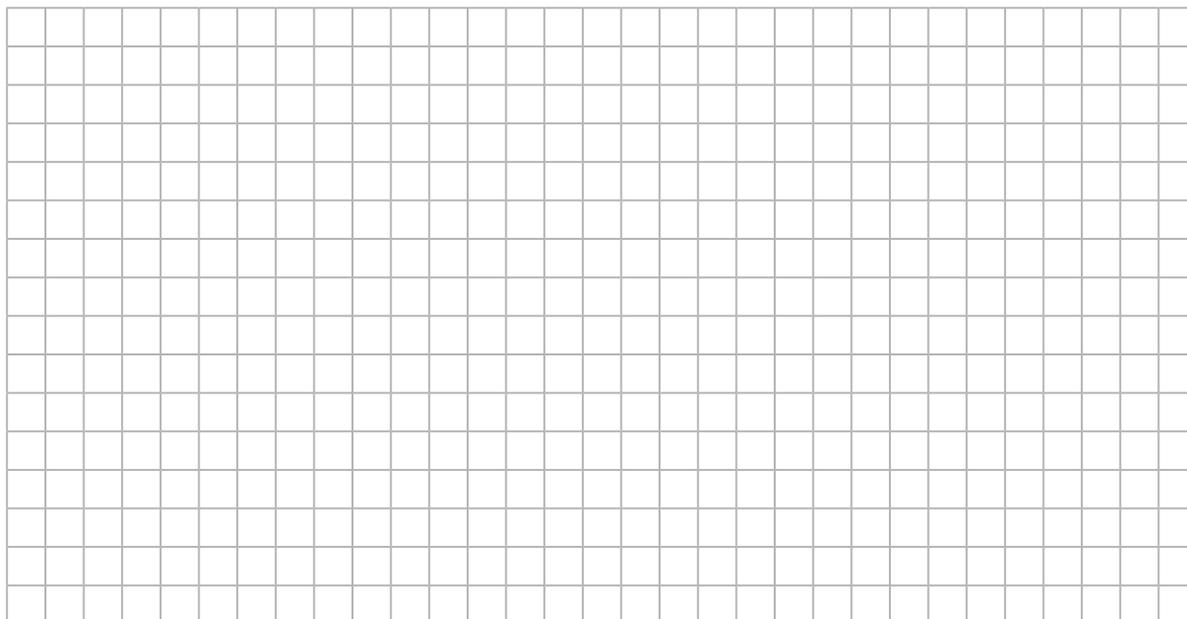
- a) 10^0 b) 10^2 c) 10^4 d) 10^6



2. (PUC-RJ)

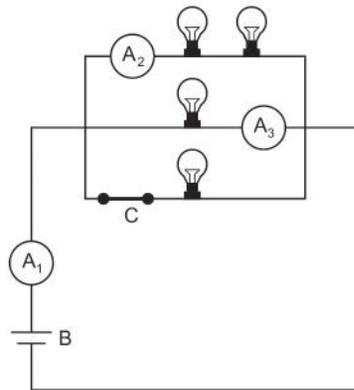
Uma estudante tem uma pequena lâmpada LED vermelha em cujas especificações lê-se o seguinte: “Queda de tensão 1,8 V corrente máxima 0,02 A”. Ela quer ligar essa lâmpada a duas pilhas AA em série, cada uma delas com voltagem de 1,5 V, mas percebe que, para isso, deve acrescentar algum resistor ao circuito.

- a) Qual deve ser a resistência mínima do resistor para que a lâmpada LED não queime?
 b) A estudante tem à sua disposição até quatro resistores de 120Ω . Quantos resistores ela deve usar para que a lâmpada opere, seguramente, em sua corrente máxima? Justifique e faça um esquema do circuito.



3. (PUC-RS)

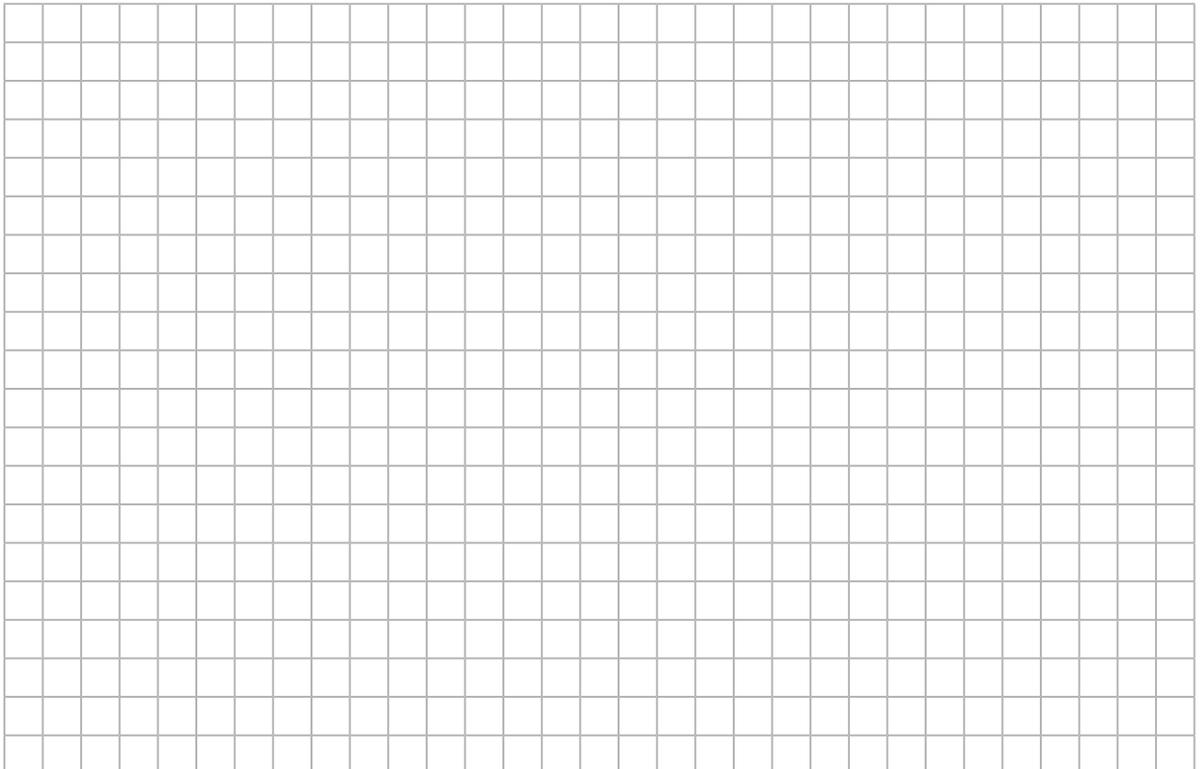
Na figura abaixo, estão representadas quatro lâmpadas idênticas associadas por fios condutores ideais a uma bateria ideal B. Uma chave interruptora C e três amperímetros ideais também fazem parte do circuito. Na figura, a chave interruptora está inicialmente fechada, e os amperímetros A_1 , A_2 e A_3 medem intensidades de correntes elétricas, respectivamente, iguais a i_1 , i_2 e i_3 .



Banco de imagens/Arquivo da editora

Quando a chave interruptora C é aberta, as leituras indicadas por A_1 , A_2 e A_3 passam a ser, respectivamente,

- a) menor que i_1 , menor que i_2 e igual a i_3 .
- b) menor que i_1 , igual a i_2 e igual a i_3 .
- c) igual a i_1 , maior que i_2 e maior que i_3 .
- d) igual a i_1 , igual a i_2 e menor que i_3 .
- e) maior que i_1 , maior que i_2 e maior que i_3 .



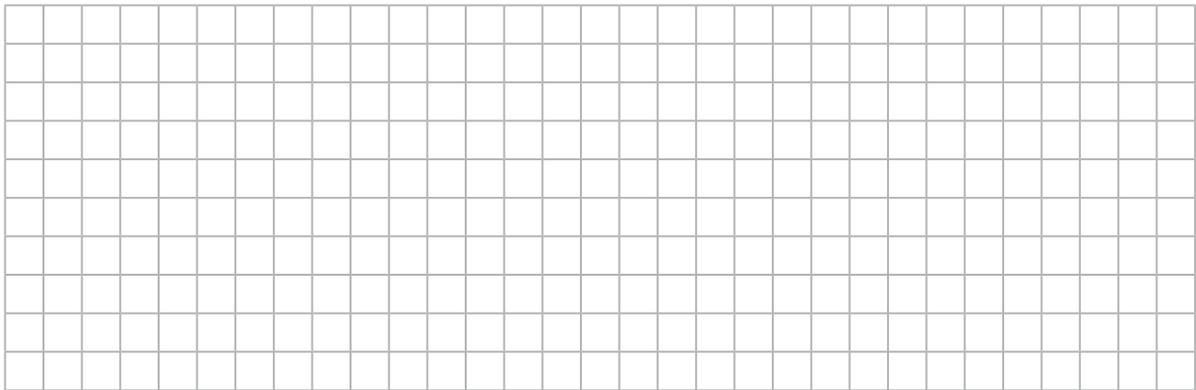
4. (UFPR)

Um engenheiro eletricista, ao projetar a instalação elétrica de uma edificação, deve levar em conta vários fatores, de modo a garantir principalmente a segurança dos futuros usuários. Considerando um trecho da fiação, com determinado comprimento, que irá alimentar um conjunto de lâmpadas, avalie as seguintes afirmativas:

1. Quanto mais fino for o fio condutor, menor será a sua resistência elétrica.
2. Quanto mais fino for o fio condutor, maior será a perda de energia em forma de calor.
3. Quanto mais fino for o fio condutor, maior será a sua resistividade.

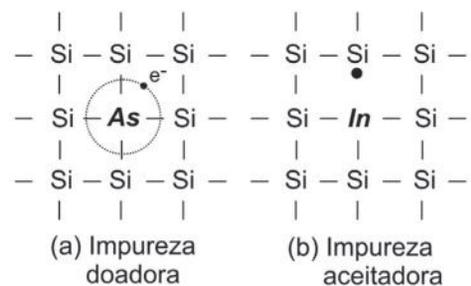
Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.
- b) Somente a afirmativa 2 é verdadeira.
- c) Somente a afirmativa 3 é verdadeira.
- d) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.



5. (UFG-GO)

Quanto à condução de eletricidade, os materiais são classificados como isolantes, semicondutores e condutores. Tecnicamente, os semicondutores são muito usados, em parte devido ao alto controle de dopagem que se tem nestes materiais, o que pode torná-los excelentes condutores. Dopar um material semicondutor significa substituir um dos átomos da rede cristalina por um átomo com um elétron em excesso (impureza doadora) ou por um átomo com um elétron faltando (impureza aceitadora), conforme ilustrado ao lado.



Banco de Imagens/Arquivo da editora

Na rede cristalina do Si, o tipo de ligação química entre a impureza e o átomo de Si e a propriedade física do material que a adição de impurezas altera, são, respectivamente,

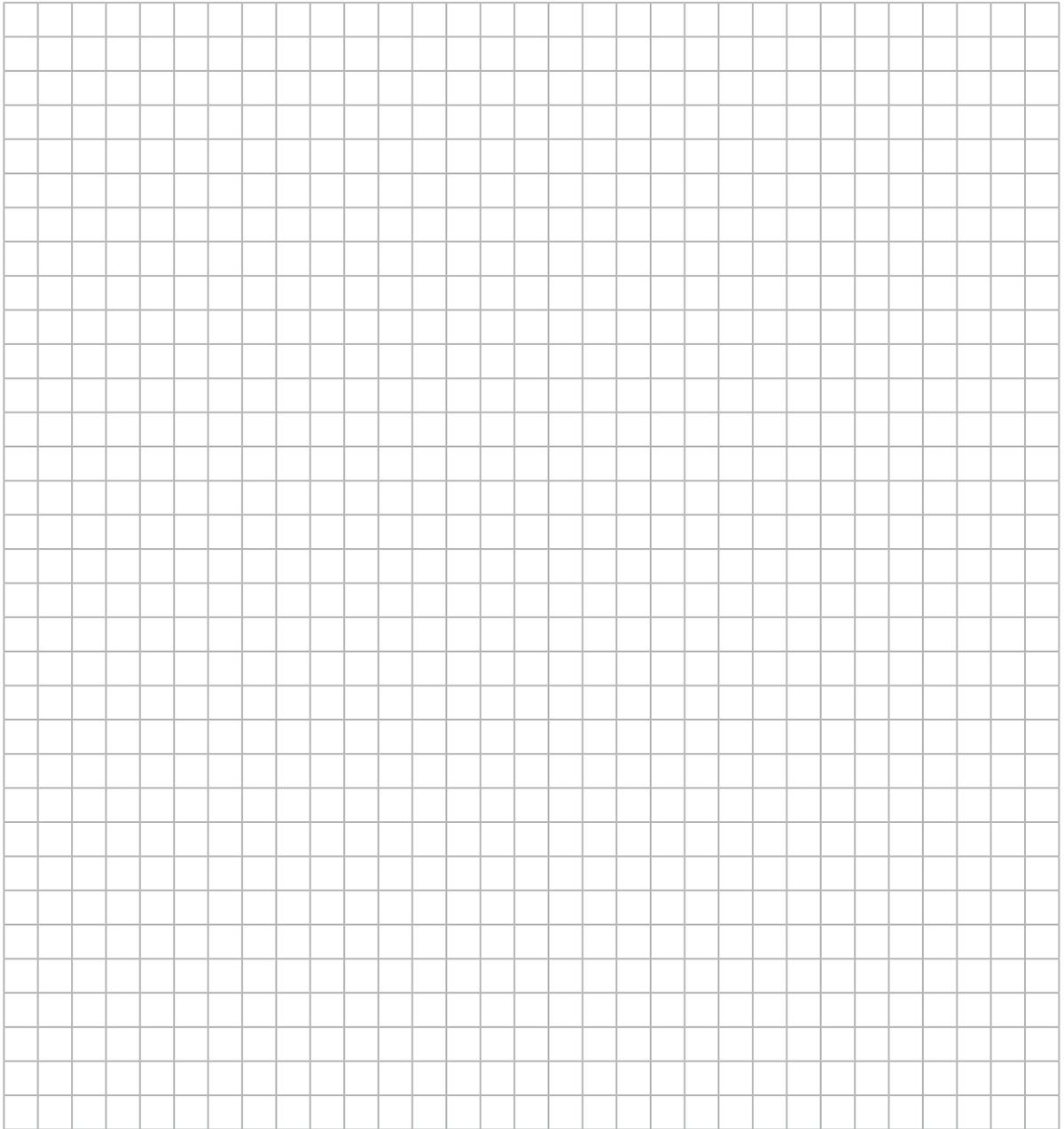
- a) iônica e resistividade.
- b) metálica e condutividade.
- c) covalente e condutividade.
- d) covalente e resistência.
- e) metálica e resistência.



6. (PUC-RJ)

Em um laboratório de eletrônica, um aluno tem à sua disposição um painel de conexões, uma fonte de 12 V e quatro resistores, com resistências $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$ e $R_4 = 40 \Omega$. Para armar os circuitos dos itens abaixo, **ele pode usar combinações em série e/ou paralelo de alguns ou todos os resistores disponíveis.**

- Sua primeira tarefa é armar um circuito tal que a intensidade de corrente fornecida pela fonte seja de 0,8 A. Faça um esquema deste circuito. Justifique.
- Agora o circuito deve ter a máxima intensidade de corrente possível fornecida pela fonte. Faça um esquema do circuito. Justifique.
- Qual é o valor da intensidade de corrente do item **b**?



TOTAL DE ACERTOS _____ / 6



5

Geradores elétricos e circuitos simples

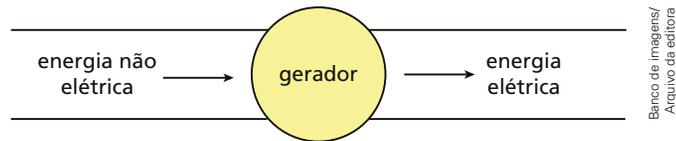
Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Compreender como as diferentes associações de geradores e receptores se manifestam em circuitos elétricos.

Geradores elétricos

Gerador elétrico é o nome dado ao elemento de circuito responsável por transformar em elétrica uma outra modalidade de energia.

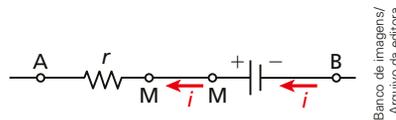


Força eletromotriz (f.e.m.) e resistência interna (r) do gerador

A força eletromotriz do gerador (f.e.m. = ϵ) é numericamente igual à energia potencial elétrica que o gerador fornece para a unidade de carga da corrente elétrica que o atravessa.

A resistência elétrica ôhmica que o gerador oferece à passagem da corrente elétrica é a sua resistência interna.

Equação do gerador

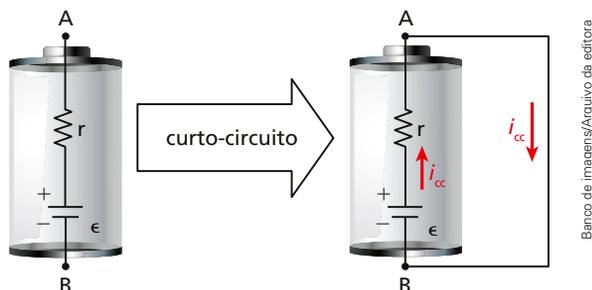


Uma vez que a tensão elétrica U entre os terminais do gerador é a ddp $v_A - v_B$, tem-se:

$$U = \epsilon - r i$$

Denomina-se **equação do gerador** a relação que fornece a tensão elétrica, entre os terminais do gerador, em função da intensidade de corrente elétrica que o atravessa. Para um mesmo gerador, as grandezas ϵ e r são consideradas constantes.

Gerador em curto-circuito (i_{cc})



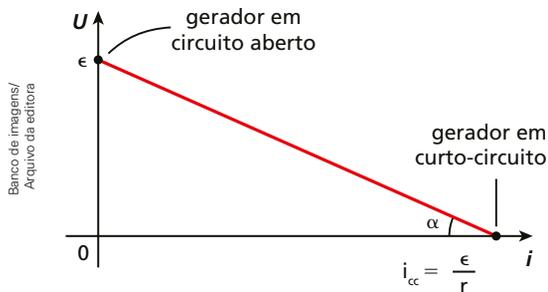
Quando o gerador entra em curto-circuito, tem-se:

$$i_{cc} = \frac{\epsilon}{r}$$

Essa corrente elétrica recebe o nome de corrente elétrica de curto-circuito. Neste caso, toda a energia elétrica que a carga recebe do gerador é dissipada no resistor interno por efeito Joule.

Curva característica do gerador

O gráfico de tensão elétrica em função da corrente elétrica nos fornece a curva característica do gerador.

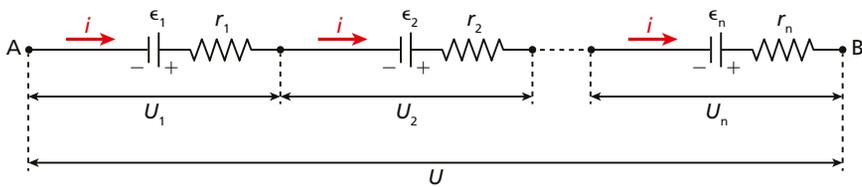


Quando $i = 0$, tem-se $U = E$; nesse caso, o gerador está em circuito aberto. Quando $U = 0$, tem-se $i = i_{cc}$; nesse caso, o gerador está curto circuitado.

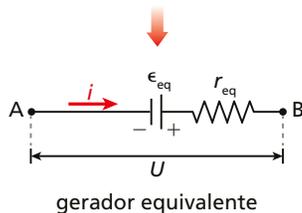
$$\text{tg } \alpha = \frac{N}{r}$$

Associação em série

A ilustração apresenta n geradores associados em série e o seu equivalente.



associação em série



gerador equivalente

Temos:

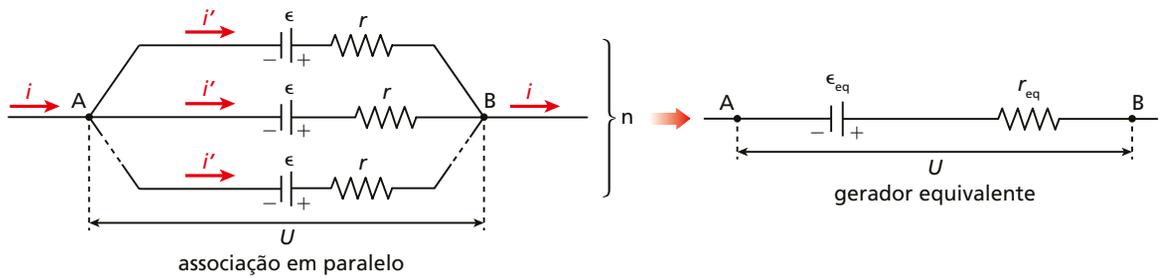
$$U = \epsilon_{eq} - r_{eq} i$$

$$\epsilon_{eq} = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots + \epsilon_n$$

$$r_{eq} = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

Associação em paralelo

A ilustração apresenta n geradores iguais associados em paralelo e o seu equivalente.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Temos:

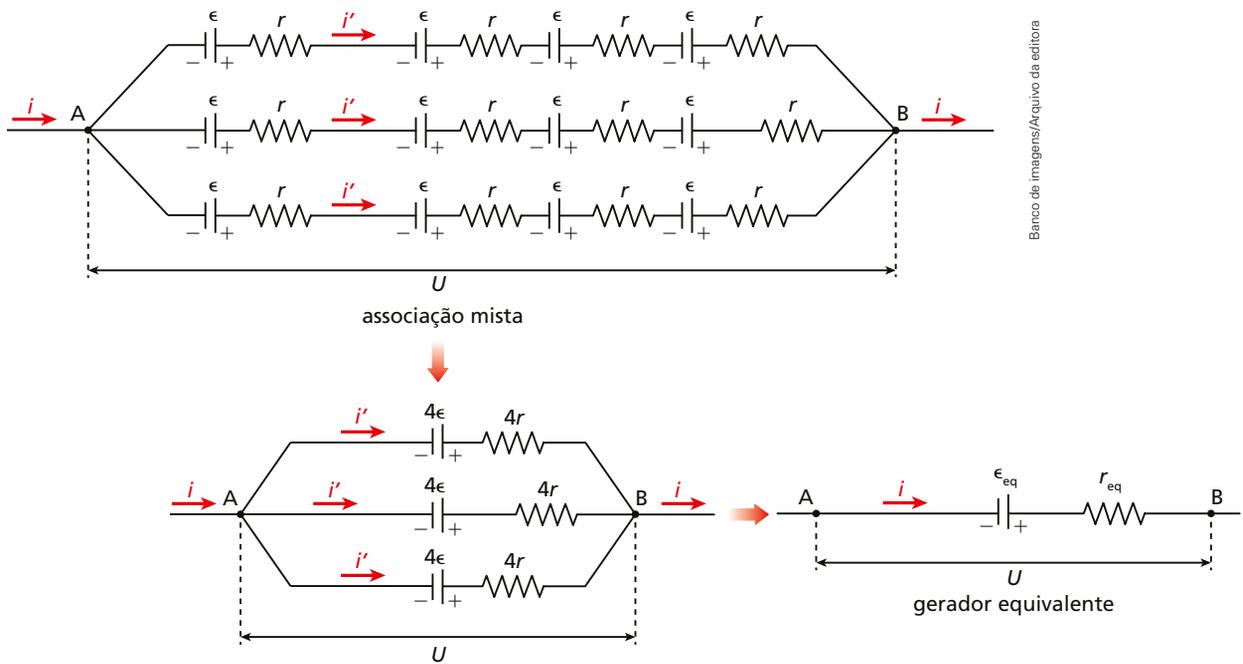
$$U = \epsilon_{eq} - r_{eq} i$$

$$\epsilon_{eq} = \epsilon$$

$$r_{eq} = \frac{r}{n}$$

Associação mista de geradores iguais

Neste tipo de associação, são combinados p ramos em paralelo, cada um contendo s geradores iguais associados em série.



Banco de imagens/Arquivo da editora

De modo geral:

$$\epsilon_{eq} = s\epsilon$$

$$r_{eq} = \frac{s}{p} r$$

Circuitos simples ou circuito de malha única (Lei de Pouillet)

Chama-se circuito simples o circuito em que uma única corrente elétrica atravessa todos os elementos deste circuito. O circuito elétrico mais simples é constituído de um gerador e um resistor.

Temos:

$$i = \frac{\epsilon}{R + r}$$

Essa expressão, conhecida como Lei de Ohm-Pouillet ou simplesmente Lei de Pouillet, nos permite calcular a intensidade de corrente elétrica em um circuito simples.

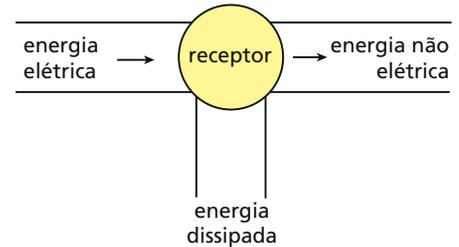
Receptores elétricos

Receptores elétricos são dispositivos que recebem energia elétrica de uma fonte e convertem essa energia em outras modalidades que não sejam exclusivamente energia térmica.

Sendo a energia elétrica por unidade de carga uma medida da ddp envolvida em cada parte desse processo, podemos fazer um balançamento energético que vale para todo receptor elétrico.

E pode ser representada por:

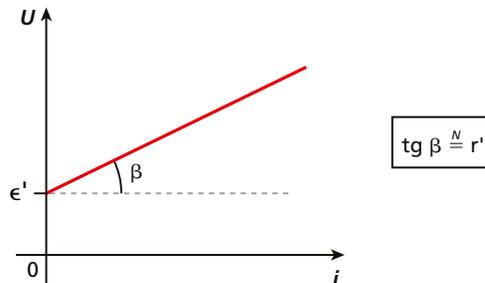
$$U = \epsilon' + r' i$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Curva característica de receptores

É possível representar o perfil de potencial elétrico do receptor graficamente:



Banco de imagens/Arquivo da editora

O circuito gerador-receptor

A intensidade da corrente elétrica pode ser determinada igualando-se as tensões elétricas nos terminais do gerador e do receptor.

$$i = \frac{\epsilon - \epsilon'}{r + r'}$$

A generalização da expressão acima para um circuito simples constituído de vários geradores, receptores e resistores é:

$$i = \frac{\Sigma \text{f.e.m.} - \Sigma \text{f.c.e.m.}}{\Sigma R} = \frac{\Sigma \epsilon - \Sigma \epsilon'}{\Sigma R}$$

Em que

- $\Sigma \text{f.e.m.}$ representa o somatório de todas as fem dos geradores;
- $\Sigma \text{f.c.e.m.}$ representa o somatório de todas as forças contraeletromotrices dos receptores;
- ΣR representa o somatório de todas as resistências elétricas.

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (UFRGS-RS) Uma fonte de tensão cuja força eletromotriz é de 15 V tem resistência interna de 5Ω . A fonte está ligada em série com uma lâmpada incandescente e com um resistor. Medidas são realizadas e constata-se que a corrente elétrica que atravessa o resistor é de 0,20 A, e que a diferença de potencial na lâmpada é de 4 V. Nessa circunstância, as resistências elétricas da lâmpada e do resistor valem, respectivamente,
- a) $0,8 \Omega$ e 50Ω d) 20Ω e 55Ω
b) 20Ω e 50Ω e) 20Ω e 70Ω
c) $0,8 \Omega$ e 55Ω

Resolução:

Como o circuito está associado em série, a intensidade da corrente elétrica é a mesma para cada

elemento do circuito, então a resistência na lâmpada R_1 será:

$$R_1 = \frac{U_1}{i} \Rightarrow R_1 = \frac{4}{0,2} \therefore R_1 = 20 \Omega$$

Para calcular a resistência do resistor, primeiramente achamos a tensão gasta com a resistência interna U_i obtida pela 1ª Lei de Ohm:

$$U_i = r i \Rightarrow U_i = 5 \cdot 0,2 \therefore U_i = 1 \text{ V}$$

Logo, a tensão sobre o resistor U_2 será:

$$U_2 = 15 - 1 - 4 \therefore U_2 = 10 \text{ V}$$

Assim, a resistência do resistor R_2 é:

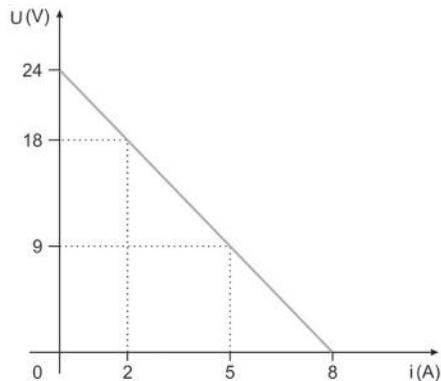
$$R_2 = \frac{U_2}{i} \Rightarrow R_2 = \frac{10}{0,2} \therefore R_2 = 50 \Omega$$

Resposta: B

Questões

1. (Uerj)

Observe o gráfico, que representa a curva característica de operação de um gerador:

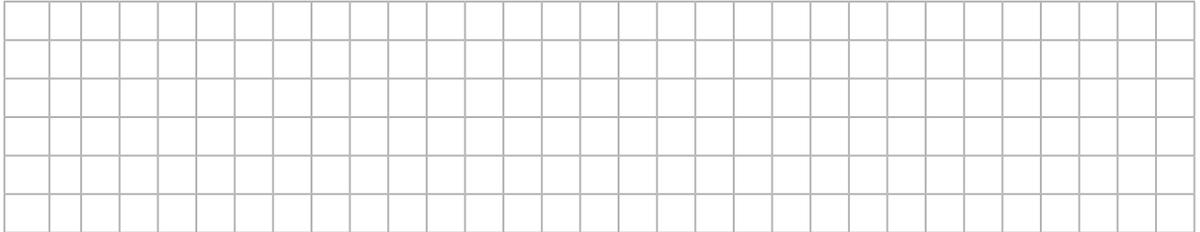
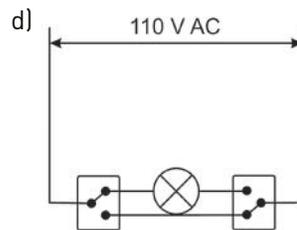
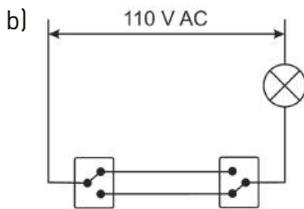
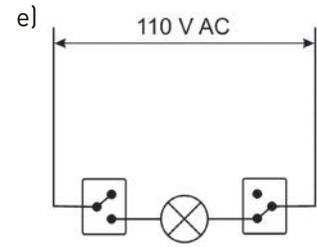
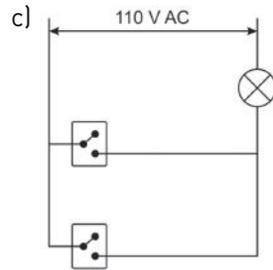
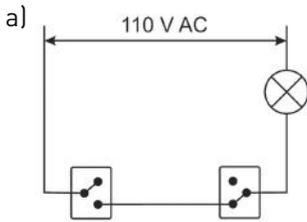
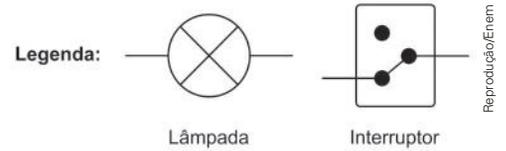


Com base nos dados, a resistência interna do gerador, em ohm, é igual a:

- a) 1,0 b) 3,0 c) 4,0 d) 6,0

2. (Enem)

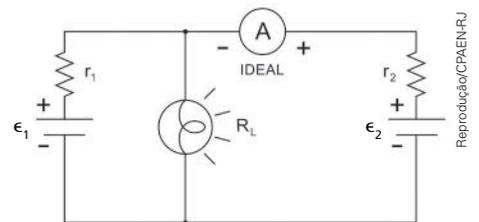
Durante a reforma de sua residência, um casal decidiu que seria prático poder acender a luz do quarto acionando um interruptor ao lado da porta e apagá-la com outro interruptor próximo à cama. Um eletrotécnico explicou que esse sistema usado para controlar uma lâmpada a partir de dois pontos é conhecido como circuito de interruptores paralelos. Como deve ser feita a montagem do circuito da lâmpada no quarto desse casal?



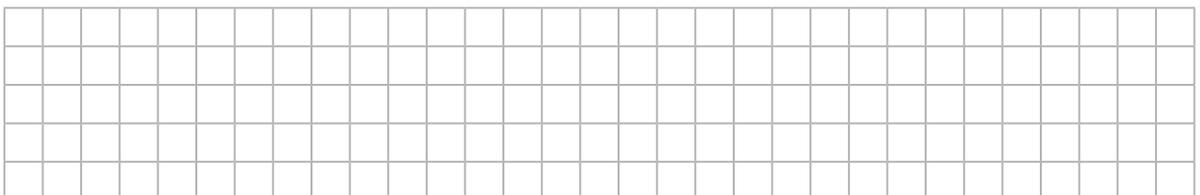
3. (CPAEN-RJ)

Analise a figura ao lado.

Duas pilhas, de resistência interna $r_1 = r_2 = \frac{1}{3} \Omega$ e uma lâmpada, de resistência $R_L = \frac{2}{3} \Omega$, estão conectadas em paralelo como mostra o circuito da figura ao lado. A f.e.m. da pilha 1 é $\epsilon_1 = 1,5 \text{ V}$, mas a pilha 2, de f.e.m. ϵ_2 , encontra-se parcialmente descarregada de modo que o amperímetro ideal mede uma corrente nula nessa pilha.

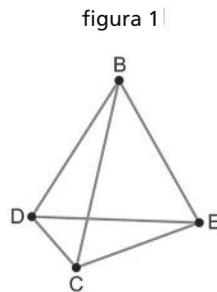


- Sendo assim, o valor da f.e.m. ϵ_2 , em volts, vale
- a) zero b) 0,50 c) 0,75 d) 1,00 e) 1,25

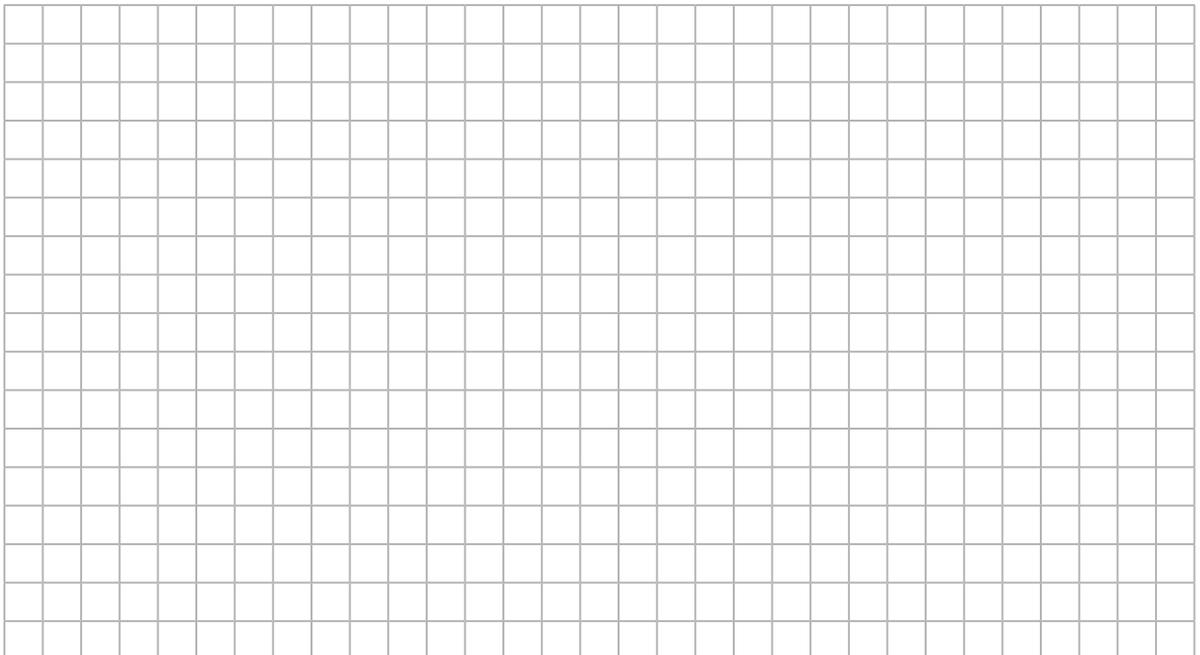
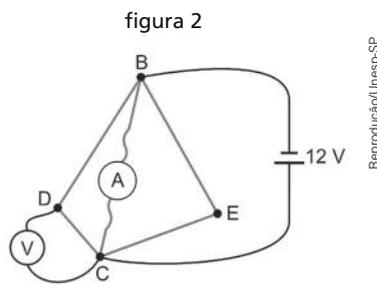


6. (Unesp-SP)

Um estudante pretendia construir o tetraedro regular BCDE, representado na figura 1, com seis fios idênticos, cada um com resistência elétrica constante de 80Ω , no intuito de verificar experimentalmente as leis de Ohm em circuitos de corrente contínua.



Acidentalmente, o fio DE rompeu-se; com os cinco fios restantes e um gerador de 12 V , um amperímetro e um voltímetro, todos ideais, o estudante montou o circuito representado na figura 2, de modo que o fio BC permaneceu com o mesmo comprimento que tinha na figura 1. Desprezando a resistência dos fios de ligação dos instrumentos ao circuito e das conexões utilizadas, calcule as indicações do amperímetro, em **A**, e do voltímetro, em **V**, na situação representada na figura 2.



TOTAL DE ACERTOS

____ / 6

6

Energia e potência elétrica

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Perceber como a energia elétrica é utilizada por geradores e receptores em circuitos diversos.

Introdução

A diferença de energia potencial da carga q entre as posições **A** e **B** representa a energia utilizada para deslocar a carga q do ponto **A** ao ponto **B**. Essa energia é usada no trabalho das forças de natureza elétrica no deslocamento de **A** para **B**. Como $\tau_{\text{Elétrica}}$ é equivalente à energia elétrica (E_{el}) consumida nesse trecho, tem-se:



Banco de imagens/Arquivo da editora

$$P = \frac{E_{\text{el}}}{\Delta t}$$

Uma relação de uso geral e que pode ser utilizada para qualquer bipolo colocado entre **A** e **B** é:

$$P = i U$$

Potência elétrica em resistores

O cálculo da potência elétrica dissipada em um resistor é dado por:

$$P = R i^2$$

ou

$$P = \frac{U^2}{R}$$

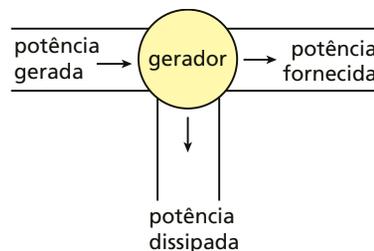
Potência elétrica do gerador

No diagrama ao lado, tem-se:

- Potência gerada (P_g), que tem origem em outras formas de energia que não a elétrica (química, mecânica, etc.).
- Potência fornecida (P_f) é a potência elétrica útil disponível cedida ao circuito externo pelo gerador.
- Potência dissipada (P_d) está ligada às perdas por efeito Joule na própria resistência interna do gerador.

Relacionando as três potências elétricas, temos:

$$P_f = P_g - P_d$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Rendimento elétrico do gerador

O rendimento de um gerador é dado pela razão entre a potência fornecida útil (P_f) e a potência total gerada (P_t):

$$\eta = \frac{P_f}{P_t} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{U}{\epsilon}$$

Em geradores reais teremos sempre $\eta < 1$ ou $\eta < 100\%$.

Potência máxima fornecida

A potência elétrica fornecida (P_f) pelo gerador ao resistor pode ser calculada por:

$$P_f = \epsilon i - r i^2$$

A potência fornecida máxima pode ser calculada por:

$$P_{f_{\text{máx}}} = \frac{\epsilon^2}{4r}$$

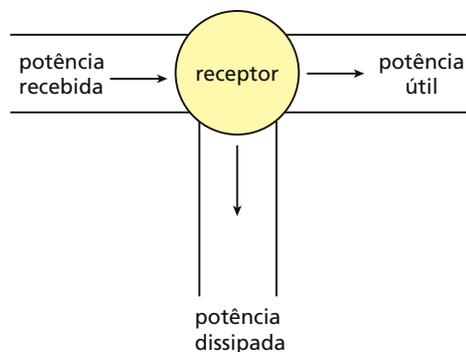
Podemos ainda determinar o rendimento (η) do gerador nas condições de máxima transferência de potência elétrica. Assim:

$$\eta = \frac{1}{2} = 50\%$$

Potência de receptor

No diagrama ao lado:

- Potência recebida (P_r) é a que o receptor recebe da fonte de energia que o abastece.
- Potência útil (P_u) é uma parcela da potência total recebida. No caso de o receptor ser um motor elétrico, é a parcela que efetivamente será usada para propiciar a rotação do eixo do motor. Muitas vezes é chamada de potência mecânica.
- Potência dissipada (P_d) é ligada às perdas por efeito Joule nas resistências internas do próprio dispositivo.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Estabelecendo relação entre as três potências elétricas, vem:

$$P_r = P_u + P_d$$

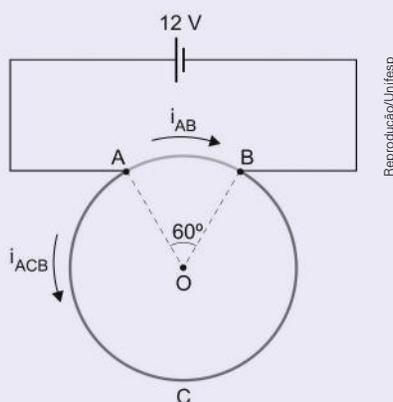
O rendimento elétrico (η) é dado por:

$$\eta = \frac{P_u}{P_r} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{\epsilon'}{U}$$

Aplice o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (Unifesp) Uma espira metálica circular homogênea e de espessura constante é ligada com fios ideais, pelos pontos **A** e **B**, a um gerador ideal que mantém uma ddp constante de 12 V entre esses pontos. Nessas condições, o trecho **AB** da espira é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade $i_{AB} = 6$ A e o trecho **ACB** é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i_{ACB} , conforme a figura.



Calcule:

- as resistências elétricas R_{AB} e R_{ACB} , em ohms, dos trechos **AB** e **ACB** da espira.
- a potência elétrica, em W , dissipada pela espira.

Resolução:

- a) Usando a 1ª Lei de Ohm para o trecho **AB**, temos:

$$R_{AB} = \frac{U_{AB}}{i_{AB}} \Rightarrow R_{AB} = \frac{12}{6} \therefore R_{AB} = 2 \Omega$$

Como o comprimento do trecho **ACB** é 5 vezes maior que o trecho **AB** e dado que a espira tem espessura constante e homogênea, ou seja, é feita do mesmo material, podemos aplicar a 2ª Lei de Ohm e determinar a resistência do trecho **ACB**.

$$R_{ACB} = \frac{\rho \cdot 5L}{A} \quad (I)$$

$$R_{AB} = \frac{\rho L}{A} \quad (II)$$

Substituindo (II) em (I):

$$R_{ACB} = \frac{\rho \cdot 5L}{A} = 5 \cdot R_{AB} \therefore R_{ACB} = 10 \Omega$$

- b) A potência dissipada por cada trecho é dada pela relação: $P = \frac{U^2}{R}$

$$P_{AB} = \frac{U_{AB}^2}{R_{AB}} = \frac{12^2}{2} \therefore P_{AB} = 72 \text{ W}$$

$$P_{ACB} = \frac{U_{ACB}^2}{R_{ACB}} = \frac{12^2}{10} \therefore P_{ACB} = 14,4 \text{ W}$$

Logo, a potência dissipada por toda a espira é:

$$P = 72 + 14,4 \therefore P = 86,4 \text{ W}$$

Respostas: a) 2Ω e 10Ω ; b) $86,4 \text{ W}$.

3. (Unioeste-PR)

Uma pessoa deixou um aquecedor elétrico portátil (ebulidor) dentro de um recipiente com dois litros de água que estavam inicialmente à temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. O aquecedor é composto por um único resistor que opera em uma tensão de 110 V . A pessoa voltou após um intervalo de tempo de 20 minutos e verificou que 40% da água já havia evaporado do recipiente. Considere que toda a energia fornecida pelo aquecedor é absorvida pela água e que toda a evaporação é somente devido à ação do ebulidor, ou seja, não houve nenhuma evaporação espontânea da água para o meio ambiente. Despreze também a capacidade térmica do recipiente e do aquecedor.

Dados:

calor específico da água = $1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$;

calor latente de vaporização da água = 540 cal/g ;

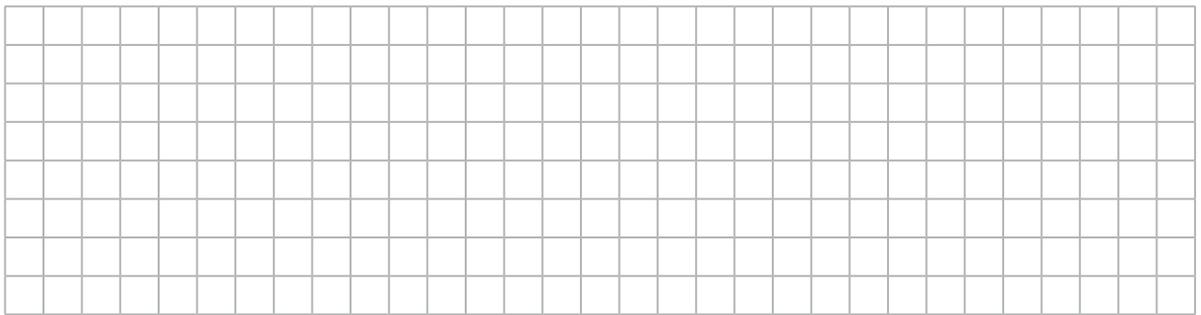
densidade absoluta da água = $1,0\text{ kg/L}$;

$1\text{ cal} = 4,2\text{ J}$;

temperatura de ebulição da água = $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

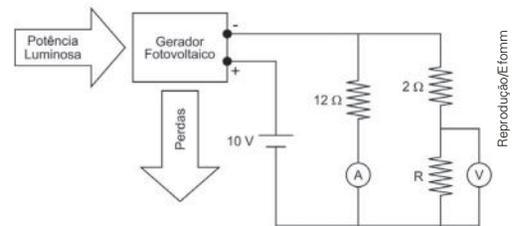
A partir de tais informações, assinale a alternativa CORRETA.

- a) O calor latente consumido no processo de evaporação é igual a $1,08 \cdot 10^6\text{ cal}$.
- b) A quantidade de calor total absorvida pela água foi inferior a $2,0 \cdot 10^6\text{ J}$.
- c) A potência fornecida pelo aquecedor é de 1 000 W .
- d) A resistência do aquecedor é superior a $5,00\text{ }\Omega$.
- e) A corrente elétrica consumida pelo aquecedor é igual a 10 A .

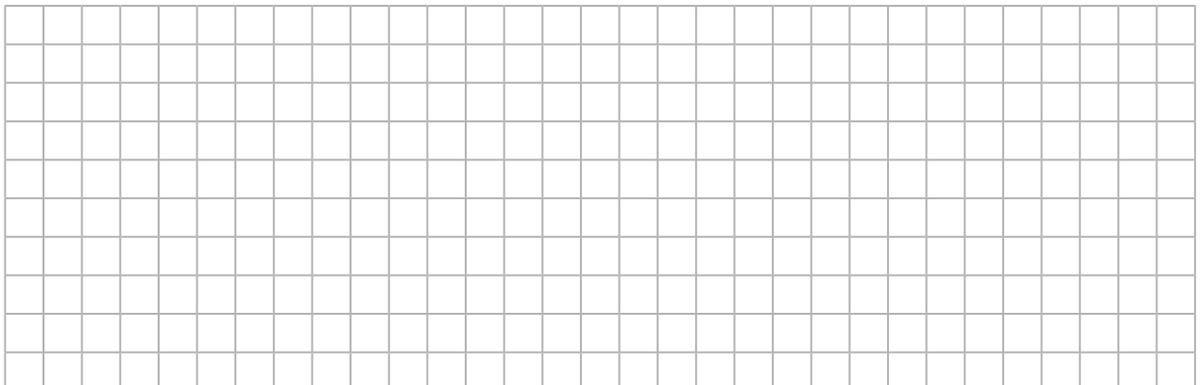


4. (Efomm)

O sistema ao lado se constitui em um gerador fotovoltaico alimentando um circuito elétrico com 18 V . Determine o rendimento do gerador na situação em que a razão dos valores numéricos da tensão e da corrente medidos, respectivamente, pelo voltímetro V (em volts) e pelo amperímetro A (em ampères) seja igual a 2 . Sabe-se que a potência luminosa solicitada na entrada do gerador é de 80 W .



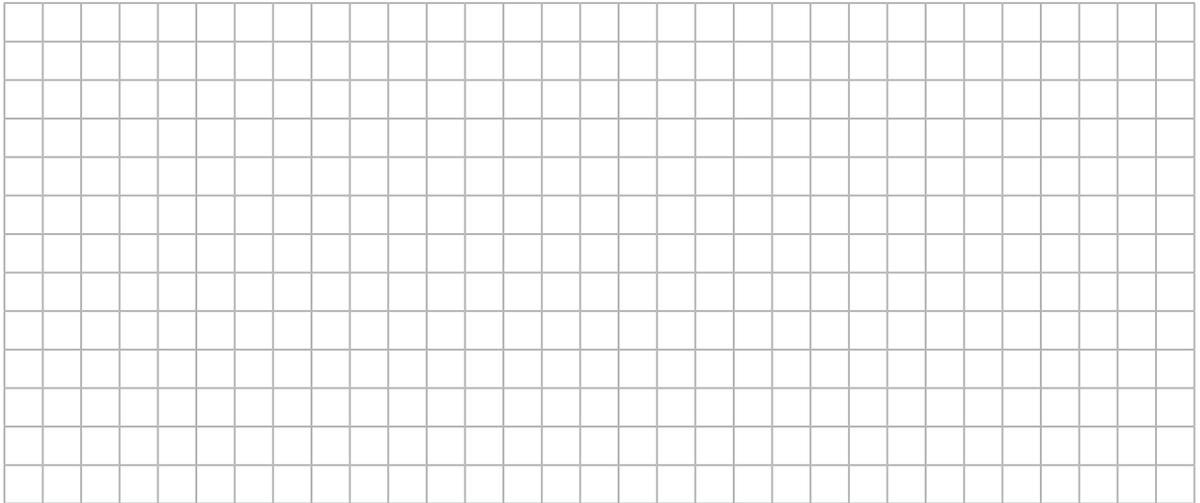
- a) 60%
- b) 70%
- c) 80%
- d) 90%
- e) 100%



5. (UEM-PR)

Em um circuito elétrico, inicialmente os resistores $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$ e $R_3 = 40 \Omega$ são ligados em paralelo a uma bateria de 12 V cuja resistência interna é desprezível. Em um certo instante, um dispositivo S é acionado de tal modo que o resistor R_1 é desconectado do sistema, mantendo-se R_2 e R_3 ligados em paralelo à bateria. Sobre as características do circuito após o dispositivo S ser acionado, assinale o que for **correto**.

- 01) A corrente elétrica que passa por R_2 diminui.
- 02) A corrente elétrica que passa por R_3 passa a ser $\frac{3}{2}$ da corrente elétrica que passa por R_2 .
- 04) A corrente elétrica total no circuito aumenta.
- 08) A resistência equivalente do circuito passa a ser igual a $\frac{7}{3}$ da resistência equivalente na configuração inicial.
- 16) A potência dissipada no circuito passa a ser igual a $\frac{3}{7}$ da potência dissipada pela configuração inicial.

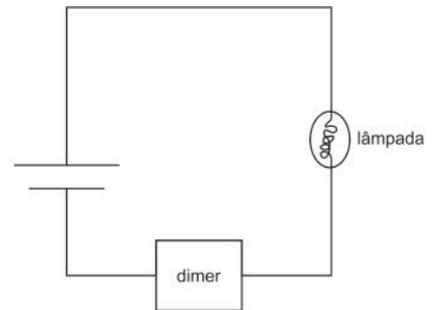


6. (UEMG)

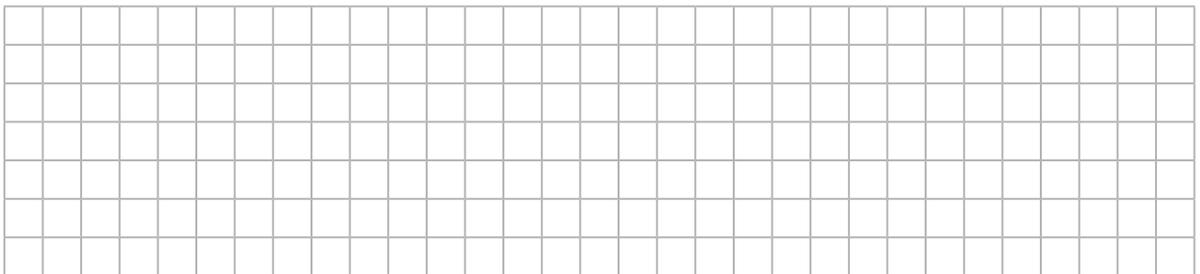
O dimer é um aparelho usado para controlar o brilho de uma lâmpada ou a potência de um outro aparelho, como um ventilador. Um dimer foi usado para controlar o brilho de uma lâmpada cujas especificações são 24,0 W e 12,0 V. A lâmpada foi associada em série ao dimer e ligada a uma bateria de 12,0 V, conforme representado no diagrama.

Sabendo-se que o dimer foi regulado para que a lâmpada dissipasse 81% de sua potência, a potência que ele dissipa, em W, é

- a) 2,16. b) 4,56. c) 19,4. d) 21,6.



Reprodução/UEMG



7

Leis de Kirchhoff

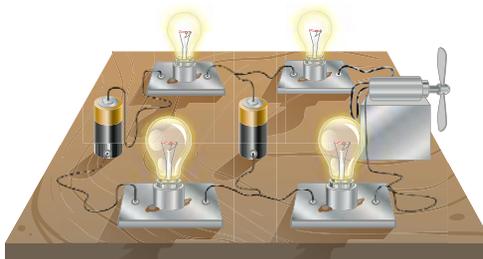
Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Aplicar propriedades de associações de resistores na determinação de intensidade de corrente elétrica em diferentes circuitos.

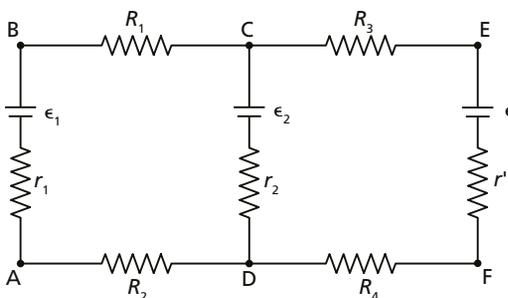
Nós, ramos e malhas

Quando os circuitos de múltiplas malhas apresentam uma distribuição muito variada de correntes elétricas, será necessária a análise com apoio em duas leis importantes: as Leis de Kirchhoff.



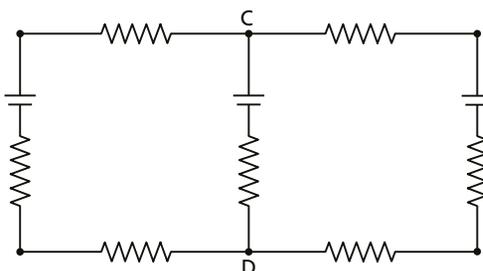
Banco de imagens/Arquivo da editora

O circuito anteriormente ilustrado pode ser esquematicamente redesenhado de maneira que se possa definir alguns elementos do circuito.



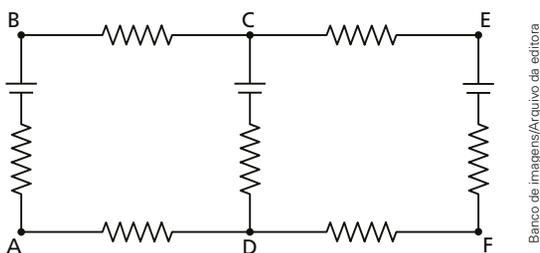
Banco de imagens/Arquivo da editora

Nó de um circuito elétrico é um ponto de encontro de três ou mais fios. No circuito esquematizado, são dois os nós que estão representados pelos pontos **C** e **D**.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Ramo de um circuito é um trecho compreendido entre dois nós consecutivos. No circuito esquematizado há três ramos: ramo **CBAD**, ramo **DFEC** e ramo **DC**.



Malha de um circuito elétrico é o encadeamento de vários ramos formando um percurso fechado. No circuito esquematizado temos 3 malhas: malha **ABCD**, malha **CEFC** e malha **ABCEFDA**.

1ª Lei de Kirchhoff (Lei dos Nós)

Em um **nó**, o somatório das intensidades de corrente elétrica que chegam deve ser igual ao somatório das intensidades de corrente elétrica que dele saem.

Matematicamente, temos:

$$\sum i_{(\text{chegam})} = \sum i_{(\text{saem})}$$

2ª Lei de Kirchhoff (Lei das Malhas)

Partindo-se de um ponto qualquer da **malha** e retornando-se ao mesmo ponto, é nula a soma algébrica das ddps encontradas no percurso.

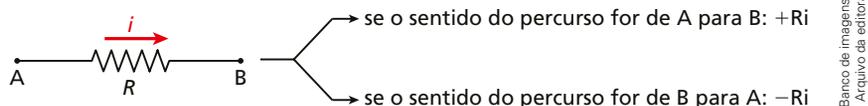
Matematicamente:

$$\sum U = 0 \quad (\text{na malha})$$

Vale apontar que a 2ª Lei de Kirchhoff tem como suporte o princípio de conservação de energia.

Convenção de sinais

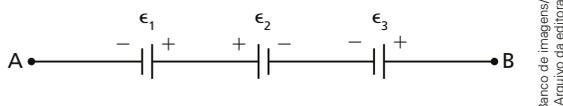
A tensão elétrica nos resistores é dada por $(\pm Ri)$ de acordo com o sentido da corrente elétrica.



Forças eletromotrizes e forças contraeletromotrizes

Em uma f.e.m. ou f.c.e.m., adota-se para a tensão elétrica desse elemento o sinal do primeiro polo atingido no percurso.

Exemplos:

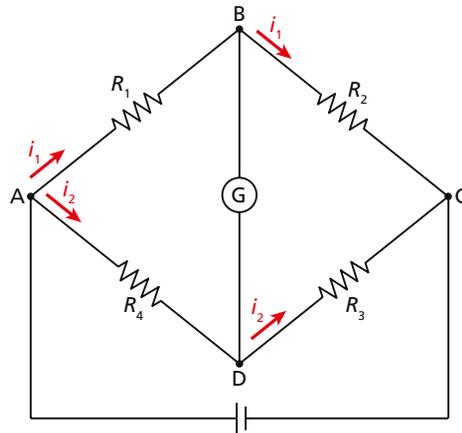


No caso do percurso de **A** para **B**: $-\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_3$;

No caso do percurso de **B** para **A**: $+\epsilon_3 - \epsilon_2 + \epsilon_1$.

Ponte de Wheatstone

Ponte de Wheatstone é um dispositivo usado para medir o valor de resistências elétricas desconhecidas em qualquer circuito. A seguir está esquematizada a configuração clássica de uma Ponte de Wheatstone.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Se três das resistências elétricas forem conhecidas, a quarta resistência pode facilmente ser calculada por:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

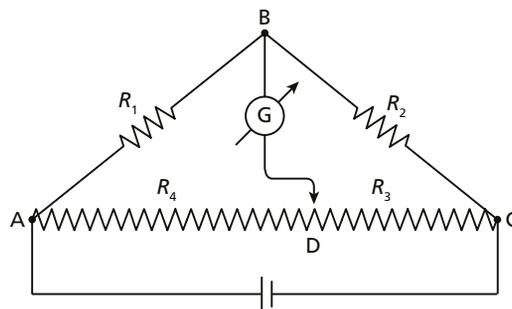
Condição para equilíbrio de uma Ponte de Wheatstone:

$$i_{\text{galvanômetro}} = 0 \text{ ou } U_{BD} = 0$$

Assim: $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$

A Ponte de Wheatstone pode ser usada também como circuito sensor, circuito alarme ou circuito temporizador. Nessa situação, varia-se o valor da resistência elétrica de um dos resistores, por exemplo, conforme se varia a temperatura. Atingida uma determinada temperatura, a ponte de Wheatstone entra em equilíbrio, provocando outros fenômenos no circuito.

Ponte de fio



Banco de imagens/Arquivo da editora

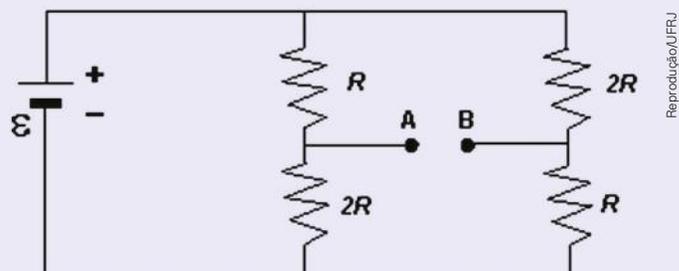
Na ponte de fio, em comparação com a ponte de Wheatstone, as resistências elétricas R_3 e R_4 foram substituídas pelos trechos **CD** e **DA** de um mesmo fio **AC**, homogêneo, retilíneo e de área de seção reta constante. O ponto **D** é regulado por um contato que desliza ao longo do fio. Dessa forma, é possível determinar, rapidamente, a posição do ponto **D** para a qual a ponte fica em equilíbrio.

$$R_1 \cdot \overline{DC} = R_2 \cdot \overline{AD}$$

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (UFRJ) Uma bateria ideal de força eletromotriz ϵ está ligada a um circuito como ilustra a figura a seguir.



Calcule a diferença de potencial $V_A - V_B$ entre os pontos terminais A e B em função de ϵ .

Resolução:

Em cada fio de resistência $3R$ existe uma corrente igual a $i = \frac{U}{R} \Rightarrow i = \frac{\epsilon}{3R}$.

Adotando-se que o potencial elétrico na placa positiva da bateria é ϵ e na placa negativa é zero, temos:

$$U = Ri \Rightarrow \epsilon - V_A = R \cdot \frac{\epsilon}{3R} \Rightarrow \epsilon - V_A = \frac{\epsilon}{3} \Rightarrow V_A = \frac{2\epsilon}{3}$$

No outro fio:

$$U = Ri \Rightarrow \epsilon - V_B = 2R \cdot \frac{\epsilon}{3R} \Rightarrow \epsilon - V_B = \frac{2\epsilon}{3} \Rightarrow V_B = \frac{\epsilon}{3}$$

Então:

$$V_A - V_B = \frac{2\epsilon}{3} - \frac{\epsilon}{3} = \frac{\epsilon}{3}$$

Resposta: $\frac{\epsilon}{3}$

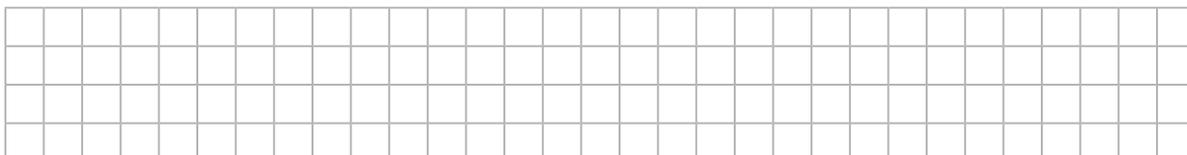
Questões

1. (UfpeL-RS)

Num circuito de corrente contínua, ao percorrermos uma malha fechada, partindo de um determinado ponto, observamos que as variações de potencial elétrico sofridas pelos portadores de carga é tal que, ao retornarmos ao ponto de partida, obtemos o mesmo valor para o potencial elétrico.

Baseado no texto e em seus conhecimentos, o fato descrito acima é uma consequência do princípio da conservação

- da carga.
- da energia.
- da massa.
- da quantidade de movimento.
- da potência elétrica.

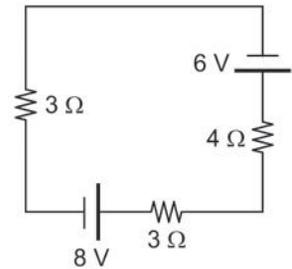


2. (Aman-RJ)

O desenho ao lado representa um circuito elétrico composto por resistores ôhmicos, um gerador ideal e um receptor ideal.

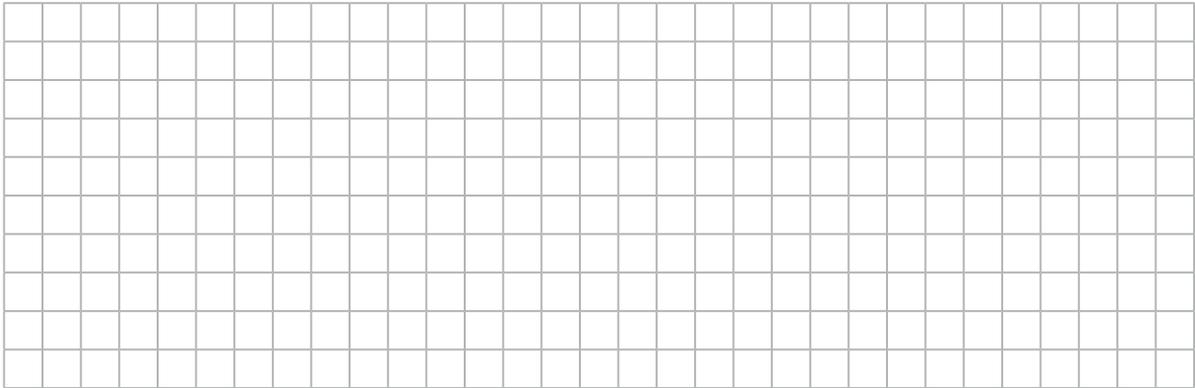
A potência elétrica dissipada no resistor de $4\ \Omega$ do circuito é:

- a) $0,16\ \text{W}$
- b) $0,20\ \text{W}$
- c) $0,40\ \text{W}$
- d) $0,72\ \text{W}$
- e) $0,80\ \text{W}$



Reprodução/Aman-RJ

DESENHO ILUSTRATIVO
FORA DE ESCALA

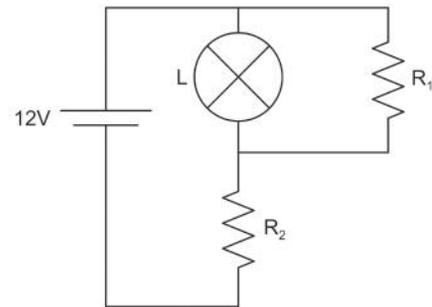


3. (Udesc)

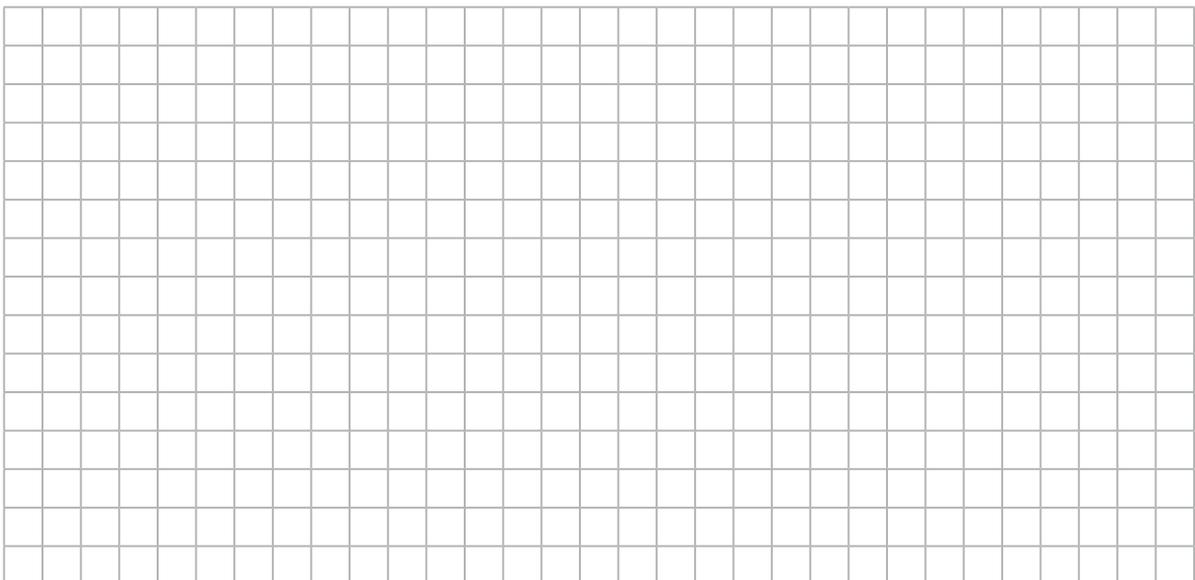
O circuito, apresentado na figura ao lado, mostra uma pequena lâmpada (**L**) que deve operar sob tensão de $3,0\ \text{V}$ e com uma corrente elétrica de $0,50\ \text{A}$. Para isto, devem-se ligar dois resistores, R_1 e R_2 , com o mesmo valor de resistência, conforme a figura.

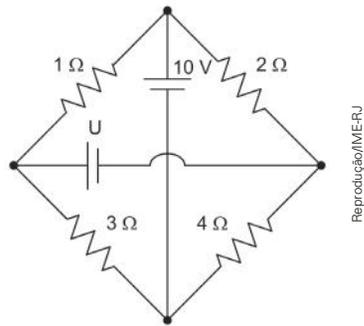
Assinale a alternativa que corresponde ao valor desta resistência.

- a) $4,0\ \Omega$
- c) $12\ \Omega$
- e) $8,0\ \Omega$
- b) $6,0\ \Omega$
- d) $10\ \Omega$



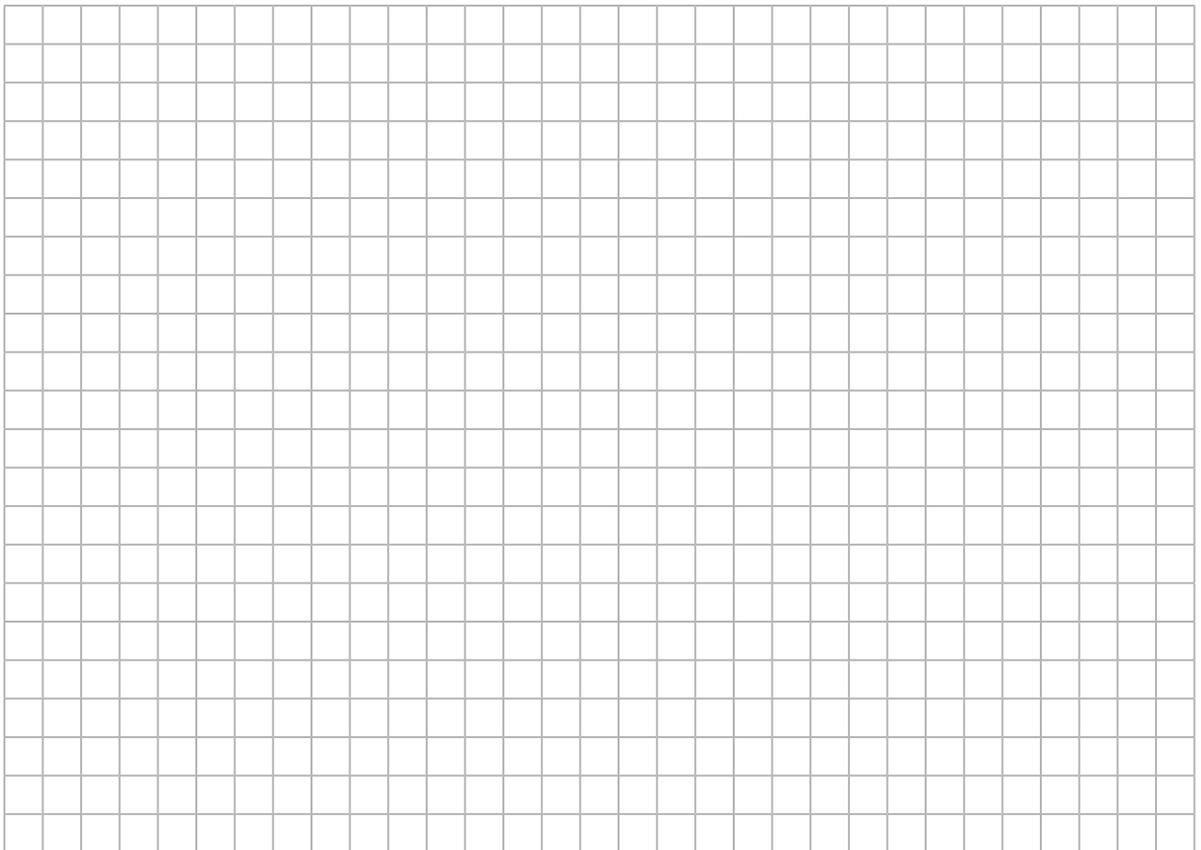
Reprodução/Udesc





A figura acima mostra um circuito formado por quatro resistores e duas baterias. Sabendo que a diferença de potencial entre os terminais do resistor de 1Ω é zero, o valor da tensão U , em volts, é:

- a) $\frac{154}{15}$
- b) $\frac{30}{4}$
- c) $\frac{70}{9}$
- d) 10
- e) $\frac{154}{30}$



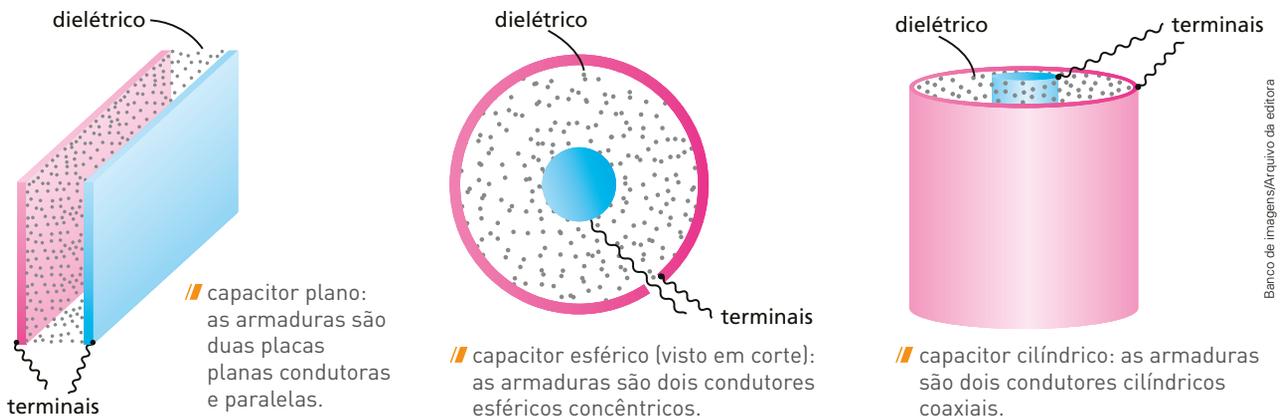
Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Verificar como as propriedades de capacitores se manifestam em circuitos elétricos.

Introdução

Capacitor é um componente eletrônico formado por duas peças condutoras denominadas **armaduras**. Entre elas normalmente há um material **dielétrico**, ou seja, um material isolante, que pode ser de diferentes naturezas, como papel, óleo ou o próprio ar. Sua função básica é armazenar cargas elétricas e, como consequência, energia potencial eletrostática (ou elétrica).



Capacitância

A capacidade de um capacitor armazenar carga elétrica é medida por uma grandeza denominada **capacitância**, simbolizada por C .

Seja Q a carga do capacitor e U o módulo da ddp entre suas armaduras. Sua capacitância é então definida pela expressão:

$$C = \frac{Q}{U}$$

A soma das energias potenciais calculadas nas armaduras de um capacitor é chamada **energia potencial eletrostática** do capacitor (E_p).

$$E_p = \frac{1}{2}QU$$

ou

$$E_p = \frac{1}{2}CU^2$$

ou

$$E_p = \frac{Q^2}{2C}$$

Perceba que a capacitância de um capacitor plano será tanto maior quanto maiores forem a permissividade ϵ e a área A , e quanto menor for a distância d :

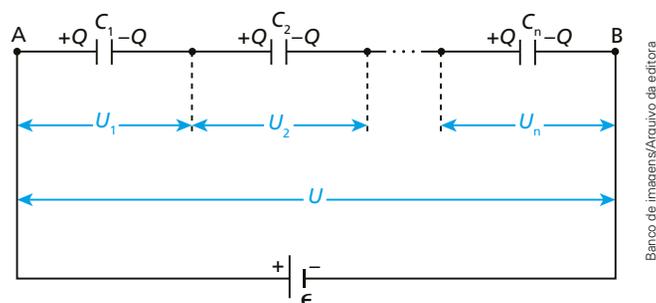
$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Associação de capacitores

Capacitores também podem compor associações dos tipos **em série**, **em paralelo** e **mista**.

Considere n capacitores de capacitâncias C_1, C_2, \dots, C_n , inicialmente **descarregados**.

Tais capacitores estão associados **em série** quando são interligados como representa a figura seguinte:



Todos os capacitores associados em série armazenam a mesma quantidade de carga Q .

A tensão elétrica total entre os terminais da associação é a soma das tensões elétricas parciais nos diversos capacitores:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Então:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\text{produto das capacitâncias}}{\text{soma das capacitâncias}}$$

Quando capacitores estão associados **em paralelo**, são interligados conforme a figura a seguir:

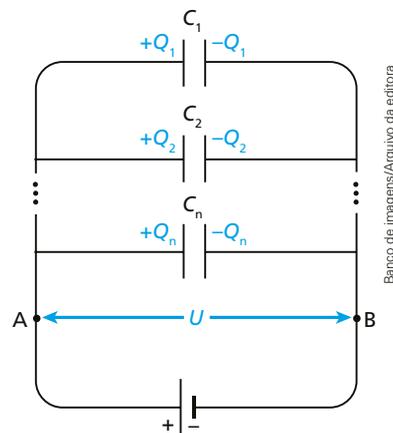
Todos os capacitores associados em paralelo são submetidos à mesma tensão elétrica (U).

A carga total Q estabelecida na associação por acesso direto do gerador é a soma das cargas de todos os capacitores:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Portanto:

$$C_{eq} = nC$$



Dielétricos

O meio material entre as placas do capacitor é denominado dielétrico.

Dielétricos são substâncias não condutoras de eletricidade porque não existem portadores de cargas livres em seu interior.

Quando é inserido um dielétrico entre as placas do capacitor, ocorre o aumento no valor de sua capacitância.

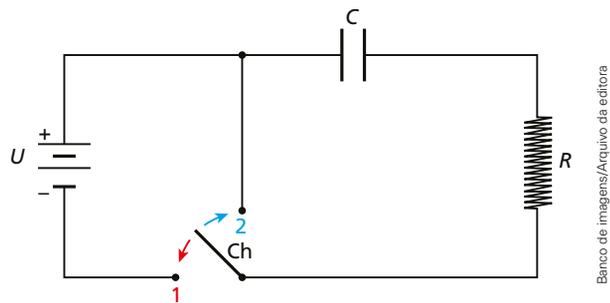
Rigidez dielétrica

Chama-se **rigidez dielétrica** o campo elétrico máximo que se pode aplicar a um material isolante sem que ele se torne um material condutor.

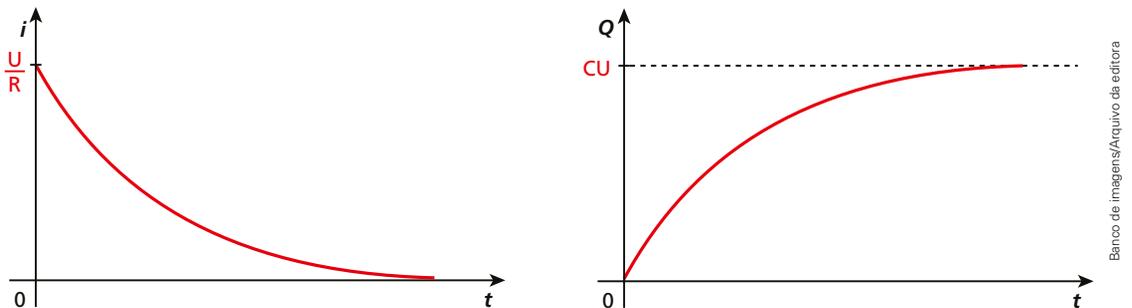
A máxima diferença de potencial que se pode aplicar entre os terminais de um capacitor, sem que sua rigidez dielétrica seja ultrapassada, chama-se tensão de ruptura.

Circuito RC

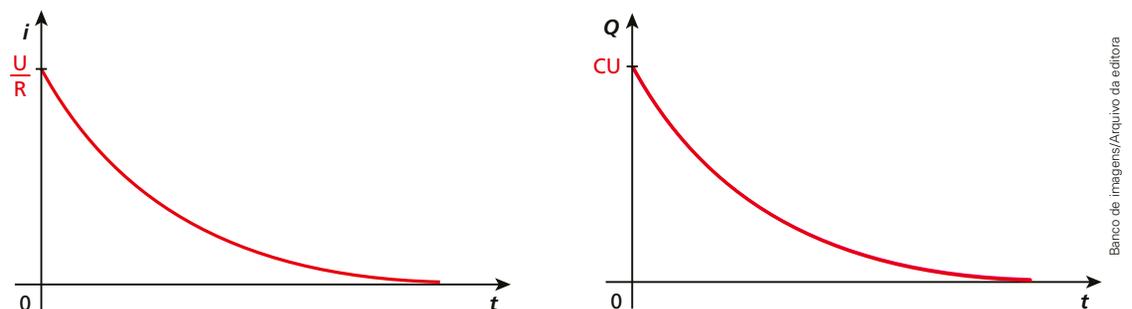
O circuito **RC** é um tipo de circuito constituído por um resistor, um capacitor e uma fonte de tensão. Observe o circuito RC representado na figura a seguir:



O processo de carga do capacitor é representado pelo seguinte gráfico:



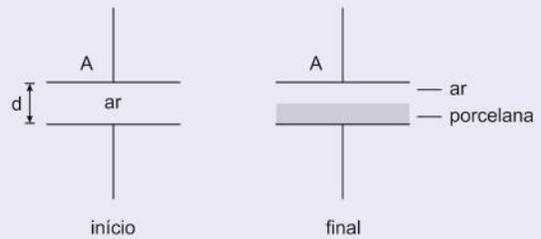
O processo de descarga do capacitor é representado pelo seguinte gráfico:



Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (Efmom) Na figura a seguir, temos um capacitor de placas paralelas de área A separadas pela distância d . Inicialmente, o dielétrico entre as placas é o ar e a carga máxima suportada é Q_a . Para que esse capacitor suporte uma carga máxima Q_b , foi introduzida uma placa de porcelana de constante dielétrica k e espessura $\frac{d}{2}$. Considerando que seja mantida a diferença de potencial entre as placas, determine a razão entre as cargas Q_b e Q_a .



Reprodução/Efmom

- a) $\frac{2k}{k+1}$ b) $\frac{2k}{5k+3}$ c) $\frac{2k\epsilon_0 A}{d(k+1)}$ d) $\frac{k\epsilon_0 A}{dk}$ e) $\frac{2k\epsilon_0}{d(k+1)}$

Resolução:

Capacitâncias do início C_a e do fim C_b (com $k_{ar} = 1$):

$$C_a = \frac{k_{ar}\epsilon_0 A}{d} \therefore C_a = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad \text{e} \quad \frac{1}{C_b} = \frac{1}{1 \cdot \epsilon_0 A \frac{d}{2}} + \frac{1}{k\epsilon_0 A \frac{d}{2}} \therefore C_b = \frac{2k\epsilon_0 A}{d(k+1)}$$

Como $Q = C U$, vem:

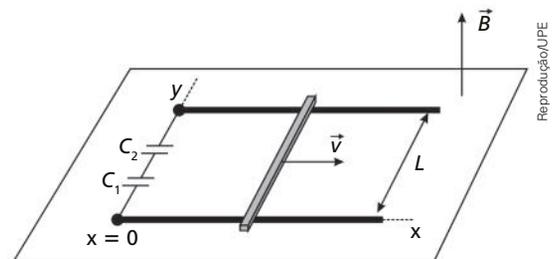
$$Q_a = \frac{\epsilon_0 AU}{d} \quad \text{e} \quad Q_b = \frac{2k\epsilon_0 AU}{d(k+1)} \therefore \frac{Q_b}{Q_a} = \frac{2k}{k+1}$$

Resposta: A

Questões

1. (UPE)

Uma barra metálica de massa $m = 250$ g desliza ao longo de dois trilhos condutores, paralelos e horizontais, com uma velocidade de módulo $v = 2,0$ m/s. A distância entre os trilhos é igual a $L = 50$ cm, estando eles interligados por um sistema com dois capacitores ligados em série, de capacitância $C_1 = C_2 = 6,0$ μf , conforme ilustra a figura ao lado.

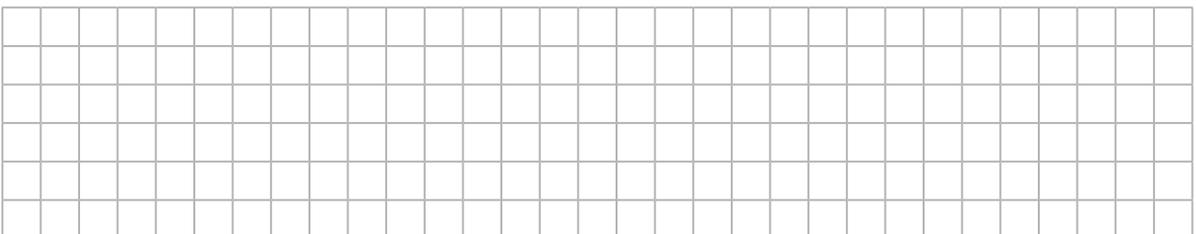


Reprodução/UPE

O conjunto está no vácuo, imerso em um campo de indução magnética uniforme, de módulo $B = 8,0$ T, perpendicular ao plano dos trilhos.

Desprezando os efeitos do atrito, calcule a energia elétrica armazenada no capacitor C_1 em micro joules.

- a) 384 b) 192 c) 96 d) 48 e) 24

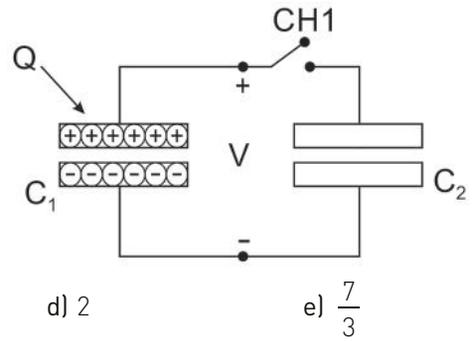


2. (CPAEN-RJ)

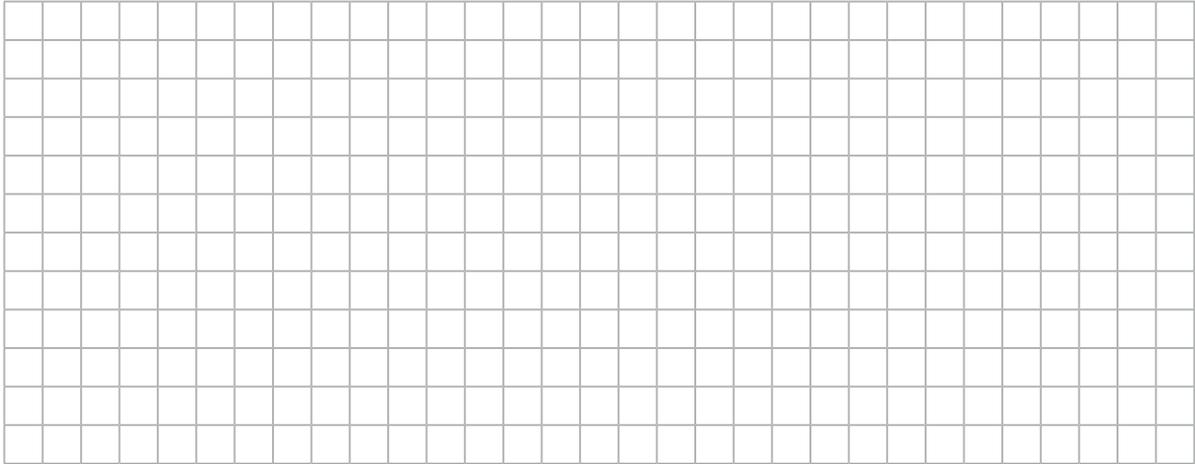
Analise a figura ao lado.

O capacitor C_1 encontra-se inicialmente com uma tensão constante $V = 4$ volts. Já o capacitor C_2 estava descarregado. Fechando-se a chave CH1, o sistema atinge o equilíbrio com uma tensão de $\frac{4}{3}$ volts e redução de $\frac{8}{3}$ joule da energia armazenada. A carga inicial Q , em coulombs, é igual a

- a) $\frac{4}{3}$ b) $\frac{3}{2}$ c) $\frac{5}{3}$



Reprodução/CPAEN-RJ

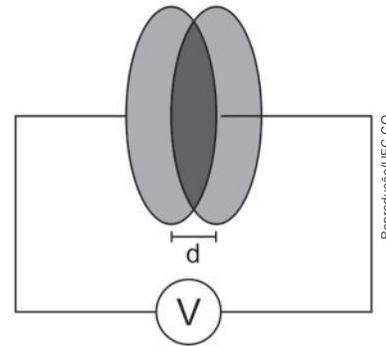


3. (UFG-GO)

O sistema composto de duas placas metálicas circulares, móveis e de diâmetro 20 cm, formam um capacitor, conforme ilustrado na figura ao lado.

Quando a distância d entre as placas é da ordem de um milésimo do diâmetro das placas, este é, com boa aproximação, um capacitor plano de placas paralelas. Nessas condições, esse sistema é usado para medir o campo elétrico atmosférico. Considerando-se que $\pi = 3$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ e que a ddp medida é de 20 mV, calcule:

- a) O campo elétrico atmosférico estabelecido entre as placas.
b) O módulo da carga elétrica em cada placa.



Reprodução/UFG-GO



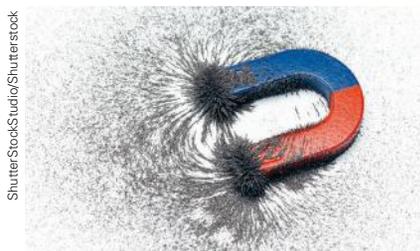
Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Utilizar linhas de campo na representação de fenômenos magnéticos de nosso cotidiano.
- ▶ Caracterizar o movimento de cargas elétricas de acordo com o campo magnético em que se situam.

Propriedades fundamentais dos ímãs

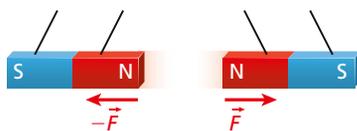
Todo ímã é sempre dotado de **dois polos**.



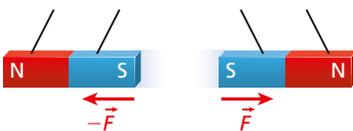
// As limalhas de ferro e os cliques de papel concentram-se em quantidade maior nos polos dos ímãs.

As forças de atração e repulsão que os ímãs exercem mutuamente entre si são representadas na imagem a seguir.

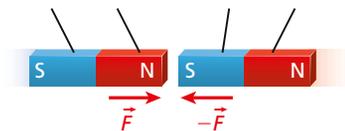
Banco de imagens/
Arquivo da editora



entre dois polos norte, há uma força de repulsão.



entre dois polos sul, há uma força de repulsão.



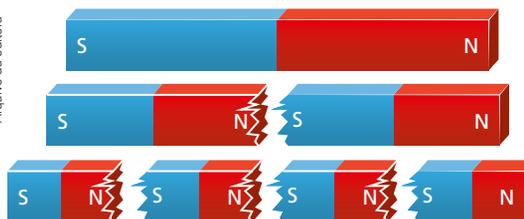
entre um polo norte e um polo sul, há uma força de atração.

Portanto:

Polos magnéticos de nomes diferentes atraem-se e polos magnéticos de mesmo nome repelem-se.

Quando um ímã é cortado, é possível verificar experimentalmente que é **impossível** obter um polo magnético isolado.

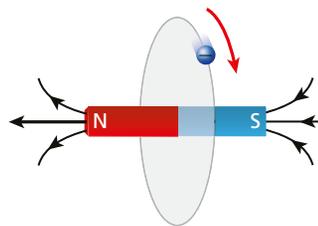
Banco de imagens/
Arquivo da editora



// Cada ímã cortado ao meio produz dois novos ímãs, cada qual dotado de um polo norte e um polo sul.

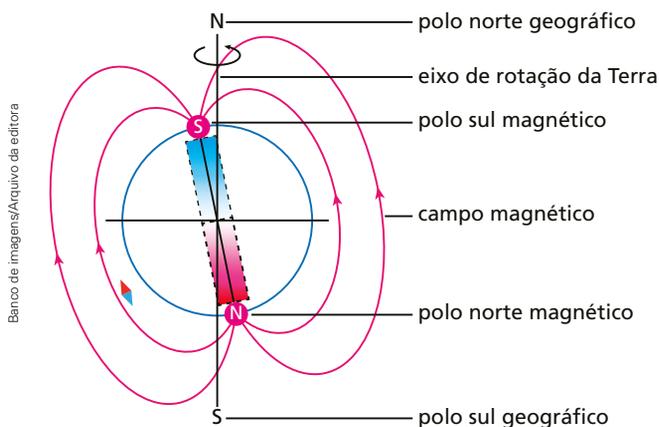
Ao efetuar indefinidamente esse processo de corte dos ímãs, obter-se-á em nível microscópico os ímãs elementares, porém, mesmo nesse nível os ímãs terão sempre seus dois polos, norte e sul.

// Mesmo em nível atômico, os ímãs elementares são formados por polo norte e polo sul.



Banco de imagens/Arquivo da editora

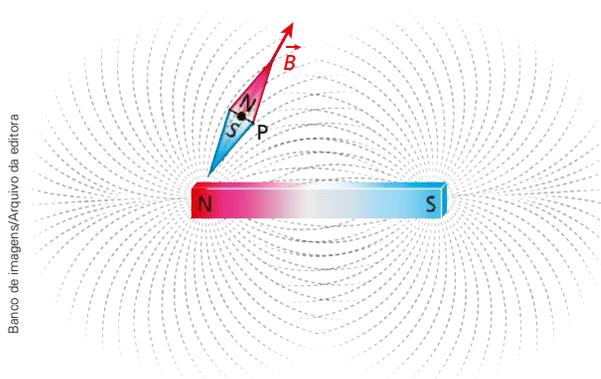
É comum dizermos que a Terra **comporta-se** como um ímã gigante. O polo sul geográfico da Terra é um gigantesco polo norte magnético e o polo norte geográfico da Terra é um polo sul magnético.



// O polo geográfico norte da Terra é um polo magnético sul e o polo geográfico sul da Terra é um polo magnético norte.

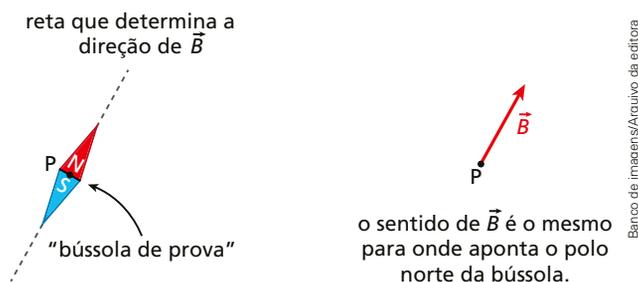
O campo magnético

Os fenômenos magnéticos são estudados a partir da ideia de um ímã originar um campo magnético na região em que está imerso. Para cada ponto do espaço nas proximidades de um ímã, define-se um único vetor (\vec{B}) representativo desse campo magnético nesse ponto. O vetor \vec{B} será chamado de vetor indução magnética ou vetor campo magnético.



// Quando a agulha magnética da bússola fica em equilíbrio em um ponto **P**, estabelece a orientação do campo magnético para aquele específico ponto do espaço.

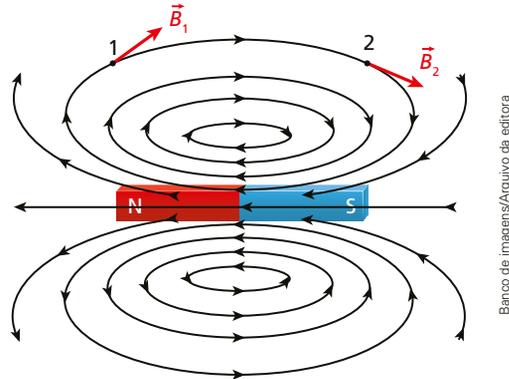
O sentido de \vec{B} é o sentido para onde aponta o polo **norte** da agulha magnética da bússola de prova.



Banco de imagens/Arquivo da editora

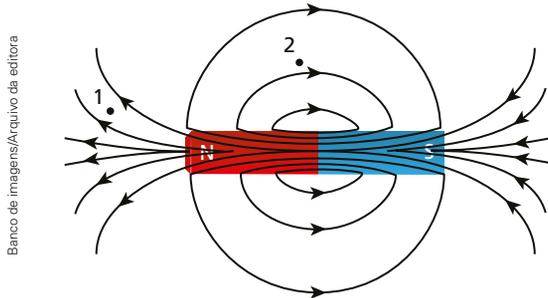
Linhas de indução magnética

Linhas de indução de um campo magnético são linhas fechadas. Na parte externa do ímã, obedecem à seguinte convenção: saem do polo norte e chegam ao polo sul.



Banco de imagens/Arquivo da editora

A intensidade do campo magnético será proporcional à densidade de linhas de indução nessa região.



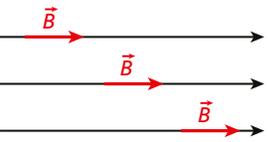
Banco de imagens/Arquivo da editora

A intensidade do campo magnético no ponto 1 é maior que a intensidade do campo magnético no ponto 2, pois a densidade das linhas de campo na região 1 é maior do que na região 2.

Campo magnético uniforme

Quando o campo magnético é uniforme, em todos os pontos desse campo o vetor \vec{B} possui a mesma intensidade, mesma direção e mesmo sentido. As linhas de indução magnética que representam esse campo são segmentos de retas paralelas igualmente espaçadas entre si.

Na figura, vemos a representação de um campo magnético uniforme. As linhas de indução são todas paralelas e equidistantes entre si. Os vetores campo magnético (\vec{B}) são tangentes às linhas de indução e todos têm a mesma intensidade, direção e sentido.



linhas de indução de um campo magnético uniforme

Banco de imagens/Arquivo da editora

Na figura, vemos a representação de um campo magnético uniforme. As linhas de indução são todas paralelas e equidistantes entre si. Os vetores campo magnético (\vec{B}) são tangentes às linhas de indução e todos têm a mesma intensidade, direção e sentido.

Usa-se a notação a seguir quando o campo magnético (\vec{B}) tiver direção perpendicular ao plano da página com sentido entrando ou saindo dela.

A notação \otimes (entrando no plano) e \odot (saindo do plano) pode ser usada para outras grandezas físicas.

\vec{B} (entrando no plano)						
\otimes	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x

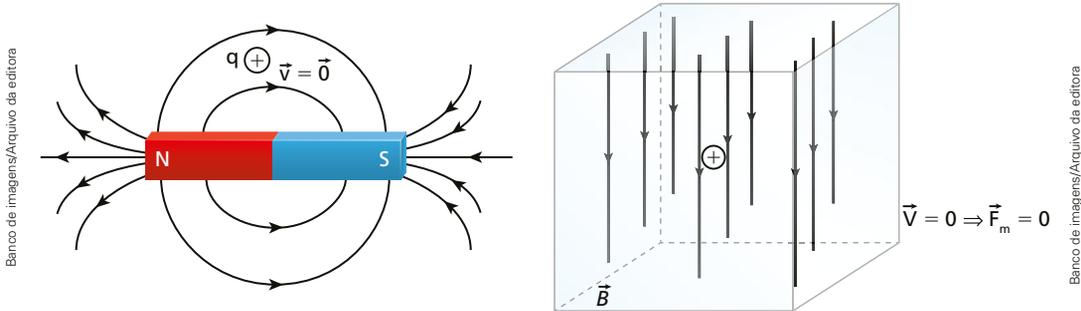
\vec{B} (saindo do plano)						
\odot
.
.

Banco de imagens/Arquivo da editora

Partícula eletrizada em repouso em um campo magnético

Como campos magnéticos não atuam em carga elétrica em repouso, temos:

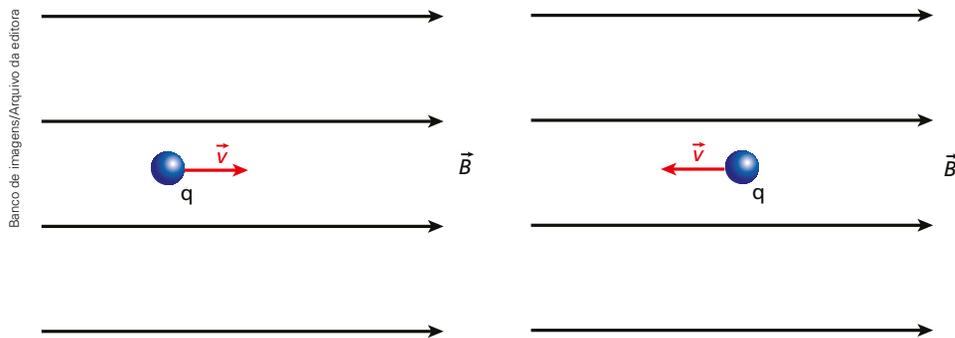
$$\text{Para } \vec{v} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_m = \vec{0}$$



Partícula eletrizada em movimento em um campo magnético uniforme

Assim como no caso da carga elétrica em repouso, a força magnética também é nula em partículas lançadas paralelamente ao campo magnético. Assim:

$$\text{Para } \vec{v} \text{ e } \vec{B} \text{ paralelos } \Rightarrow \vec{F}_m = \vec{0}$$

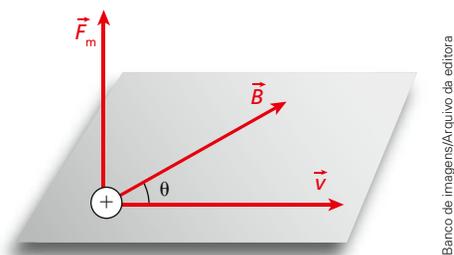


A intensidade da força magnética que pode atuar em uma carga elétrica q , lançada com velocidade \vec{v} , dentro de um campo magnético \vec{B} , é dada por

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

Como a força magnética é uma grandeza vetorial, para defini-la por completo deve-se identificar, além de sua intensidade, sua direção e sentido.

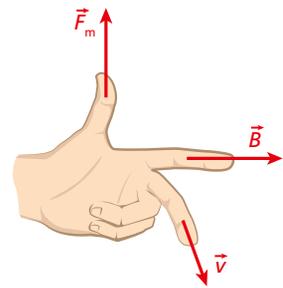
- A direção da força magnética (\vec{F}_m) é perpendicular ao plano formado pelos vetores \vec{B} e \vec{v} .



- O sentido da força magnética (\vec{F}_m) pode ser determinado pela regra da mão esquerda. O polegar faz a representação do vetor força magnética, o indicador atua como campo magnético e o dedo médio como vetor velocidade.

A unidade de \vec{B} no Sistema Internacional é

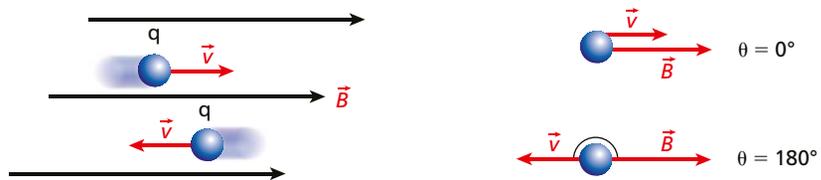
$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Situações especiais de movimento de partícula eletrizada em campo magnético uniforme \vec{B}

Primeiro caso: uma partícula eletrizada é lançada paralelamente às linhas de indução do campo magnético.



Banco de imagens/Arquivo da editora

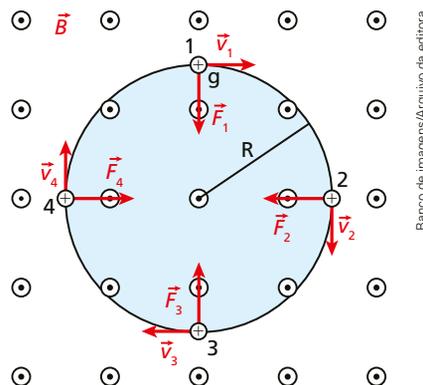
$$F_m = 0$$

Nesse caso, a partícula descreverá um movimento retilíneo e uniforme (MRU).

Segundo caso: uma partícula eletrizada é lançada perpendicularmente às linhas de indução do campo magnético.

$$F_m = |q|vB$$

A figura abaixo mostra que a força magnética \vec{F}_m e o vetor velocidade \vec{v} definem um plano perpendicular ao vetor campo magnético \vec{B} . Nesse plano, a partícula executa um movimento circular uniforme (MCU).



Banco de imagens/Arquivo da editora

Uma vez que, na situação proposta, a força magnética vai atuar como resultante centrípeta, tem-se:

$$R = \frac{mv}{|q|B}$$

Substituindo-se v na equação obtida para o raio R , obtém-se o período T do MCU descrito pela partícula:

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

Sendo $f = \frac{1}{T}$, vem:

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

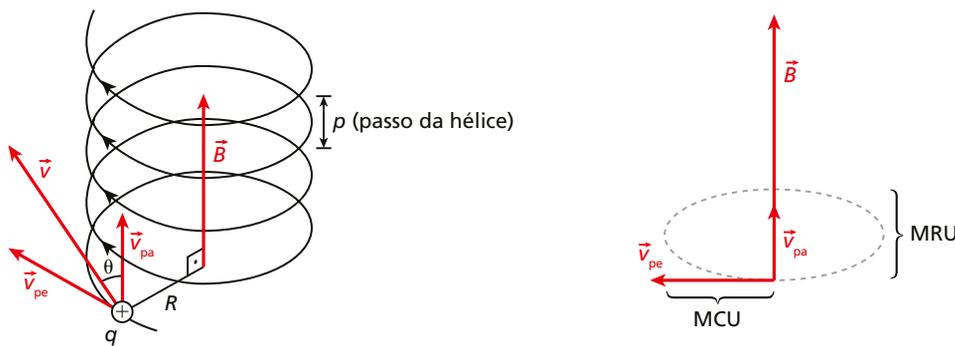
Terceiro caso: uma partícula eletrizada é lançada obliquamente em relação às linhas de indução do campo magnético

Nesse último caso, a velocidade \vec{v} das partículas é decomposta em duas componentes. Uma delas terá direção paralela ao campo magnético \vec{B} , enquanto a outra componente terá direção perpendicular ao campo \vec{B} . Assim:

$$\text{Vetorialmente: } \vec{v} = \vec{v}_{pa} + \vec{v}_{pe}$$

$$\text{Em intensidade: } v^2 = v_{pa}^2 + v_{pe}^2$$

A componente paralela \vec{v}_{pa} determina um movimento retilíneo uniforme (MRU) enquanto a componente perpendicular \vec{v}_{pe} , um movimento circular uniforme (MCU). A trajetória descrita, conforme mostra a figura, é uma **helicóide** ou **hélice cilíndrica**.



Banco de imagens/Arquivo da editora

As componentes da velocidade \vec{v} têm intensidades dadas por:

$$\text{Componente paralela: } v_{pa} = v \cos \theta$$

$$\text{Componente perpendicular: } v_{pe} = v \sin \theta$$

Quando a partícula completa uma volta em sua trajetória helicoidal, avança de uma distância (p) paralela ao campo. Essa distância é denominada passo da hélice e pode ser determinada por:

$$p = \frac{2\pi m v \cos \theta}{|q| B}$$

Aplique o que aprendeu

Exercícios resolvidos

1. (UPM-SP) Considere as seguintes afirmações.

- I. Quando se coloca um ímã em contato com limalha (fragmentos) de ferro, estes não aderem a ele em toda a sua extensão, mas predominantemente nas regiões próximas das extremidades.
- II. Cortando-se um ímã em duas partes iguais, que por sua vez podem ser redivididas em outras tantas, observa-se que cada uma dessas partes constitui um novo ímã, que embora menor tem sempre dois polos.
- III. Polos de mesmo nome se atraem e de nomes diferentes se repelem.

Com relação às afirmações, podemos dizer que

- a) apenas I é correta.
- b) apenas I e II são corretas.
- c) apenas I e III são corretas.
- d) apenas II e III são corretas.
- e) todas são corretas.

Resolução:

- I. Correta. O campo magnético é mais forte nas extremidades do ímã, assim a tendência é a limalha de ferro ir ocupando lugares próximos às extremidades dos polos.
- II. Correta. Cada divisão de um ímã gera novos ímãs contendo os dois polos sul e norte.
- III. Incorreta. É o oposto disso. Os de mesmo nome se repelem e os de nomes diferentes se atraem.

Resposta: B

2. (ITA-SP) Uma massa m de carga q gira em órbita circular de raio R e período T no plano equatorial de um ímã. Nesse plano, a uma distância r do ímã, a intensidade do campo magnético é $B(r) = \frac{\mu}{r^3}$ em que μ é uma constante. Se fosse de $4R$ o raio dessa órbita, o período seria de

- a) $\frac{T}{2}$.
- b) $2T$.
- c) $8T$.
- d) $32T$.
- e) $64T$.

Resolução:

A força magnética é a resultante centrípeta. Então:

$$F_m = F_{cp}$$

$$Bqv = \frac{mv^2}{R}$$

$$\frac{\mu}{R^3}q = \frac{m}{R} \left(\frac{2\pi R}{T} \right) \Rightarrow T = \frac{2\pi m}{\mu q} R^3$$

Se o raio for quadruplicado, teremos:

$$T' = \frac{2\pi m}{\mu q} (4R)^3 = 64 \cdot \frac{2\pi m}{\mu q} R^3 = 64T$$

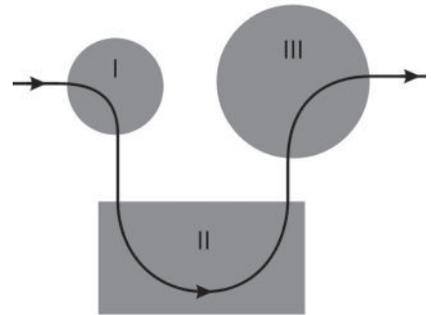
Resposta: E

7. (UFRGS-RS)

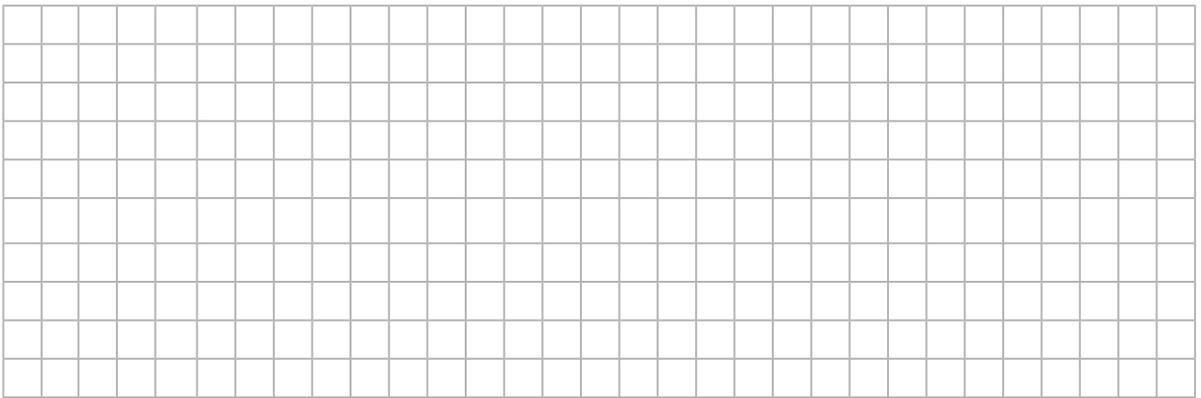
Na figura ao lado, está representada a trajetória de uma partícula de carga negativa que atravessa três regiões onde existem campos magnéticos uniformes e perpendiculares à trajetória da partícula.

Nas regiões I e III, as trajetórias são quartos de circunferências e, na região II, a trajetória é uma semicircunferência. A partir da trajetória representada, pode-se afirmar corretamente que os campos magnéticos nas regiões I, II e III, em relação à página, estão, respectivamente,

- a) entrando, saindo e entrando.
- b) entrando, saindo e saindo.
- c) saindo, saindo e entrando.
- d) entrando, entrando e entrando.
- e) saindo, entrando e saindo.



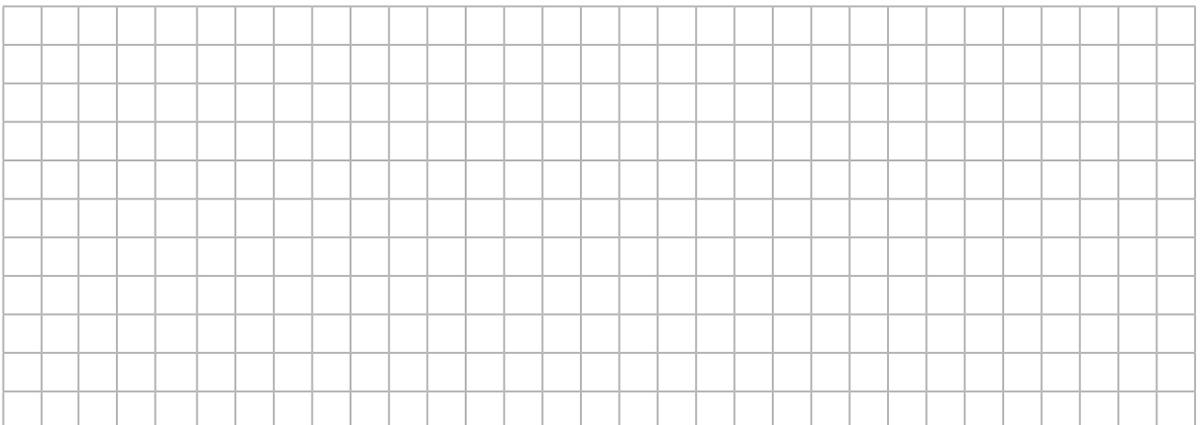
Reprodução/UFRGS



8. (Unisc-RS)

Uma partícula com carga q e massa M move-se ao longo de uma reta com velocidade v constante em uma região onde estão presentes um campo elétrico de $1,0 \cdot 10^6$ mV/m e um campo de indução magnética de 0,10 T. Sabe-se que ambos os campos e a direção de movimento da partícula são perpendiculares entre si. Determine a velocidade da partícula.

- a) $1,0 \cdot 10^3$ m/s
- b) $1,0 \cdot 10^7$ m/s
- c) $1,0 \cdot 10^4$ m/s
- d) $1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s
- e) $1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s



Reveja o que aprendeu

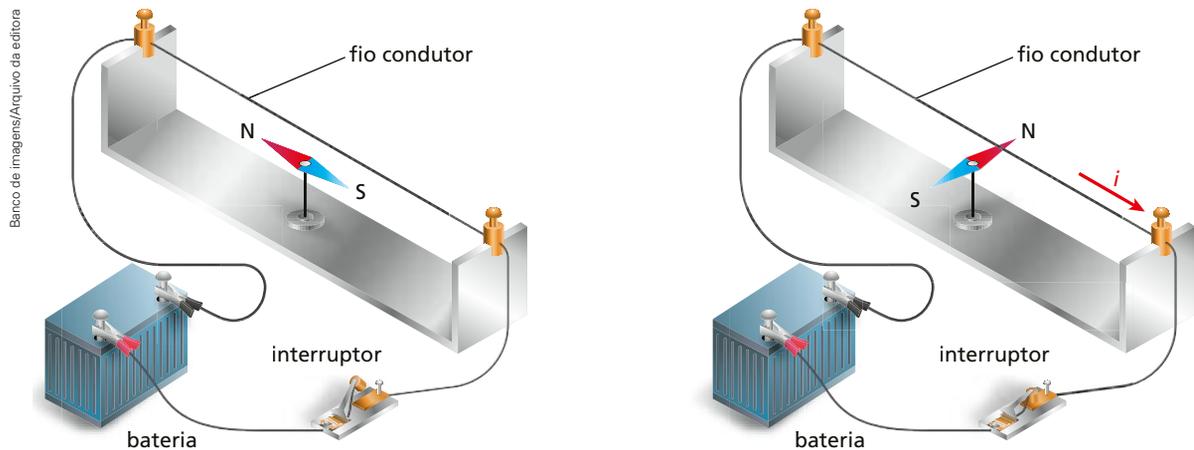
Você deve ser capaz de:

- Identificar representações de linhas de campo a partir da corrente elétrica em diferentes condutores.

A experiência de Oersted e a primeira unificação

Experimentalmente é possível constatar que correntes elétricas ou qualquer carga elétrica em movimento geram campos magnéticos em suas vizinhanças.

O experimento de Oersted, o qual confirma a ligação da Eletricidade com o Magnetismo, está reproduzido de maneira simplificada na ilustração seguinte. Observe o deslocamento da direção da bússola quando o interruptor é acionado e a corrente elétrica é iniciada pela bateria.

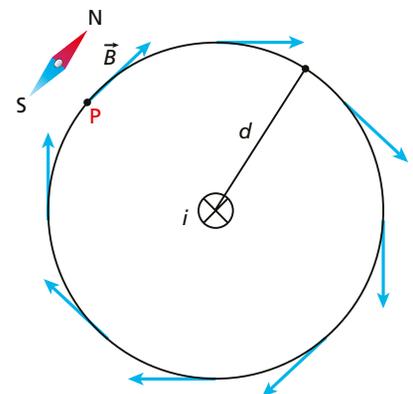


// A corrente elétrica no fio condutor gera um campo magnético ao seu redor que, por sua vez, altera a posição da bússola.

Campo magnético de um fio condutor retilíneo

Uma linha de indução do campo magnético pode ser representada por uma circunferência concêntrica ao fio. No ponto **P** é representado o vetor campo magnético \vec{B} .

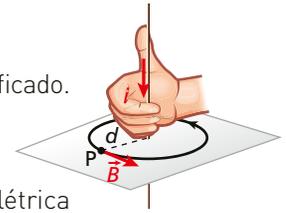
O vetor campo magnético \vec{B} , ou vetor indução magnética, é sempre tangente à linha de indução e tem mesma direção e sentido do polo norte da agulha magnética ali posicionada.



O vetor indução magnética \vec{B}

As propriedades do vetor indução magnética são:

- A **direção** é tangente à linha de indução magnética que passa pelo ponto **P** especificado.
- O **sentido** pode ser determinado pela regra da mão direita, ou regra da mão direita envolvente.
- A **intensidade** do campo magnético B dependerá da intensidade de corrente elétrica i que percorre o condutor, da distância do ponto **P** em relação ao condutor e do meio em que a experiência se realiza. Assim:



Banco de imagens/Arquivo da editora

$$B = \frac{\mu i}{2 \pi d}$$

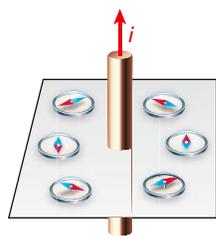
A constante μ é a permeabilidade magnética do meio.

O campo magnético da Terra

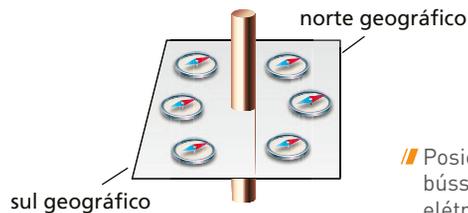
Ao posicionarmos um conjunto de bússolas na vizinhança de um fio retilíneo percorrido por uma intensa corrente elétrica i , estas obedecem e se posicionam de acordo com o sentido do campo magnético gerado pelo fio.

Se, por algum motivo, a corrente elétrica no fio se anula ($i = 0$), todas as bússolas deverão posicionar-se seguindo a direção norte-sul do local onde se encontram. De fato, as bússolas obedecem a orientação do campo magnético terrestre. Na realidade, as bússolas buscam a resultante dessas duas influências, do fio e da Terra. No entanto, por via de regra, o campo magnético criado pela Terra tem intensidade muito pequena quando comparada à do fio a ponto de ser considerada desprezível em situações como essa.

Banco de imagens/Arquivo da editora



// Posicionamento das bússolas com corrente elétrica percorrendo o fio.



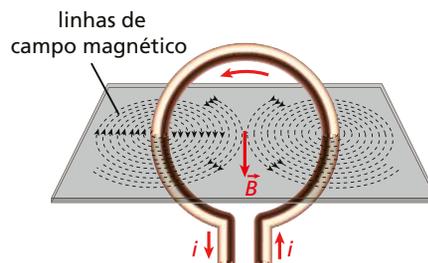
// Posicionamento das bússolas sem corrente elétrica percorrendo o fio.

A espira circular

Se o fio for dobrado na forma de uma circunferência, criamos um dispositivo que leva o nome de espira circular, de modo que no centro da circunferência há concentração de linhas de campo magnético.

A intensidade do campo magnético no centro da espira será dada por:

$$B = \frac{\mu i}{2R}$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

A orientação do campo magnético no centro da espira tem como características:

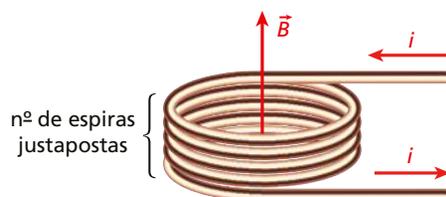
- Direção: perpendicular ao plano da espira.
- Sentido: determinado pela regra da mão direita.

Ao se observar a espira frontalmente e disposta no plano do papel, percebe-se que, quando a corrente elétrica a percorre no sentido horário, um campo magnético perpendicular ao plano e entrando neste é gerado em seu centro. Ao se inverter o sentido de percurso da corrente elétrica, inverte-se também o sentido do campo magnético, que passa a sair do plano do papel. Tudo isso é regido pela regra da mão direita.

Bobina chata

A intensidade do campo magnético central em uma bobina chata formada por n espiras justapostas será dada por:

$$B = n \frac{\mu i}{2R}$$

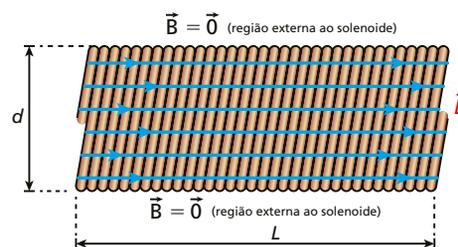


Banco de imagens/Arquivo da editora

O solenoide

Solenoide é o nome dado a um fio formado por várias espiras iguais, coaxialmente dispostas lateralmente e igualmente espaçadas.

Considera-se como caso ideal o solenoide hipotético com um longo comprimento L quando comparado com seu diâmetro d . Nessa situação, o campo magnético na região interna pode ser considerado uniforme e, externamente, é possível considerar o campo magnético nulo. Quanto maior a relação entre o comprimento do solenoide L e seu diâmetro d , mais próximo do caso ideal estará o solenoide.

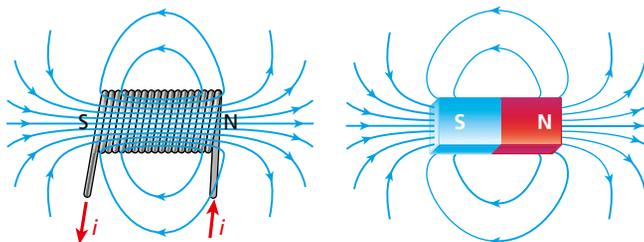


Linhas de campo magnético de um solenoide ideal.

Banco de imagens/Arquivo da editora

Polos magnéticos nas extremidades do solenoide (faces do solenoide)

As linhas de campo criadas por um solenoide em sua região externa apresentam configuração comparável à de um ímã em forma de barra.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Determinação dos polos de um solenoide: Regra da mão direita

As principais características do campo magnético gerado no interior de um solenoide ideal são:

- Direção axial, ou seja, a mesma do eixo geométrico do solenoide.
- Sentido determinado pela regra da mão direita.
- Intensidade calculada por:

$$B = \frac{\mu N i}{L}$$

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (ITA-SP) Uma haste metálica com 5,0 kg de massa e resistência de $2,0 \Omega$ desliza sem atrito sobre duas barras paralelas separadas de 1,0 m, interligadas por um condutor de resistência nula e apoiadas em um plano de 30° com a horizontal, conforme a figura. Tudo encontra-se imerso num campo magnético B , perpendicular ao plano do movimento, e as barras de apoio têm resistência e atrito desprezíveis.

Considerando que após deslizar durante um certo tempo a velocidade da haste permanece constante em 2,0 m/s, assinale o valor do campo magnético.

- a) 25,0 T b) 20,0 T c) 15,0 T d) 10,0 T e) 5,0 T

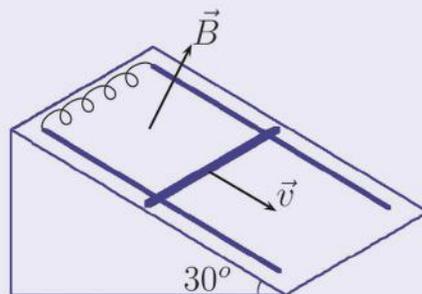
Resolução:

A componente do peso paralela ao plano inclinado é equilibrada pela força magnética. Assim, temos:

$$m g \sin 30^\circ = B i L \Rightarrow m \frac{g}{2} = B i L = B \left(\frac{BLv}{R} \right) L = B^2 L^2 \frac{v}{R} \Rightarrow B^2 = m \frac{g}{2} \frac{R}{L^2 v}$$

$$B^2 = 5 \frac{10}{2} \cdot \frac{2}{1^2 \cdot 2} = 25 \therefore B = 5 \text{ T}$$

Resposta: E

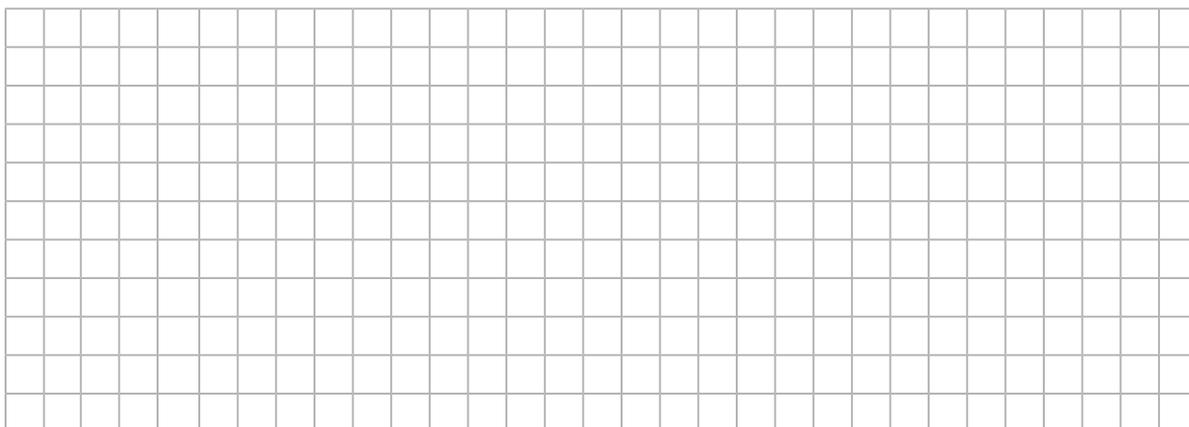


Questões

1. (PUC-RS)

Para uma espira circular condutora, percorrida por uma corrente elétrica de intensidade i , é registrado um campo magnético de intensidade B no seu centro. Alterando-se a intensidade da corrente elétrica na espira para um novo valor i_{final} , observa-se que o módulo do campo magnético, no mesmo ponto, assumirá o valor $5B$. Qual é a razão entre as intensidades das correntes elétricas final e inicial $\frac{i_{\text{final}}}{i}$?

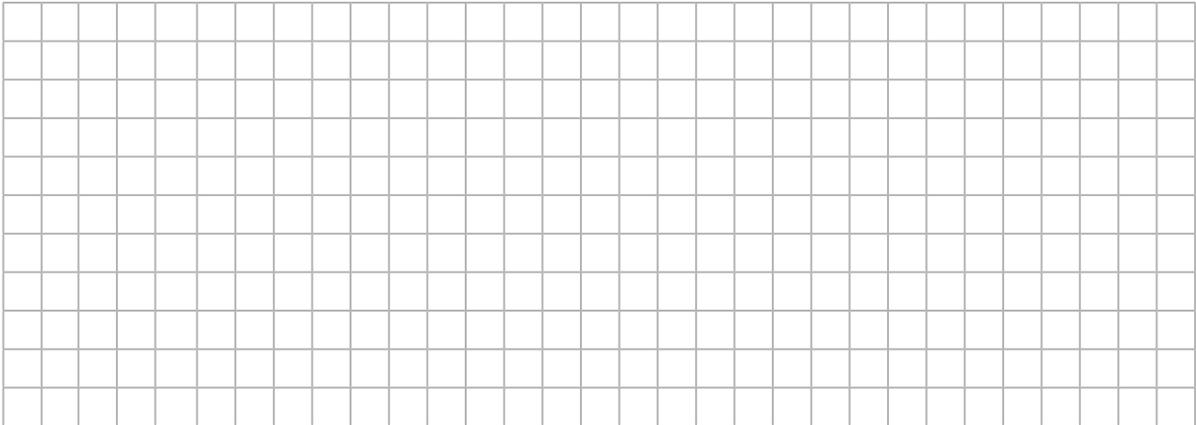
- a) $\frac{1}{5}$ b) $\frac{1}{25}$ c) 5 d) 10 e) 25



2. (Uece)

No caso hipotético de uma corrente elétrica por um condutor retilíneo, há geração de um campo magnético

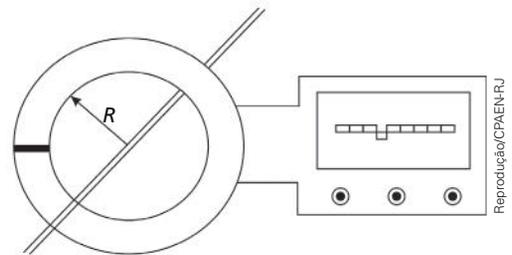
- a) na mesma direção do condutor.
- b) que aumenta proporcionalmente à distância do condutor.
- c) que é constante e uniforme em torno da direção do condutor.
- d) em direções perpendiculares à do condutor.



3. (CPAEN-RJ)

Analise a figura ao lado.

Um instrumento denominado amperímetro de alicate é capaz de medir a corrente elétrica em um ou mais condutores apenas os envolvendo com suas garras (ver figura). Quando essas são fechadas, o campo magnético produzido pelas correntes envolvidas pode ser medido por um sensor. Considere que dois condutores retilíneos, muito próximos um do outro atravessam o centro da área circular, de raio R , entre as garras do medidor. Sendo assim, o campo magnético medido pelo sensor será



- a) zero, se as correntes nos fios forem de mesmo módulo I e tiverem sentidos contrários.
- b) $\frac{\mu_0 I}{\pi R^2}$, se as correntes forem de mesmo módulo I e tiverem o mesmo sentido.
- c) $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}$, se as correntes forem de mesmo módulo I e tiverem o mesmo sentido.
- d) $\frac{\mu_0 I}{4\pi R}$, se as correntes forem de mesmo módulo I e tiverem sentidos contrários.
- e) sempre zero.



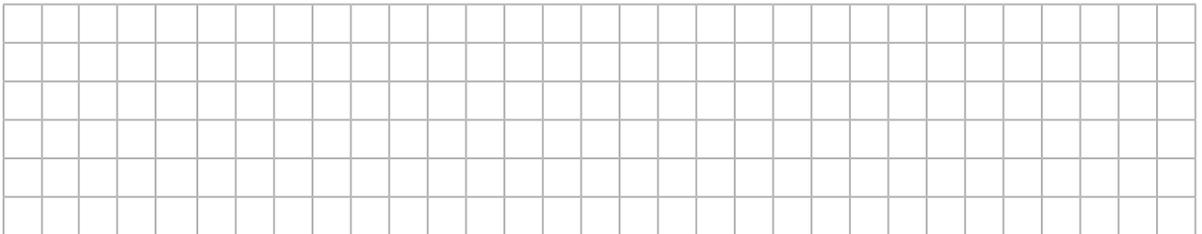
4. (ITA-SP)

A figura representa o campo magnético de dois fios paralelos que conduzem correntes elétricas. A respeito da força magnética resultante no fio da esquerda, podemos afirmar que ela:



Reprodução/ITA, 2009.

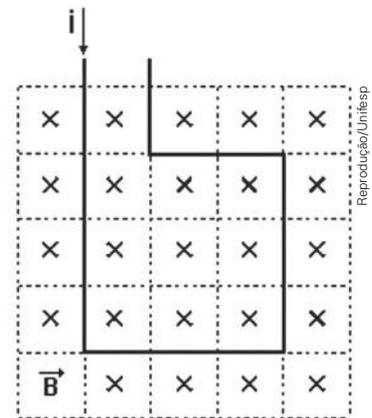
- a) atua para a direita e tem magnitude maior que a da força no fio da direita.
- b) atua para a direita e tem magnitude igual à da força no fio da direita.
- c) atua para a esquerda e tem magnitude maior que a da força no fio da direita.
- d) atua para a esquerda e tem magnitude igual à da força no fio da direita.
- e) atua para a esquerda e tem magnitude menor que a da força no fio da direita.



5. (Unifesp)

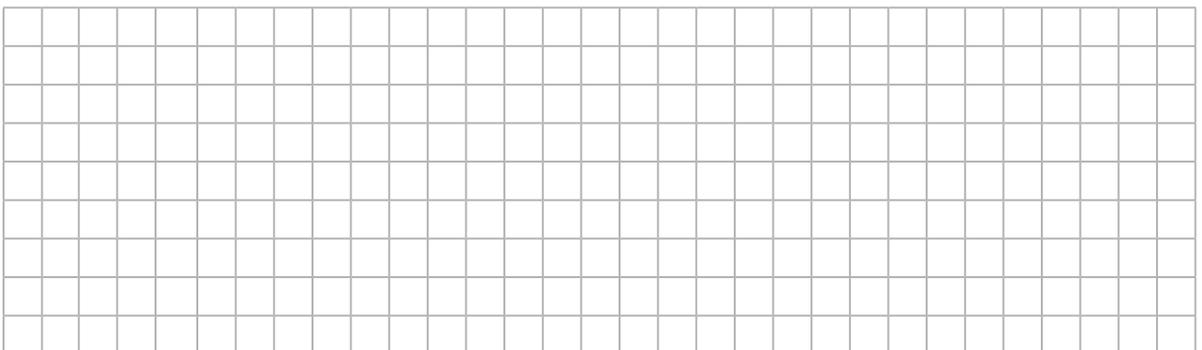
Na região quadriculada da figura existe um campo magnético uniforme, perpendicular ao plano do reticulado e penetrando no plano da figura. Parte de um circuito rígido também passa por ela, como ilustrado na figura.

A aresta de cada célula quadrada do quadrilátero tem comprimento u , e pelo fio passa uma corrente elétrica de intensidade i . Analisando a força magnética que age sobre cada elemento de comprimento u do fio do circuito, coincidente com a aresta das células quadradas, a intensidade da força magnética resultante sobre a parte do circuito exposta ao campo B é:



Reprodução/Unifesp

- a) nula.
- b) $\frac{iBu}{2}$
- c) iBu .
- d) $3iBu$.
- e) $13iBu$.



TOTAL DE ACERTOS

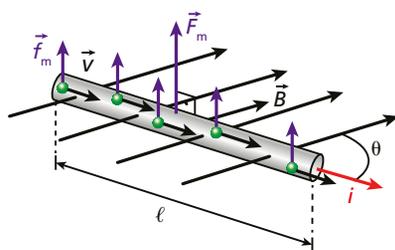
___/5

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Diferenciar os efeitos da força magnética a partir de diferentes condutores elétricos.

Força magnética em um condutor retilíneo



Considere um condutor de comprimento ℓ percorrido por uma corrente elétrica contínua e constante de intensidade i que forma com as linhas de indução um ângulo θ . Ao longo do comprimento ℓ do fio, deve haver n partículas, cada uma com quantidade de carga q atravessando toda a extensão do condutor em um intervalo de tempo Δt .

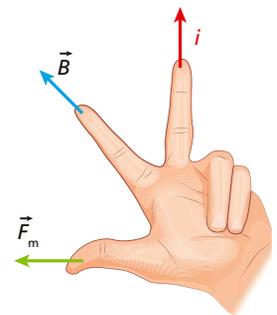
Dessa forma:

- A intensidade tem valor:

$$F_m = B i \ell \sin \theta$$

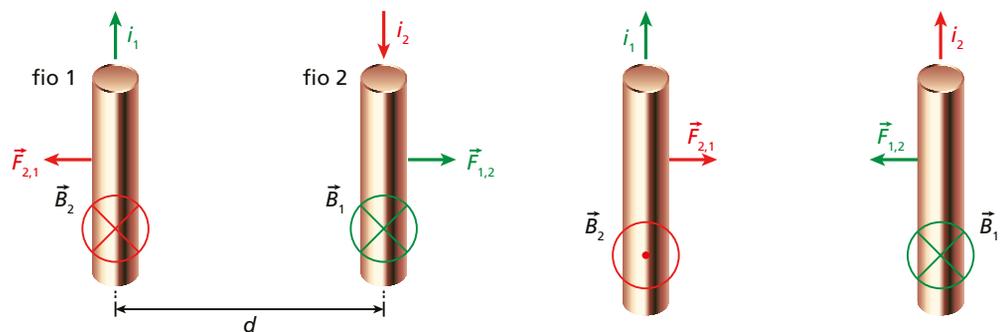
- A direção de \vec{F}_m é perpendicular ao plano formado por \vec{B} e o próprio fio.
- O sentido de \vec{F}_m é dado pela segunda regra da mão esquerda.

/// O polegar atua como força magnética, o indicador como campo magnético e o dedo médio representa a corrente elétrica.



Força magnética entre fios condutores retilíneos paralelos

Considere um trecho de comprimento ℓ de dois condutores retilíneos muito longos, dispostos paralelamente e percorridos por intensidades de corrente elétrica i_1 e i_2 . A força magnética \vec{F}_m de interação entre os dois fios condutores paralelos é dada por:



$$F_m = \frac{\mu i_1 i_2 \ell}{2\pi d}$$

ou

$$F_m = \frac{\mu i^2 \ell}{2\pi d}$$

Conclui-se que entre dois condutores retilíneos e paralelos, percorridos por correntes elétricas, a força magnética será de:

- **Atração** quando as correntes elétricas tiverem o mesmo sentido.
- **Repulsão** quando as correntes elétricas tiverem sentidos opostos.

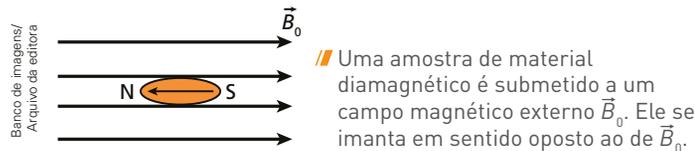
O ampere é a intensidade de corrente elétrica constante que, circulante em dois condutores retilíneos, paralelos, infinitos, de área de secção transversal desprezível e a 1 m de distância entre si, produz uma força magnética de intensidade $2 \cdot 10^{-7}$ N por metro de comprimento, no vácuo.

Propriedades magnéticas dos materiais

Na natureza, em termos de comportamento magnético, um material pode ser classificado em três grupos: **diamagnéticos**, **paramagnéticos** e **ferromagnéticos**.

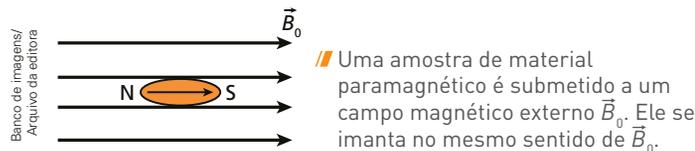
Quando submetidas a um campo externo, os materiais **diamagnéticos** imantam-se em sentido contrário ao do campo.

Por isso, um ímã, quando é aproximado de uma amostra de material diamagnético, o repele.



Quando submetidos a um campo externo, os materiais **paramagnéticos** imantam-se no mesmo sentido do campo.

Por isso mesmo, um ímã, quando aproximado de uma amostra de material paramagnético, o atrai.



Os materiais **ferromagnéticos** comportam-se como os paramagnéticos, mas de modo bem mais acentuado. Isso significa que eles se imantam intensamente no mesmo sentido do campo magnético externo e sofrem forte atração magnética quando próximos a um ímã.

Considerando a permeabilidade relativa, tem-se:

Material diamagnético: $\mu_r < 1$
Material paramagnético: $\mu_r > 1$
Material ferromagnético: $\mu_r \gg 1$

Ponto de Curie

Ponto de Curie é o nome dado à temperatura a partir da qual o material perde suas propriedades ferromagnéticas e praticamente perde sua imantação.

Histerese magnética

Suponha um material ferromagnético que, após a retirada do campo externo indutor, ainda apresente uma imantação residual. O fenômeno, denominado **histerese magnética**, é usado na confecção de ímãs **permanentes**.

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (IME-RJ)

A figura 1 apresenta um sistema composto por um trilho fixo em U e uma barra móvel que se desloca na vertical com velocidade v suspensa por um balão de massa desprezível. O trilho e a barra são condutores elétricos e permanecem sempre em contato sem atrito. Este conjunto está em uma região sujeita a uma densidade de fluxo magnético \vec{B} que forma com a horizontal um ângulo θ , como ilustrado na figura 2.

Diante do exposto, o valor da corrente induzida no sistema, em amperes, no estado estacionário é:

Dados:

- massa da barra: 1 kg;
- aceleração da gravidade g : 10 m/s^2 ;
- ângulo θ entre a horizontal e o vetor B : 60° ;
- massa específica do ar: $1,2 \text{ kg/m}^3$;
- volume constante do balão: $0,5 \text{ m}^3$;
- comprimento da barra entre os trilhos: $0,2 \text{ m}$;
- densidade de fluxo magnético B : 4 T .

Observação:

- despreze a massa do balão com o hélio e o atrito entre a barra e os trilhos.
- a) 5,7 c) 23,0 e) 40,0
b) 10,0 d) 30,0

Resolução:

Se a barra desce com velocidade constante, as forças sobre ela estão em equilíbrio.

$$\text{Cálculo do peso da barra: } P_b = m g = 1 \cdot 10 = 10 \text{ N}$$

$$\text{Cálculo do empuxo: } E = d_{\text{ar}} V g = 1,2 \cdot 0,5 \cdot 10 = 6 \text{ N}$$

$$\text{Cálculo da força magnética: } F_m + E = P_b \Rightarrow F_m = P_b - E = 10 - 6 \therefore F_m = 4 \text{ N}$$

A componente do campo magnético que provoca a força magnética é perpendicular à “espira” formada pela barra e pelos trilhos. O campo magnético é:

$$B_x = B \cos \theta = 4 \cdot \cos 60^\circ = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ T}$$

A intensidade da corrente será, então:

$$F = B_x i L \Rightarrow i = \frac{F}{B_x L} = \frac{4}{2 \cdot 0,2} \therefore i = 10 \text{ A}$$

Pela regra da mão direita, deduzimos que o sentido da corrente na barra é para a esquerda.

Resposta: B

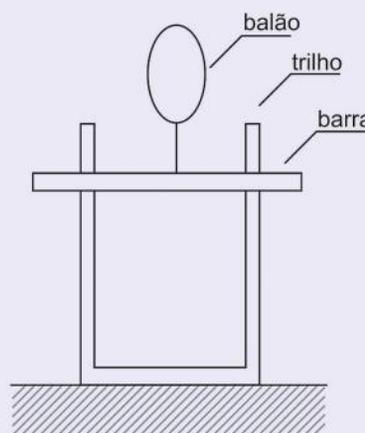


Figura 1

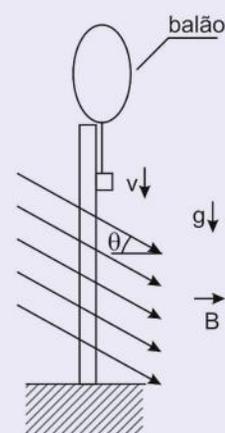
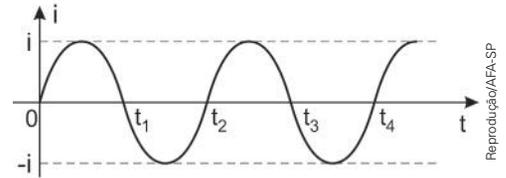
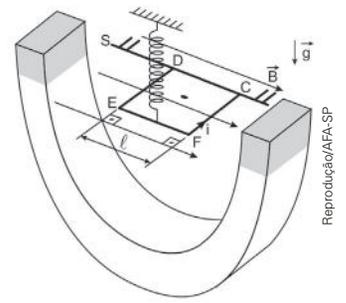


Figura 2

Questões

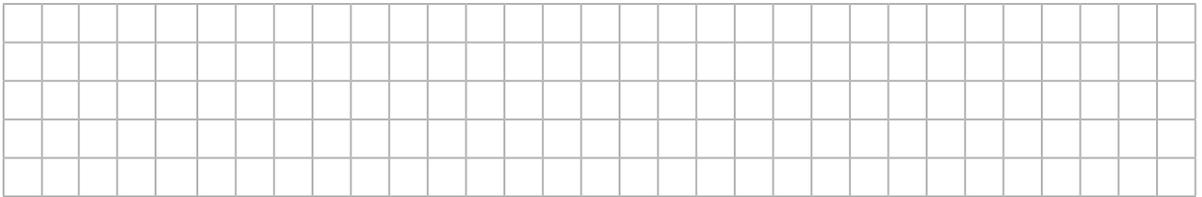
1. (AFA-SP)

O lado **EF** de uma espira condutora quadrada indeformável, de massa m , é preso a uma mola ideal e não condutora, de constante elástica K . Na posição de equilíbrio, o plano da espira fica paralelo ao campo magnético \vec{B} gerado por um ímã em forma de **U**, conforme ilustra a figura ao lado. O lado **CD** é pivotado e pode girar livremente em torno do suporte **S**, que é posicionado paralelamente às linhas de indução do campo magnético. Considere que a espira é percorrida por uma corrente elétrica i , cuja intensidade varia senoidalmente, em função do tempo t , conforme indicado no gráfico ao lado.



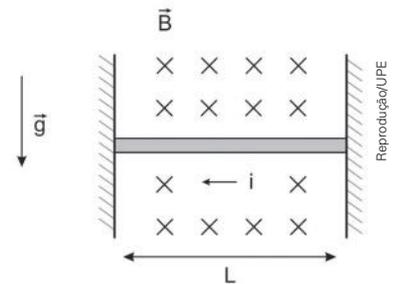
Nessas condições, pode-se afirmar que a

- espira oscilará em MHS com frequência igual a $\frac{1}{t_2}$
- espira permanecerá na sua posição original de equilíbrio
- mola apresentará uma deformação máxima dada por $\frac{Bi\ell}{mgK}$
- mola apresentará uma deformação máxima dada por $\frac{Bi\ell + mg}{K}$

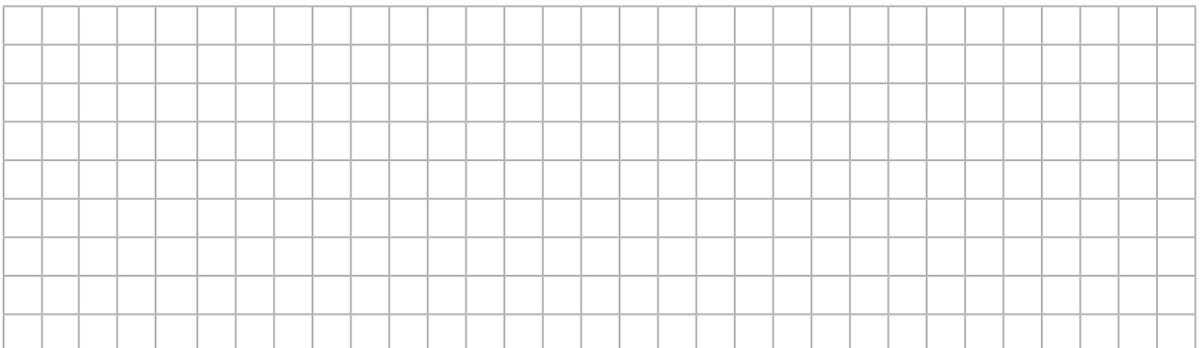


2. (UPE)

Uma barra uniforme, condutora, de massa $m = 100$ g e comprimento $L = 0,50$ m, foi posicionada entre duas superfícies rugosas. A barra permanece em repouso quando uma corrente elétrica $i = 2,0$ A a atravessa na presença de um campo magnético de módulo $B = 1,0$ T, constante, que aponta para dentro do plano da figura. Com base nessas informações, determine o módulo e o sentido da força de atrito resultante que atua na barra.



- 1001,0 N para cima
- 1001,0 N para baixo
- 2,0 N para cima
- 2,0 N para baixo
- 1,0 N para cima



3. (UFSC)

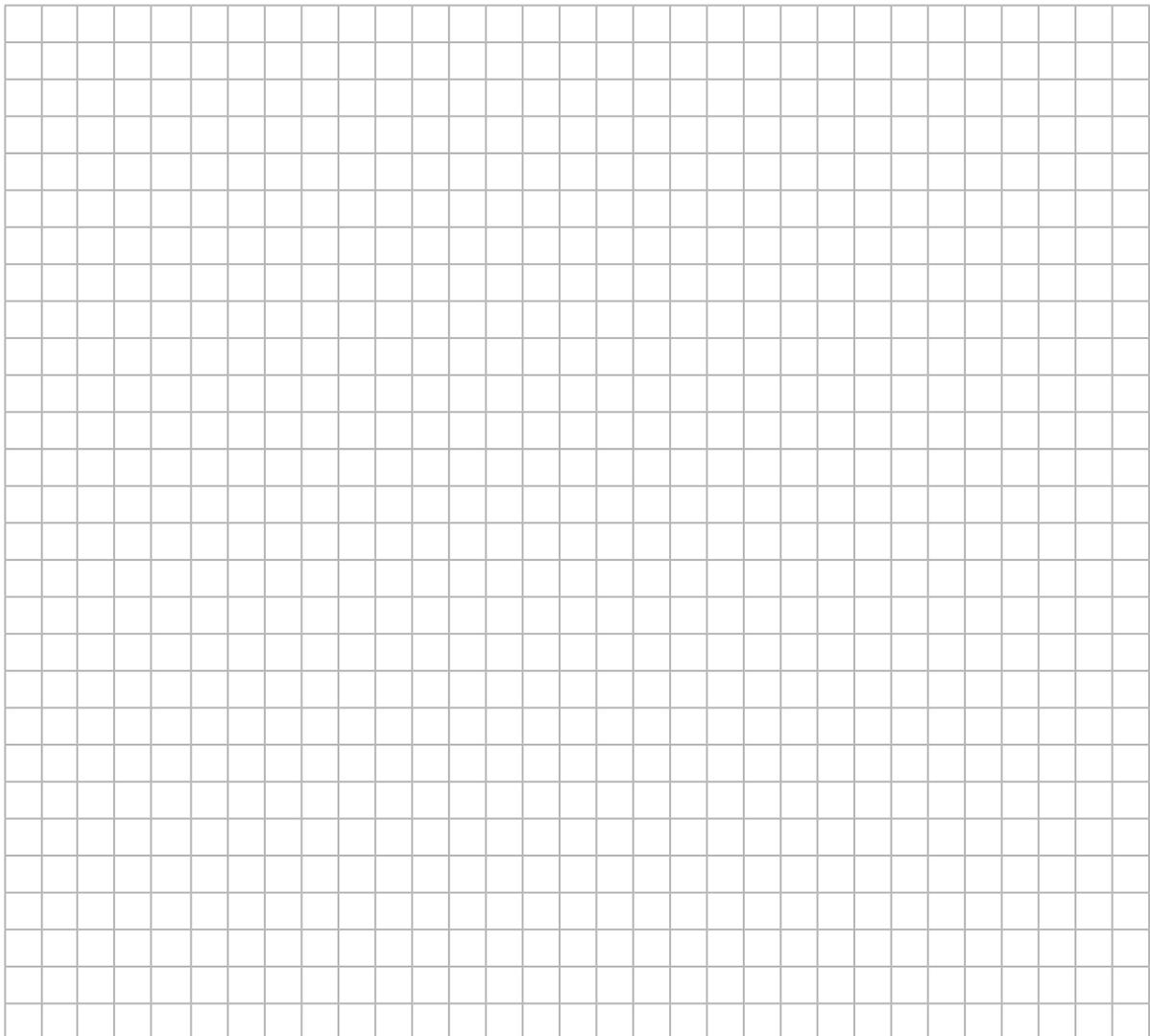
A figura abaixo mostra quatro fios, 1, 2, 3 e 4, percorridos por correntes de mesmo módulo, colocados nos vértices de um quadrado, perpendicularmente ao plano da página. Os fios 1, 2 e 3 têm correntes saindo da página e o fio 4 tem uma corrente entrando na página.



Reprodução/UFSC

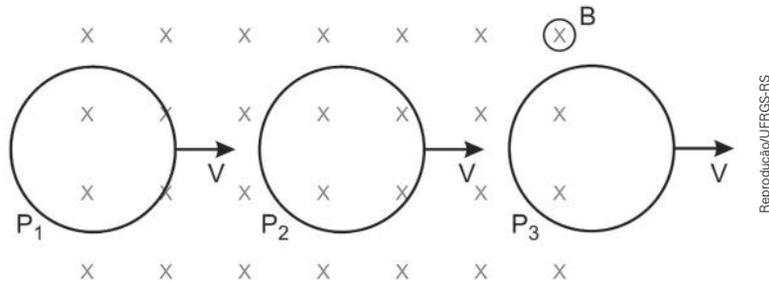
Com base na figura, assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

- 01) O campo magnético resultante que atua no fio 4 aponta para o leste.
- 02) A força magnética resultante sobre o fio 4 aponta para o sudeste.
- 04) Os fios 1 e 3 repelem-se mutuamente.
- 08) A força magnética que o fio 2 exerce no fio 3 é maior do que a força magnética que o fio 1 exerce no fio 3.
- 16) O campo magnético resultante que atua no fio 2 aponta para o sudoeste.
- 32) O campo magnético resultante no centro do quadrado aponta para o leste.



4. (UFRGS-RS)

A figura abaixo representa três posições, P_1 , P_2 e P_3 , de um anel condutor que se desloca com velocidade v constante numa região em que há um campo magnético B , perpendicular ao plano da página.

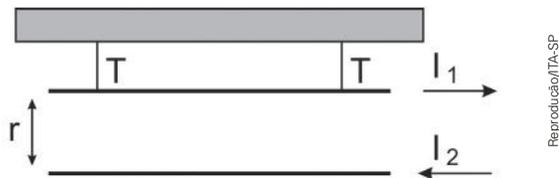


Com base nestes dados, é correto afirmar que uma corrente elétrica induzida no anel surge

- a) apenas em P_1 .
- b) apenas em P_3 .
- c) apenas em P_1 e P_3 .
- d) apenas em P_2 e P_3 .
- e) em P_1 , P_2 e P_3 .

5. (ITA-SP)

Considere dois fios paralelos, muito longos e finos, dispostos horizontalmente conforme mostra a figura. O fio de cima pesa $0,080 \text{ N/m}$, é percorrido por uma corrente $I_1 = 20 \text{ A}$ e se encontra dependurado por dois cabos. O fio de baixo encontra-se preso e é percorrido por uma corrente $I_2 = 40 \text{ A}$, em sentido oposto. Para qual distância r indicada na figura, a tensão T nos cabos será nula?



Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Reconhecer o efeito do fluxo de campo magnético sobre materiais condutores.

Fluxo do vetor indução magnética

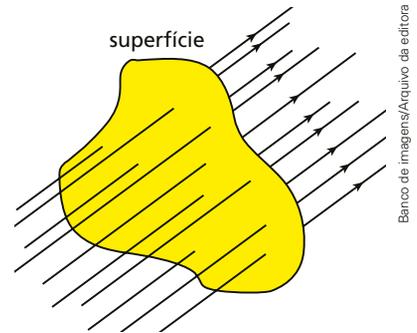
O fluxo do vetor \vec{B} através de uma superfície plana de área A é definido como sendo a grandeza Φ dada por:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

Conceitualmente, o valor do fluxo magnético está relacionado a uma medida do número de linhas de indução que atravessam a superfície.

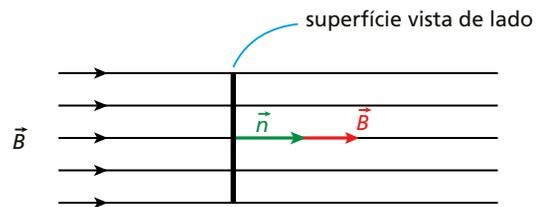
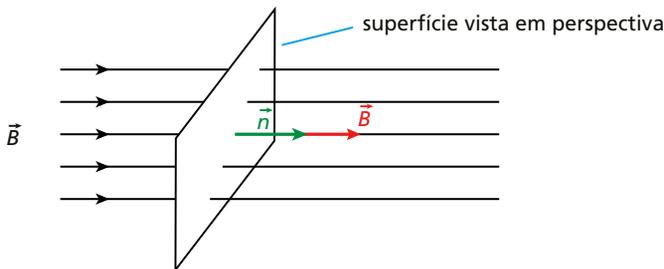
A unidade de fluxo magnético no sistema internacional é o weber (símbolo: Wb) e $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$.

// Quanto maior o número de linhas de campo magnético que atravessam a superfície, maior será a intensidade do fluxo magnético.



Banco de imagens/Arquivo da editora

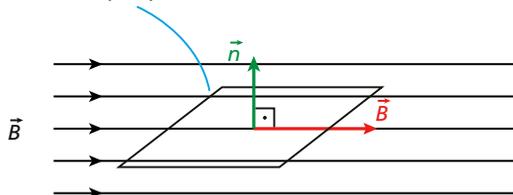
O fluxo magnético é máximo quando a superfície é **perpendicular** à direção do campo.



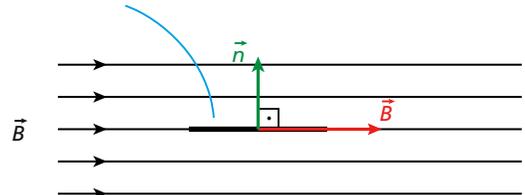
Banco de imagens/Arquivo da editora

O fluxo magnético é nulo quando a superfície é **paralela** ao campo.

superfície vista em perspectiva



superfície vista de lado



Banco de imagens/Arquivo da editora

Indução eletromagnética

Quando o fluxo magnético sobre um circuito sofre variação, uma corrente elétrica induzida surge no circuito quando este for fechado. No caso de o circuito estar aberto, estabelece-se uma diferença de potencial induzida.

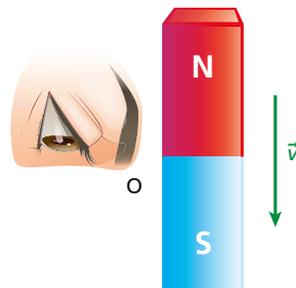
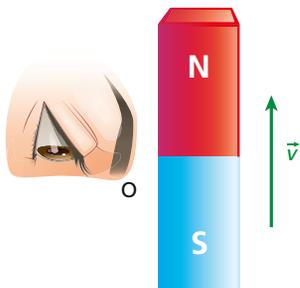
Não basta que exista um fluxo magnético atravessando a espira, o fenômeno fundamental é a variação desse fluxo no decorrer do tempo.

Lei de Lenz

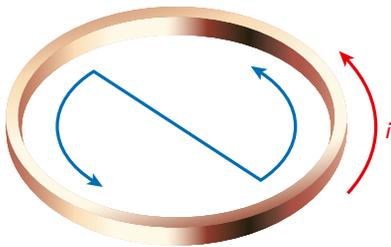
De acordo com a Lei de Lenz:

O sentido da corrente elétrica induzida será sempre aquele que produza um fluxo magnético induzido que se oponha à variação do fluxo magnético indutor.

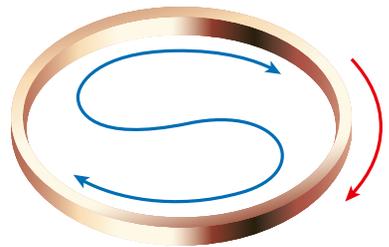
Banco de imagens/Arquivo da editora



Banco de imagens/Arquivo da editora



// Quando temos o polo sul afastando-se da espira, nessa face aparece um polo norte. A força entre ímã e espira é de atração.



// Quando temos o polo sul aproximando-se da espira, nessa face aparece um polo sul. A força entre ímã e espira é de repulsão.

Logo, a força magnética que se estabelece no condutor tem sempre sentido contrário ao da velocidade do ímã em movimento.

Lei de Faraday

De acordo com a Lei de Faraday, a força eletromotriz induzida num circuito com fluxo magnético variável é igual à velocidade de variação do fluxo.

$$U = \epsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Vale notar que a formulação mais rigorosa da Lei de Faraday traz um sinal de menos (–) a ela associada.

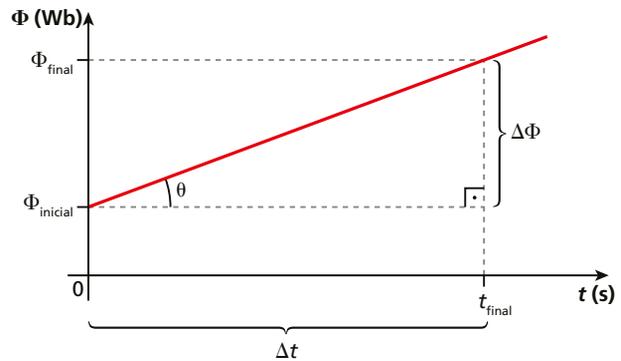
$$\epsilon_M = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (\text{f.e.m. induzida média})$$

Análise gráfica da variação do fluxo magnético

Variação linear do fluxo magnético com o tempo

Na situação apresentada no gráfico, a taxa de variação do fluxo magnético com o tempo é constante, ou seja, o fluxo magnético varia uniformemente com o tempo.

$$\epsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \text{tg } \theta = \text{cte}$$

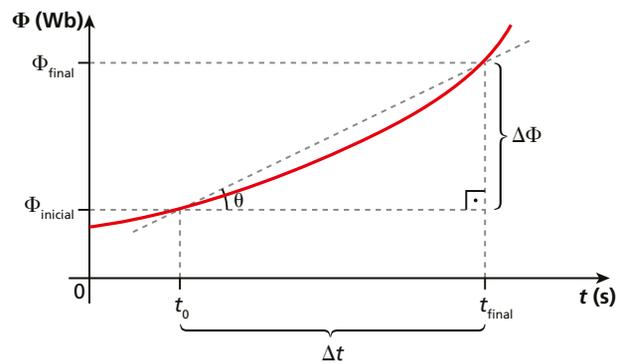


Banco de imagens/Arquivo da editora

Variação não linear do fluxo magnético no intervalo de tempo Δt

Nessa situação, o fluxo magnético não varia uniformemente com o tempo, ou seja, a taxa de variação do fluxo magnético com o tempo não é constante. Assim:

$$\epsilon_M = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \text{tg } \theta$$

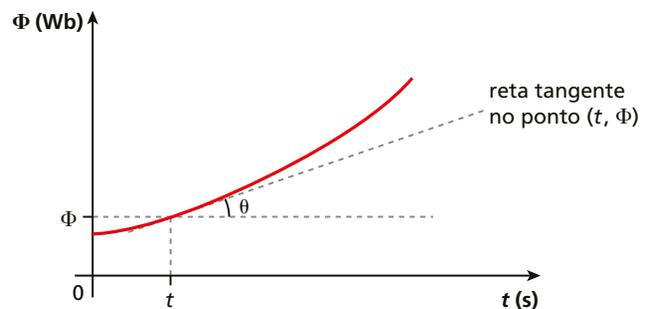


Banco de imagens/Arquivo da editora

Variação não linear do fluxo magnético no intervalo de tempo infinitamente pequeno

No gráfico apresentado ao lado, é considerado um intervalo de tempo Δt infinitamente pequeno de tal modo que podemos considerá-lo um instante. Desse modo:

$$\epsilon = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \text{tg } \theta$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Fluxo magnético constante no decorrer do tempo

No caso descrito pelo gráfico ao lado, não há variação do fluxo magnético com o tempo. Dessa forma:

$$\Delta\Phi = 0 \Rightarrow \epsilon = 0$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. [Uerj] A corrente elétrica no enrolamento primário de um transformador corresponde a 10 A, enquanto no enrolamento secundário corresponde a 20 A.

Sabendo que o enrolamento primário possui 1 200 espiras, o número de espiras do enrolamento secundário é:

- a) 600 b) 1 200 c) 2 400 d) 3 600

Resolução:

Desprezando perdas de energia na transformação, temos:

$$P_p = P_s \Rightarrow U_p i_p = U_s i_s \Rightarrow U_p \cdot 10 = U_s \cdot 20 \therefore U_p = 2 U_s$$

Da relação entre tensão e número de espiras no primário e secundário de um transformador, tem-se:

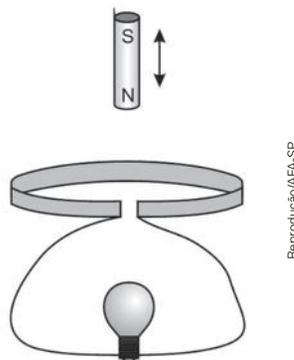
$$\frac{U_p}{N_p} = \frac{U_s}{N_s} \Rightarrow \frac{2U_s}{1200} = \frac{U_s}{N_s} \Rightarrow \frac{1}{600} = \frac{1}{N_s} \therefore N_s = 600$$

Resposta: A

Questões

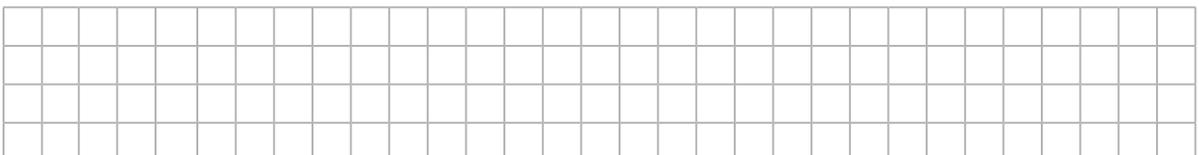
1. [AFA-SP]

A figura a seguir mostra um ímã oscilando próximo a uma espira circular, constituída de material condutor, ligada a uma lâmpada.



A resistência elétrica do conjunto espira, fios de ligação e lâmpada é igual a R e o ímã oscila em MHS com período igual a T . Nessas condições, o número de elétrons que atravessa o filamento da lâmpada, durante cada aproximação do ímã

- a) é diretamente proporcional a T .
b) é diretamente proporcional a T^2 .
c) é inversamente proporcional a T .
d) não depende de T .



2. (ITA-SP)

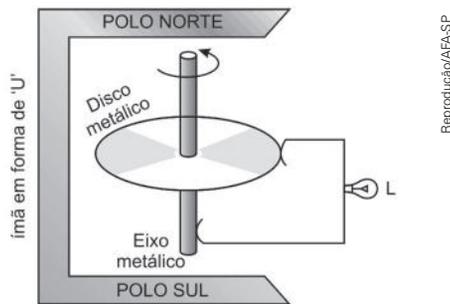
Elétrons com energia cinética inicial de 2 MeV são injetados em um dispositivo (bétatron) que os acelera em uma trajetória circular perpendicular a um campo magnético cujo fluxo varia a uma taxa de 1 000 Wb/s. Assinale a energia cinética final alcançada pelos elétrons após 500 000 revoluções.

- a) 498 MeV b) 500 MeV c) 502 MeV d) 504 MeV e) 506 MeV

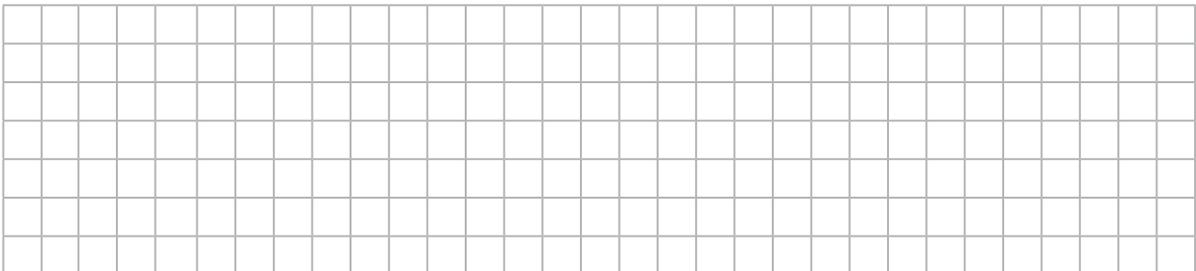
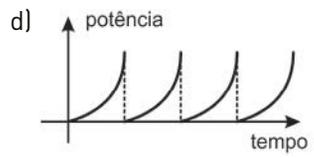
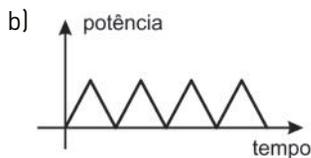
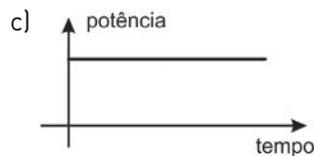
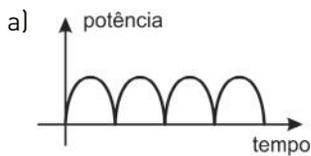


3. (AFA-SP)

Um gerador homopolar consiste de um disco metálico que é posto a girar com velocidade angular constante em um campo magnético uniforme, cuja ação é extensiva a toda a área do disco, conforme ilustrado na figura abaixo.

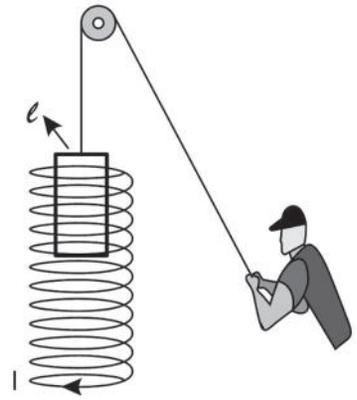


Ao conectar, entre a borda do disco e o eixo metálico de rotação, uma lâmpada **L** cuja resistência elétrica tem comportamento ôhmico, a potência dissipada no seu filamento, em função do tempo, é melhor representada pelo gráfico

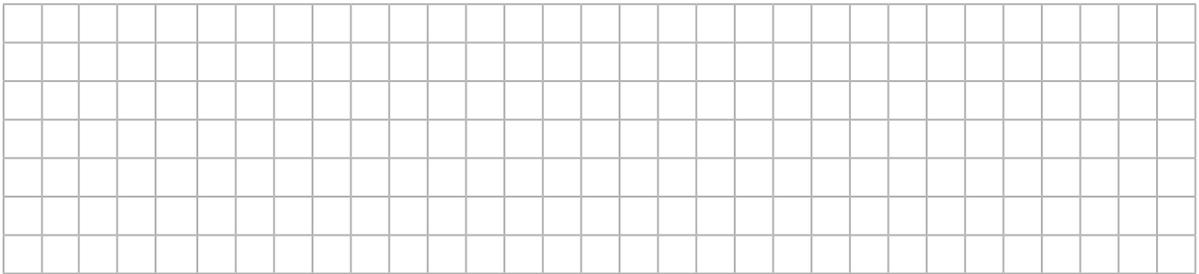


4. (ITA-SP)

Considere um aparato experimental composto de um solenoide com n voltas por unidade de comprimento, pelo qual passa uma corrente I , e uma espira retangular de largura ℓ , resistência R e massa m presa por um de seus lados a uma corda inextensível, não condutora, a qual passa por uma polia de massa desprezível e sem atrito, conforme a figura. Se alguém puxar a corda com velocidade constante v , podemos afirmar que a força exercida por esta pessoa é igual a



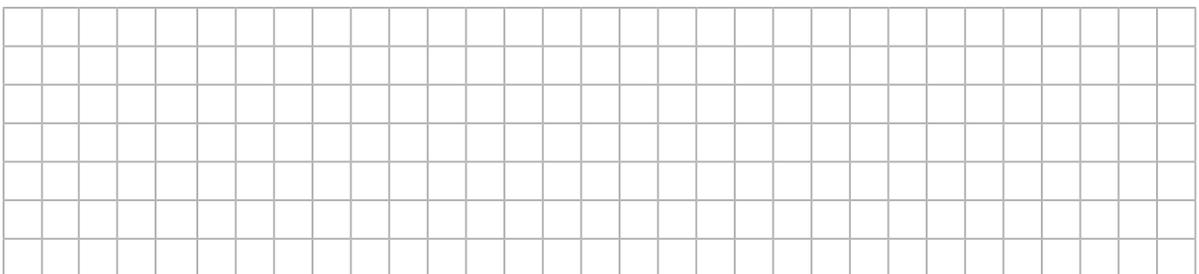
- a) $\frac{(\mu_0 n I \ell)^2 v}{R + mg}$ com a espira dentro do solenoide.
- b) $\frac{(\mu_0 n I \ell)^2 v}{R + mg}$ com a espira saindo do solenoide.
- c) $\frac{(\mu_0 n I \ell)^2 v}{R + mg}$ com a espira entrando no solenoide.
- d) $\mu_0 n I^2 \ell + mg$ com a espira dentro do solenoide.
- e) mg e independe da posição da espira com relação ao solenoide.



5. (Enem)

Há vários tipos de tratamentos de doenças cerebrais que requerem a estimulação de partes do cérebro por correntes elétricas. Os eletrodos são introduzidos no cérebro para gerar pequenas correntes em áreas específicas. Para se eliminar a necessidade de introduzir eletrodos no cérebro, uma alternativa é usar bobinas que, colocadas fora da cabeça, sejam capazes de induzir correntes elétricas no tecido cerebral. Para que o tratamento de patologias cerebrais com bobinas seja realizado satisfatoriamente, é necessário que

- a) haja um grande número de espiras nas bobinas, o que diminui a voltagem induzida.
- b) o campo magnético criado pelas bobinas seja constante, de forma a haver indução eletromagnética.
- c) se observe que a intensidade das correntes induzidas depende da intensidade da corrente nas bobinas.
- d) a corrente nas bobinas seja contínua, para que o campo magnético possa ser de grande intensidade.
- e) o campo magnético dirija a corrente elétrica das bobinas para dentro do cérebro do paciente.



Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Conhecer fenômenos quânticos decorrentes da interação entre luz e matéria.

Introdução

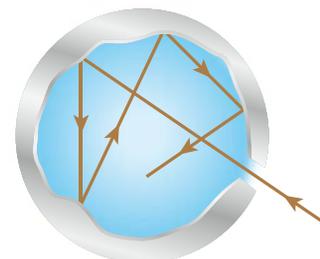
O conjunto de leis físicas e conhecimentos científicos que eram vigentes até o final do século XIX é conhecido como Física Clássica, enquanto as novas leis, que foram desenvolvidas nas primeiras décadas do século XX, se tornaram a base do que hoje chamamos Física Moderna.

A radiação térmica

A radiação eletromagnética emitida por um corpo como consequência de seu estado térmico é denominada **radiação térmica**.

Corpo negro

Corpo negro é definido como um **absorvedor ideal**, que absorve toda a radiação que incide sobre ele, sem refletir qualquer parcela dela. Na realidade, todo bom absorvedor é também um bom emissor, e não se conhece um corpo que se comporte perfeitamente como um corpo negro.



Banco de imagens/Arquivo da editora

A Lei de Stefan-Boltzmann

A potência total (P) emitida é diretamente proporcional à quarta potência da temperatura absoluta (T). Essa relação pode ser assim explicitada de uma maneira mais completa por:

$$P = e \sigma A T^4$$

sendo:

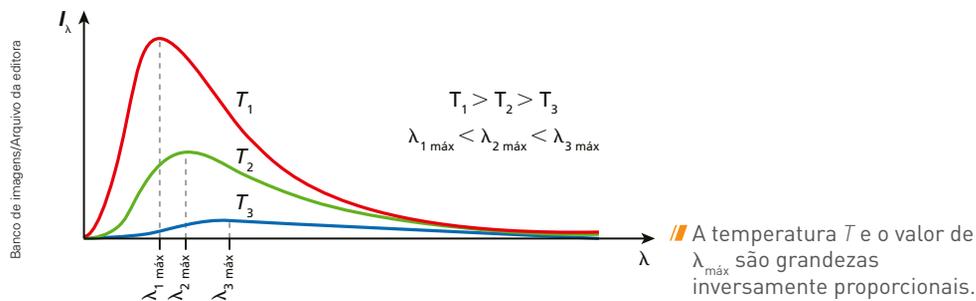
- P , a potência total irradiada.
- e , a emissividade do corpo, um adimensional relacionado ao tipo de superfície ($0 \leq e \leq 1$).
- σ , a constante de Stefan-Boltzmann. No SI, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$.
- A , a área da superfície emissora.

Lembrando que a intensidade (I) de uma radiação é $\frac{P}{A}$, temos:

$$I = e \sigma T^4$$

A Lei do Deslocamento de Wien

O físico alemão Wilhelm Wien estudou o espectro da radiação térmica irradiada por um corpo negro e, em seus estudos, foram encontrados os resultados apresentados no gráfico que segue.



A partir dos dados experimentais obtidos, deduz-se que:

- A curva de radiação apresenta um espectro contínuo, ou seja, o corpo negro emite em todas as frequências (ou em todos os comprimentos de onda).
- Quando aumenta a temperatura, também aumenta a intensidade da radiação emitida para todos os comprimentos de onda; nota-se no gráfico que as curvas não se cruzam.

Em 1893, Wien demonstrou que o comprimento de onda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) e a temperatura (T) são inversamente proporcionais:

$$\lambda_{\text{máx}} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

A interpretação de Planck

Para enfrentar a incompatibilidade entre previsão teórica e resultados experimentais, Max Planck propôs uma teoria que ele próprio considerou a princípio uma cartada desesperadora. Posteriormente, percebeu que sua proposta era revolucionária. De acordo com o novo modelo, a matéria deveria ser constituída de pequenos osciladores harmônicos (cargas oscilantes) que vibram com frequências específicas, absorvendo e emitindo energia na forma de ondas eletromagnéticas.

Cada um desses osciladores harmônicos só absorveria ou emitiria energia em um valor múltiplo de sua energia básica, energia essa que é diretamente proporcional à sua frequência natural de oscilação.

De acordo com a proposta de Planck, a energia que um oscilador pode absorver ou emitir é:

$$E = n h f$$

Em que:

- n é um número inteiro denominado número quântico.
- h é uma constante universal denominada Constante de Planck ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$).
- f é a frequência natural do oscilador.

Quando um oscilador muda de um estado quântico para outro, deve emitir ou absorver certa quantidade de energia, a qual será igual à diferença entre essas energias associadas a cada estado. Diz-se, portanto, que a energia é **quantizada** e será sempre um múltiplo da energia básica “ $h f$ ”.

O efeito fotoelétrico

O fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico ocorre quando a luz incidente em uma placa metálica, sob determinadas condições, consegue extrair cargas elétricas pertencentes a esta.

O efeito fotoelétrico é independente da intensidade da radiação incidente, depende apenas de uma frequência específica dessa radiação denominada **frequência de corte**.

Um conflito entre o experimento do efeito fotoelétrico e as teorias clássicas estabelecidas foi o fato de que a energia cinética com que os elétrons eram ejetados do metal dos eletrodos era independente da intensidade da radiação incidente. Percebeu-se ainda que o campo elétrico estabelecido entre os eletrodos, que gera uma força elétrica que freia os elétrons, é dada por:

$$\frac{1}{2}m_e v_{\text{máx}}^2 = e U_0$$

em que $v_{\text{máx}}$ é a velocidade máxima dos elétrons, e é a carga elementar e m_e é a massa do elétron.

Resumindo os conflitos e a visão de Einstein

Albert Einstein propôs uma explicação eficiente para o efeito fotoelétrico aplicando a teoria quântica de Planck à luz. O jovem físico propôs, então, que a radiação luminosa também é formada por *quanta* de luz, chamando-os de fótons. A energia de um fóton é descrita pela equação de Planck:

$$E = h f$$

Mecanismo do efeito fotoelétrico em metais

Quando há incidência de luz, o fóton interage com um único elétron, que recebe a energia hf transportada pelo fóton. Essa energia é utilizada para superar a função trabalho Φ , e o que sobra será conservado na forma de energia cinética (E_c) do elétron.

Nesses termos, tem-se:

$$E_c = h f - \Phi$$

O elétron mais veloz

Quando a função trabalho assume um valor mínimo (Φ_0), a energia cinética tem valor máximo ($E_{c_{\text{máx}}}$), assim:

$$E_{c_{\text{máx}}} = h f - \Phi_0$$

Condição para ocorrência do efeito fotoelétrico

Cada metal possui uma frequência mínima característica abaixo da qual não há efeito fotoelétrico, para qualquer valor de intensidade da luz incidente. A frequência mínima é dada por:

$$f_{\text{mín}} = \frac{\Phi_0}{h}$$

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (UFJF-MG) O Efeito Fotoelétrico foi descoberto por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), nos anos de 1886 e 1887. Hertz percebeu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos, dentro de uma ampola de vidro, era facilitada pela incidência de radiação luminosa no eletrodo negativo, provocando a emissão de elétrons de sua superfície. A explicação satisfatória para esse efeito foi dada em 1905, por Albert Einstein, e em 1921 deu ao cientista alemão o prêmio Nobel de Física. Analisando o efeito fotoelétrico, quantitativamente, Einstein propôs que a energia do fóton incidente é igual à energia necessária para remover um elétron mais a energia cinética do elétron emitido. Com base nestas informações, calcule os itens abaixo.
- a) Considerando que a energia de um fóton incidente é definida por $E = h f$, onde $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ é a constante de Planck e que o comprimento de onda de um fóton é dado por $\lambda = 396 \text{ nm}$, obtenha a energia do fóton.
- b) Sabendo que a massa de um elétron é de aproximadamente $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e que a velocidade dos elétrons emitidos de uma placa metálica incidente por uma radiação com $\lambda = 396 \text{ nm}$ é de $900,00 \text{ km/s}$, CALCULE o valor da energia necessária para remover o elétron da placa.

Resolução:

a) Temos que $E_{\text{fóton}} = h f$ e $c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$, então a energia do fóton é dada por:

$$E_{\text{fóton}} = h \frac{c}{\lambda} = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{396 \cdot 10^{-9}} \therefore E_{\text{fóton}} = 5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

b) Sendo E_0 a energia necessária para arrancar o elétron, de acordo com a equação do efeito fotoelétrico, vem:

$$E_{\text{cin}} = E_{\text{fóton}} - E_0 \Rightarrow E_0 = E_{\text{fóton}} - \frac{mv^2}{2} = 5 \cdot 10^{-19} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} (9 \cdot 10^5)^2}{2} \therefore E_0 = 1,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Respostas: a) $5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; b) $1,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Questões

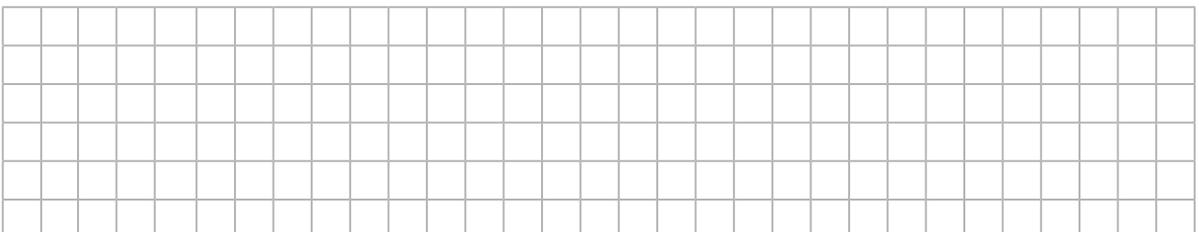
1. (UPF-RS)

A física moderna trata da física desenvolvida no início do século XX e dos conhecimentos por ela gerados advêm muitos dos avanços tecnológicos observados nos dias atuais. Sobre fenômenos, conceitos e teorias abordados pela física moderna, analise as afirmativas que seguem.

- I. O efeito fotoelétrico explica como um próton pode ser arrancado de um metal.
- II. As leis da física são idênticas para todos os observadores em qualquer referencial inercial.
- III. Um elétron salta de uma órbita para outra somente quando perde energia.
- IV. A energia de um fóton é diretamente proporcional à sua frequência.

Está correto apenas o que se afirma em:

- a) I e III. b) II e III. c) II e IV. d) I e II. e) III e IV.



Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Perceber a evolução dos conceitos de Física a partir do estudo da estrutura da matéria.

Banco de imagens/
Arquivo da editora

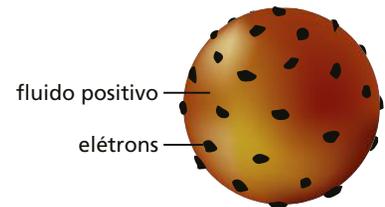


// O átomo de Dalton: maciço, esférico e indivisível.

Os modelos atômicos

Na Antiguidade, com a busca pelo entendimento da constituição da matéria, surge a noção da matéria formada por átomos e espaços vazios. Essa ideia é resgatada por John Dalton, com a proposição de que átomos de um mesmo elemento químico têm o mesmo peso atômico.

De acordo com J. J. Thomson, o átomo seria constituído por uma grande esfera positiva na qual se incrustariam partículas negativas que ele chamou de elétrons. A imagem que se tornou representativa do modelo de Thomson foi a de um pudim de passas.



// O modelo do pudim de passas.

De acordo com Ernest Rutherford, o átomo deveria ser constituído de um núcleo minúsculo em que se concentraria praticamente toda a massa atômica e toda sua carga positiva. Os elétrons girariam ao redor e a certa distância do núcleo. O experimento com uma lâmina de ouro permitiu a Rutherford intuir a existência dos nêutrons, confirmada em 1932 por James Chadwick.

Albert Einstein propôs a seguinte equação, a qual estabelece a relação entre massa (m) e energia (E):

$$E = m c^2$$

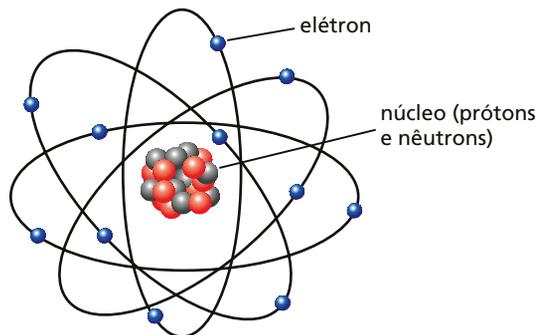
onde c é a velocidade da luz no vácuo.

Os conceitos de conservação da massa e de conservação da energia são expandidos para um conceito mais amplo, o de conservação massa/energia.

Essa expressão nos informa que uma variação de massa (Δm) sempre é acompanhada de uma absorção ou uma emissão de uma quantidade de energia equivalente (ΔE).

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

Dessa forma, em um sistema isolado, as conservações não são isoladas, de massa nem de energia, mas sim integradas no conjunto massa-energia, que se tornam então equivalentes.



// Modelo do átomo de Rutherford.

Banco de imagens/Arquivo da editora

Banco de imagens/Arquivo da editora

O Átomo de Bohr

Foi postulado por Niels Bohr com a finalidade de contornar o problema da estabilidade do átomo de Rutherford:

O raio da trajetória não pode ter infinitos valores, apenas algumas órbitas são permitidas. Essas órbitas são denominadas **estados estacionários** ou quânticos. Enquanto o elétron permanecer nessas órbitas estacionárias, não há irradiação de energia. Somente haverá emissão ou absorção de energia quando o elétron transitar de uma órbita para outra.

Elétrons só podem mudar de níveis de energia ao absorver ou emitir radiação com energia igual à diferença de energia (ΔE) entre as órbitas:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = hf$$

em que E_1 e E_2 são a energia das órbitas consideradas, h é a Constante de Planck e f é a frequência da radiação absorvida ou emitida.

É possível expressar a energia do elétron em uma órbita em torno de um núcleo atômico como:

$$E = -\frac{k}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

No caso do átomo de hidrogênio:

$$E = -\frac{13,6}{n^2} \quad (\text{eV})$$

Modelo de Bohr e espectros atômicos

Quando um elétron muda de uma órbita (n_1) para outra (n_2), emite ou absorve um fóton de forma que sua energia coincide com a diferença de energia entre as órbitas. O modelo atômico de Bohr nos permite obter uma expressão que estabelece uma relação entre o comprimento de onda das radiações absorvidas ou emitidas por uma substância com os trânsitos do elétron entre as órbitas diferentes que lhe são permitidas.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

O raio de Bohr

O raio da órbita (r_n) permitido em termos do número quântico n é:

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e K Q e}$$

O menor raio de órbita possível é chamado de **raio de Bohr** e tem valor igual a:

$$r_n = n^2 r_0$$

A dualidade onda-partícula – A Hipótese de De Broglie

A quantidade de movimento ou momento linear ($Q = m c$) de um *quantum* de luz pode ser escrita na forma:

$$Q = \frac{h}{\lambda}$$

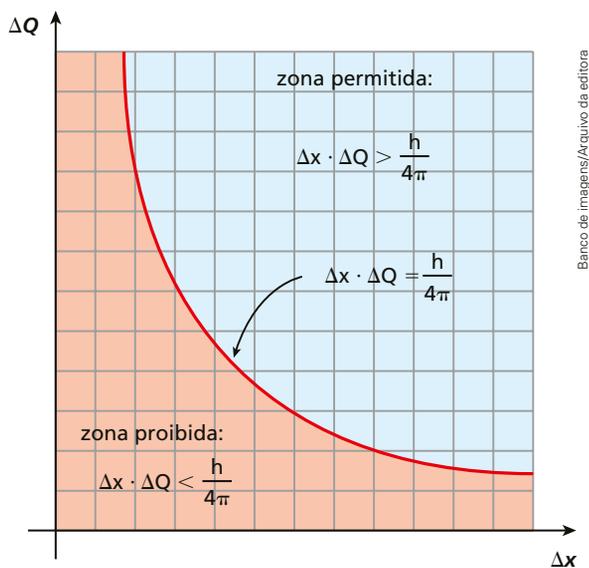
O princípio de De Broglie propõe a generalização dessa relação para qualquer partícula. Assim, toda partícula material em movimento tem associada a ela uma onda cujo comprimento de onda pode ser determinado por:

$$\lambda = \frac{h}{Q}$$

O Princípio da Incerteza de Heisenberg

O produto da indeterminação na medida de posição de uma partícula Δx , pela indeterminação na medida de momento linear, ΔQ , é, no mínimo, igual à constante de Planck dividida por 4π , ou seja:

$$\Delta x \cdot \Delta Q \geq \frac{h}{4\pi}$$



Desse modo, quanto maior for a precisão na medida da posição, menor será a precisão na medida do momento linear.

A Equação de Schrödinger

A Equação de Schrödinger considera que toda partícula (ou sistema quântico de partículas) pode ser representada por uma função $\psi(x, t)$, chamada de **função de onda**, da qual podemos obter qualquer informação sobre o estado quântico dessa partícula, tais como a probabilidade de ela estar localizada em determinada posição, em determinado instante de tempo, ou de possuir certa velocidade ou energia.

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (PUC-SP) Um átomo de hidrogênio gasoso, no seu estado fundamental, tem energia de $E_1 = -13,6$ eV. Determine a energia necessária, em eV (elétron-volt), que ele deve absorver para que sofra uma transição para o próximo estado de excitação permitido pelo modelo atômico de Bohr.
- a) $-3,4$ c) $17,0$
b) $-17,0$ d) $10,2$

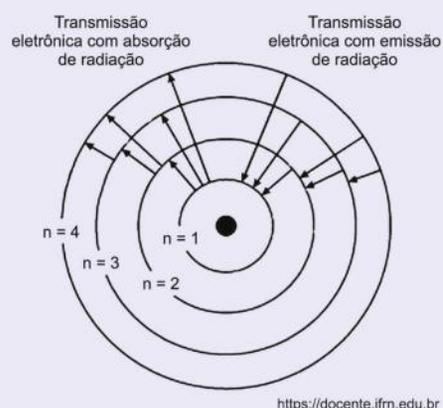
Resolução:

De acordo com o enunciado, o elétron deve passar do nível fundamental ($n = 1$) para o nível ($n = 2$).

A energia absorvida pelo elétron para passar do nível fundamental (E_1) para um nível n é dada pela expressão:

$$E_{ab} = E_n - E_1 = \left(\frac{E_1}{n^2} - E_1 \right) \Rightarrow E_{ab} = E_1 \left(\frac{1}{n^2} - 1 \right) = -13,6 \left(\frac{1}{2^2} - 1 \right) \therefore E_{ab} = 10,2 \text{ eV}$$

Resposta: D



Reprodução/PUC

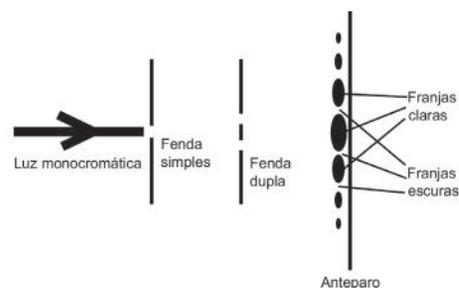
Questões

1. (Enem)

O debate a respeito da natureza da luz perdurou por séculos, oscilando entre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória. No início do século XIX, Thomas Young, com a finalidade de auxiliar na discussão, realizou o experimento apresentado de forma simplificada na figura. Nele, um feixe de luz monocromática passa por dois anteparos com fendas muito pequenas. No primeiro anteparo há uma fenda e no segundo, duas fendas. Após passar pelo segundo conjunto de fendas, a luz forma um padrão com franjas claras e escuras.

Com esse experimento, Young forneceu fortes argumentos para uma interpretação a respeito da natureza da luz, baseada em uma teoria

- a) corpuscular, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer dispersão e refração.
b) corpuscular, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer dispersão e reflexão.
c) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer difração e polarização.
d) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer interferência e reflexão.
e) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer difração e interferência.



SILVA, F. W. O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. Revista Brasileira de Ensino de Física, n. 1, 2007 (adaptado).

Reprodução/ENEM, 2017.



2. (UEL-PR)

O positrônio é um átomo formado por um elétron e sua antipartícula, o pósitron, que possui uma carga elétrica oposta e massa igual à do elétron. O positrônio é semelhante ao átomo de hidrogênio, que possui um elétron e um próton. A energia do nível fundamental desses átomos pode ser obtida a partir da equação

$$E = - \frac{13,6}{1 + \frac{m_e}{m_p}} \text{ eV}$$

em que m_e é a massa do elétron e m_p é a massa do pósitron, no caso do positrônio, ou a massa do próton, no caso do átomo de hidrogênio. A partir dessas informações, responda aos itens a seguir.

- a) Sabendo que a massa do próton é muito maior do que a massa do elétron, estime a energia do nível fundamental do átomo de hidrogênio.
- b) Calcule a energia do nível fundamental do positrônio.

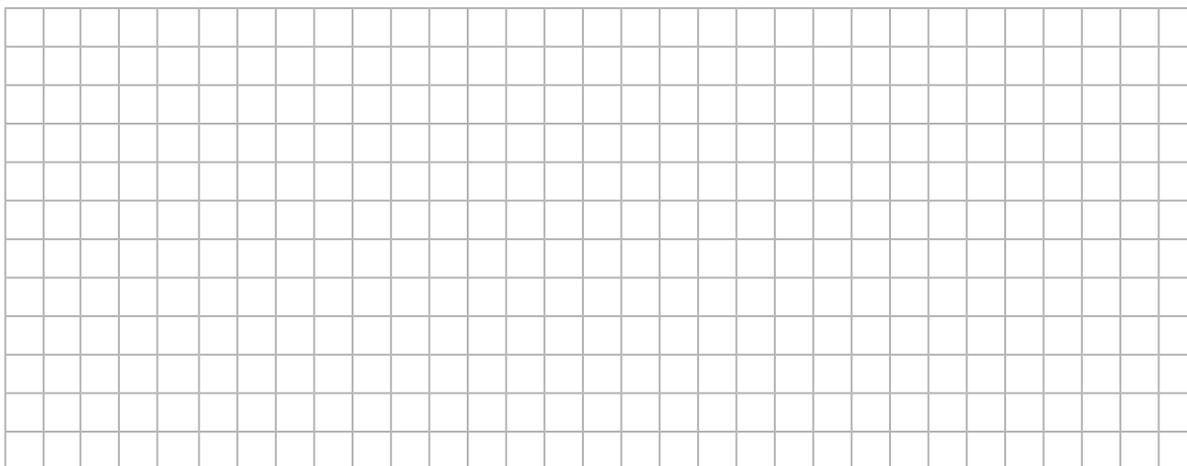
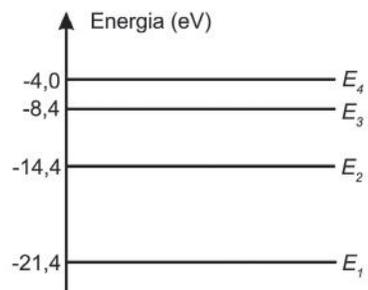


3. (AFA-SP)

O diagrama ao lado ilustra os níveis de energia ocupados por elétrons de um elemento químico A.

Dentro das possibilidades apresentadas nas alternativas abaixo, a energia que poderia restar a um elétron com energia de 12,0 eV, após colidir com um átomo de A, seria de, em eV,

- a) 0
- b) 1,0
- c) 5,0
- d) 5,4

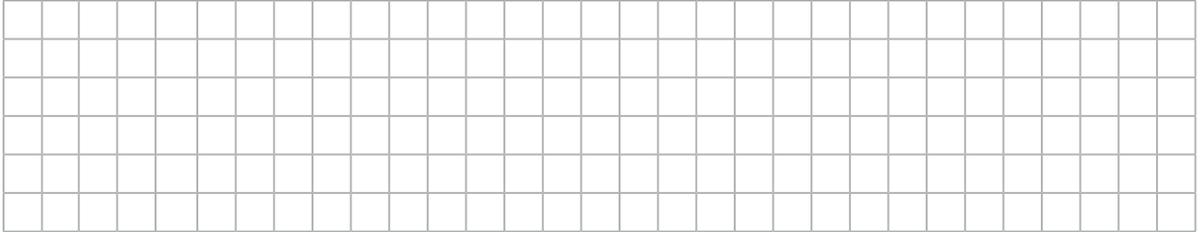


4. (Udesc)

Filmes fotográficos para radiografias, do tipo preto e branco, possuem uma emulsão fotossensível. Confeccionou-se um filme neste modelo e constatou-se que, para dissociar moléculas contidas na emulsão fotossensível, é necessária uma exposição a fótons com energia mínima de 0,7 eV.

Assinale a alternativa que apresenta o valor do maior comprimento de onda da luz capaz de impressionar este filme.

- a) $1,7 \cdot 10^{-9}$ m. b) $1,7 \cdot 10^{-6}$ m. c) $1,7 \cdot 10^{-14}$ m. d) $0,7 \cdot 10^{-6}$ m. e) $0,7 \cdot 10^{-9}$ m.

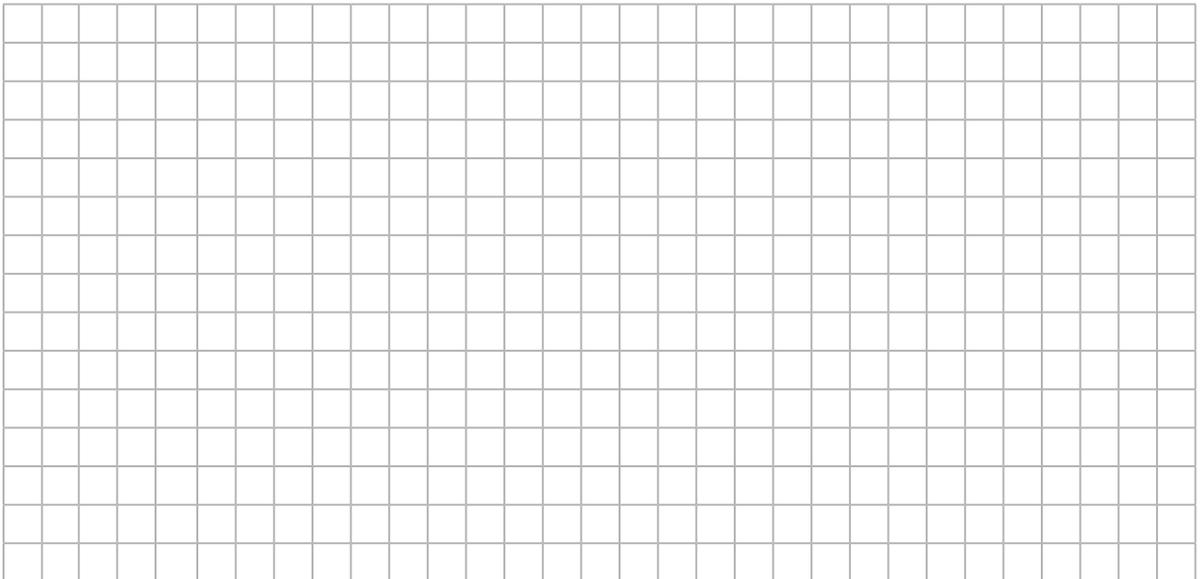
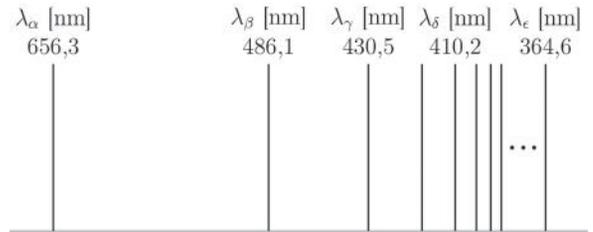


5. (ITA-SP)

Num experimento que mede o espectro de emissão do átomo de hidrogênio, a radiação eletromagnética emitida pelo gás hidrogênio é colimada por uma fenda, passando a seguir por uma rede de difração. O espectro obtido é registrado em chapa fotográfica, cuja parte visível é mostrada na figura.

Pode-se afirmar que

- a) O modelo de Bohr explica satisfatoriamente as linhas do espectro visível do átomo de hidrogênio.
- b) Da esquerda para a direita as linhas correspondem a comprimentos de onda do violeta ao vermelho.
- c) O espaçamento entre as linhas adjacentes decresce para um limite próximo ao infravermelho.
- d) As linhas do espectro encontrado são explicadas pelo modelo de Rutherford.
- e) Balmer obteve em 1885 a fórmula empírica para o comprimento de onda: $\lambda = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, em que $n = 3, 4, \dots$ e R é a constante de Rydberg.



Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Descrever o movimento e características dos corpos em referências com velocidade próxima à da luz no vácuo.

Introdução

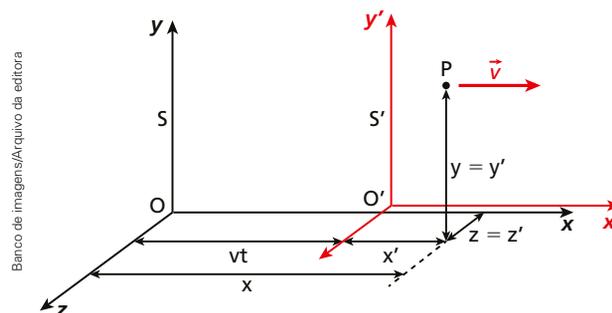
As considerações sobre a existência ou não do éter como palco dos fenômenos eletromagnéticos separa o eletromagnetismo (incluindo a ótica) do resto da Física. A ideia de éter subsidiava a noção de que a velocidade da luz, sobre a qual haviam sido feitas medições muito precisas, só era válida em um sistema de referência em repouso em relação ao éter. Assim, em qualquer outro sistema de referência, a velocidade da luz deveria ser diferente, uma vez que o éter arrastaria a luz em seu movimento.

No entanto, a aberração das estrelas prova que o éter, se existe, não é arrastado pelo movimento de translação do planeta Terra. Essa constatação estimula cientistas a desistirem de propor a existência do éter e abre espaço para uma reformulação conceitual de grandezas invariantes, não previstas anteriormente pela Física Clássica.

O conceito de relatividade

O princípio da **relatividade** é um enunciado que estabelece em quais sistemas de referência as leis da Física são invariáveis, ou seja, têm exatamente a mesma forma.

A concepção de Galileu Galilei do princípio da relatividade enunciou que, em todos os sistemas de referência que se movem uns em relação aos outros com movimento retilíneo e uniforme (sistemas inerciais), as leis da mecânica são invariáveis.



// Transformação de Galileu.

Os postulados da Relatividade Especial

Einstein interpretou o resultado do experimento de Michelson-Morley como uma demonstração da velocidade da luz no vácuo, em relação a um sistema inercial qualquer, ser independente de movimento do sistema. Essa interpretação não era abarcada pela Física Clássica. Dela, há duas implicações. A primeira é que não há fenômeno físico que possa

informar sobre o tipo de movimento de um sistema de referência. A segunda implicação é que não é possível conhecer a velocidade absoluta de nenhum móvel.

A conclusão de que não existe nenhum fenômeno físico que permita distinguir um sistema inercial de outro levou Einstein a enunciar seu **1º postulado**, chamado **princípio da relatividade especial**:

Todas as leis da Física, e não somente as de Mecânica, são invariáveis em relação às transformações entre sistemas de referência inerciais.

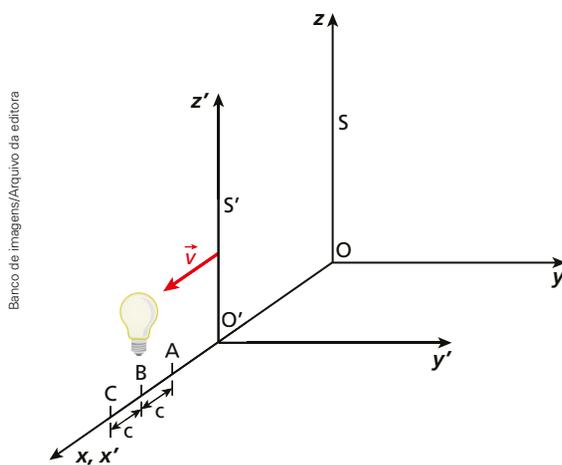
O **2º postulado** está implícito nas razões que o levaram ao primeiro:

A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor em todos os sistemas de referência inerciais.

Simultaneidade de eventos

Uma consequência fundamental do segundo postulado da relatividade especial é:

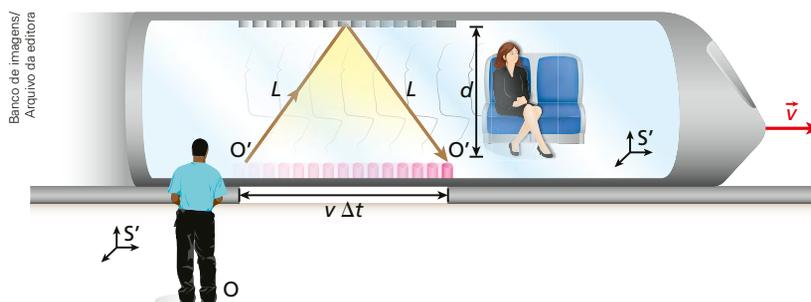
O tempo não transcorre da mesma maneira em todos os sistemas inerciais de referência, ou seja, o tempo não é absoluto e depende do sistema de referência.



// Dois eventos simultâneos em um sistema de referência não o serão em qualquer outro sistema que se mova em relação ao primeiro com movimento retilíneo e uniforme.

Dilatação do Tempo

Há uma relação quantitativa entre intervalos de tempo em dois sistemas de referência distintos. Considere Felipe e Marina, dois personagens que nos servem como exemplo. Um feixe de luz é emitido, reflete no espelho e volta à fonte, enquanto Marina e Felipe observam, de referenciais diferentes, o ocorrido. Marina vê o feixe de luz se movimentar na direção vertical. Felipe vê o feixe se deslocar em direções diferentes das vistas por Marina.



A relação entre os intervalos de tempo medidos por Marina (Δt_0), que está em um referencial S' , e por Felipe (Δt), que está em um referencial S , é dada por:

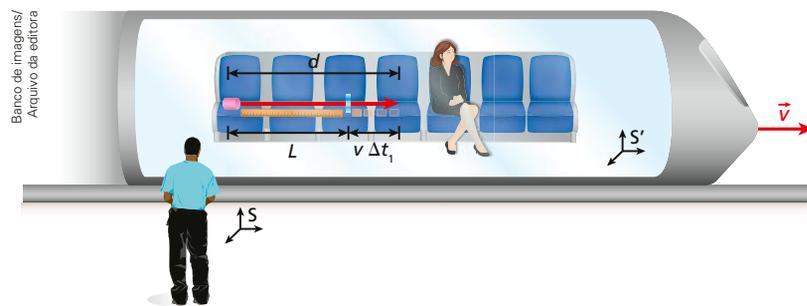
$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Esta equação mostra que, para o relógio de Felipe, o tempo entre os dois eventos é maior do que o tempo decorrido no relógio de Marina, simplesmente por eles estarem em referenciais com velocidades diferentes. Este fenômeno é denominado **dilatação do tempo**, uma vez que, para Felipe, o tempo medido é maior do que o tempo medido por Marina.

Contração do Espaço

Além de o intervalo de tempo entre dois eventos ser relativo dependendo do referencial, os comprimentos medidos a partir de referenciais se movendo com velocidades distintas também apresentam uma diferença.

Considere uma régua no referencial S' observada por Felipe em seu referencial S .



A partir das expressões obtidas para Δt e Δt_0 em função do comprimento L da régua observado por Marina e por Felipe, tem-se que:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Ou seja, o comprimento L da régua observado por Felipe enquanto o trem se movimenta com velocidade v é menor que o comprimento próprio L_0 observado pela Marina, uma vez

que $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ é sempre menor que 1. Por esse motivo, esse fenômeno é conhecido como

contração do espaço.

A adição de velocidades

Considere um atleta com velocidade v' com relação ao interior de um trem em um referencial S' . O trem tem velocidade u com relação aos trilhos no referencial S . Em relação a S , o atleta tem velocidade, de acordo com a Física Clássica:

$$v = v' + u$$

Quando se trata de partículas com velocidades próximas à da luz, não é possível a simples adição da velocidade v' de uma partícula em S' com relação a um referencial S que, por sua vez, tem velocidade u . Essa adição violaria o postulado que estabelece a velocidade da luz no vácuo como a velocidade limite para uma partícula de massa m . A expressão que promove a correção relativística nesta adição de velocidades é dada por:

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{v'u}{c^2}}$$

Conhecendo-se esta expressão, podemos fazer a composição de velocidades para partículas com velocidades próximas à da luz, sem correremos o risco de chegar a uma velocidade resultante que ultrapasse o valor da velocidade da luz no vácuo (c).

Massa relativística

Sobre cinemática relativística, foi estabelecido um conceito fundamental:

A velocidade da luz é um limite da natureza.

Considere como massa de repouso a massa de um corpo que está em repouso em relação a um determinado referencial.

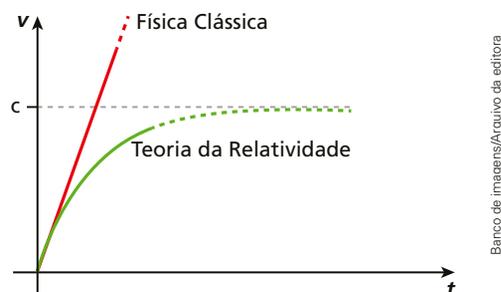
O que estabelece a relatividade é que, à medida que um corpo aumenta sua velocidade relativamente a um referencial, sua massa também aumenta. Ou seja, um aumento de v implica um aumento de m . A expressão que mostra esta relação é dada por:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

em que m é denominada **massa relativística**; m_0 , massa de repouso; c , velocidade da luz no vácuo; e v , velocidade do corpo em um instante t .

Perceba que, quando se fala em aumento de massa, não há de fato um aumento do número de átomos e partículas que constituem o corpo, mas sim um aumento de sua inércia, da dificuldade de produzir variações na velocidade do corpo em questão.

O gráfico a seguir sugere que na Física clássica não haveria o limite imposto pela teoria da relatividade restrita para velocidade dos corpos.



Desse modo, como nenhum corpo pode ter inércia infinita, é simplesmente impossível que um corpo dotado de massa atinja a velocidade da luz no vácuo.

Quantidade de movimento relativístico

Quando se trata de velocidades muito menores que a velocidade da luz, a quantidade de movimento dada pela Física Clássica para um corpo de massa m_0 com velocidade v é:

$$Q = m_0 v$$

No entanto, a conservação da quantidade de movimento quando se tem velocidades comparáveis à velocidade da luz impõe que o módulo da quantidade de movimento relativística deve ser dado pela relação:

$$Q = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

A equivalência entre massa e energia

Seja $E_0 = m_0 c^2$ a energia de repouso de uma partícula e $E_c = \frac{1}{2} m_0 v^2$ a energia cinética dessa partícula. Sabendo-se que $E = mc^2$ e $m = \gamma m_0$, é possível concluir que:

$$E_c = m_0 c^2 (\gamma - 1)$$

e

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

Essa última relação mostra que a massa inercial de um corpo se altera quando um corpo perde ou recebe energia, ou seja, existe uma equivalência entre massa e energia.

Relação entre energia e quantidade de movimento relativístico

Ao se relacionar a quantidade de movimento Q de uma partícula e sua energia total E , é possível determinar que:

$$E^2 = Q^2 c^2 + (m_0 c^2)^2$$

A expressão apresentada acima traz consigo um importante resultado físico da teoria da relatividade. Enquanto a física não relativística previa que a quantidade de movimento deveria ser nula para partículas de massa nula, a equação acima sugere que, mesmo que uma partícula tenha massa de repouso nula ($m_0 = 0$), poderá ter energia total E e quantidade de movimento Q relacionados por:

$$E = Q c$$

É o caso dos fótons, que se movem com a velocidade da luz e têm massa de repouso nula. Tal resultado nos leva a indagar como a luz se comporta em colisões com a matéria, uma vez que apresenta quantidade de movimento.

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (FGV-SP) A nave “New Horizons”, cuja foto é apresentada ao lado, partiu do Cabo Canaveral em janeiro de 2006 e chegou bem perto de Plutão em julho de 2015. Foram mais de 9 anos no espaço, voando a 21 km/s. É uma velocidade muito alta para nossos padrões aqui na Terra, mas muito baixa se comparada aos 300 000 km/s da velocidade da luz no vácuo. Considere uma nave que possa voar a uma velocidade igual a 80% da velocidade da luz e cuja viagem dure 9 anos para nós, observadores localizados na Terra.



Reprodução/FGV, 2017.

(<http://goo.gl/oeSWn>)

Para um astronauta no interior dessa nave, tal viagem duraria cerca de

- a) 4,1 anos. b) 5,4 anos. c) 6,5 anos. d) 15 anos. e) 20,5 anos.

Resolução:

Para calcular o tempo próprio para o astronauta dentro da nave, consideramos o paradoxo dos gêmeos, um curioso tema proposto pela Teoria da Relatividade. Esse paradoxo fala que, ao separar os gêmeos, fazendo um viajar numa espaçonave a velocidade próxima à da luz enquanto o outro fica na Terra, quando encerrar a viagem e eles se encontrarem novamente, o tempo, para quem ficou na Terra, sofrerá uma dilatação sentida pela idade aparente dos dois gêmeos. Esse paradoxo é explicado pelo fenômeno da dilatação do tempo.

O cálculo baseia-se na equação:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow 9 = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} \therefore \Delta t' = 9 \sqrt{0,36} = 5,4 \text{ anos}$$

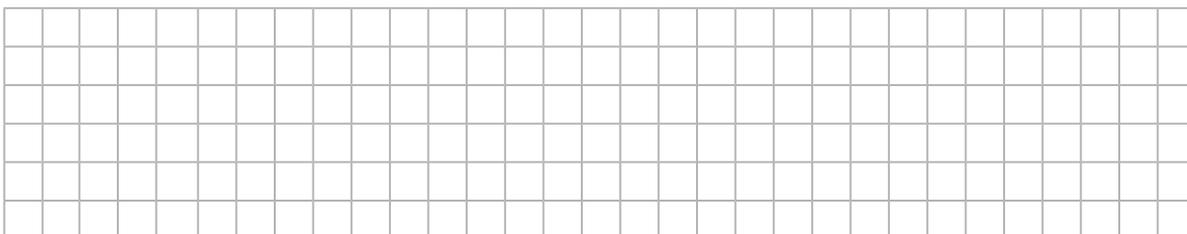
Resposta: B

Questões

1. (UPF-RS)

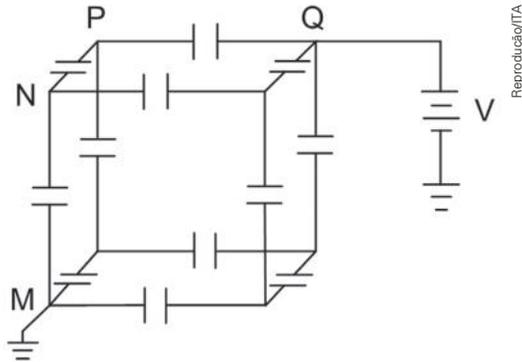
De acordo com o paradoxo dos gêmeos, talvez o mais famoso paradoxo da relatividade restrita, pode-se supor a seguinte situação: um amigo da sua idade viaja a uma velocidade de 0,999 c para um planeta de uma estrela situado a 20 anos-luz de distância. Ele passa 5 anos neste planeta e retorna para casa a 0,999 c. Considerando que $\gamma = 22,4$, assinale a alternativa que representa corretamente quanto tempo seu amigo passou fora de casa do seu ponto de vista e do ponto de vista dele, respectivamente.

- a) 20,00 anos e 1,12 ano c) 25,00 anos e 5,00 anos e) 40,04 anos e 5,00 anos
b) 45,04 anos e 1,79 ano d) 45,04 anos e 6,79 anos



1. (ITA-SP)

Uma diferença de potencial eletrostático V é estabelecida entre os pontos **M** e **Q** da rede cúbica de capacitores idênticos mostrada na figura.



A diferença de potencial entre os pontos **N** e **P** é

- a) $V/2$. c) $V/4$. e) $V/6$.
 b) $V/3$. d) $V/5$.

2. (Enem)

Um guindaste eletromagnético de um ferro-velho é capaz de levantar toneladas de sucata, dependendo da intensidade da indução magnética em seu eletroímã. O eletroímã é um dispositivo que utiliza corrente elétrica para gerar um campo magnético, sendo geralmente construído enrolando-se um fio condutor ao redor de um núcleo de material ferromagnético (ferro, aço, níquel, cobalto). Para aumentar a capacidade de carga do guindaste, qual característica do eletroímã pode ser reduzida?

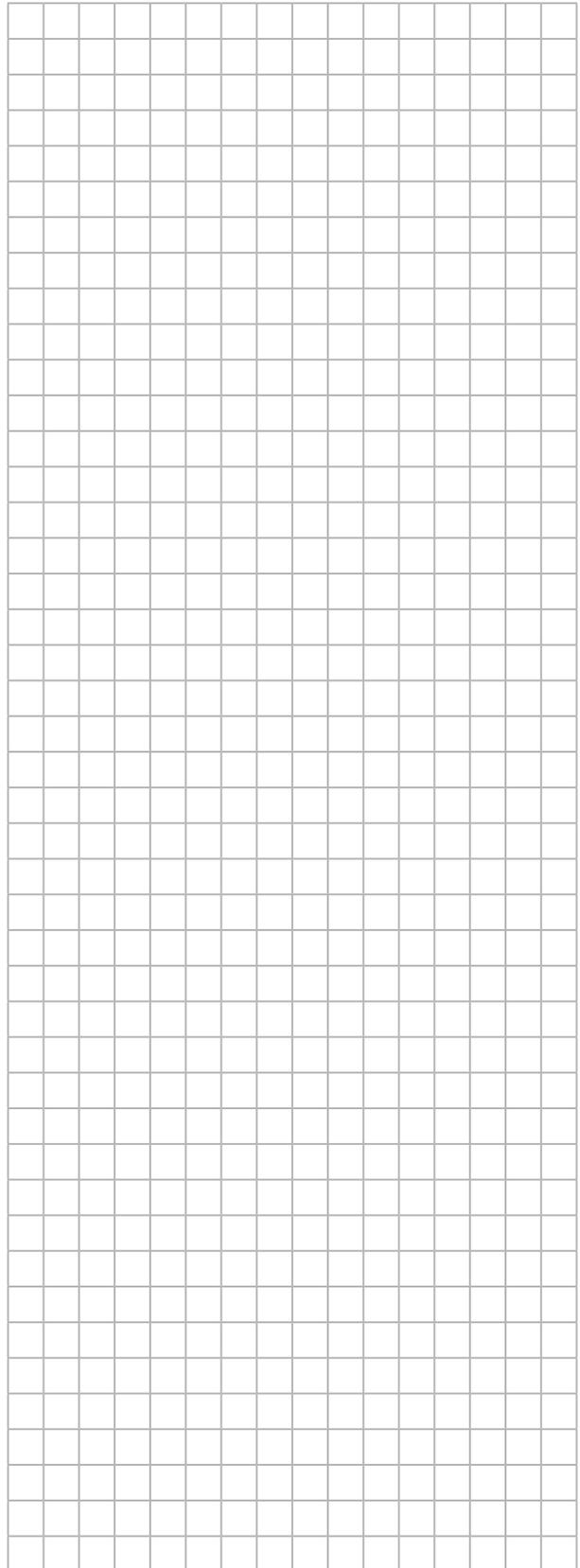
- a) Diâmetro do fio condutor.
 b) Distância entre as espiras.
 c) Densidade linear de espiras.
 d) Corrente que circula pelo fio.
 e) Permeabilidade relativa do núcleo.

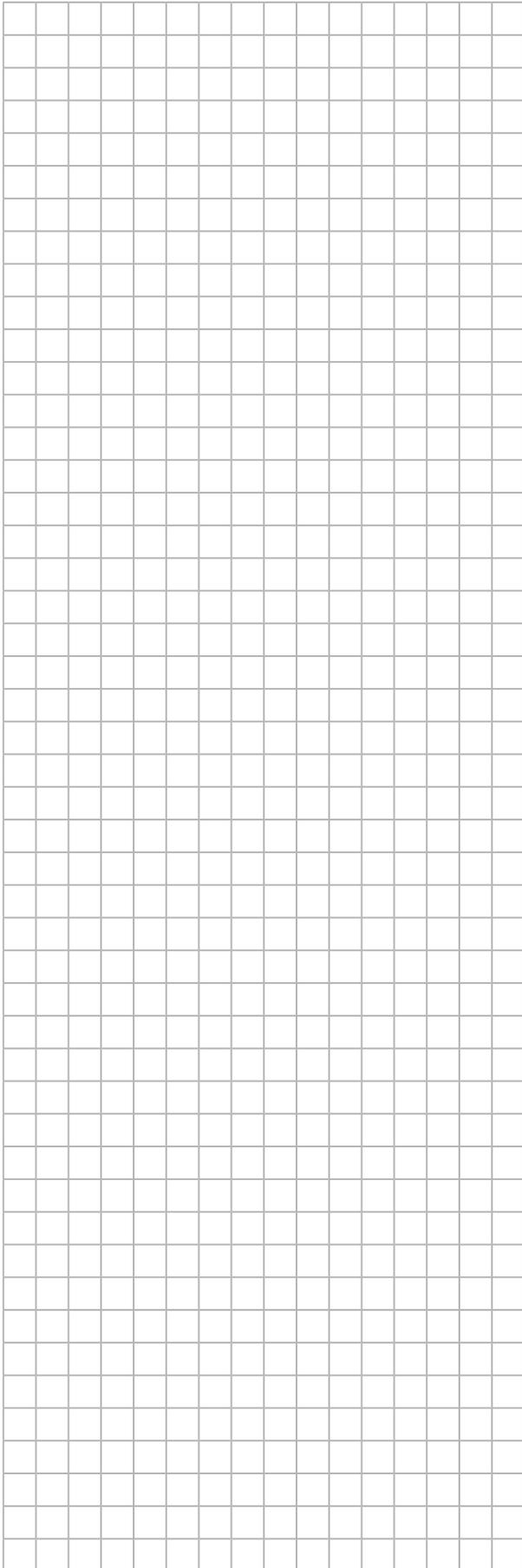
3. (EEAR-SP)

Uma espira circular com 10π cm de diâmetro, ao ser percorrida por uma corrente elétrica de 500 mA de intensidade, produz no seu centro um vetor campo magnético de intensidade igual a _____ $\cdot 10^{-6}$ T.

Obs. Utilize $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T \cdot m/A

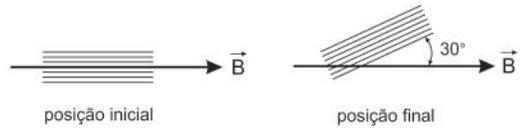
- a) 1 c) 4
 b) 2 d) 5





4. (ITA-SP)

A figura mostra uma bobina com 80 espiras de $0,5 \text{ m}^2$ de área e 40Ω de resistência. Uma indução magnética de 4 teslas é inicialmente aplicada ao longo do plano da bobina. Esta é então girada de modo que seu plano perfaça um ângulo de 30° em relação à posição inicial. Nesse caso, qual o valor da carga elétrica que deve fluir pela bobina?

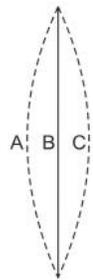


- a) 0,025 C
- b) 2,0 C
- c) 0,25 C
- d) 3,5 C
- e) 0,50 C

Reprodução/ITA

5. (UFRGS-RS)

Na figura ao lado, um fio condutor flexível encontra-se na presença de um campo magnético constante e uniforme perpendicular ao plano da página. Na ausência de corrente elétrica, o fio permanece na posição **B**. Quando o fio é percorrido por certa corrente elétrica estacionária, ele assume a posição **A**.



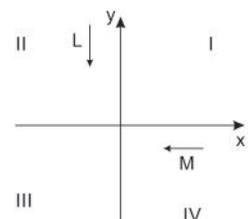
Reprodução/UFRGS-RS

Para que o fio assuma a posição **C**, é necessário

- a) inverter o sentido da corrente e do campo aplicado.
- b) inverter o sentido da corrente ou inverter o sentido do campo.
- c) desligar lentamente o campo.
- d) desligar lentamente a corrente.
- e) desligar lentamente o campo e a corrente.

6. (ITA-SP)

Uma corrente elétrica passa por um fio longo, (**L**), coincidente com o eixo **y** no sentido negativo. Uma outra corrente de mesma intensidade passa por outro fio longo, (**M**), coincidente com o eixo **x** no sentido negativo, conforme mostra a figura. O par de quadrantes nos quais as correntes produzem campos magnéticos em sentidos opostos entre si é



- a) I e II
- b) II e III
- c) I e IV
- d) II e IV
- e) I e III

Reprodução/ITA

7. (ITA-SP)

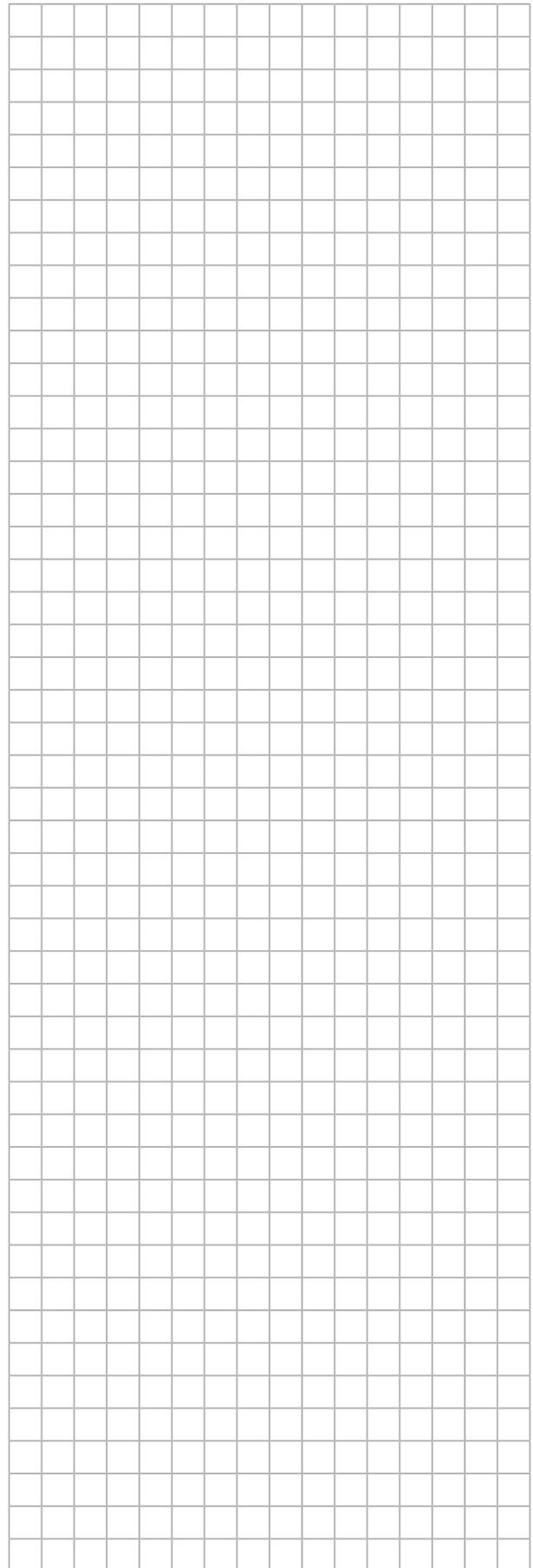
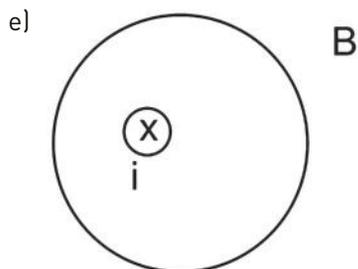
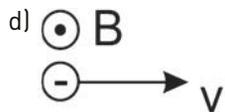
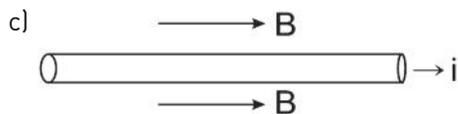
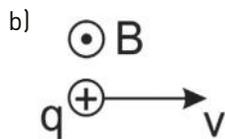
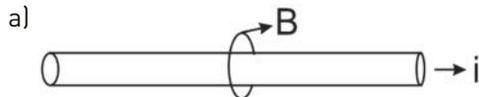
Considere uma espira retangular de lados a e b percorrida por uma corrente I , cujo plano da espira é paralelo a um campo magnético B . Sabe-se que o módulo do torque sobre essa espira é dado por $\tau = I \cdot B \cdot a \cdot b$. Supondo que a mesma espira possa assumir qualquer outra forma geométrica, indique o valor máximo possível que se consegue para o torque.

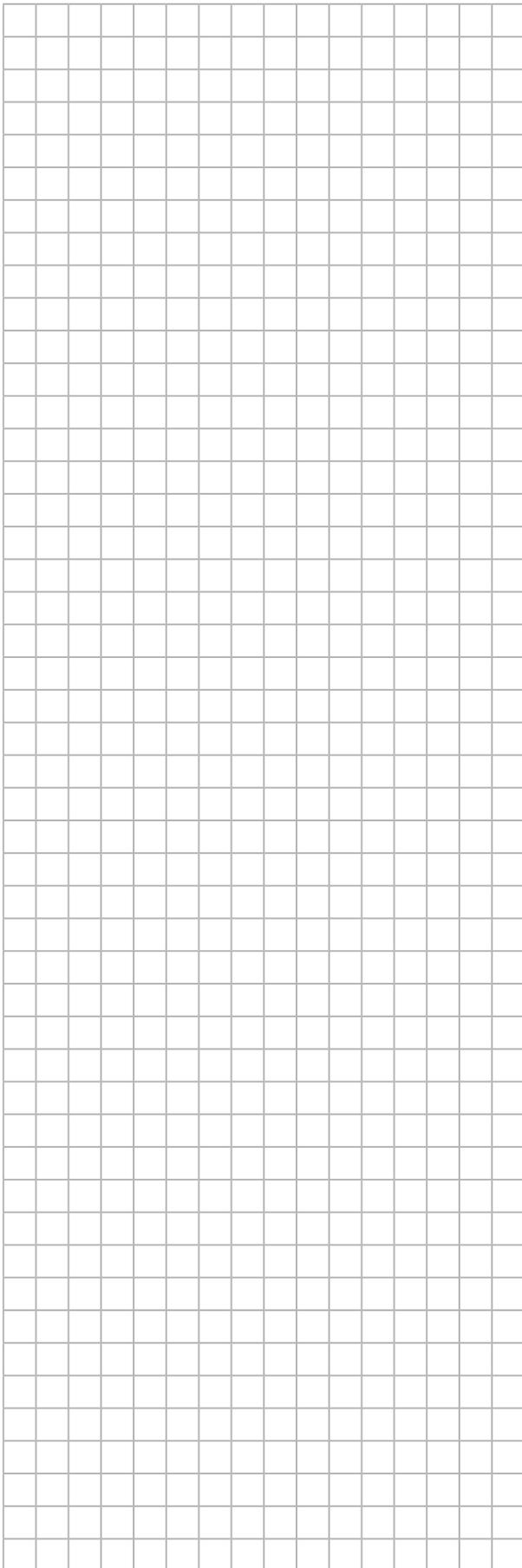
- a) $IB(a + b)^2/\pi$
- b) $IBab$
- c) $2IBab$
- d) $IBab/2\pi$
- e) $IBab/\pi$

8. (UFSM-RS)

O campo magnético pode ser produzido pelo movimento de cargas elétricas ou, como ocorre nas ondas eletromagnéticas, pela variação do fluxo de campo elétrico local. Em qual das figuras a seguir está representado corretamente o campo magnético?

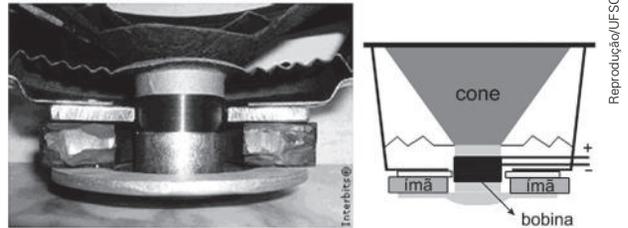
Reprodução/UFSM





9. (UFSC)

Um dos componentes fundamentais para uma boa qualidade de som é o alto-falante, que consiste basicamente de um cone (geralmente de papelão), uma bobina e um ímã permanente, como mostrado nas figuras abaixo.



A respeito do funcionamento do alto-falante, assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

- 01) A intensidade do campo magnético criado pela bobina depende unicamente do número de espiras da mesma.
- 02) O movimento do cone do alto-falante é consequência da lei de Lenz.
- 04) A vibração do cone cria no ar regiões de altas e baixas pressões, que se propagam na forma de ondas transversais.
- 08) A altura do som reproduzido pelo alto-falante depende da frequência do sinal elétrico enviado pelo aparelho de som.
- 16) A intensidade da onda sonora reproduzida pelo alto-falante é proporcional à intensidade da corrente elétrica que percorre a bobina.
- 32) A corrente elétrica enviada ao alto-falante percorre a bobina, gerando um campo magnético que interage com o ímã permanente, ocasionando o movimento do cone na direção axial da bobina.

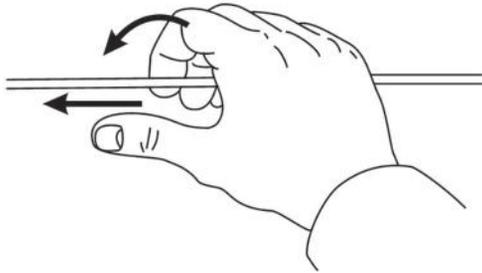
10. (UEPG-PR)

Sobre fenômenos relacionados ao campo magnético e à indução eletromagnética, assinale o que for correto.

- 01) Sempre que uma espira fechada é atravessada por um fluxo magnético variável surge na espira uma corrente elétrica induzida.
- 02) O polo sul geográfico terrestre corresponde ao polo sul magnético terrestre.
- 04) Todos os ímãs apresentam dois polos magnéticos, entretanto podem existir polos magnéticos isolados na natureza.
- 08) O movimento de cargas elétricas origina campos magnéticos.

11. (UEG-GO)

A figura a seguir descreve uma regra, conhecida como "regra da mão direita", para análise da direção e do sentido do vetor campo magnético em torno de um fio percorrido por uma corrente elétrica.



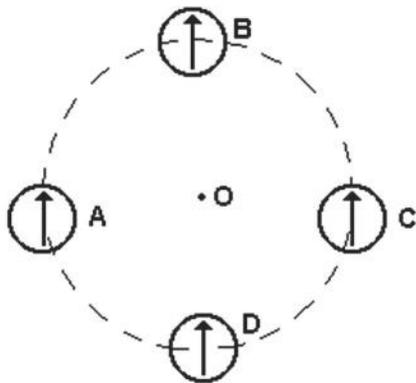
Reprodução/UEG

Analisando a figura, responda aos itens a seguir.

- a) O que representam, na figura, as setas que estão ao lado dos dedos polegar e indicador?
- b) Faça um esboço (desenho) das linhas de campo magnético em torno desse fio.
- c) Faça uma análise qualitativa relacionando a dependência do módulo do vetor campo magnético nas proximidades do fio com a intensidade de corrente elétrica e com a distância em que se encontra do fio.

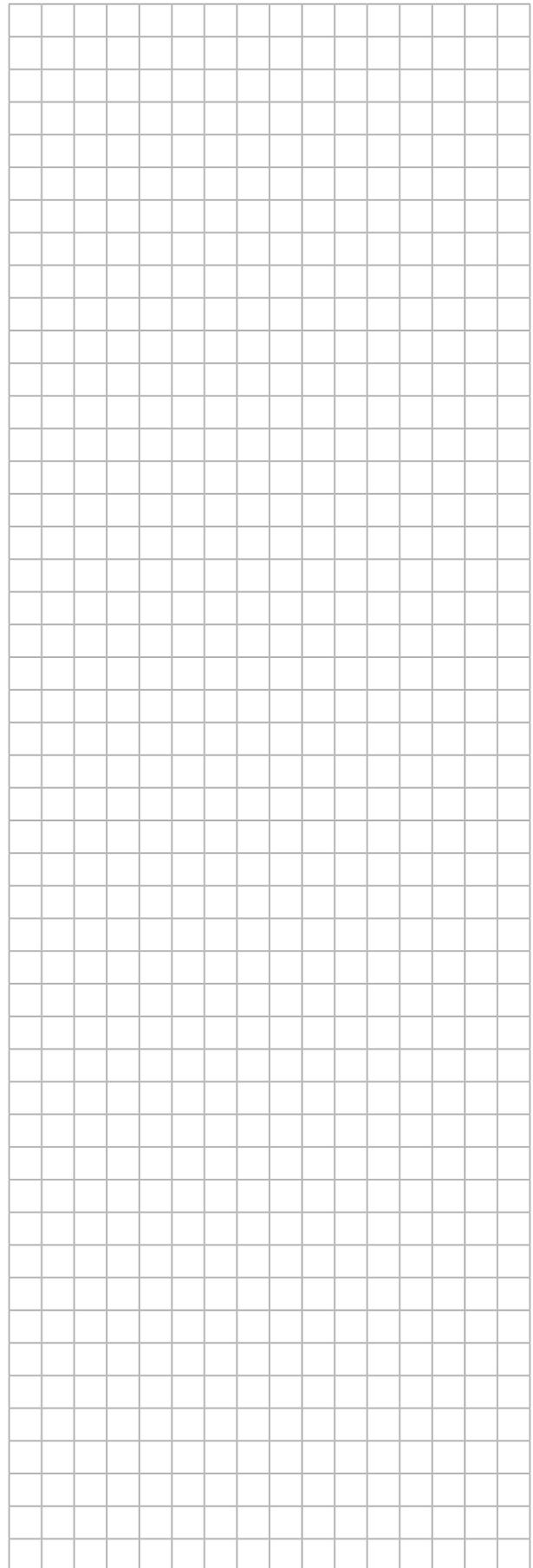
12. (Fuvest-SP)

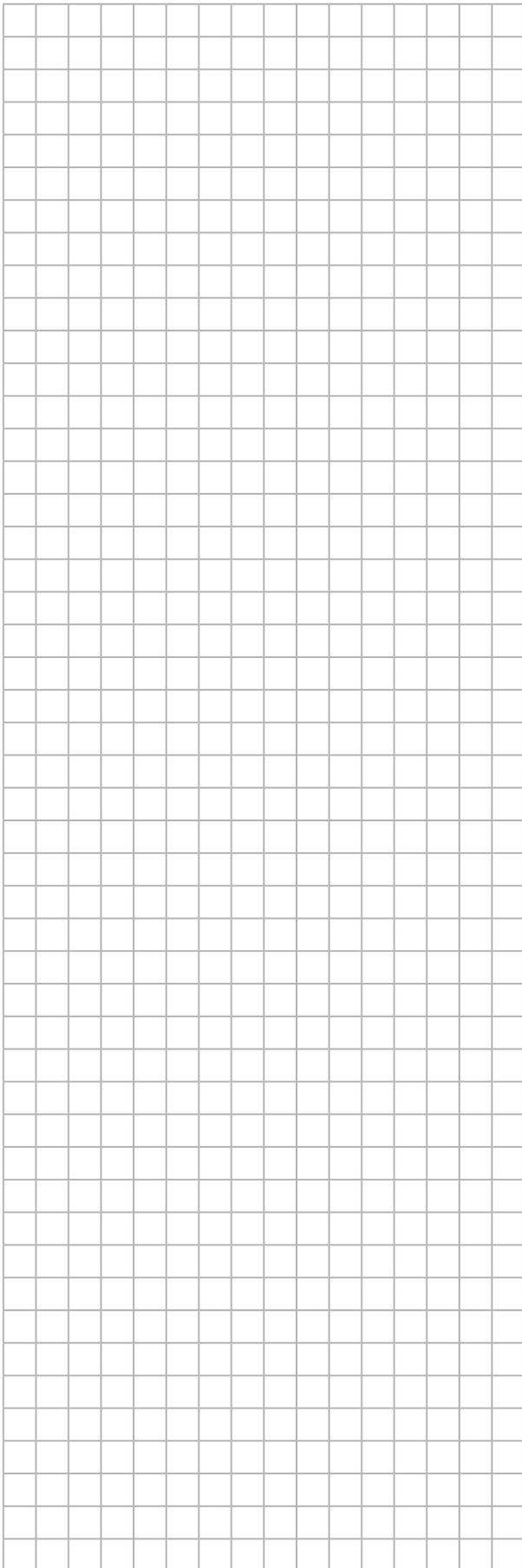
A figura representa 4 bússolas apontando, inicialmente, para o polo norte terrestre. Pelo ponto **O**, perpendicularmente ao plano do papel, coloca-se um fio condutor retilíneo e longo. Ao se fazer passar pelo condutor uma corrente elétrica contínua e intensa no sentido do plano do papel para a vista do leitor, permanece praticamente inalterada somente a posição



Reprodução/Fuvest

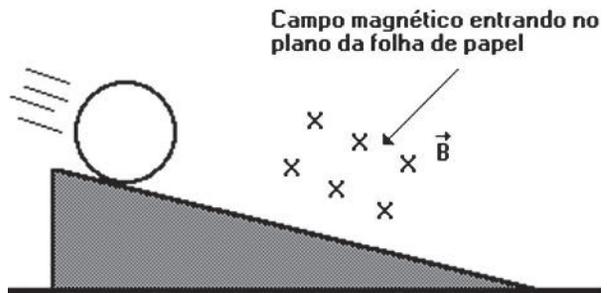
- a) das bússolas A e C.
- b) das bússolas B e D.
- c) das bússolas A, C e D.
- d) da bússola C.
- e) da bússola D.





13. (UFMG)

Um aro metálico com uma certa resistência elétrica desce um plano inclinado. Em determinado trecho, ele passa por uma região onde existe um campo magnético, como mostra a figura.



Reprodução/UFMG

Com relação a essa situação, é correto afirmar que

a) nada se pode dizer sobre a influência do campo magnético no tempo de queda, sem conhecer a resistência elétrica de aro.

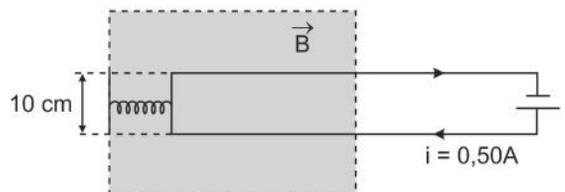
b) o campo magnético não influenciará no tempo de descida do aro.

c) o tempo gasto pelo aro, para atingir a base do plano, é maior do que o tempo que ele gastaria se o campo magnético não existisse.

d) o tempo gasto pelo aro, para atingir a base do plano, é menor do que o tempo que ele gastaria se o campo magnético não existisse.

14. (Unesp-SP)

Parte de uma espira condutora está imersa em um campo magnético constante e uniforme, perpendicular ao plano que a contém. Uma das extremidades de uma mola de constante elástica $K = 2,5 \text{ N/m}$ está presa a um apoio externo isolado e a outra a um lado dessa espira, que mede 10 cm de comprimento.

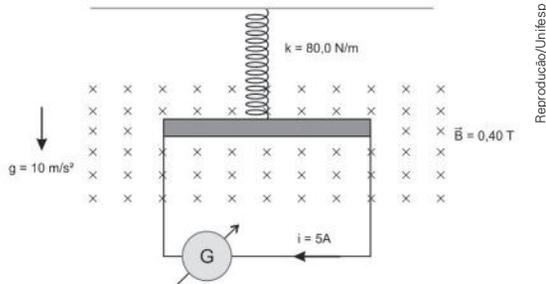


Reprodução/Unesp

Inicialmente não há corrente na espira e a mola não está distendida nem comprimida. Quando uma corrente elétrica de intensidade $i = 0,50 \text{ A}$ percorre a espira, no sentido horário, ela se move e desloca de $1,0 \text{ cm}$ a extremidade móvel da mola para a direita. Determine o módulo e o sentido do campo magnético.

15. (Unifesp)

Uma mola de massa desprezível presa ao teto de uma sala tem sua outra extremidade atada ao centro de uma barra metálica homogênea e na horizontal, com 50 cm de comprimento e 500 g de massa. A barra metálica, que pode movimentar-se num plano vertical, apresenta resistência ôhmica de 5Ω e está ligada por fios condutores de massas desprezíveis a um gerador **G** de corrente contínua, de resistência ôhmica interna de 5Ω , apoiado sobre uma mesa horizontal. O sistema barra-mola está em um plano perpendicular a um campo magnético \vec{B} horizontal, cujas linhas de campo penetram nesse plano, conforme mostra a figura.



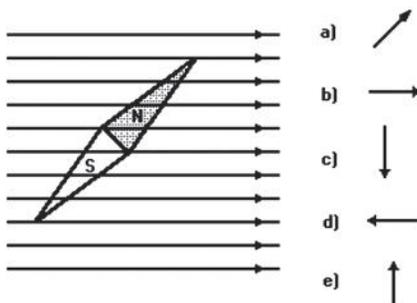
Reprodução/Unifesp

Determine:

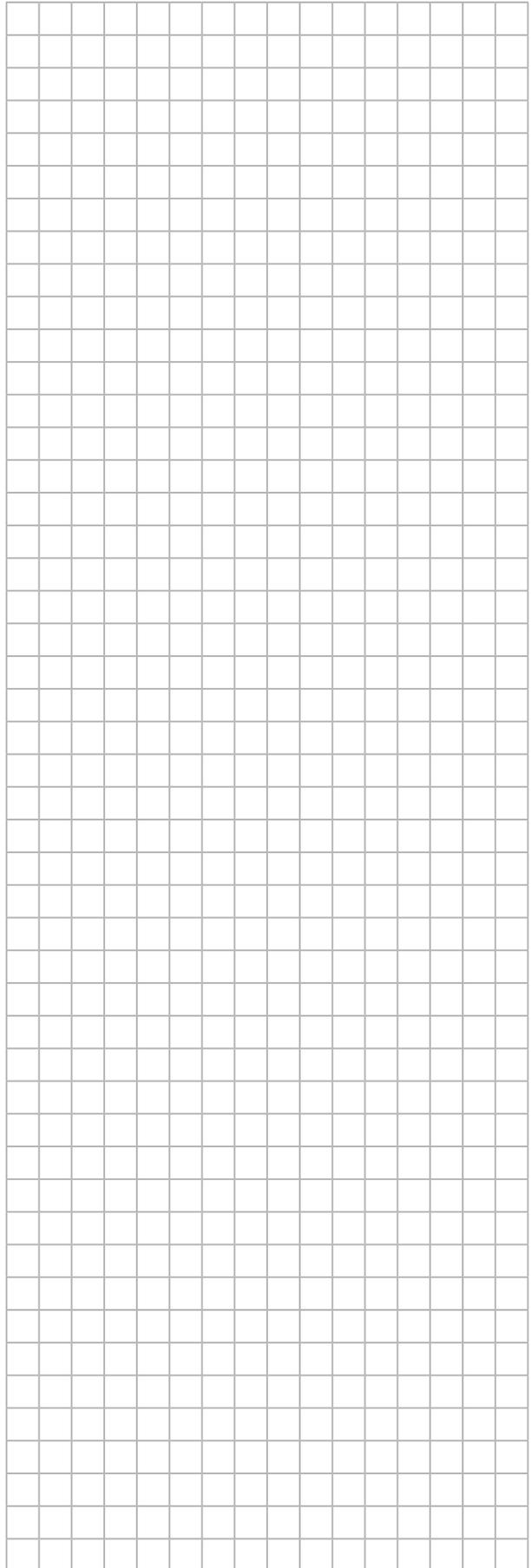
- a força eletromotriz, em volts, produzida pelo gerador e a potência elétrica dissipada pela barra metálica, em watts.
- a deformação, em metros, sofrida pela mola para manter o sistema barra-mola em equilíbrio mecânico. Suponha que os fios elétricos não fiquem sujeitos a tensão mecânica, isto é, esticados.

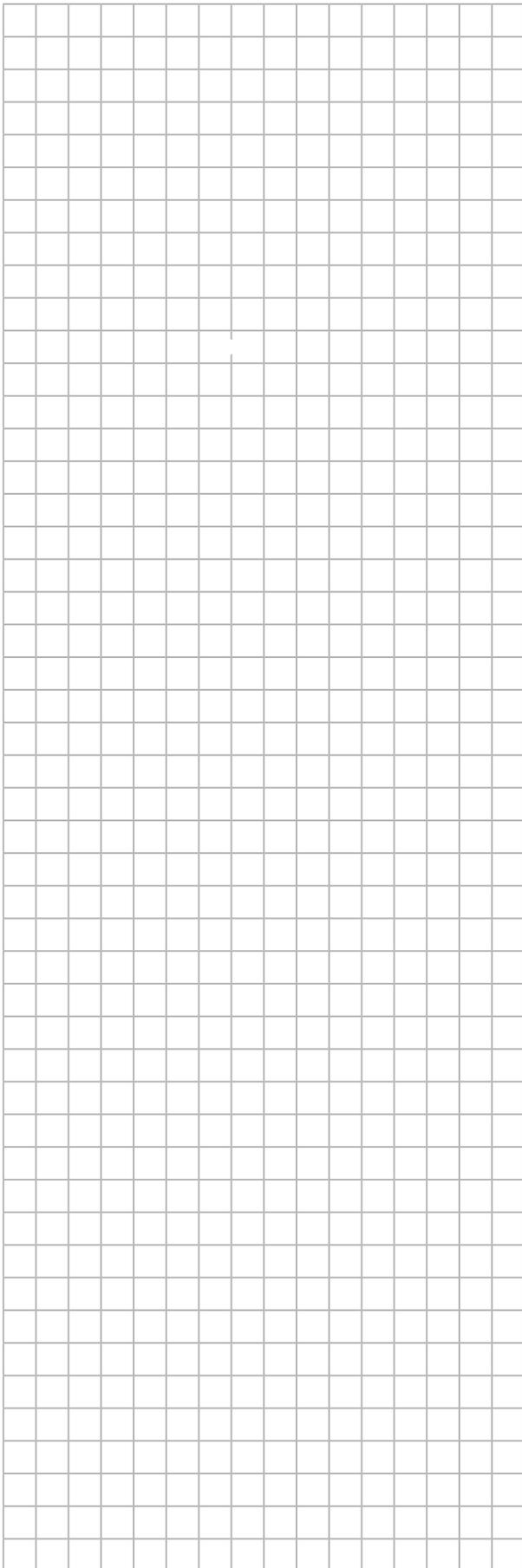
16. (UEL-PR)

A agulha de uma bússola assume a posição indicada na figura a seguir quando colocada numa região onde existe, além do campo magnético terrestre, um campo magnético uniforme e horizontal. Considerando a posição das linhas de campo uniforme, desenhadas na figura, o vetor campo magnético terrestre na região pode ser indicado pelo vetor



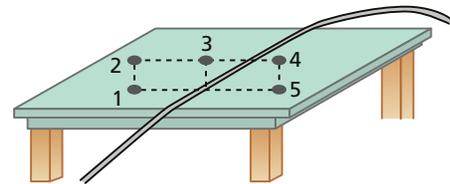
Reprodução/UEL





17. (Fuvest-SP)

Apoiado sobre uma mesa, observa-se o trecho de um fio longo, ligado a uma bateria. Cinco bússolas são colocadas próximas ao fio, na horizontal, nas seguintes posições: 1 e 5 sobre a mesa; 2, 3 e 4 a alguns centímetros acima da mesa. As agulhas das bússolas só podem mover-se no plano horizontal. Quando não há corrente no fio, todas as agulhas das bússolas permanecem paralelas ao fio. Se passar corrente no fio, será observada deflexão, no plano horizontal, das agulhas das bússolas colocadas somente:



Reprodução/Fuvest

- a) na posição 3.
- b) nas posições 1 e 5.
- c) nas posições 2 e 4.
- d) nas posições 1, 3 e 5.
- e) nas posições 2, 3 e 4.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

O ano de 2009 foi o Ano Internacional da Astronomia. Há 400 anos Galileu apontou um telescópio para o céu e mudou a nossa maneira de ver o mundo, de ver o universo e de vermos a nós mesmos. As questões a seguir nos colocam diante de constatações e nos lembram de que somos apenas uma parte de algo muito maior: o cosmo.

18. (UEMG)

Um astronauta, ao levar uma bússola para a Lua, verifica que a agulha magnética da bússola não se orienta numa direção preferencial, como ocorre na Terra. Considere as seguintes afirmações, a partir dessa observação:

- 1. A agulha magnética da bússola não cria campo magnético, quando está na Lua.
- 2. A Lua não apresenta um campo magnético.

Sobre tais afirmações, marque a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a afirmação 1 é correta.
- b) Apenas a afirmação 2 é correta.
- c) As duas afirmações são corretas.
- d) As duas afirmações são falsas.

19. (FGV-SP)

Da palavra 'aimant', que traduzido do francês significa amante, originou-se o nome ímã, devido à capacidade que esses objetos têm de exercer atração e repulsão. Sobre essas manifestações, considere as proposições:

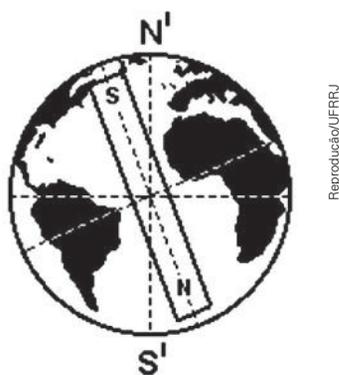
- I. assim como há ímãs que possuem os dois tipos de polos, sul e norte, há ímãs que possuem apenas um.
- II. o campo magnético terrestre diverge dos outros campos, uma vez que o polo norte magnético de uma bússola é atraído pelo polo norte magnético do planeta.
- III. os pedaços obtidos da divisão de um ímã são também ímãs que apresentam os dois polos magnéticos, independentemente do tamanho dos pedaços.

Está correto o contido em

- a) I, apenas.
- b) III, apenas.
- c) I e II, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) I, II e III.

20. (UFRRJ)

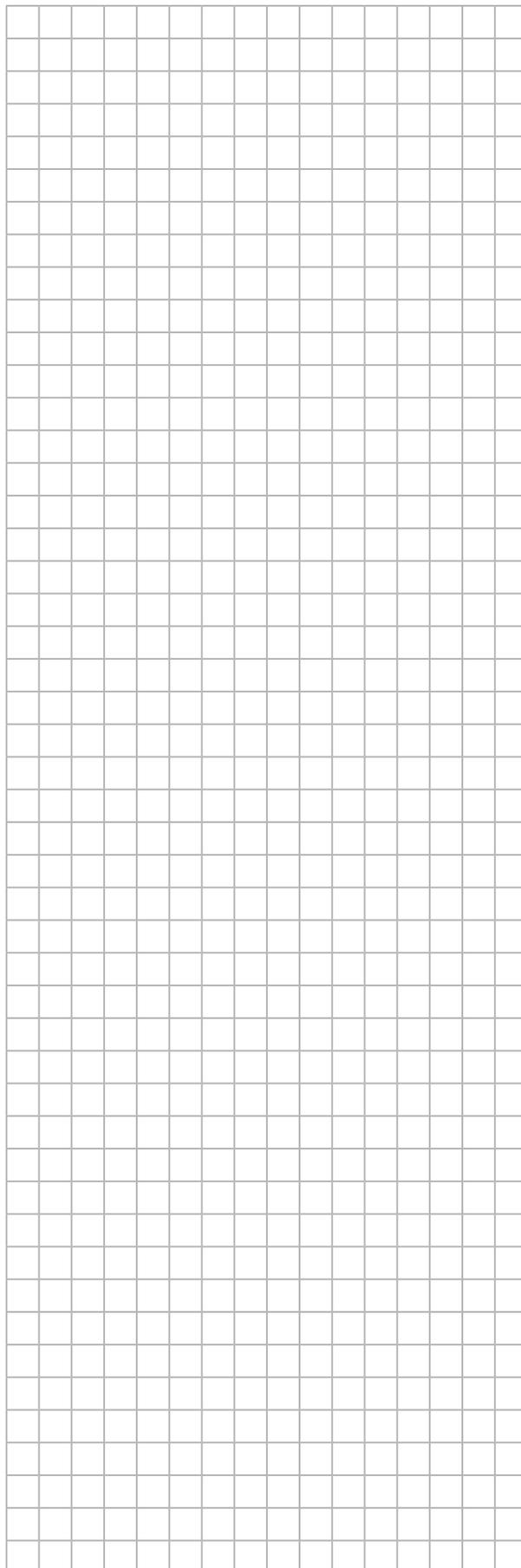
Abaixo, mostramos a figura da Terra onde N' e S' são os polos norte e sul geográficos e N e S são os polos norte e sul magnéticos.

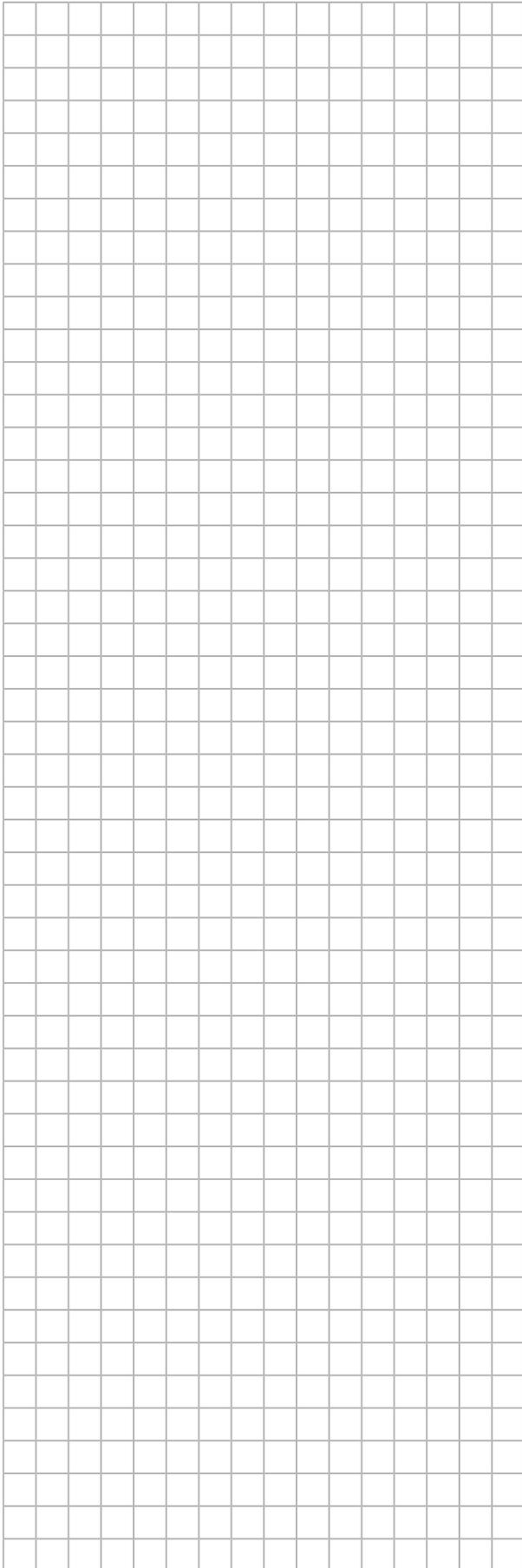


Reprodução/UFRRJ

Sobre as linhas do campo magnético é correto afirmar que

- a) elas são paralelas ao Equador.
- b) elas são radiais ao centro da Terra.
- c) elas saem do polo norte magnético e entram no polo sul magnético.
- d) o campo magnético é mais intenso no Equador.
- e) o polo sul magnético está próximo ao sul geográfico.





21. (UPM-SP)

Considere as seguintes afirmações.

- I. A denominação de Polo Norte de um ímã é a região que se volta para o Norte geográfico da Terra e Polo Sul a região que volta para o Sul geográfico da Terra.
- II. Ímãs naturais são formados por pedras que contêm óxido de ferro (Fe_3O_4), denominadas magnetitas.
- III. Ímãs artificiais são obtidos a partir de processos denominados imantação.

Com relação às afirmações, podemos dizer que

- a) apenas I é correta.
- b) apenas I e II são corretas.
- c) apenas I e III são corretas.
- d) apenas II e III são corretas.
- e) todas são corretas.

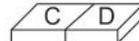
22. (EEAR-SP)

Entre as substâncias magnéticas, aquelas que ao serem colocadas próximas a um ímã, cujo campo magnético é intenso, são repelidas por ambos os polos do ímã, são classificadas como

- a) diamagnéticas.
- b) paramagnéticas.
- c) ferromagnéticas.
- d) ímãs permanentes.

23. (IFSP)

Um professor de Física mostra aos seus alunos 3 barras de metal AB, CD e EF que podem ou não estar magnetizadas. Com elas faz três experiências que consistem em aproximá-las e observar o efeito de atração e/ou repulsão, registrando-o na tabela a seguir.

		Ocorre atração
		Ocorre atração
		Ocorre repulsão

Reprodução/IFSP

Após o experimento e admitindo que cada letra pode corresponder a um único polo magnético, seus alunos concluíram que

- a) somente a barra CD é ímã.
- b) somente as barras CD e EF são ímãs.
- c) somente as barras AB e EF são ímãs.
- d) somente as barras AB e CD são ímãs.
- e) AB, CD e EF são ímãs.

24. (Uern)

A agulha de uma bússola ao ser colocada entre dois ímãs sofre um giro no sentido anti-horário. A figura que ilustra corretamente a posição inicial da agulha em relação aos ímãs é

a) **agulha da bússola**



Reprodução/Uern

b) **agulha da bússola**



c) **agulha da bússola**



d) **agulha da bússola**



25. (UFMG)

Um ímã e um bloco de ferro são mantidos fixos numa superfície horizontal, como mostrado na figura:



Reprodução/UFMG

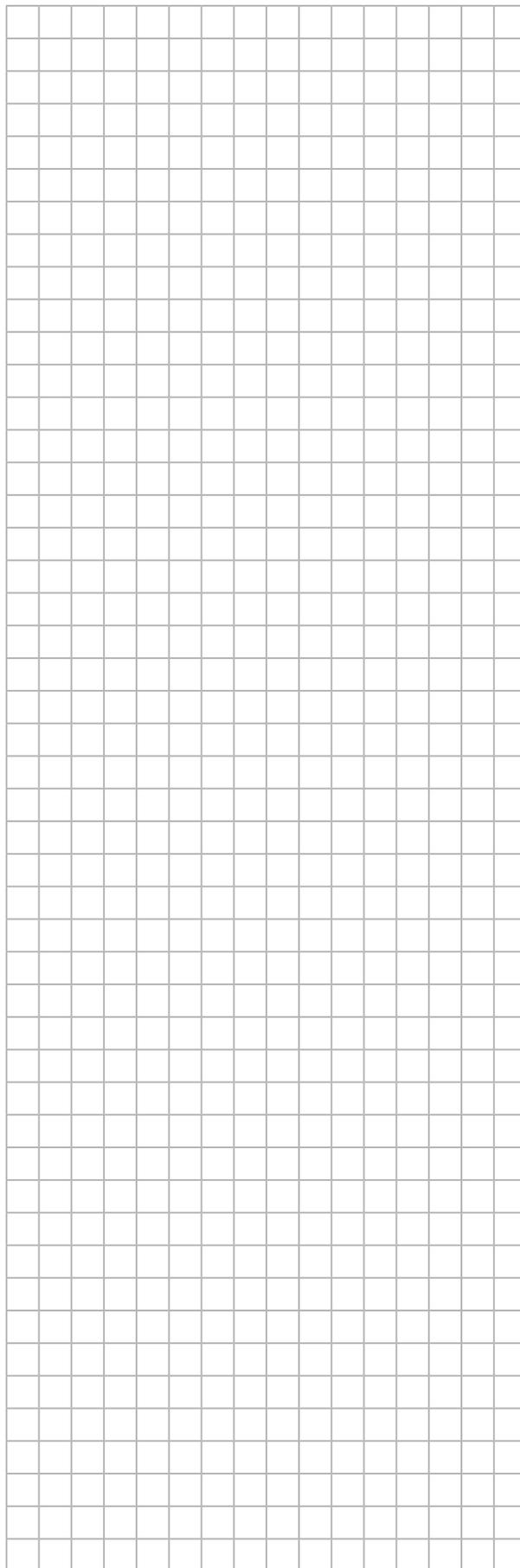
Em determinado instante, ambos são soltos e movimentam-se um em direção ao outro, devido à força de atração magnética.

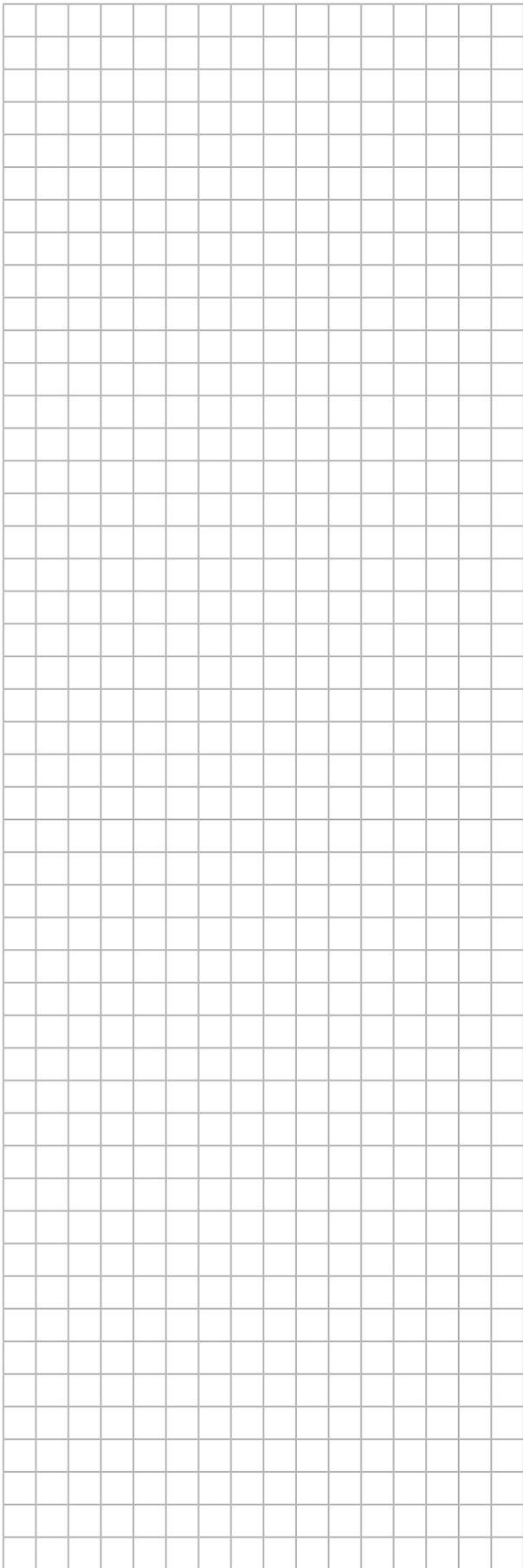
Despreze qualquer tipo de atrito e considere que a massa "m" do ímã é igual à metade da massa do bloco de ferro.

Sejam $a(i)$ o módulo da aceleração e $F(i)$ o módulo da resultante das forças sobre o ímã. Para o bloco de ferro, essas grandezas são, respectivamente, $a(f)$ e $F(f)$.

Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que

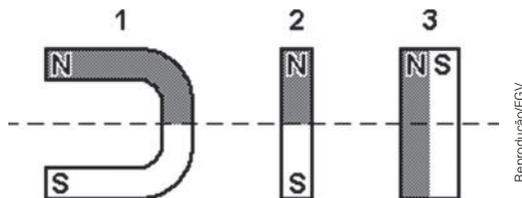
- a) $F(i) = F(f)$ e $a(i) = a(f)$.
- b) $F(i) = F(f)$ e $a(i) = 2a(f)$.
- c) $F(i) = 2F(f)$ e $a(i) = 2a(f)$.
- d) $F(i) = 2F(f)$ e $a(i) = a(f)$.





26. (FGV-SP)

Os ímãs 1, 2 e 3 foram cuidadosamente seccionados em dois pedaços simétricos, nas regiões indicadas pela linha tracejada.



Analise as afirmações referentes às consequências da divisão dos ímãs:

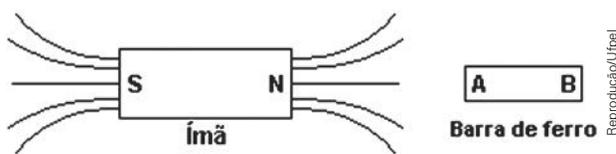
- I. todos os pedaços obtidos desses ímãs serão também ímãs, independentemente do plano de secção utilizado;
- II. os pedaços respectivos dos ímãs 2 e 3 poderão se juntar espontaneamente nos locais da separação, retomando a aparência original de cada ímã;
- III. na secção dos ímãs 1 e 2, os polos magnéticos ficarão separados mantendo cada fragmento um único polo magnético.

Está correto o contido apenas em

- a) I.
- b) III.
- c) I e II.
- d) I e III.
- e) II e III.

27. (Ufpel-RS)

Considere um ímã permanente e uma barra de ferro inicialmente não imantada, conforme a figura a seguir.



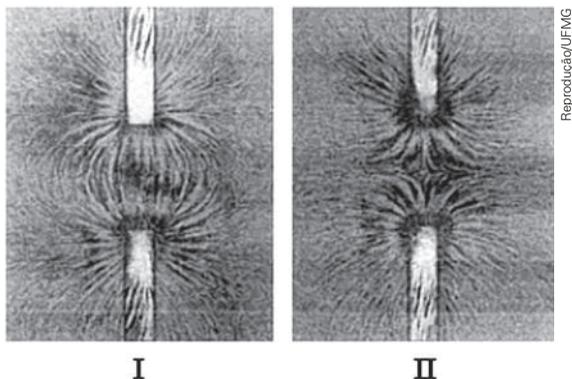
Ao aproximarmos a barra de ferro do ímã, observa-se a formação de um polo _____ em **A**, um polo _____ em **B** e uma _____ entre o ímã e a barra de ferro.

A alternativa que preenche respectiva e corretamente as lacunas da afirmação anterior é

- a) norte, sul, repulsão.
- b) sul, sul, repulsão.
- c) sul, norte, atração.
- d) norte, sul, atração.
- e) sul, norte, repulsão.

28. (UFMG)

Fazendo uma experiência com dois ímãs em forma de barra, Júlia colocou-os sob uma folha de papel e espalhou limalhas de ferro sobre essa folha. Ela colocou os ímãs em duas diferentes orientações e obteve os resultados mostrados nas figuras I e II:



Reprodução/UFMG

Nessas figuras, os ímãs estão representados pelos retângulos.

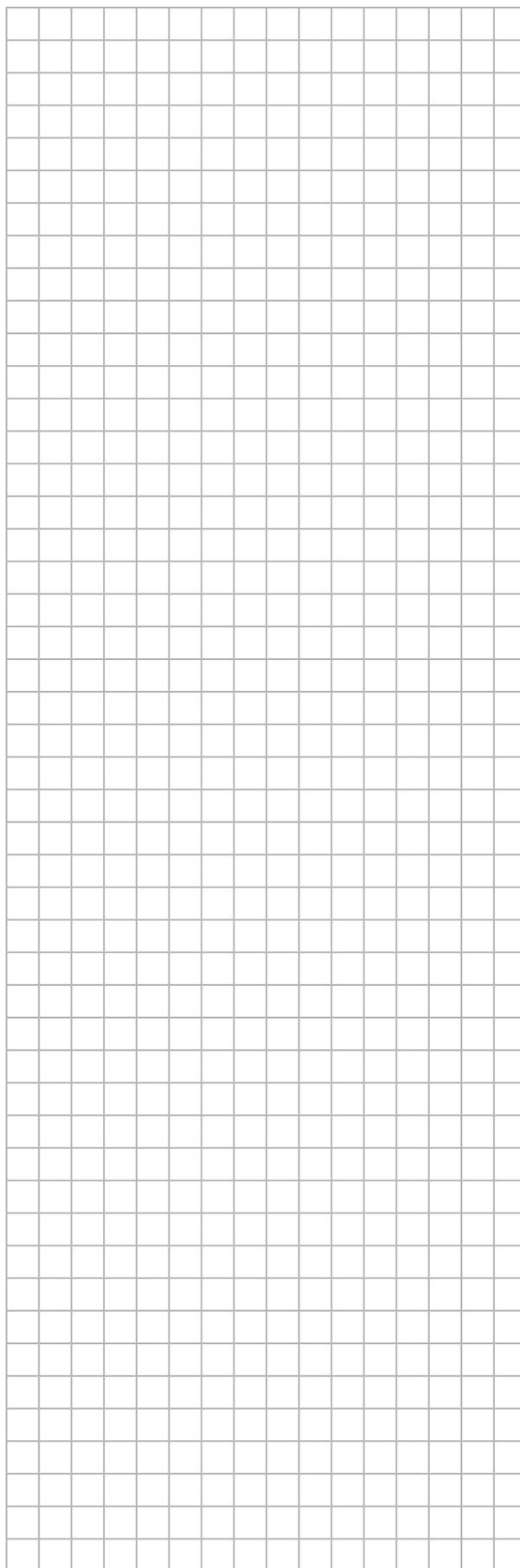
Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que as extremidades dos ímãs voltadas para a região entre eles correspondem aos polos

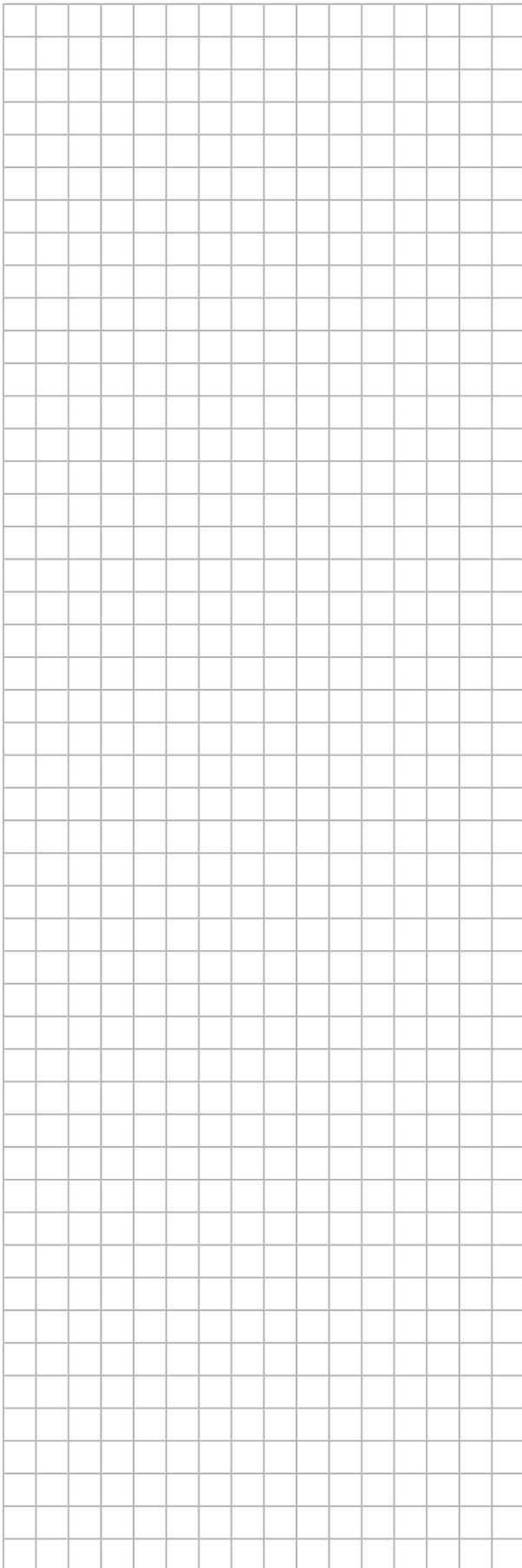
- a) norte e norte na figura I e sul e norte na figura II.
- b) norte e norte na figura I e sul e sul na figura II.
- c) norte e sul na figura I e sul e norte na figura II.
- d) norte e sul na figura I e sul e sul na figura II.

29. (UFMG)

As afirmativas estão relacionadas com forças e campos observados na natureza. Assinale a afirmativa INCORRETA.

- a) O campo magnético da Terra possibilita a utilização de bússolas como instrumentos de orientação.
- b) A atração de pedacinhos de papel por um pente atritado no cabelo se deve a uma força de natureza elétrica.
- c) O movimento dos planetas em torno do Sol é uma manifestação de uma força gravitacional.
- d) O fenômeno das marés é devido à atração de grandes massas de água pelo campo magnético da Lua.

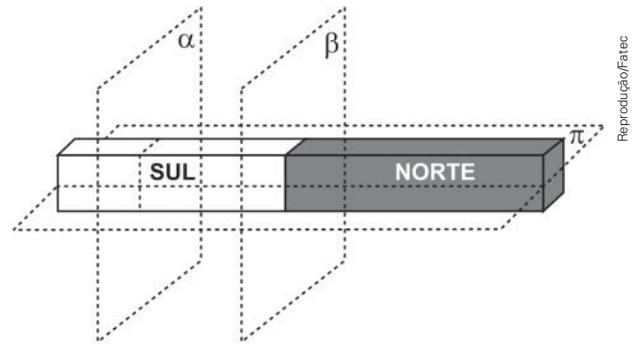




30. (Fatec-SP)

Uma criança brincando com um ímã, por descuido, o deixa cair, e ele se rompe em duas partes. Ao tentar consertá-lo, unindo-as no local da ruptura, ela percebe que os dois pedaços não se encaixam devido à ação magnética.

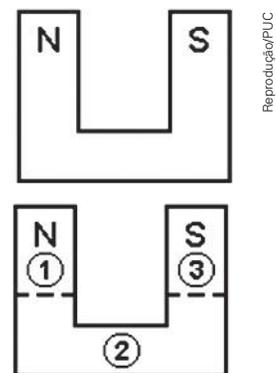
Pensando nisso, se o ímã tivesse o formato e as polaridades da figura a seguir, é válido afirmar que o ímã poderia ter se rompido



- a) na direção do plano α .
- b) na direção do plano β .
- c) na direção do plano π .
- d) na direção de qualquer plano.
- e) apenas na direção do plano β .

31. (PUC-MG)

Um ímã permanente, em forma de "ferradura", cujos polos norte e sul estão indicados na figura a seguir, é dividido em três partes.

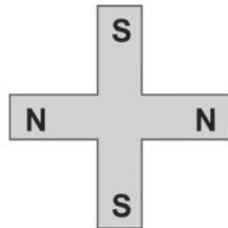


É CORRETO concluir que:

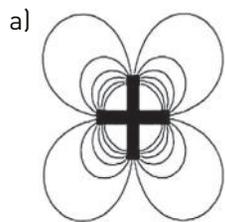
- a) a parte 1 terá apenas o polo norte e a parte 2 terá apenas o polo sul.
- b) as partes 1 e 2 formarão novos ímãs, mas a parte 3 não.
- c) as partes 1, 2 e 3 perderão suas propriedades magnéticas.
- d) as partes 1, 2 e 3 formarão três novos ímãs, cada uma com seus polos norte e sul.

32. (Fuvest-SP)

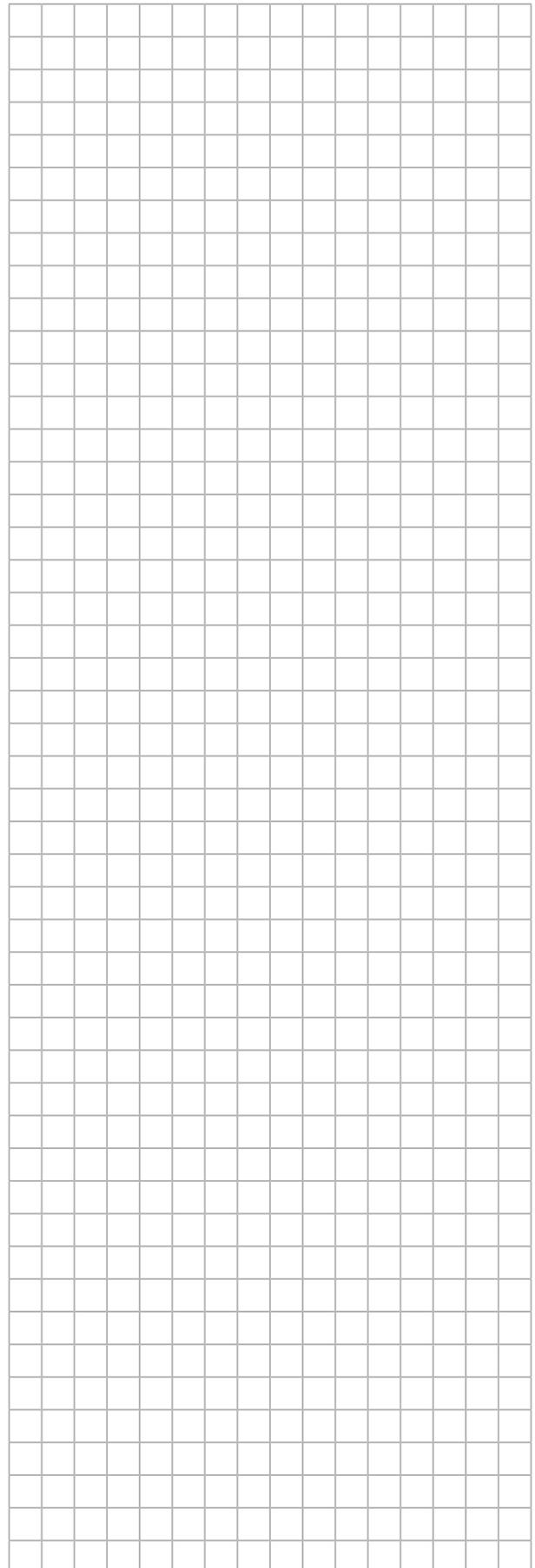
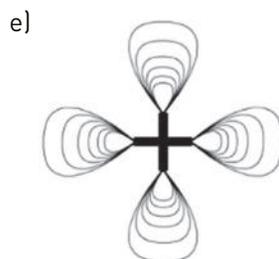
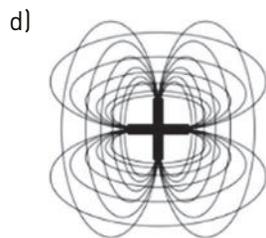
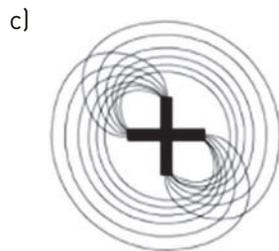
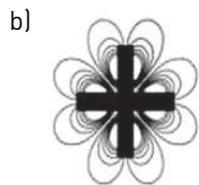
Um objeto de ferro, de pequena espessura e em forma de cruz, está magnetizado e apresenta dois polos Norte (N) e dois polos Sul (S). Quando esse objeto é colocado horizontalmente sobre uma mesa plana, as linhas que melhor representam, no plano da mesa, o campo magnético por ele criado são as indicadas em

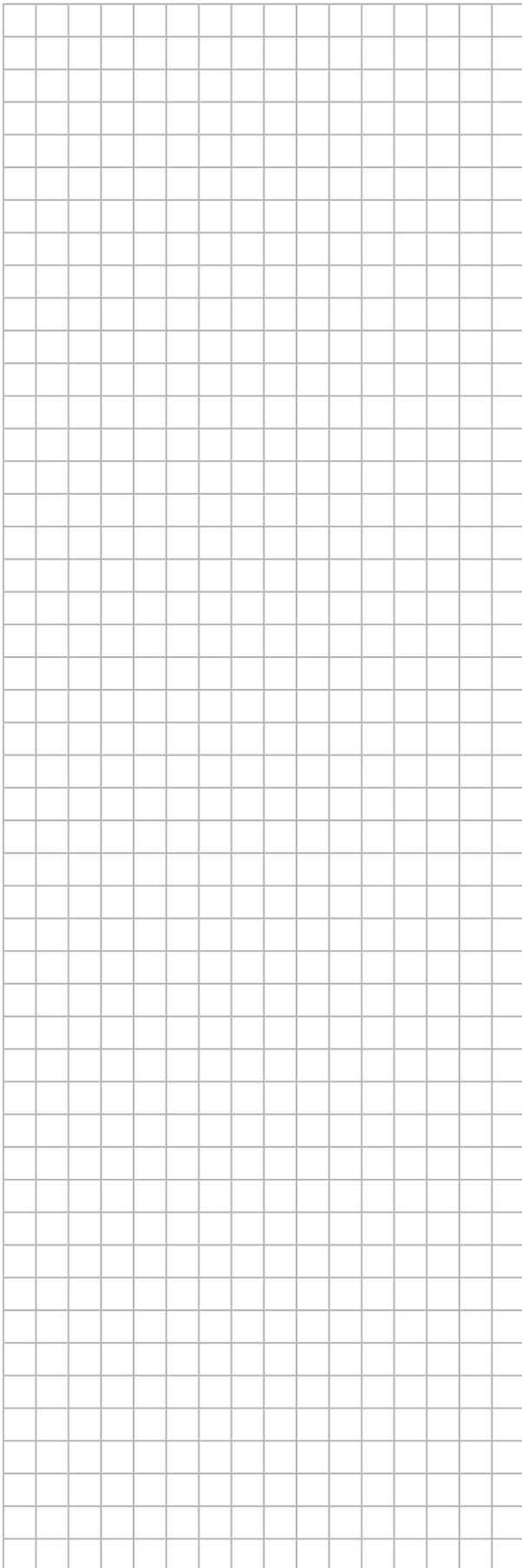


Reprodução/Fuvest



Ilustrações: Reprodução/Fuvest





33. (PUC-PR)

Um pedaço de ferro é colocado próximo de um ímã, conforme a figura a seguir:



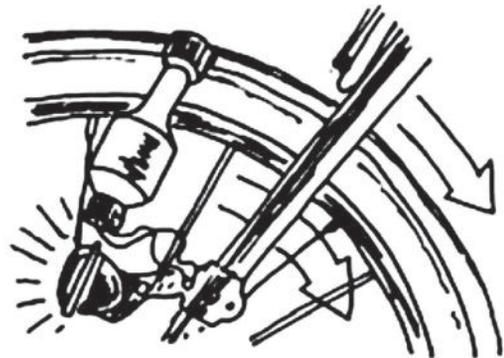
Reprodução/PUC

Assinale a alternativa correta:

- a) é o ferro que atrai o ímã.
- b) a atração do ferro pelo ímã é igual à atração do ímã pelo ferro.
- c) é o ímã que atrai o ferro.
- d) a atração do ímã pelo ferro é mais intensa do que a atração do ferro pelo ímã.
- e) a atração do ferro pelo ímã é mais intensa do que a atração do ímã pelo ferro.

34. (Enem)

Os dínamos são geradores de energia elétrica utilizados em bicicletas para acender uma pequena lâmpada. Para isso, é necessário que a parte móvel esteja em contato com o pneu da bicicleta e, quando ela entra em movimento, é gerada energia elétrica para acender a lâmpada. Dentro desse gerador, encontram-se um ímã e uma bobina.



Reprodução/Enem

Disponível em: <http://www.if.usp.br>. Acesso em: 1 maio 2010.

O princípio de funcionamento desse equipamento é explicado pelo fato de que a

- a) corrente elétrica no circuito fechado gera um campo magnético nessa região.
- b) bobina imersa no campo magnético em circuito fechado gera uma corrente elétrica.
- c) bobina em atrito com o campo magnético no circuito fechado gera uma corrente elétrica.
- d) corrente elétrica é gerada em circuito fechado por causa da presença do campo magnético.
- e) corrente elétrica é gerada em circuito fechado quando há variação do campo magnético.

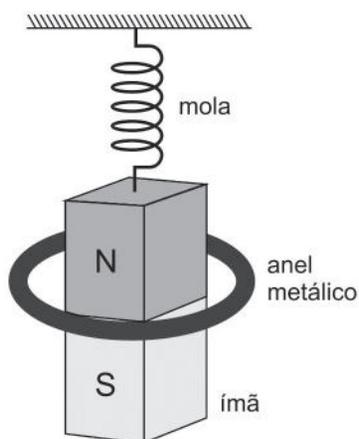
35. (UFC-CE)

O fluxo magnético que atravessa cada espira de uma bobina cilíndrica com 50 espiras, em função do tempo, é dado pela expressão $\Phi = 2t$, entre os tempos $t = 1 \text{ s}$ e $t = 10 \text{ s}$, em que o fluxo é dado em Wb. Para esse intervalo de tempo, determine:

- a) o módulo da força eletromotriz média induzida;
- b) o sentido da corrente induzida, considerando que o campo magnético está “entrando” no plano do papel, e o plano transversal da bobina é o próprio plano do papel.

36. (UEG-GO)

A figura a seguir representa um ímã preso a uma mola que está oscilando verticalmente, passando pelo centro de um anel metálico.



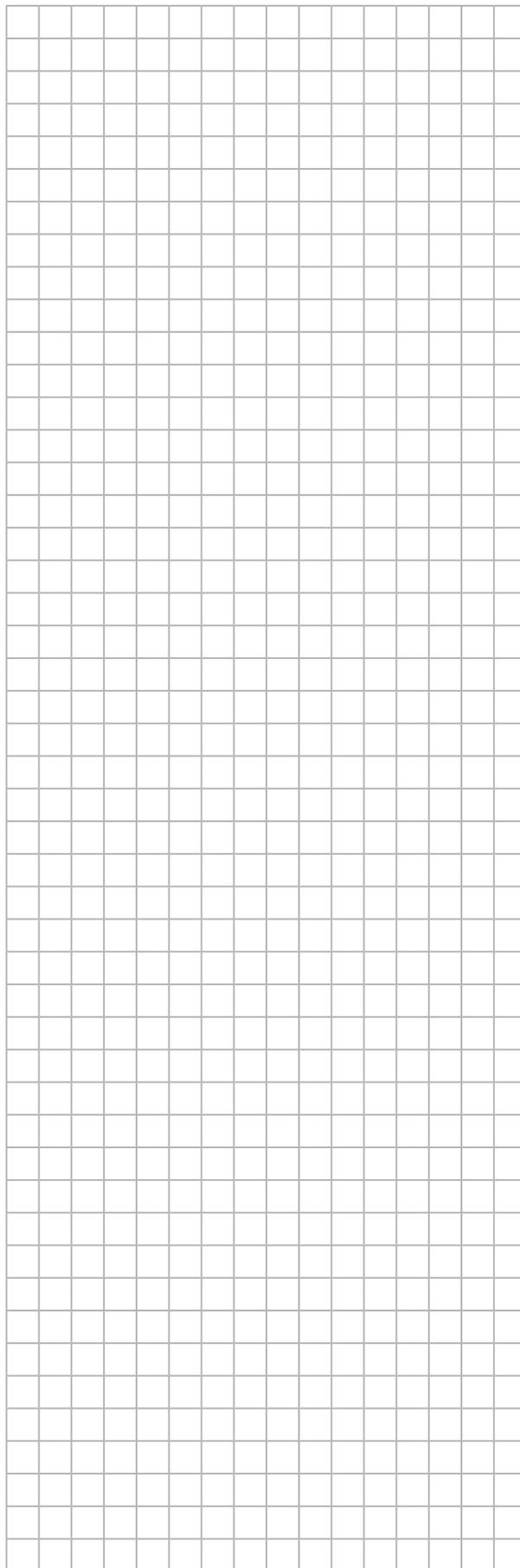
Com base no princípio da conservação de energia e na lei de Lenz, responda aos itens a seguir.

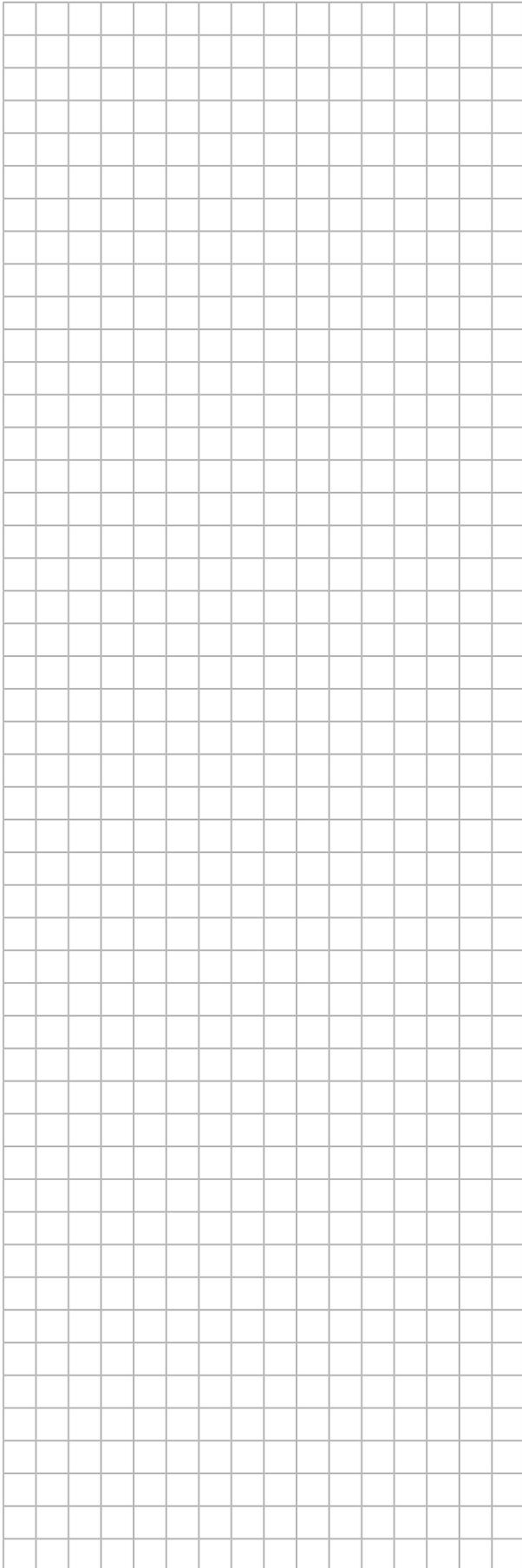
- a) Qual é o sentido da corrente induzida quando o ímã se aproxima (descendo) do anel? Justifique.
- b) O que ocorre com a amplitude de oscilação do ímã? Justifique.

37. (UFT-TO)

De quanto deverá ser a magnitude do choque elétrico (f.e.m. induzida) se segurarmos as extremidades de uma bobina composta por 10 espiras de área $A = 1 \text{ [m}^2\text{]}$ e deixarmos passar ortogonalmente por esta bobina uma densidade de fluxo magnético constante com módulo dado por $B = 11 \text{ [T]}$?

- a) 0 [Volts]
- b) 10 [Volts]
- c) 110 [Volts]
- d) 220 [Volts]
- e) 100 [Volts]





38. (UEMG)

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas tem exigido a produção cada vez maior de energia, principalmente de energia elétrica. Além das hidrelétricas, outras fontes como painéis fotovoltaicos, usinas eólicas, termoeletricas e baterias têm sido usadas para produzir energia elétrica.

São fontes de energia que não se baseiam na indução eletromagnética para produção de energia elétrica:

- a) pilhas e painéis fotovoltaicos.
- b) termoeletricas e usinas eólicas.
- c) pilhas, termoeletricas e painéis fotovoltaicos.
- d) termoeletricas, painéis fotovoltaicos e usinas eólicas.

39. (UEFS-BA)

Os ímãs, naturais ou artificiais, apresentam determinados fenômenos denominados de fenômenos magnéticos.

Sobre esses fenômenos, é correto afirmar:

- a) A Lei de Lenz estabelece que o sentido da corrente induzida é tal que se opõe à variação de fluxo magnético através de um circuito que a produziu.
- b) Os pontos da superfície terrestre que possuem inclinação magnética máxima pertencem a uma linha chamada Equador Magnético.
- c) Sob a ação exclusiva de um campo magnético, o movimento de uma carga elétrica é retilíneo e uniformemente acelerado.
- d) Nas regiões em que as linhas de indução estão mais próximas, o campo magnético é menos intenso.
- e) As linhas de indução são, em cada ponto, perpendiculares ao vetor indução magnética.

40. (UFMS-RS)

O alto-falante, usado na comunicação, em megafones, rádios, televisões, tem o seu princípio de funcionamento ligado à lei de

- a) Coulomb.
- b) Ohm.
- c) Joule.
- d) Ampère.
- e) Faraday.

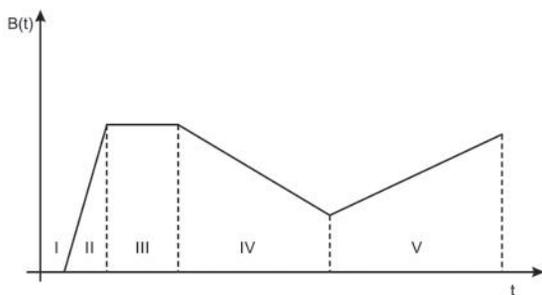
41. (IMED)

A lei da indução de Faraday é fundamental, por exemplo, para explicarmos o funcionamento de um dispositivo usado em usinas de energia elétrica: o dínamo. Trata-se de um equipamento eletromecânico que transforma energia mecânica nas usinas de energia em energia elétrica. Em relação a esse dispositivo, assinale a alternativa INCORRETA.

- a) Segundo a lei de Faraday, a quantidade de energia elétrica produzida por um dínamo pode ser superior à quantidade de energia mecânica que ele consome.
- b) A lei de Faraday é importante para explicar o funcionamento dos transformadores de tensão que usamos em nossas residências.
- c) É impossível construir um dínamo cujo único efeito seja produzir 200 J de energia elétrica consumindo somente 100 J de energia mecânica.
- d) A lei de Faraday relaciona o fluxo de um campo magnético, variando ao longo do tempo, a uma força eletromotriz induzida por essa variação.
- e) O dínamo é percorrido por uma corrente elétrica induzida quando rotaciona na presença de um campo magnético externo.

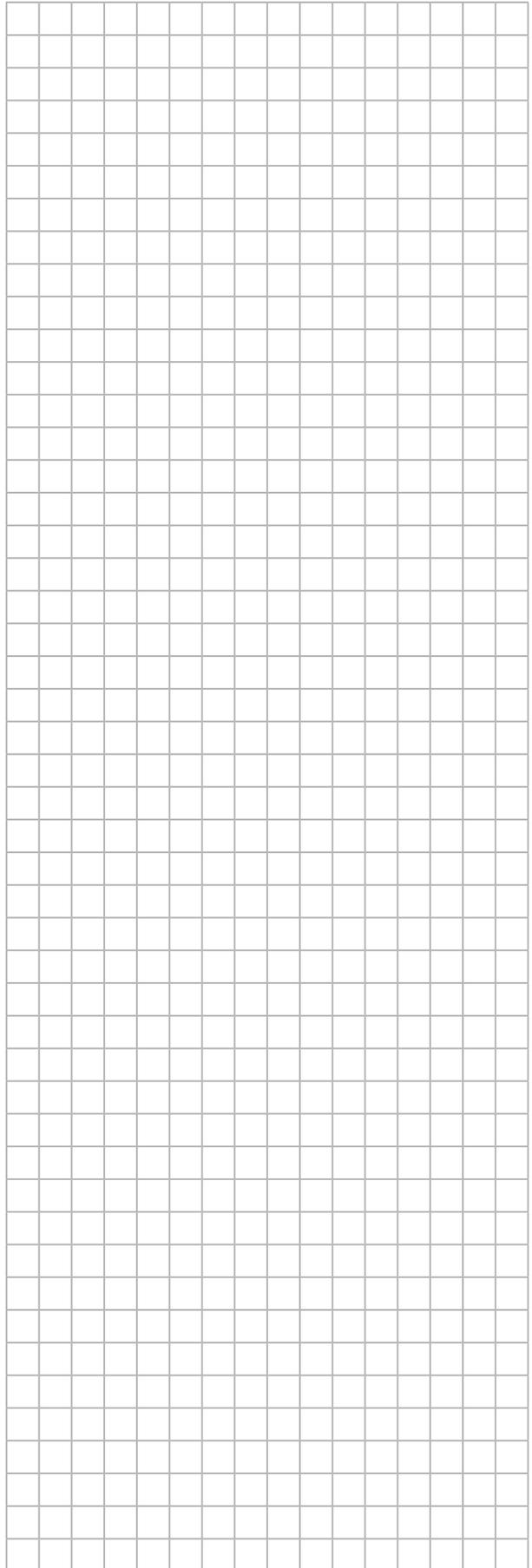
42. (UFPE)

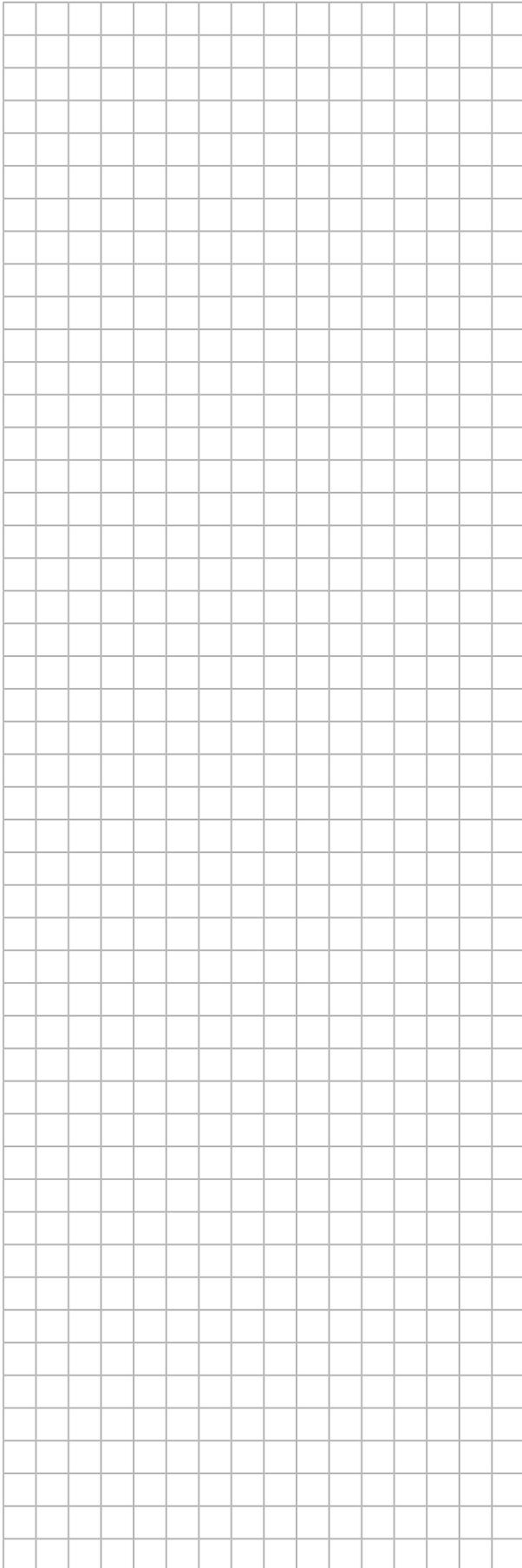
O gráfico indica a variação temporal de um campo magnético espacialmente uniforme, $B(t)$, numa região onde está imersa uma espira condutora. O campo é perpendicular ao plano da espira. Em qual dos intervalos de tempo, identificados por I, II, III, IV e V, ocorrerá a maior força eletromotriz induzida na espira?



Reprodução/UFPE

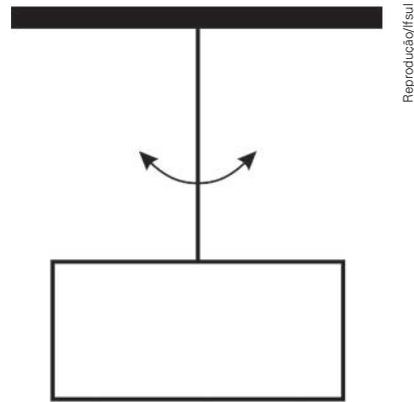
- a) I
- b) II
- c) III
- d) IV
- e) V





43. (Ifsul-RS)

A figura abaixo mostra um pêndulo com uma placa de cobre presa em sua extremidade.



Esse pêndulo pode oscilar livremente, mas, quando a placa de cobre é colocada entre os polos de um ímã forte, ele para de oscilar rapidamente. Com base nas informações fornecidas acima, pode-se afirmar que isso ocorre porque

- a) a placa de cobre fica ionizada.
- b) a placa de cobre fica eletricamente carregada.
- c) correntes elétricas são induzidas na placa de cobre.
- d) os átomos do cobre ficam eletricamente polarizados.

44. (UFSM-RS)

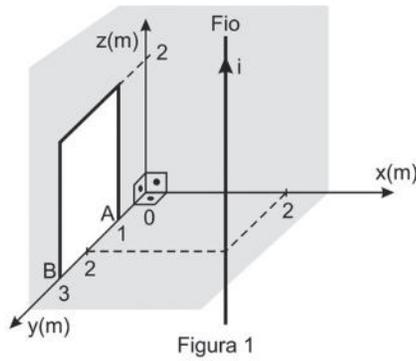
A tecnologia das grandes usinas hidroelétricas depende de extensas linhas de transmissão. As linhas de transmissão usualmente transportam energia elétrica em _____ tensão. O transformador é um dispositivo que permite transformar baixa tensão e _____ corrente em alta tensão e _____ corrente e vice-versa. No transformador, o fluxo magnético associado ao campo criado pela corrente _____ no primário gera uma corrente no secundário, conforme a lei de Faraday.

A alternativa que completa, corretamente, as lacunas é

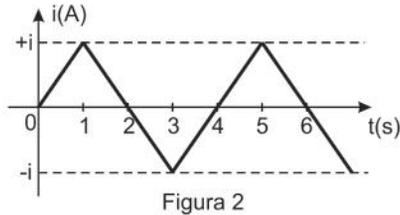
- a) alta – alta – baixa – contínua.
- b) alta – baixa – alta – alternada.
- c) baixa – baixa – baixa – contínua.
- d) alta – alta – baixa – alternada.
- e) baixa – baixa – alta – contínua.

45. (AFA-SP)

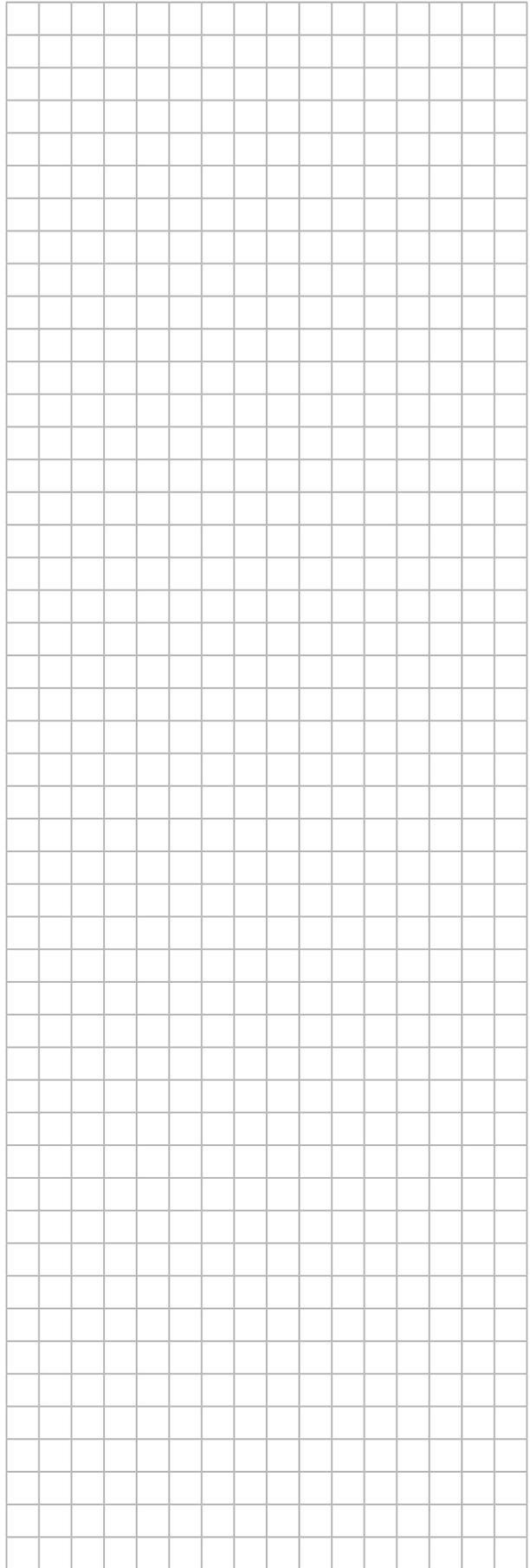
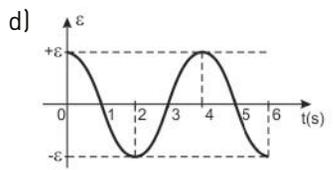
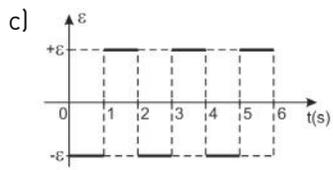
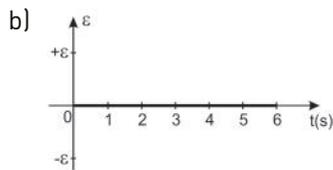
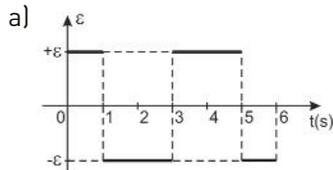
A figura 1 mostra uma espira quadrada, feita de material condutor, contida num plano zy , e um fio condutor retilíneo e muito longo, paralelo ao eixo z , sendo percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i , dada pelo gráfico da figura 2.

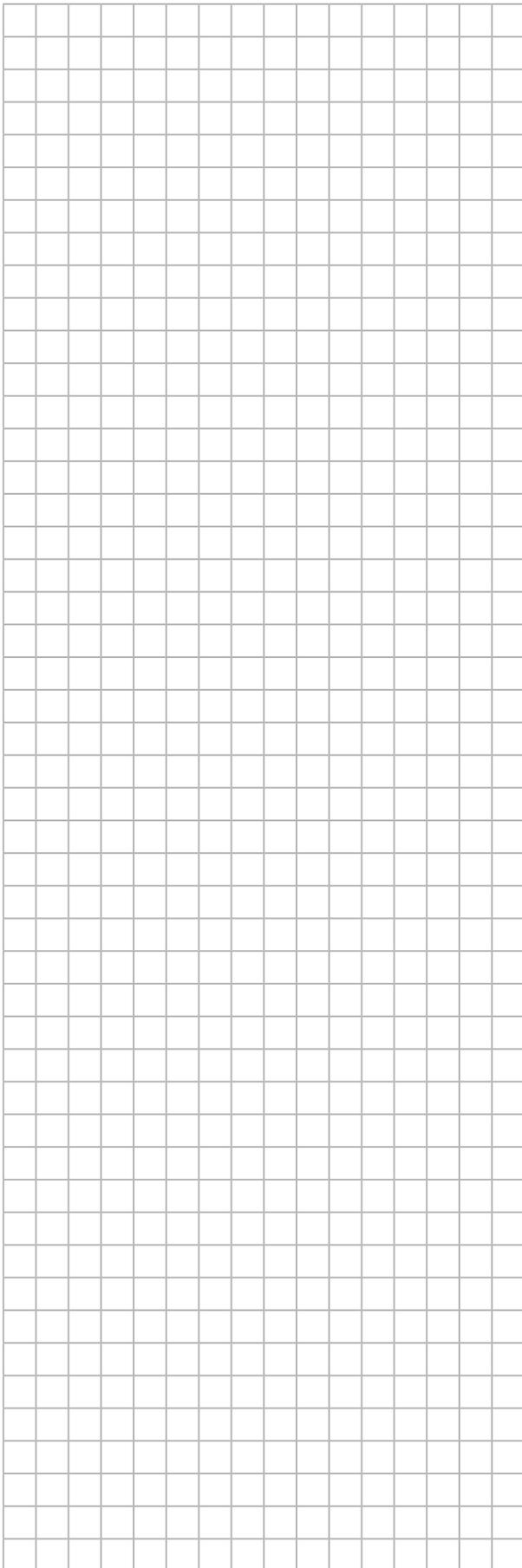


Reprodução/AFA



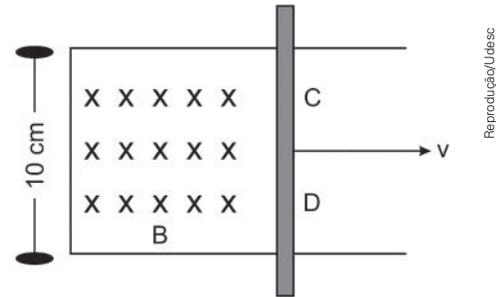
A partir da análise das Figuras 1 e 2, pode-se afirmar que o gráfico que melhor representa a fem induzida ϵ entre os pontos **A** e **B** é





46. (Udesc)

Na figura abaixo, a barra feita de material condutor desliza sem atrito, com velocidade constante de $6,0 \text{ cm/s}$ para a direita, sobre trilhos de material também condutor, no plano horizontal. A barra partiu da extremidade esquerda do trilho em $t = 0 \text{ s}$. Nesta região, há um campo magnético uniforme de intensidade de 10^{-4} T , como mostra a figura.



Assinale a alternativa que corresponde ao valor absoluto da tensão induzida, em microvolts, entre os pontos **C** e **D** da barra.

- a) 600
- b) 6000
- c) 0,060
- d) 60
- e) 0,60

47. (UFU-MG)

Tem se tornado cada vez mais comum o desenvolvimento de veículos de transporte de passageiros que flutuam sobre o solo. Um dos princípios que permite a esses veículos “flutuarem” sobre os trilhos é chamado de levitação eletrodinâmica, que ocorre quando há o movimento de um campo magnético nas proximidades de um material condutor de eletricidade.

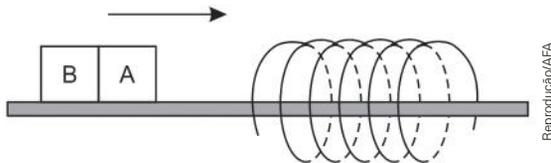
Segundo essa tecnologia, a levitação do veículo ocorre porque

- a) o movimento relativo de um material condutor gera força elétrica sobre o material magnético, criando um campo elétrico, o qual, com base na Lei de Coulomb, gerará em efeito repulsivo entre trem e trilhos, permitindo a “flutuação”.
- b) a corrente elétrica gerada pelo material condutor cria um campo magnético sobre o material magnético, que estabelece uma diferença de potencial entre os trilhos e o trem, com base na Lei de Ohm, o que gera a repulsão.

- c) o movimento relativo de um material magnético gera correntes em um material condutor, que criará um campo magnético, o qual, com base na Lei de Lenz, irá se opor à variação do campo criado pelo material magnético, gerando a repulsão.
- d) a corrente elétrica induzida no material magnético irá criar um campo magnético no material condutor, o qual, com base na Lei de Faraday, gerará uma força elétrica repulsiva sobre o material magnético, permitindo a "flutuação".

48. (AFA-SP)

A figura abaixo mostra um ímã **AB** se deslocando, no sentido indicado pela seta, sobre um trilho horizontal envolvido por uma bobina metálica fixa.

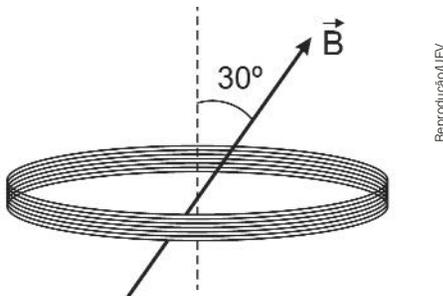


Nessas condições, é correto afirmar que, durante a aproximação do ímã, a bobina

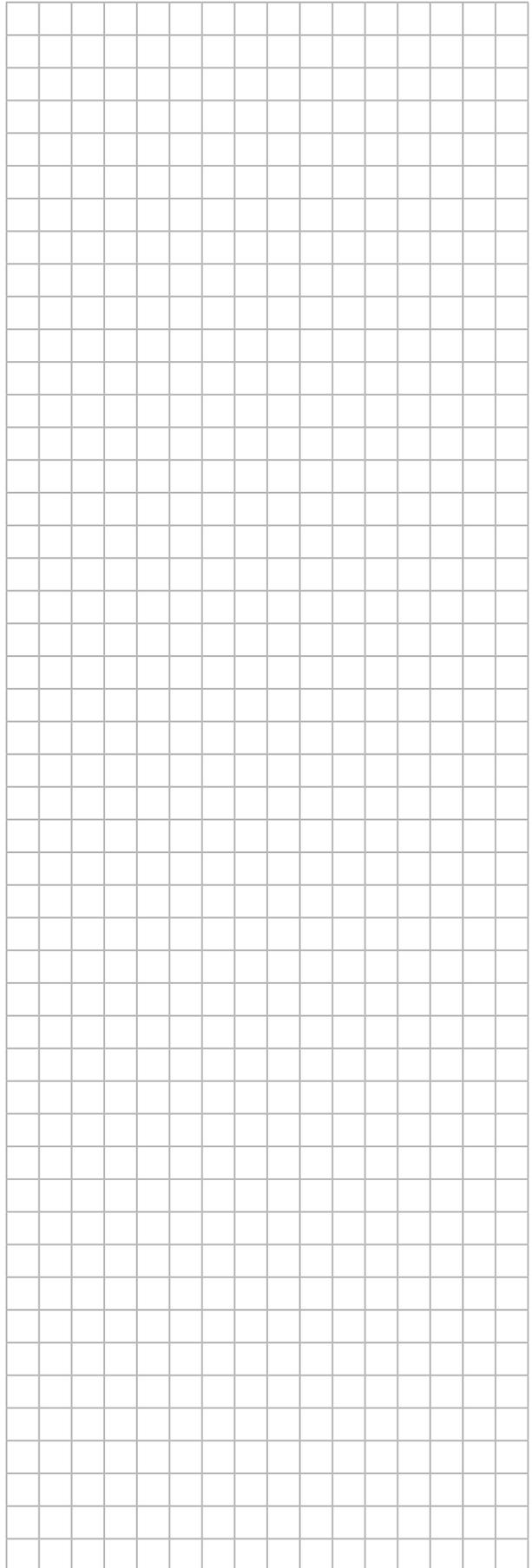
- a) sempre o atrairá.
 b) sempre o repelirá.
 c) somente o atrairá se o polo **A** for o Norte.
 d) somente o repelirá se o polo **A** for o Sul.

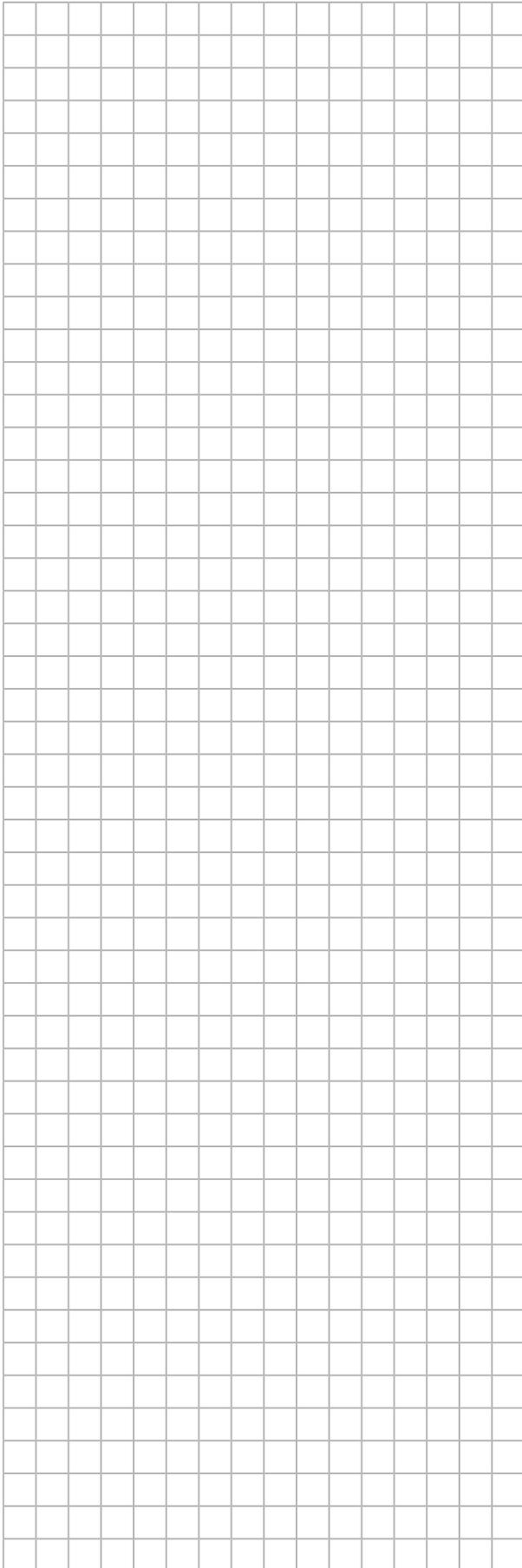
49. (UFV-MG)

Uma bobina composta de 10 espiras circulares, de área A cada uma, é colocada entre os polos de um grande eletroímã onde o campo magnético é uniforme e forma um ângulo de 30° com o eixo da bobina (como mostra a figura a seguir). Reduzindo-se o campo magnético com uma taxa igual a $0,5 \text{ T/s}$, o módulo da força eletromotriz induzida na bobina, durante a variação do campo magnético, é:



- a) $\frac{5A}{2}$ b) $\frac{5\sqrt{3}A}{2}$ c) $\frac{5\sqrt{3}A}{20}$ d) $\frac{5A}{20}$





50. (UFMS-RS)

Uma das características fundamentais das ondas eletromagnéticas, como ocorre em todo o movimento ondulatório, é o transporte de energia. A energia das ondas eletromagnéticas que vêm do Sol é um dos fatores que torna possível a vida na Terra.

A energia de cada fóton da radiação eletromagnética que se percebe como a cor verde pode ser calculada pelo produto da _____ pelo(a) _____. Essa radiação tem a mesma _____ que qualquer outra onda eletromagnética no vácuo.

Assinale a alternativa que completa as lacunas.

- a) frequência — comprimento de onda — velocidade
- b) constante de Planck — frequência — velocidade
- c) constante de Planck — comprimento de onda — frequência
- d) velocidade — massa do fóton — frequência
- e) massa do fóton — frequência — velocidade

51. (IFCE)

A energia que um elétron, em um átomo de hidrogênio, possui, em seu enésimo estado (nível de energia = n), é dada por $E_n = -\frac{13,6 \text{ eV}}{n^2}$ onde eV (elétron-volt) é uma unidade de medida de energia muito utilizada em Física Moderna, para que os cálculos sejam facilitados. Um átomo de hidrogênio possui um elétron que é excitado, a partir do estado fundamental, para o seu terceiro estado excitado. A energia que deve ser fornecida para este elétron, para que esse processo ocorra, deve ser de

- a) 13,60 eV. c) 3,400 eV. e) 12,75 eV.
- b) 0,850 eV. d) 14,45 eV.

52. (UFPE)

A respeito do modelo atômico de Rutherford, podemos afirmar que:

- () em seu modelo atômico, Rutherford propôs que os elétrons se moviam em órbitas elípticas quantizadas ao redor do núcleo.
- () Rutherford teve dificuldades em explicar a estabilidade atômica com o seu modelo.
- () de acordo com o modelo de Rutherford, o Hidrogênio era o único elemento químico a ter as linhas do seu espectro calculadas quantitativamente.

- () Rutherford elaborou o seu modelo a partir da observação de que partículas alfa incidindo em uma fina folha metálica jamais eram espalhadas em ângulos maiores que 90° .
- () de acordo com o modelo de Rutherford, o elétron deveria espiralar até o núcleo em um tempo superior ao tempo de vida do Universo.

53. (Ufes)

Um telefone celular emite ondas eletromagnéticas monocromáticas (radiação) através de sua antena, liberando uma potência de 10,0 mW. Sabendo que essa antena representa um ponto material e que o telefone celular emite radiação com frequência de 880 MHz (tecnologia GSM), determine

- a) o comprimento de onda dessa radiação;
- b) a energia de um fóton emitida por essa antena de celular em elétrons-volt;
- c) o número de fótons emitidos por essa antena de celular por segundo;
- d) a intensidade da onda que chega a um ponto distante 2,00 cm do telefone.

54. (UFPE)

O diagrama abaixo representa os 4 níveis de menor energia do átomo de hidrogênio calculados usando o modelo de Bohr. Calcule a energia mínima, em eV, que pode ser absorvida pelo átomo quando ele estiver no estado

$n = 4$	-0,85 eV
$n = 3$	-1,51 eV
$n = 2$	-3,4 eV
$n = 1$	-13,6 eV

55. (UFRGS-RS)

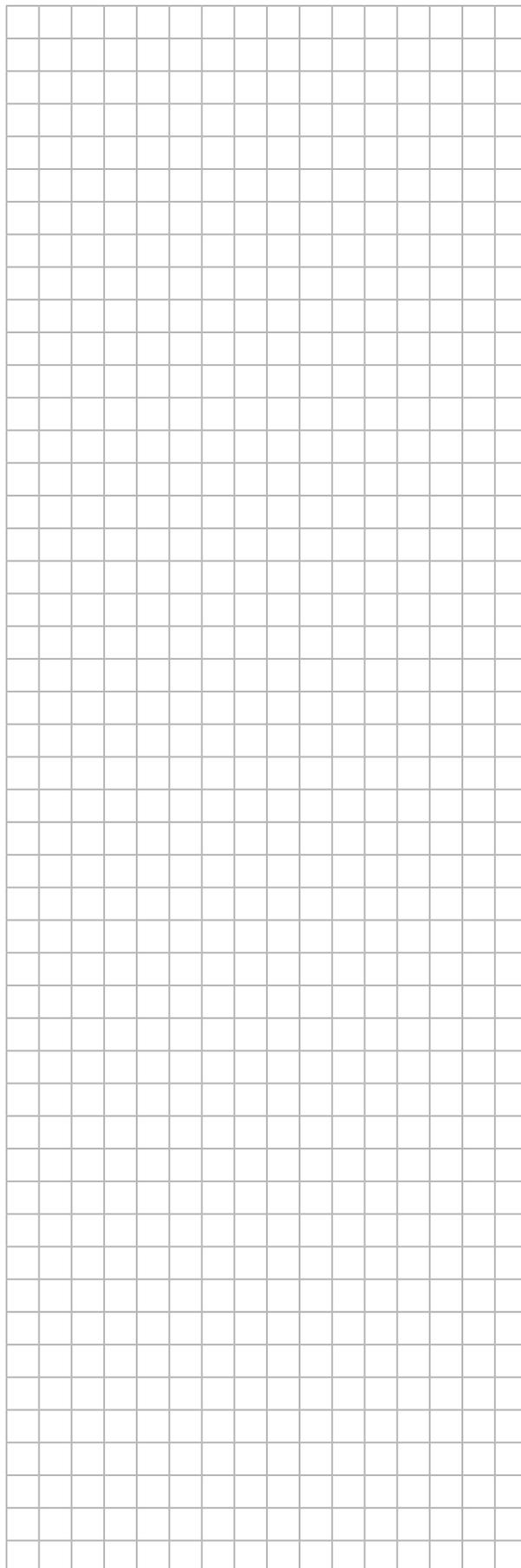
No texto abaixo, Richard Feynman, Prêmio Nobel de Física de 1965, ilustra os conhecimentos sobre a luz no início do século XX.

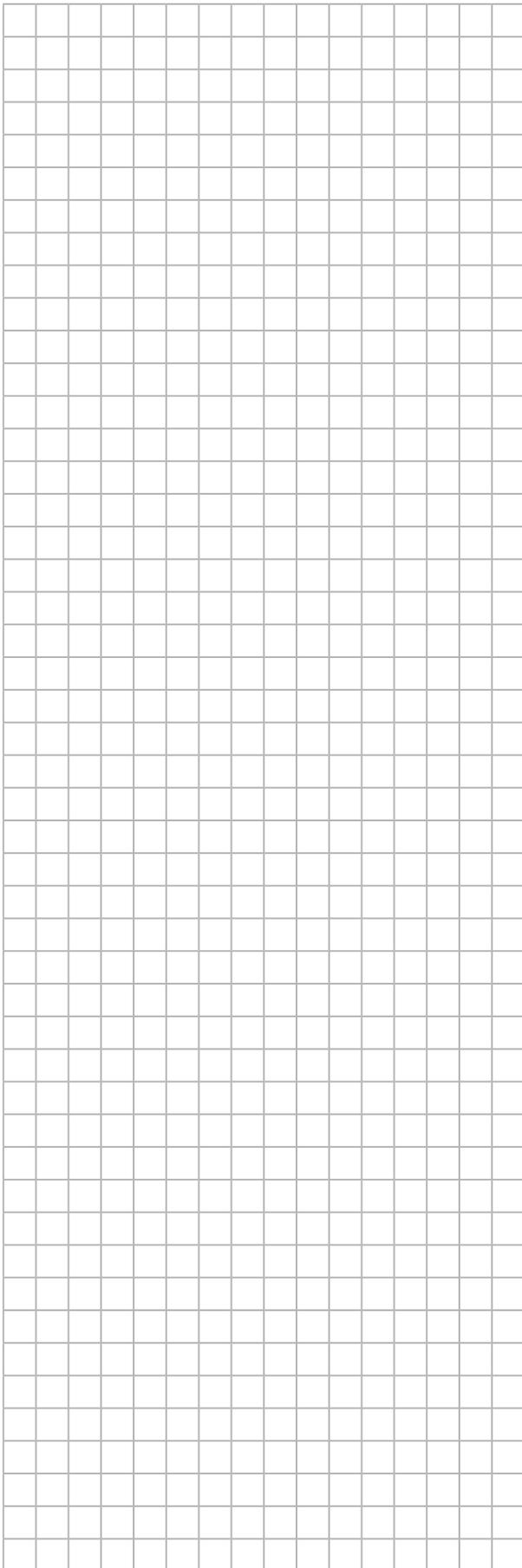
“Naquela época, a luz era uma onda nas segundas, quartas e sextas-feiras, e um conjunto de partículas nas terças, quintas e sábados. Sobrava o domingo para refletir sobre a questão!”

Fonte: QED-The Strange Theory of Light and Matter. Princeton University Press, 1985.

Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmações abaixo.

- () As “partículas” que Feynman menciona são os fótons.





() A grandeza característica da onda que permite calcular a energia dessas “partículas” é sua frequência f , através da relação $E = hf$.

() Uma experiência que coloca em evidência o comportamento ondulatório da luz é o efeito fotoelétrico.

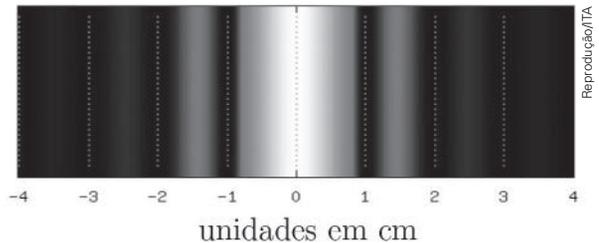
() O caráter corpuscular da luz é evidenciado por experiências de interferência e de difração.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) F - V - F - F d) V - F - V - F
b) F - F - V - V e) V - V - F - F
c) V - V - F - V

56. (ITA-SP)

Luz monocromática, com 500 nm de comprimento de onda, incide numa fenda retangular em uma placa, ocasionando a dada figura de difração sobre um anteparo a 10 cm de distância.



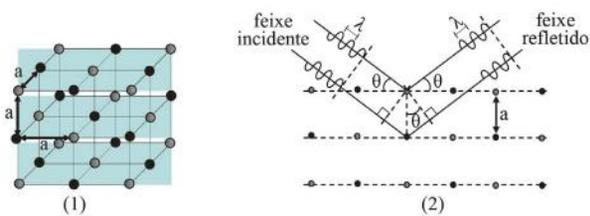
Então, a largura da fenda é

- a) $1,25 \mu\text{m}$ c) $5,00 \mu\text{m}$ e) $25,00 \mu\text{m}$
b) $2,50 \mu\text{m}$ d) $12,50 \mu\text{m}$

57. (ITA-SP)

O Raio-X é uma onda eletromagnética de comprimento de onda (λ) muito pequeno. A fim de observar os efeitos da difração de tais ondas é necessário que um feixe de Raio-X incida sobre um dispositivo, com fendas da ordem de λ . Num sólido cristalino, os átomos são dispostos em um arranjo regular com espaçamento entre os átomos da mesma ordem de λ . Combinando esses fatos, um cristal serve como uma espécie de rede de difração dos Raios-X. Um feixe de Raios-X pode ser refletido pelos átomos individuais de um cristal e tais ondas refletidas podem produzir a interferência de modo semelhante ao das ondas provenientes de uma rede de difração. Considere um cristal de cloreto de sódio, cujo espaçamento entre os átomos adjacentes é $a = 0,30 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, onde Raios-X com $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ são refletidos pelos planos cristalinos. A figura (1) mostra a estrutura cristalina cúbica do cloreto de sódio.

A figura (2) mostra o diagrama bidimensional da reflexão de um feixe de Raios-X em dois planos cristalinos paralelos. Se os feixes interferem construtivamente, calcule qual deve ser a ordem máxima da difração observável?



Reprodução/ITA, 2006.

58. (UFSM-RS)

A interferência da luz na experiência de Young mostra que a luz

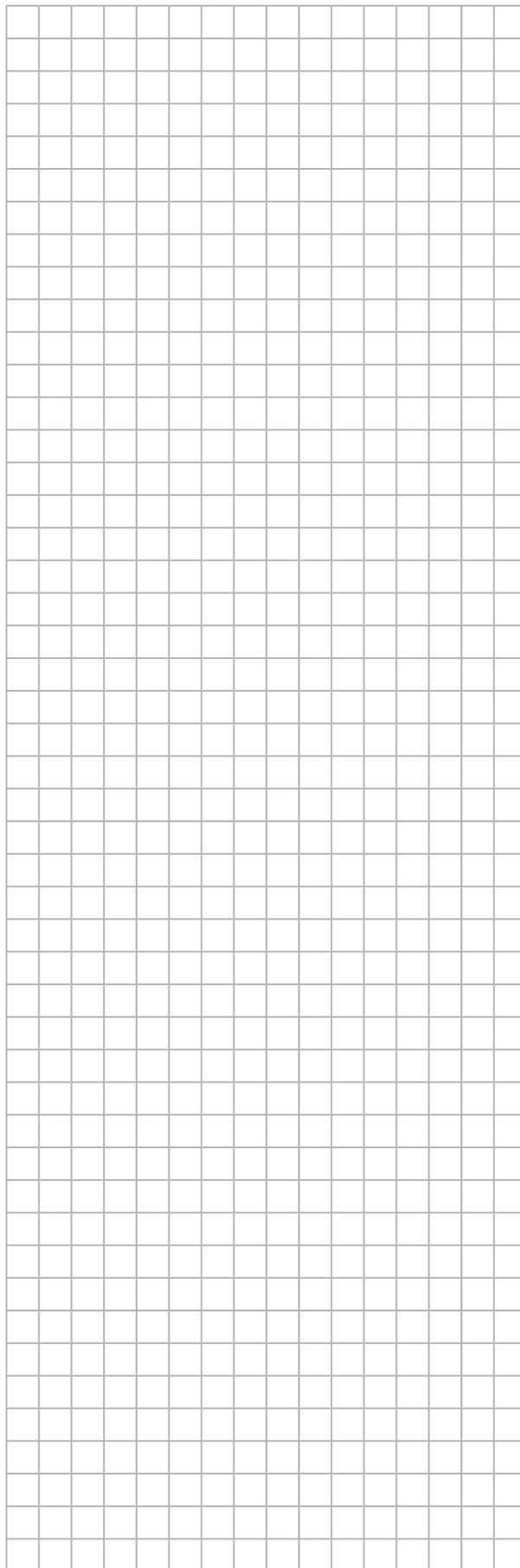
- a) tem comportamento ondulatório.
- b) tem comportamento de partícula.
- c) é uma onda longitudinal.
- d) tem comportamento eletromagnético.
- e) é completa de fótons.

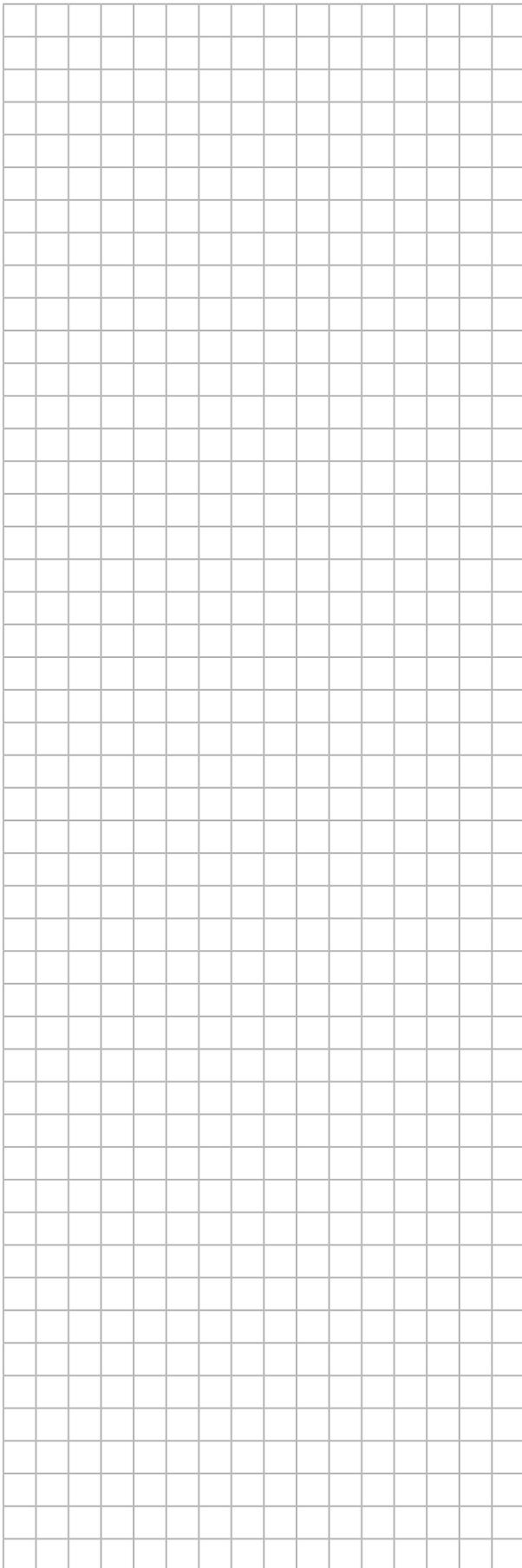
59. (UFRN)

A técnica de difração é largamente utilizada na determinação da estrutura dos materiais cristalinos. Essa técnica consiste em analisar o feixe difratado de nêutrons ou de raios-X que incide sobre o cristal cuja estrutura se deseja determinar. Observa-se, por meio de detectores apropriados, que a difração dos nêutrons e dos raios-X apresenta máximos e mínimos de intensidade em direções bem definidas. Esses máximos e mínimos de intensidade correspondem às interferências construtivas e destrutivas provenientes da interação dos nêutrons ou dos raios-X com os átomos do cristal. Fazendo-se um estudo da localização desses máximos e mínimos, determina-se, então, a disposição espacial dos átomos no cristal.

Pelo exposto, podemos afirmar que a interação dos nêutrons e a interação dos raios-X com o cristal evidenciam a natureza

- a) de partícula para os nêutrons e ondulatória para os raios-X.
- b) de partícula para os nêutrons e para os raios-X.
- c) ondulatória para os nêutrons e para os raios-X.
- d) ondulatória para os nêutrons e de partícula para os raios-X.





60. (UPM-SP)

Duas cargas elétricas puntiformes distam 20 cm uma da outra. Alterando essa distância, a intensidade da força de interação eletrostática entre as cargas fica 4 vezes menor. A nova distância entre elas é:

- a) 10 cm.
- b) 20 cm.
- c) 30 cm.
- d) 40 cm.
- e) 50 cm.

61. (Uece)

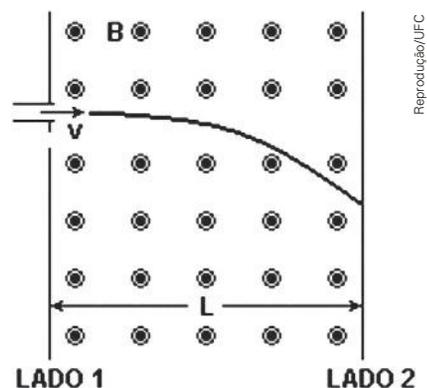
Uma experiência de interferência de fenda dupla é realizada com luz azul-esverdeada de comprimento de onda igual a 512 nm. As fendas estão separadas, entre si, por uma distância de 1,2 mm. Uma tela é localizada a uma distância de 5,4 m do anteparo que contém as fendas. A distância, em milímetros, que separa as franjas brilhantes consecutivas vistas sobre a tela é, aproximadamente:

- a) 2,3
- b) 4,0
- c) 5,2
- d) 1,2

62. (UFC-CE)

Duas partículas, P_1 e P_2 , com massas m_1 e m_2 , possuem cargas elétricas q_1 e q_2 , respectivamente.

Ambas as partículas são lançadas, simultaneamente, com a mesma velocidade inicial, de módulo v , em uma região na qual existe um campo magnético B , perpendicular ao plano da página e apontando para fora dela, de acordo com a figura a seguir. Uma possível trajetória das partículas é mostrada na figura. Considere que os raios das trajetórias de ambas as partículas são maiores que a distância L que separa o LADO 1 do LADO 2, conforme a figura.



Sendo $m_1 = 2m$, $m_2 = m$, $q_1 = q/4$ e $q_2 = q$, determine a partícula que atinge primeiro o LADO 2 e o raio R da trajetória descrita por essa partícula.

(Desconsidere qualquer efeito da gravidade.)

a) partícula P_1 ; $R = 8 \frac{mv}{qB}$

b) partícula P_2 ; $R = \frac{mv}{qB}$

c) partícula P_1 ; $R = \frac{mv}{qB}$

d) partícula P_2 ; $R = 8 \frac{mv}{qB}$

e) P_1 e P_2 chegam juntas; $R = \frac{mv}{qB}$

63. (UFRGS-RS)

A figura a seguir representa uma região do espaço no interior de um laboratório, onde existe um campo magnético estático e uniforme. As linhas do campo apontam perpendicularmente para dentro da folha, conforme indicado.



Reprodução/UFRGS

Uma partícula carregada negativamente é lançada a partir do ponto **P** com velocidade inicial v_0 em relação ao laboratório.

Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmações a seguir, referentes ao movimento subsequente da partícula, com respeito ao laboratório.

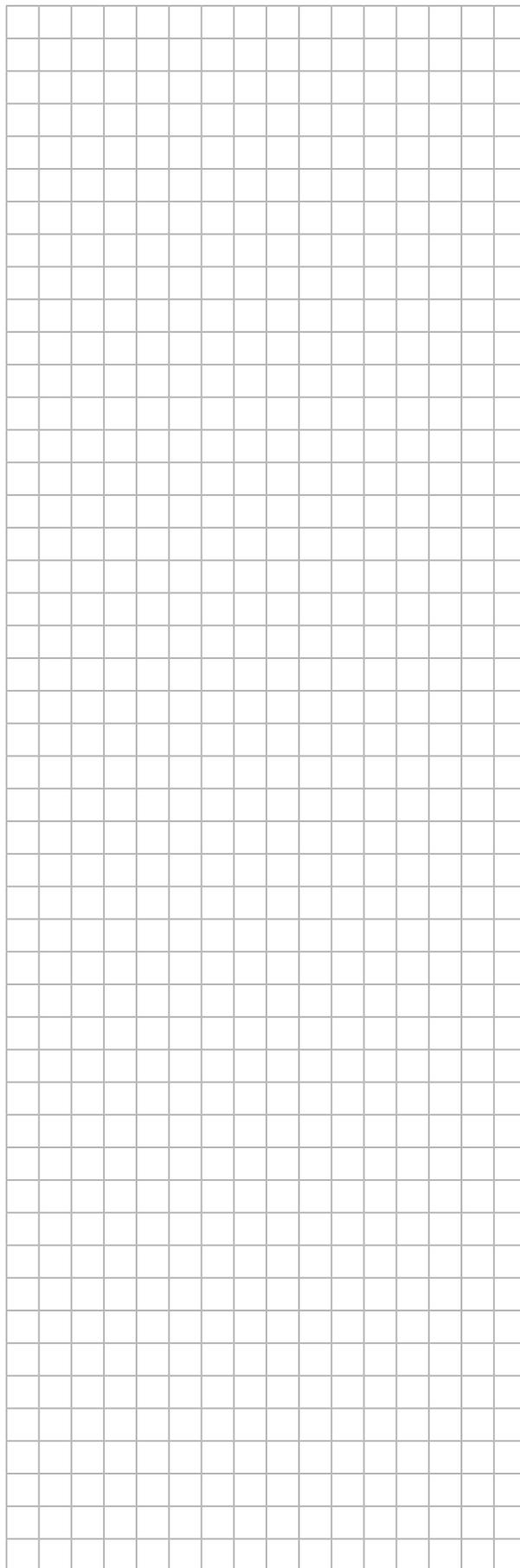
- () Se v_0 for perpendicular ao plano da página, a partícula seguirá uma linha reta, mantendo sua velocidade inicial.
- () Se v_0 apontar para a direita, a partícula se desviará para o pé da página.
- () Se v_0 apontar para o alto da página, a partícula se desviará para a esquerda.

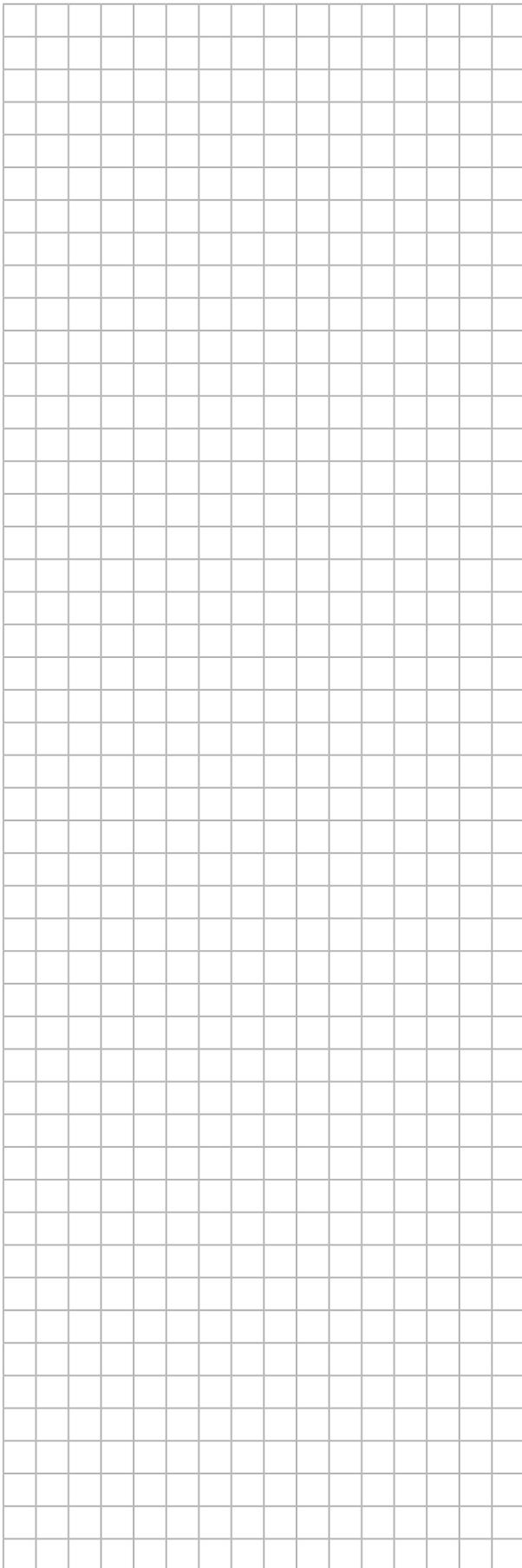
A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) V - V - F. c) F - V - F. e) V - V - V.
- b) F - F - V. d) V - F - V.

64. (UFMG)

Um feixe de elétrons entra em uma região onde existe um campo magnético, cuja direção coincide com a direção da velocidade dos elétrons.





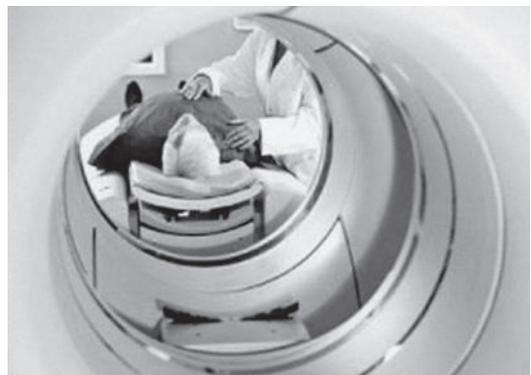
Com base nessas informações, é correto afirmar que, ao entrar no campo magnético, os elétrons desse feixe

- a) são desviados e sua energia cinética não se altera.
- b) não são desviados e sua energia cinética aumenta.
- c) são desviados e sua energia cinética aumenta.
- d) não são desviados e sua energia cinética não se altera.

65. (USF-SP)

A tomografia, por emissão de pósitrons ou PET-SCAN, é um exame de imagem que utiliza uma substância radioativa (18-Fluordesoxiglicose) para rastrear células tumorais no organismo. A técnica ou exame mais utilizado em oncologia é o chamado PET/CT, que consiste na fusão de imagens geradas pelo PET (Tomografia por Emissão de Pósitrons) com as imagens geradas pela Tomografia Computadorizada. Diferentemente de uma radiografia ou tomografia que analisa uma estrutura ou órgão do corpo de uma forma estática, o PET é um exame funcional, ou seja, tem a capacidade de mostrar o funcionamento de um tecido em nível molecular.

Disponível em: <<http://www.oncomedbh.com.br/site/?-menu=Informa%E7%F5es&submenu=Fique%20por%20dentro&i=73&pagina=0%20que%20%E9%20PET-SCAN?%A0>>. Acesso em: 15/5/2017.

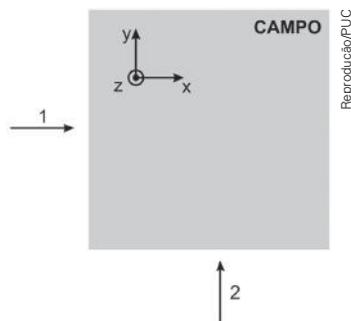


O pósitron usado nesse exame é a antipartícula do elétron e apresenta a mesma massa do elétron, porém carga elétrica positiva. Ele foi descoberto por Paul Dirac em 1928, mas a sua existência foi observada por Andersen em 1936. As partículas eletrizadas como o pósitron interagem com campos magnéticos e isso resulta em várias aplicações práticas importantes, como a descrita no texto acima.

- Ao se lançar, com velocidades iguais, um próton, um elétron e um pósitron perpendicularmente a um campo magnético uniforme, essas partículas
- ficam sujeitas a forças magnéticas de intensidades diferentes, com direção paralela ao campo magnético a que elas estão submetidas.
 - apresentam movimento circular uniforme, sendo todas as partículas com trajetórias de raios com valores distintos.
 - alteram a sua energia cinética enquanto estiverem no interior do campo magnético.
 - descrevem trajetórias circulares, e o próton apresentará a menor frequência no movimento circular, quando comparado com as outras partículas.
 - não terão qualquer variação nos seus respectivos momentos lineares, ou seja, o vetor quantidade de movimento de cada uma das partículas permanecerá inalterado.

66. (PUC-RJ)

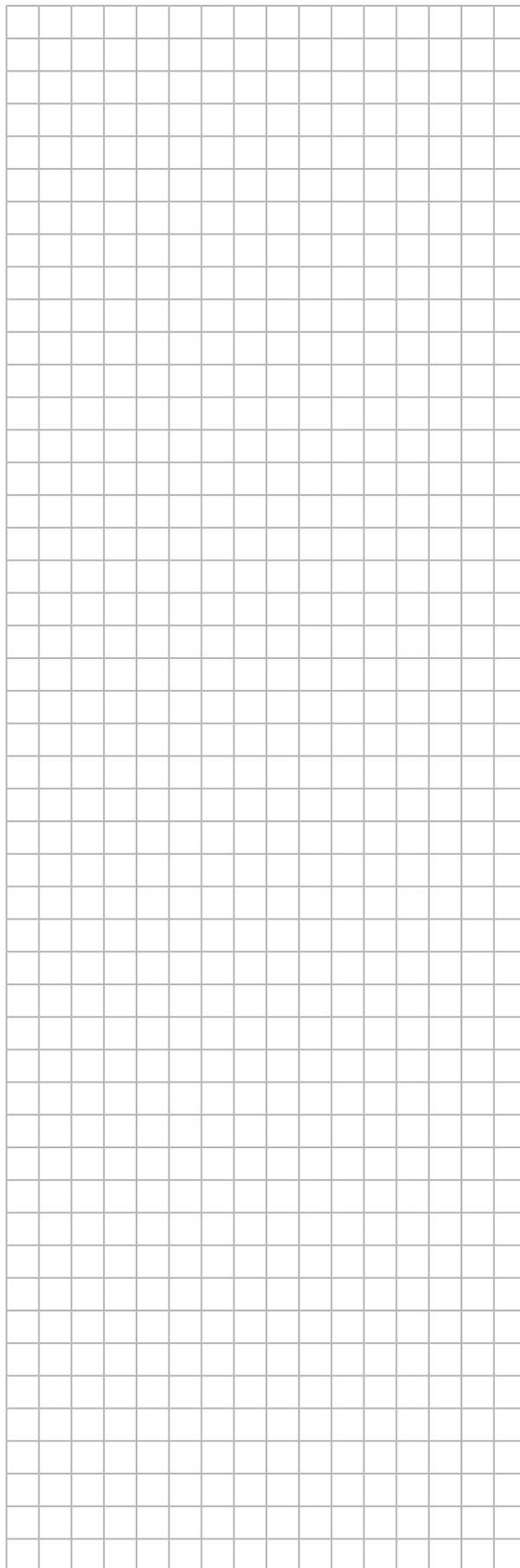
Duas partículas 1 e 2, idênticas com mesma carga elétrica q e massa m , atravessam uma região (sem gravidade) onde há um campo eletromagnético constante e uniforme. A partícula 1 entra na região com velocidade na direção x , sentido positivo, e a partícula 2 entra perpendicularmente, com velocidade na direção y , sentido positivo, como mostrado na figura.

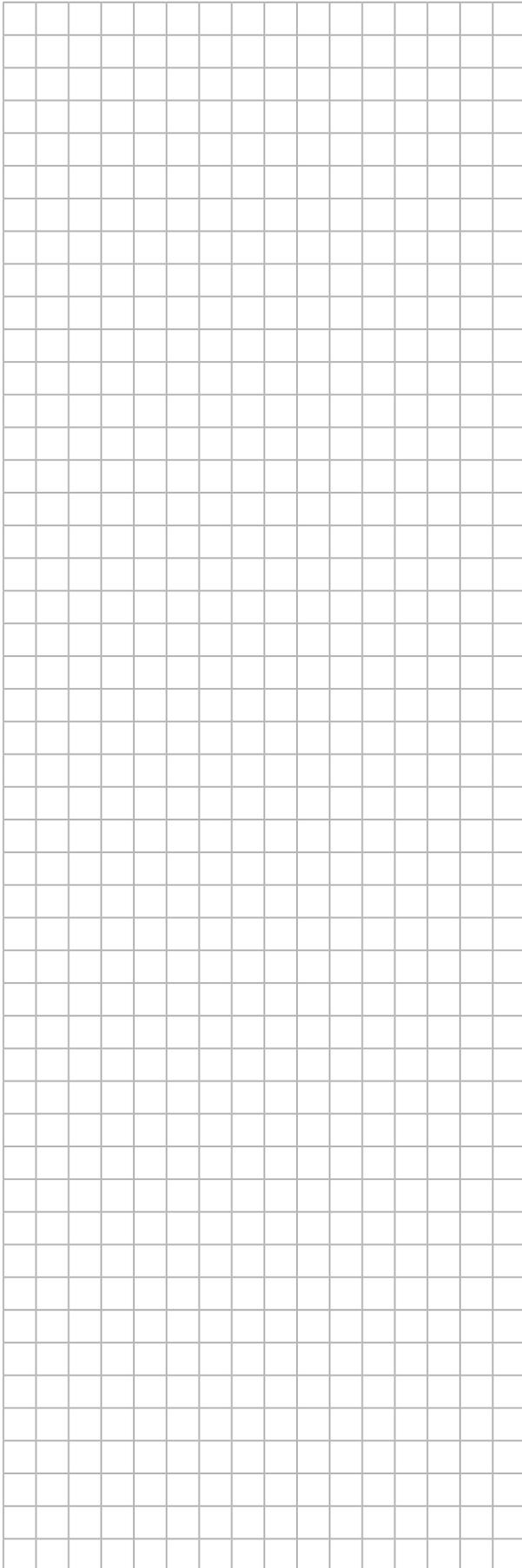


Observa-se que a partícula 1 atravessa a região do campo sem sofrer alteração em sua trajetória, enquanto a partícula 2 é desviada para fora do plano xy .

Com relação aos campos elétrico \vec{E} e magnético \vec{B} existentes na região, qual das alternativas abaixo é a única possível?

- $\vec{B} = 0$ e \vec{E} está na direção y .
- $\vec{B} = 0$ e \vec{E} está na direção z .
- $\vec{E} = 0$ e \vec{B} está na direção x .
- $\vec{E} = 0$ e \vec{B} está na direção y .
- $\vec{E} = 0$ e \vec{B} está na direção z .





67. (Cefet-MG)

Um objeto de relação carga-massa igual a $4,0 \cdot 10^{-3}$ C/kg desloca-se a 0,25 m/s em um plano horizontal com movimento circular uniforme sob ação de um campo magnético de 100 T perpendicular ao plano. A aceleração desse objeto vale, em m/s^2 ,

- a) 0,0010. c) 0,10. e) 10.
b) 0,010. d) 1,0.

68. (PUC-MG)

Uma partícula carregada com uma carga positiva está numa região onde existe um campo magnético \vec{E} . Assinale a afirmativa correta.

- a) Se a partícula estiver em movimento na direção de \vec{E} , atuará sobre ela uma força devido ao campo magnético, proporcional ao módulo de \vec{E} .
b) Se a partícula estiver inicialmente em repouso, ela será posta em movimento pela ação da força do campo magnético e sua trajetória será um espiral.
c) Em qualquer circunstância, atuará sobre a partícula uma força proporcional ao módulo de \vec{E} e perpendicular à direção do campo.
d) Se a partícula estiver em repouso, nenhuma força devido ao campo magnético \vec{E} agirá sobre ela.

69. (UEG-GO)

A UNESCO declarou que 2015 é o Ano Internacional da Luz. Essa data coincide com vários trabalhos e tecnologias associadas à luz. Algumas das principais descobertas são citadas a seguir:

- I. o comportamento ondulatório da Luz, por Augustin Jean Fresnel em 1815;
II. a teoria eletromagnética, por James Clerk Maxwell em 1865;
III. o efeito fotoelétrico, por Albert Einstein em 1905.

Em que situação os elétrons são ejetados da superfície de um metal?

- a) Com o ajuste de uma frequência moderada e alta intensidade da radiação.
b) Através de controle de baixas frequências para altas intensidades de radiação.
c) A partir de uma frequência mínima da radiação eletromagnética incidente.
d) Com o aumento crescente da intensidade da radiação eletromagnética no metal.

70. (Aman-RJ)

Partículas com grande velocidade, provenientes do espaço, atingem todos os dias o nosso planeta e algumas delas interagem com o campo magnético terrestre. Considere que duas partículas **A** e **B**, com cargas elétricas $Q_A > 0$ e $Q_B < 0$, atingem a Terra em um mesmo ponto com velocidades, $\vec{V}_A = \vec{V}_B$, perpendiculares ao vetor campo magnético local. Na situação exposta, podemos afirmar que

- a) a direção da velocidade das partículas **A** e **B** não irá se alterar.
- b) a força magnética sobre **A** terá sentido contrário à força magnética sobre **B**.
- c) a força magnética que atuará em cada partícula terá sentido contrário ao do seu respectivo vetor velocidade.
- d) a força magnética que atuará em cada partícula terá o mesmo sentido do vetor campo magnético local.
- e) a direção da velocidade das partículas **A** e **B** é a mesma do seu respectivo vetor força magnética.

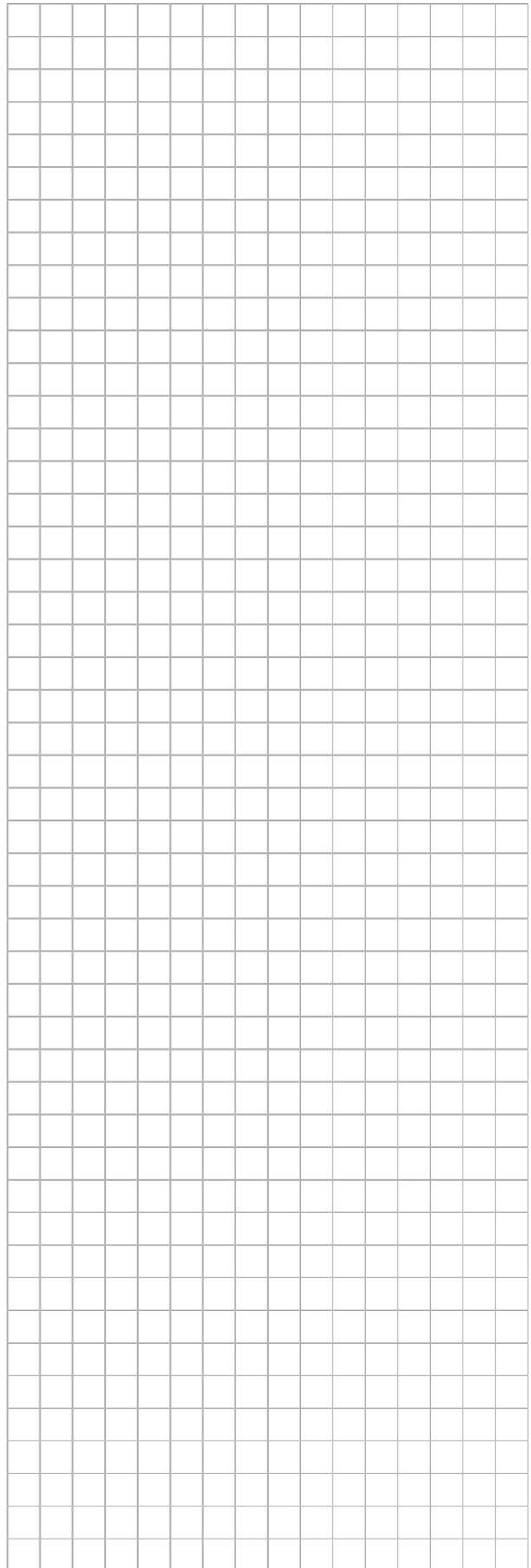
71. (UPF-RS)

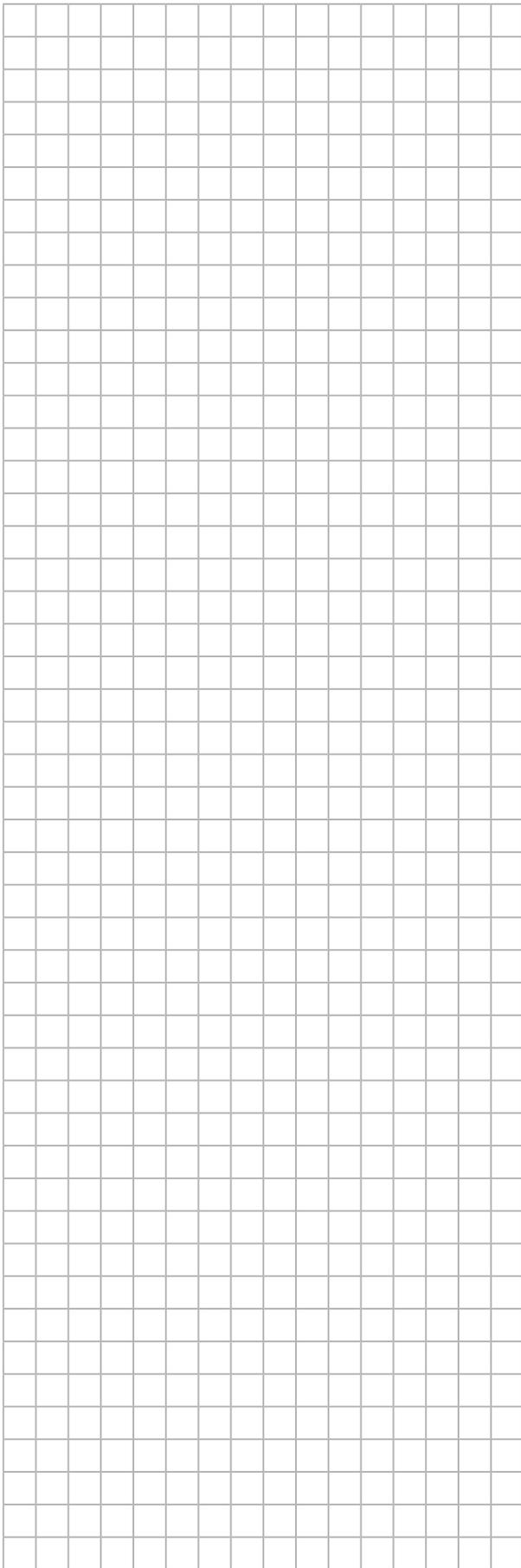
Um elétron experimenta a ação de uma força magnética quando se encontra numa região do espaço onde há um campo magnético uniforme. Em relação ao comportamento do elétron, é correto afirmar que

- a) o elétron não pode estar em repouso.
- b) o elétron se movimenta numa direção paralela à direção do campo magnético.
- c) pela ação da força magnética, o elétron experimenta uma desaceleração na direção paralela ao campo magnético.
- d) a força magnética independe da carga do elétron.
- e) como o campo magnético é uniforme, a força magnética atuante sobre o elétron é constante e independente da sua velocidade.

72. (UVA-CE)

Qual deve ser a distância entre dois prótons para que a força eletrostática atuando sobre qualquer um deles seja igual ao seu peso na superfície da terra?





Considere: Constante eletrostática no vácuo: $K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$, carga elementar: $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, massa do próton: $1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ e aceleração da gravidade, $g = 10 \text{ m/s}^2$.

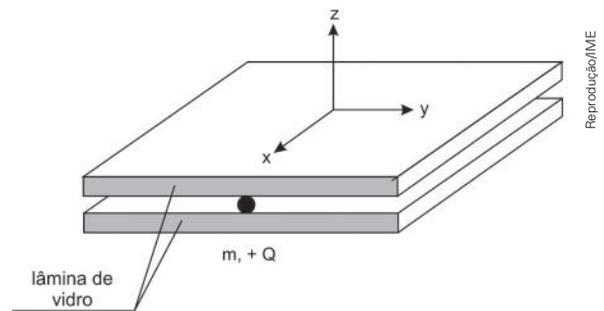
- a) () 0,03 m. c) () 0,09 m.
 b) () 0,07 m. d) () 0,12 m.

73. (UEPG-PR)

Uma partícula de carga elétrica q e massa m realiza um movimento circular uniforme, de raio R , sob a ação de um campo de indução magnética uniforme B . Sobre o assunto, assinale o que for correto.

- 01) A velocidade angular da partícula é $\frac{qB}{m}$.
 02) A aceleração da partícula é nula.
 04) A energia cinética da partícula é $\frac{(qBR)^2}{2m}$.
 08) O trabalho realizado pela força magnética sobre a partícula é $2\pi RqvB$.
 16) O período do movimento é $\frac{2\pi m}{qB}$.

74. (IME-RJ)



Uma partícula de massa m e carga $+Q$ encontra-se confinada no plano XY entre duas lâminas infinitas de vidro, movimentando-se sem atrito com vetor velocidade $(v, 0, 0)$ no instante $t = 0$, quando um dispositivo externo passa a gerar um campo magnético dependente do tempo, cujo vetor é $(f(t), f(t), B)$, onde B é uma constante. Pode-se afirmar que a força normal exercida sobre as lâminas é nula quando t é

Consideração:

- desconsidere o efeito gravitacional.

- a) $\left(\frac{m}{QB}\right)\frac{\pi}{8}$ c) $\left(\frac{m}{QB}\right)\frac{\pi}{2}$ e) $2\left(\frac{m}{QB}\right)\pi$
 b) $\left(\frac{m}{QB}\right)\frac{\pi}{4}$ d) $\left(\frac{m}{QB}\right)\pi$

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Dados:

Aceleração da gravidade: 10 m/s^2 .

Densidade do mercúrio: $13,6 \text{ g/cm}^3$.

Pressão atmosférica: $1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

Constante eletrostática:

$$k_0 = \frac{1}{4} \pi \epsilon_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

75. (UFPE)

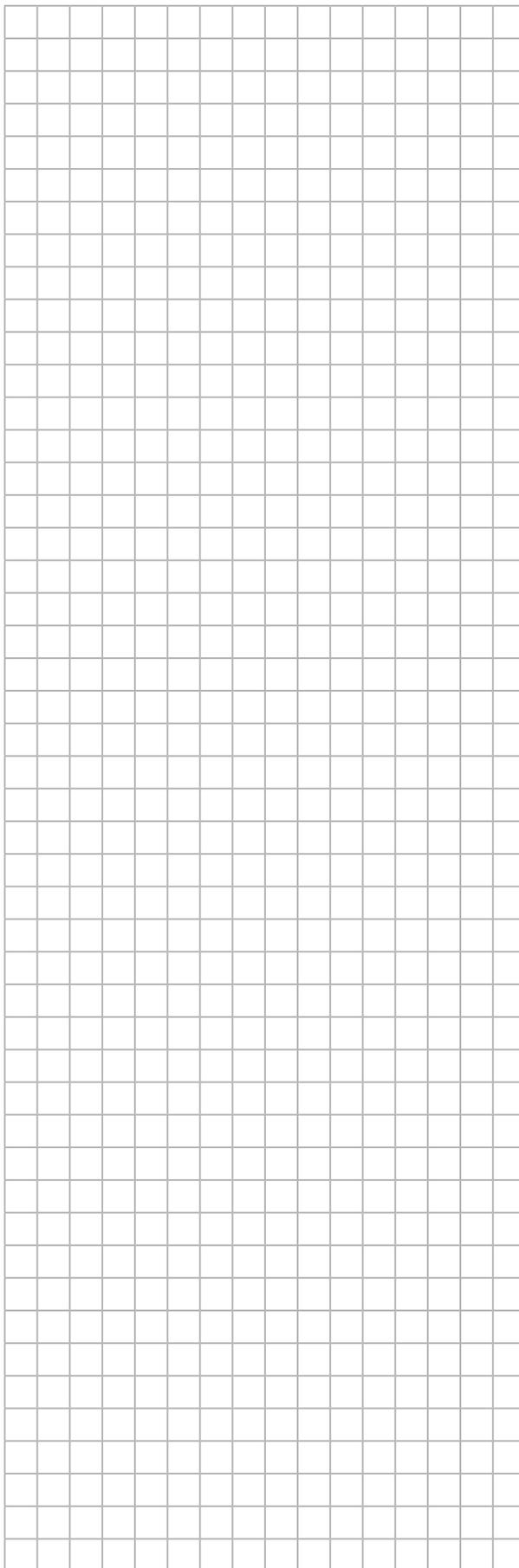
Uma partícula carregada eletricamente penetra em uma região do espaço, no vácuo, onde há um campo magnético uniforme e constante. O vetor campo magnético \vec{B} é perpendicular à velocidade inicial da partícula. Neste contexto, podemos afirmar que:

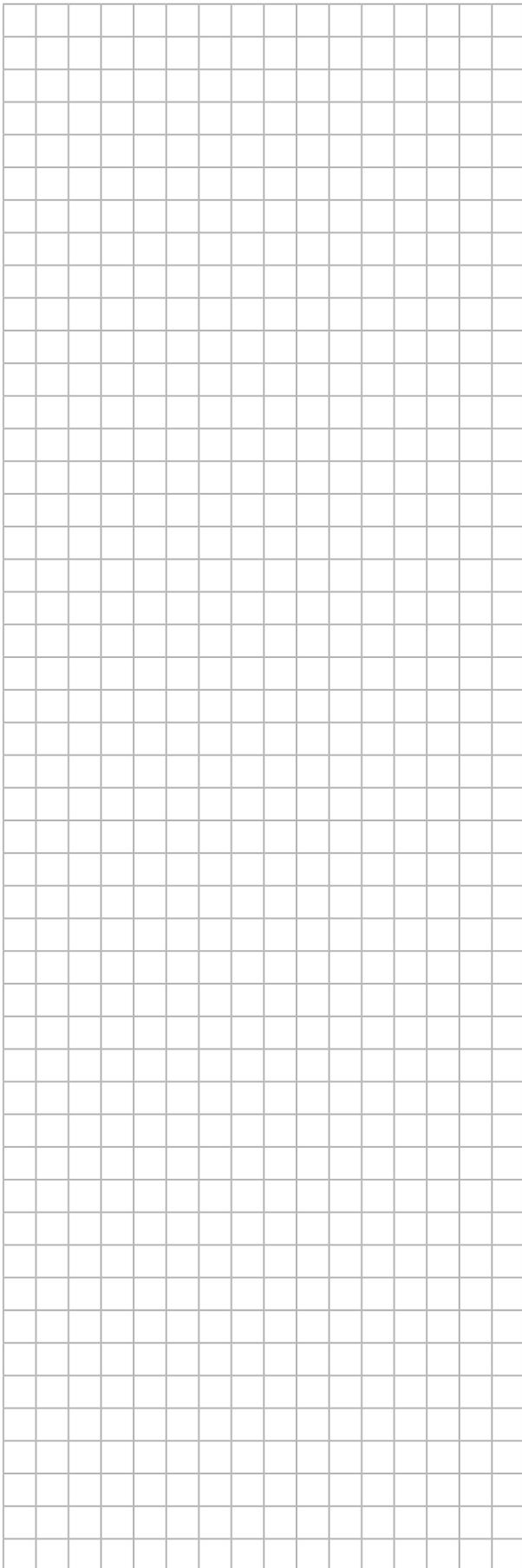
- () Embora a partícula esteja carregada, não há força sobre a mesma, pois não há campo elétrico na região considerada, somente campo magnético;
- () Embora não haja um campo elétrico, há uma força sobre a partícula porque ela está carregada e se move na presença de um campo magnético;
- () Embora haja uma força sobre a partícula, ela não a acelera, pois a força é perpendicular à trajetória da partícula;
- () Embora haja uma força sobre a partícula, não há trabalho realizado por esta força;
- () A energia mecânica da partícula cresce à medida que ela se desloca.

76. (Udesc)

Uma partícula de massa m e carga q é acelerada a partir do repouso, por um campo elétrico uniforme de intensidade E . Após percorrer uma distância d , a partícula deixa a região de atuação do campo elétrico com uma velocidade v , e penetra em uma região de campo magnético uniforme de intensidade B , cuja direção é perpendicular a sua velocidade. O raio da trajetória circular que a partícula descreve dentro do campo magnético é igual a:

- a) $(2mEd/Bq)^{1/2}$
- b) $(2mEd/B^2q)^{1/2}$
- c) mEd/Bq
- d) mE/Bq
- e) $(mE/Bq)^{1/2}$





77. (UFC-CE)

Analise as afirmações abaixo em relação à força magnética sobre uma partícula carregada em um campo magnético.

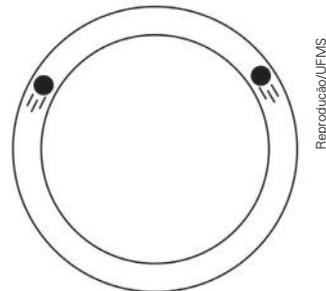
- I. Pode desempenhar o papel de força centrípeta.
- II. É sempre perpendicular à direção de movimento.
- III. Nunca pode ser nula, desde que a partícula esteja em movimento.
- IV. Pode acelerar a partícula, aumentando o módulo de sua velocidade.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente II é verdadeira.
- b) Somente IV é verdadeira.
- c) Somente I e II são verdadeiras.
- d) Somente II e III são verdadeiras.
- e) Somente I e IV são verdadeiras.

78. (UFMS)

O acelerador LHC colidiu dois prótons, girando em trajetórias circulares com sentidos opostos, sendo um no sentido horário e o outro no sentido anti-horário, veja a figura. Considere que as trajetórias dos prótons antes da colisão eram mantidas circulares devido unicamente à interação de campos magnéticos perpendiculares ao plano das órbitas dos prótons. Com fundamentos no eletromagnetismo, é correto afirmar:



- 01) A finalidade do campo magnético é apenas mudar a direção da velocidade dos prótons.
- 02) A finalidade do campo magnético é aumentar a energia cinética dos prótons.
- 04) O próton que está girando no sentido anti-horário está submetido a um campo magnético que possui um sentido que está entrando no plano da página.
- 08) A força magnética aplicada em cada próton possui direção tangente à trajetória.
- 16) A força magnética aplicada em cada próton não realiza trabalho.

79. (Unirio-RJ)

Os antigos navegantes usavam a bússola para orientação em alto-mar, devido a sua propriedade de se alinhar de acordo com as linhas do campo geomagnético. Analisando a figura onde estão representadas estas linhas, podemos afirmar que



- a) o polo sul do ponteiro da bússola aponta para o polo Norte geográfico, porque o Norte geográfico corresponde ao Sul magnético.
- b) o polo norte do ponteiro da bússola aponta para o polo Norte geográfico, porque as linhas do campo geomagnético não são fechadas.
- c) o polo sul do ponteiro da bússola aponta para o polo Sul geográfico, porque o Sul geográfico corresponde ao Sul magnético.
- d) o polo norte do ponteiro da bússola aponta para o polo Sul geográfico, porque o Norte geográfico corresponde ao Norte magnético.
- e) o polo sul do ponteiro da bússola aponta para o polo Sul geográfico, porque o Norte geográfico corresponde ao Sul magnético.

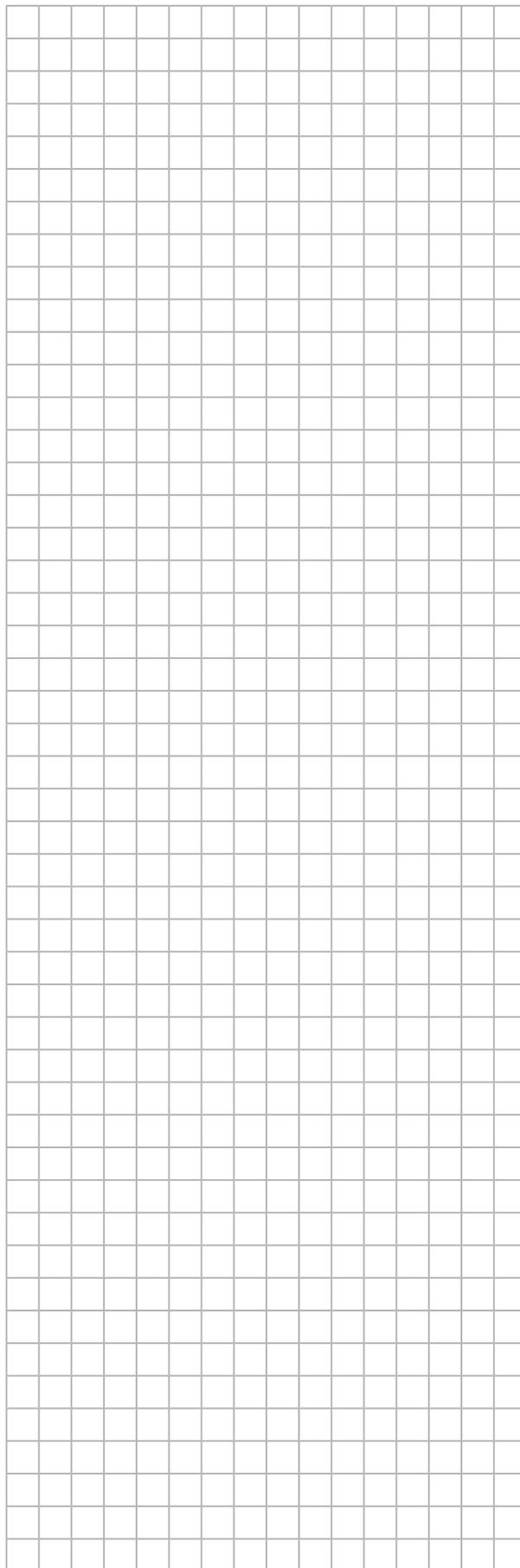
80. (UPF-RS)

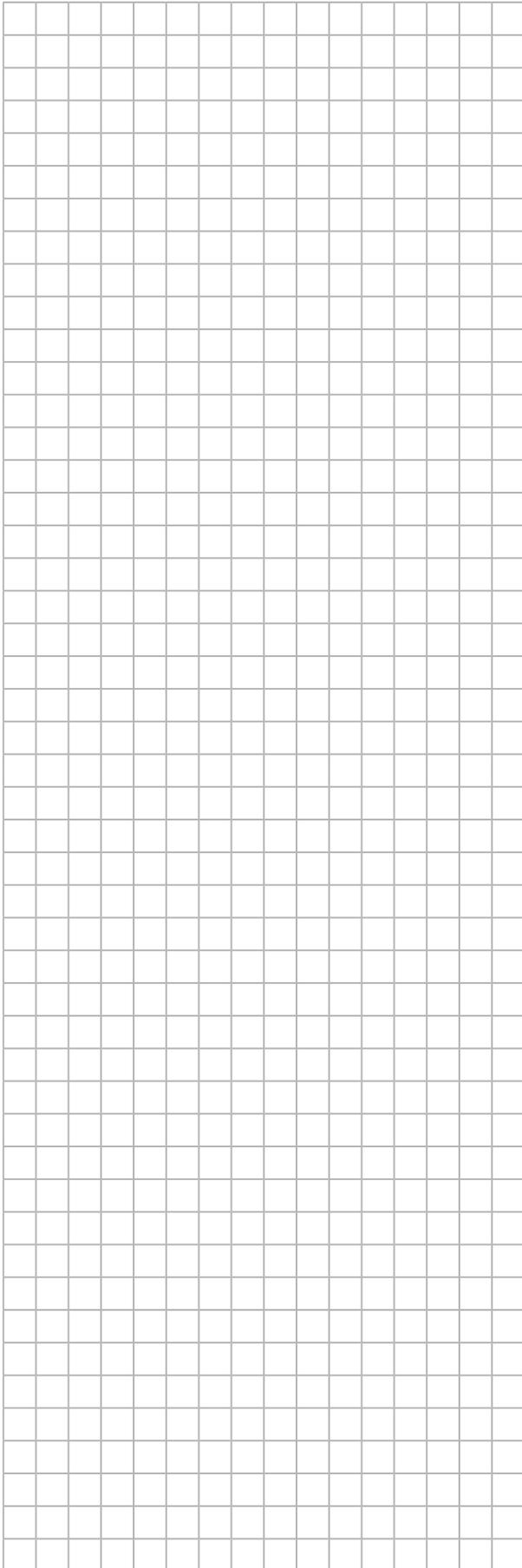
Com relação ao efeito fotoelétrico, são feitas as seguintes afirmações:

- I. Pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção do modelo corpuscular da luz.
- II. Consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.
- III. Uma superfície metálica fotossensível somente emite elétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Está correto o que se afirma em:

- a) I, II e III.
- b) I e III apenas.
- c) I e II apenas.
- d) I apenas.
- e) II e III apenas.





81. (UEL-PR)

Uma das contribuições da Física para o bem-estar e a segurança nas cidades é o constante avanço tecnológico aplicado à iluminação pública. Parte das luminárias do século XIX era acesa manualmente por várias pessoas ao entardecer. Hoje, o acionamento das lâmpadas tornou-se automático devido à aplicação dos conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico (descrito por Albert Einstein, em 1905) e ao desenvolvimento das células fotoelétricas instaladas nos postes de iluminação pública, capazes de detectar a presença de luz natural.

Sobre o efeito fotoelétrico, considere as afirmativas a seguir.

- I. Consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica quando esta é iluminada com luz de determinada frequência.
- II. Ocorre independentemente da frequência da luz incidente na superfície do metal, mas é dependente de sua intensidade.
- III. Os elétrons ejetados de uma superfície metálica, devido ao efeito fotoelétrico, possuem energia cinética igual à energia do fóton incidente.
- IV. Por mais intensa que seja a luz incidente, não haverá ejeção de elétrons enquanto sua frequência for menor que a frequência limite (ou de corte) do metal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

82. (UFPE)

As lâmpadas de vapor de sódio usadas na iluminação pública produzem luz de cor laranja com comprimentos de onda iguais a $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$ e $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$. Essas emissões têm origem em dois níveis de energia dos átomos de sódio que decaem para o mesmo estado final. Calcule a diferença de energia, ΔE , entre estes níveis, em unidades de 10^{-22} J . [Dados — constante de Planck: $6,64 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$; velocidade da luz no vácuo: $3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$]

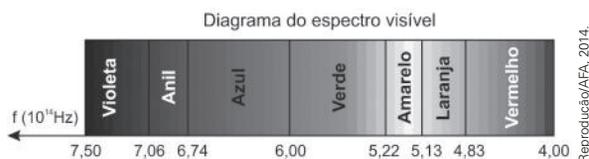
83. (AFA-SP)

Para a construção de uma célula fotoelétrica, que será utilizada na abertura e fechamento automático de uma porta, um pesquisador dispõe de quatro metais, cujas funções trabalho (Φ) estão listadas na tabela abaixo.

Metal	Φ (eV)
Platina	6,4
Prata	4,7
Chumbo	4,1
Sódio	2,3

Sendo que essa célula deverá ser projetada para funcionar com luz visível, poderá(ão) ser usado(s) somente o(s) metal(is)

Dados: $h = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$



- a) platina.
- b) sódio.
- c) chumbo e prata.
- d) chumbo e sódio.

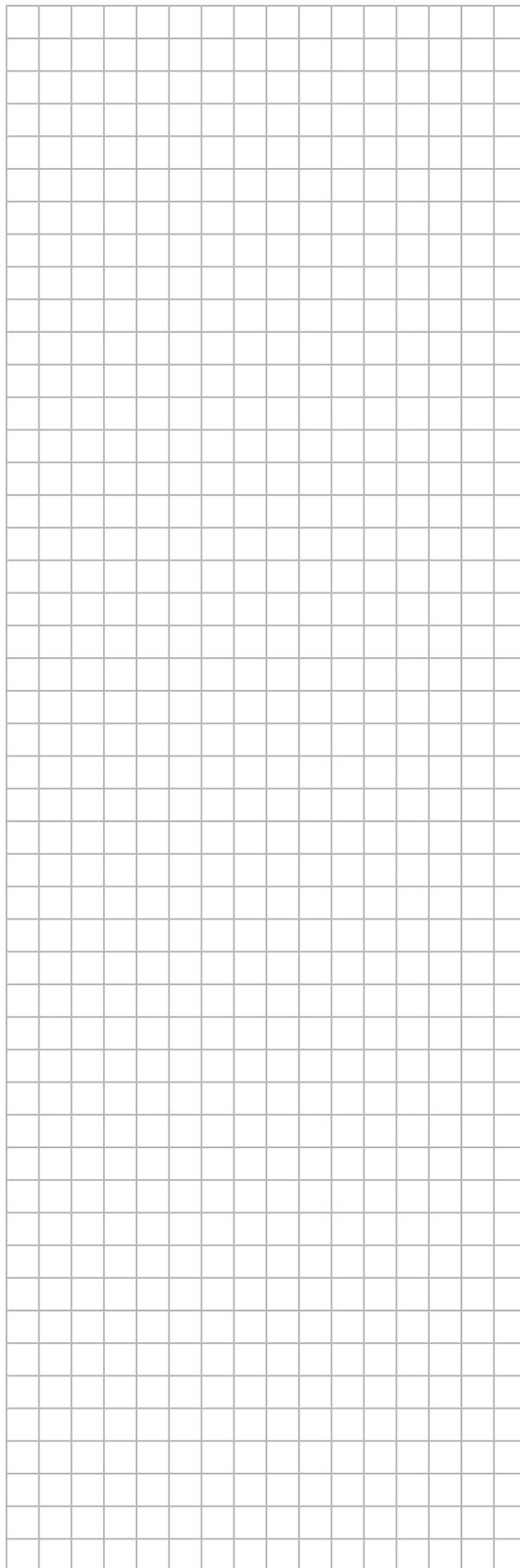
84. (PUC-RS)

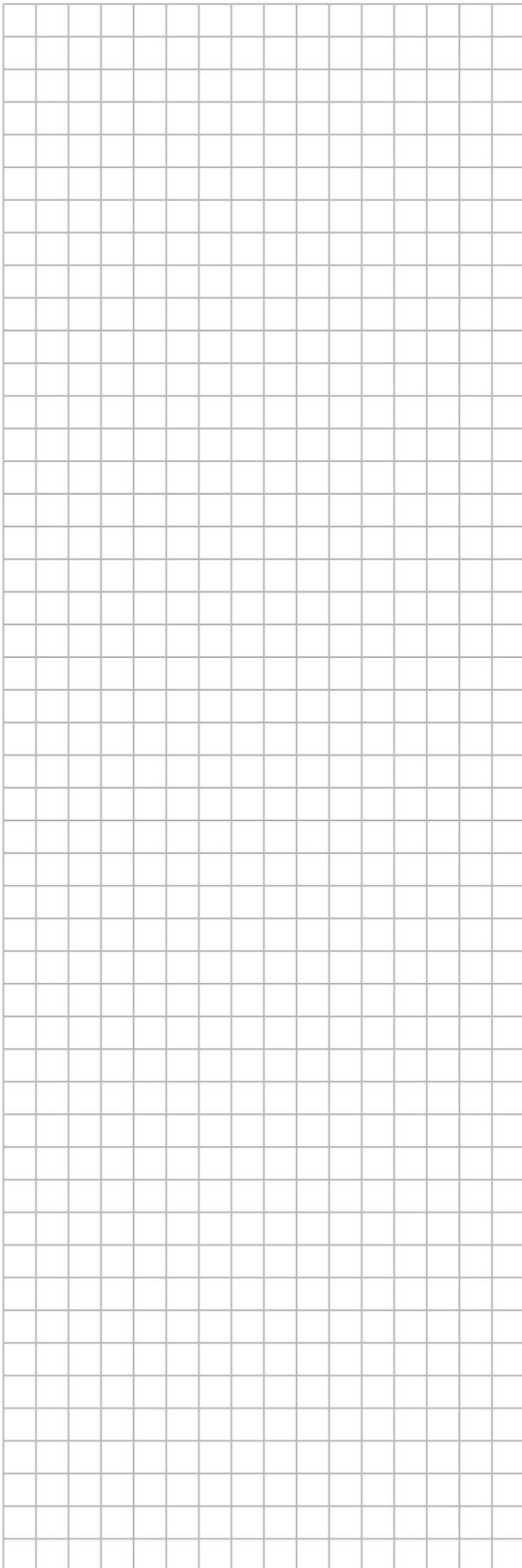
Analise as afirmativas que seguem, referentes a fenômenos descritos pela Física Moderna.

- I. A energia de um fóton é diretamente proporcional à sua frequência.
- II. A velocidade da luz, no vácuo, tem um valor finito, considerado constante para todos os referenciais inerciais.
- III. No efeito fotoelétrico, há uma frequência mínima de corte, abaixo da qual o fenômeno não se verifica, qualquer que seja a intensidade da luz incidente.
- IV. A fissão nuclear acontece quando núcleos de pequena massa colidem, originando um núcleo de massa maior.

Estão corretas apenas as afirmativas

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) III e IV.
- d) I, II e III.
- e) II, III e IV.





85. (UFSM-RS)

À medida que a tecnologia invadiu os meios de produção, a obra de arte deixou de ser o resultado exclusivo do trabalho das mãos do artista, por exemplo, a fotografia. Uma vez obtido o negativo, muitas cópias da mesma foto podem ser impressas.

O elemento essencial de uma foto copiadora é um cilindro eletrizado que perde eletrização, nas regiões em que incide luz. Então,

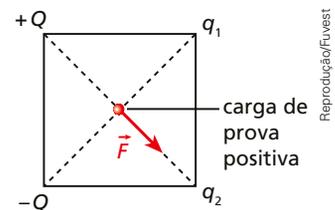
- I. o efeito fotoelétrico só pode ser entendido em termos de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética.
- II. o número de elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.
- III. a energia máxima dos elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.

Está(lão) correta(s):

- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas III.
- d) apenas I e II.
- e) I, II e III.

86. (Fuvest-SP)

Quatro cargas pontuais estão colocadas nos vértices de um quadrado. As duas cargas $+Q$ e $-Q$ têm mesmo valor absoluto e as outras duas, q_1 e q_2 , são desconhecidas. A fim de determinar a natureza dessas cargas, coloca-se uma carga de prova positiva no centro do quadrado e verifica-se que a força sobre ela é \vec{F} , mostrada na figura. Podemos afirmar que:



- a) $q_1 > q_2 > 0$.
- b) $q_2 > q_1 > 0$.
- c) $q_1 + q_2 > 0$.
- d) $q_1 + q_2 < 0$.
- e) $q_1 = q_2 > 0$.

87. (UFPE)

Para liberar elétrons da superfície de um metal é necessário iluminá-lo com luz de comprimento de onda igual ou menor que $6,0 \cdot 10^{-7}$ m. Qual o inteiro que mais se aproxima da frequência óptica, em unidades de 10^{14} Hz, necessária para liberar elétrons com energia cinética igual a 3,0 eV?

88. (PUC-RS)

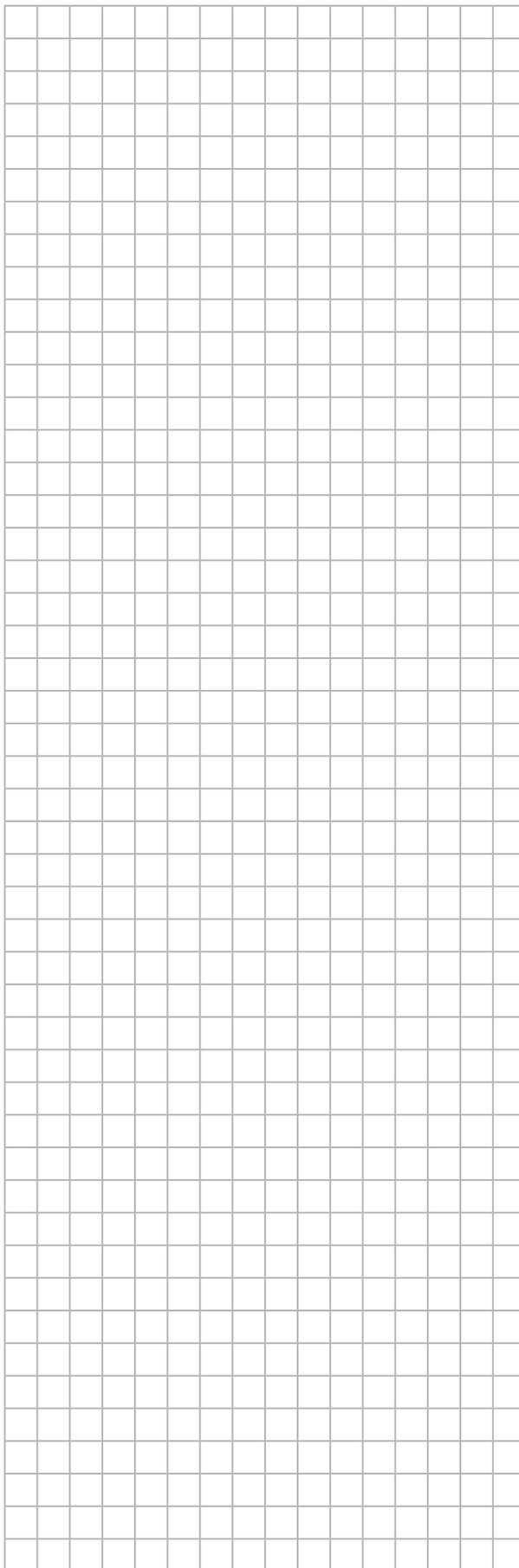
Após inúmeras sugestões e debates, o ano 2005 foi declarado pela ONU o "Ano Mundial da Física". Um dos objetivos dessa designação é comemorar o centenário da publicação dos trabalhos de Albert Einstein, que o projetaram como físico no cenário internacional da época e, posteriormente, trouxeram-lhe fama e reconhecimento. Um dos artigos de Einstein publicado em 1905 era sobre o efeito fotoelétrico, que foi o principal motivo da sua conquista do Prêmio Nobel em 1921. A descrição de Einstein para o efeito fotoelétrico tem origem na quantização da energia proposta por Planck em 1900, o qual considerou a energia eletromagnética irradiada por um corpo negro de forma descontínua, em porções que foram chamadas quanta de energia ou fótons. Einstein deu o passo seguinte admitindo que a energia eletromagnética também se propaga de forma descontínua e usou esta hipótese para descrever o efeito fotoelétrico.

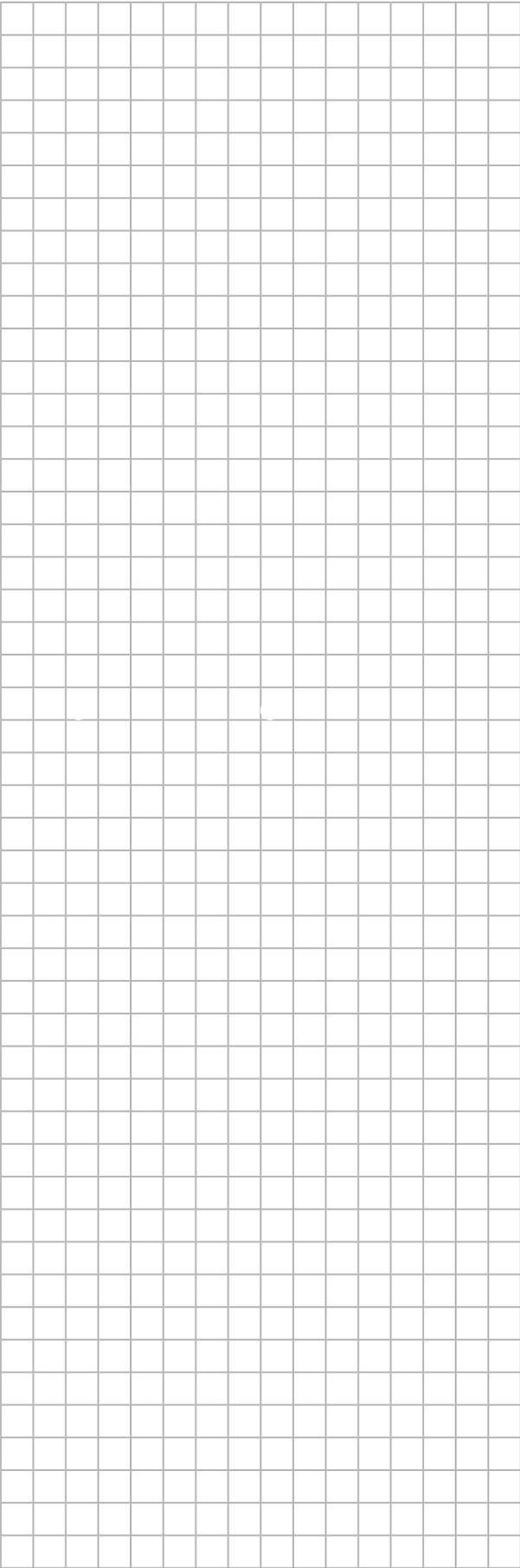
Em relação ao efeito fotoelétrico numa lâmina metálica, pode-se afirmar que:

- I. A energia dos elétrons removidos da lâmina metálica pelos fótons não depende do tempo de exposição à luz incidente.
- II. A energia dos elétrons removidos aumenta com o aumento do comprimento de onda da luz incidente.
- III. Os fótons incidentes na lâmina metálica, para que removam elétrons da mesma, devem ter uma energia mínima.
- IV. A energia de cada elétron removido da lâmina metálica é igual à energia do fóton que o removeu.

Analisando as afirmativas, conclui-se que somente

- a) está correta a afirmativa I.
- b) está correta a afirmativa IV.
- c) estão corretas as afirmativas I e III.
- d) estão corretas as afirmativas II e IV.
- e) estão corretas as afirmativas III e IV.





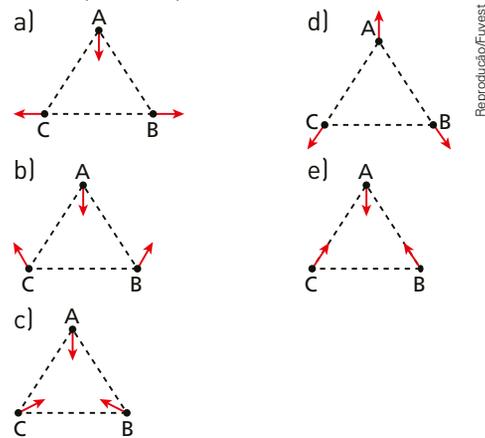
89. (Uece)

Considere duas massas puntiformes de mesmo valor m , com cargas elétricas de mesmo valor Q e sinais opostos, e mantidas separadas de uma certa distância. Seja G a constante de gravitação universal e k a constante eletrostática. A razão entre as forças de atração eletrostática e gravitacional é

- a) $\frac{Gm^2}{Q^2k}$. b) $\frac{Q^2k}{Gm^2}$. c) $\frac{Q^2G}{km^2}$. d) $\frac{QG}{km}$.

90. (Fuvest-SP)

Três pequenas esferas carregadas com cargas de mesmo módulo, sendo **A** positiva e **B** e **C** negativas, estão presas nos vértices de um triângulo equilátero. No instante em que elas são soltas simultaneamente, a direção e o sentido de suas acelerações serão mais bem representados pelo esquema:



91. (CPAEN-RJ)

Observe a figura a seguir.



A figura acima mostra uma região de vácuo onde uma partícula puntiforme, de carga elétrica positiva q_1 e massa m , está sendo lançada com velocidade v_0 em sentido ao centro de um núcleo atômico fixo de carga q_2 . Sendo k_0 a constante eletrostática no vácuo e sabendo que a partícula q_1 está muito longe do núcleo, qual será a distância mínima de aproximação, x , entre as cargas?

- a) $\frac{k_0 q_1 q_2}{mv_0^2}$ c) $\frac{k_0 q_1 q_2}{2mv_0^2}$ e) $\sqrt{\frac{k_0 q_1 q_2}{2mv_0^2}}$
 b) $\frac{2k_0 q_1 q_2}{mv_0^2}$ d) $\sqrt{\frac{k_0 q_1 q_2}{mv_0^2}}$

92. (Cefet-MG)

Quatro objetos condutores esféricos e de mesmas dimensões estão inicialmente isolados e carregados com cargas $Q_1 = q$, $Q_2 = 2q$, $Q_3 = 3q$ e $Q_4 = 4q$, respectivamente. A seguinte sequência de ações é executada sobre esses condutores:

- I. Os condutores 1 e 2 são colocados em contato e depois separados e isolados.
- II. Os condutores 2 e 3 são colocados em contato e depois separados e isolados.
- III. Os condutores 3 e 4 são colocados em contato e depois separados e isolados.

Após a execução da sequência descrita acima, seja F_{ij} a força eletrostática que o objeto j exerce sobre o objeto i quando estes estão separados por uma mesma distância d .

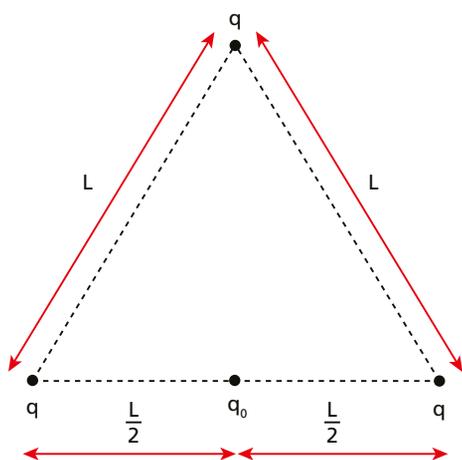
Considerando a situação apresentada, pode-se afirmar que

- a) $F_{23} < F_{14}$ e $F_{13} > F_{24}$.
- b) $F_{41} = F_{13}$ e $F_{34} > F_{23}$.
- c) $F_{12} = F_{34}$ e $F_{42} = F_{31}$.
- d) $F_{32} > F_{41}$ e $F_{24} = F_{21}$.
- e) $F_{14} > F_{31}$ e $F_{13} > F_{32}$.

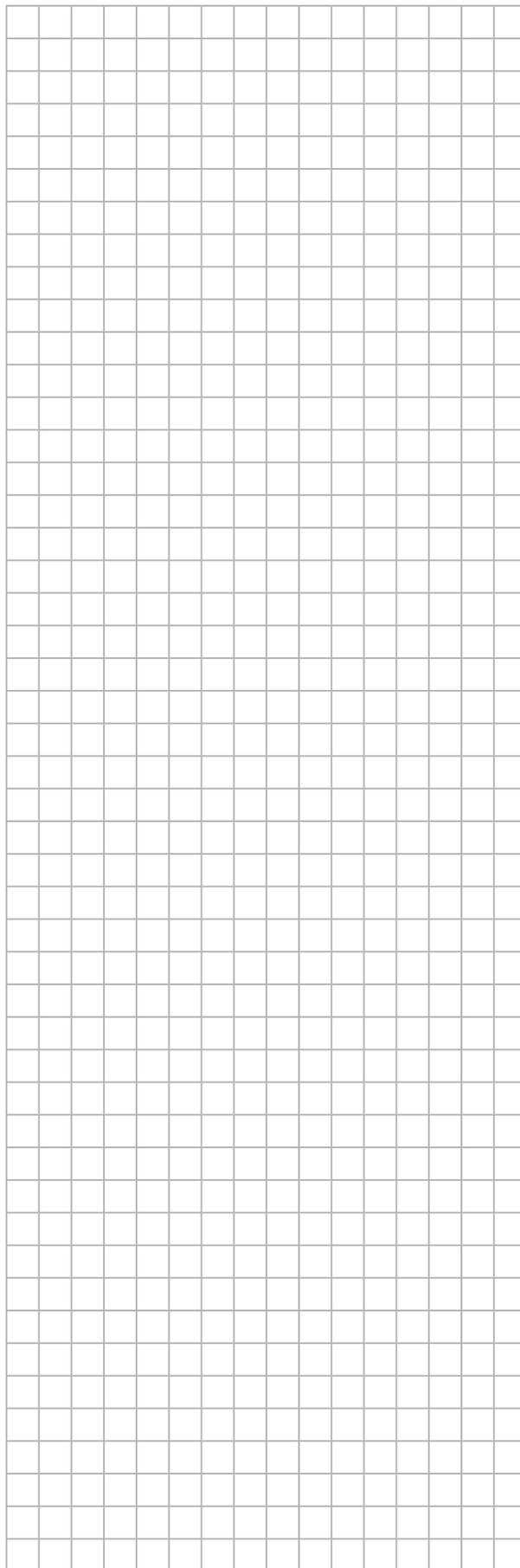
93. (UFPE)

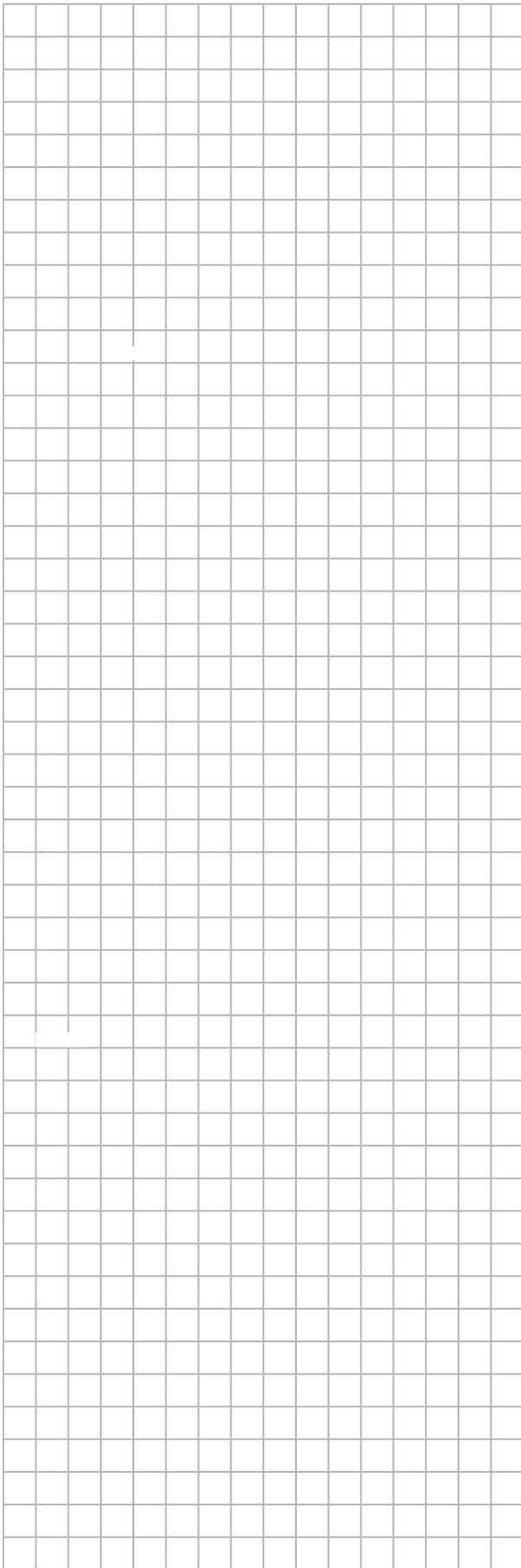
Nos vértices de um triângulo equilátero de lado $L = 3,0$ cm, são fixadas cargas q pontuais e iguais. Considerando $q = 3,0 \mu\text{C}$, determine o módulo da força, em N , sobre uma carga pontual $q_0 = 2,0 \mu\text{C}$, que se encontra fixada no ponto médio do triângulo.

Dado: $k = 9 \cdot 10^9$ (SI)



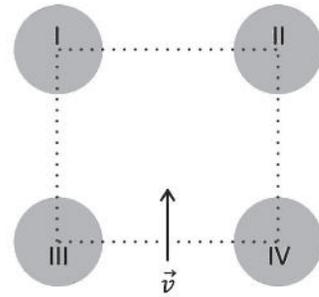
Reprodução/UFPE





94. (Fuvest-SP)

Os centros de quatro esferas idênticas, I, II, III e IV, com distribuições uniformes de carga, formam um quadrado. Um feixe de elétrons penetra na região delimitada por esse quadrado, pelo ponto equidistante dos centros das esferas III e IV, com velocidade inicial \vec{v} na direção perpendicular à reta que une os centros de III e IV, conforme representado na figura.



Reprodução/FUVEST, 2016.

A trajetória dos elétrons será retilínea, na direção de \vec{v} , e eles serão acelerados com velocidade crescente dentro da região plana delimitada pelo quadrado, se as esferas I, II, III e IV estiverem, respectivamente, eletrizadas com cargas

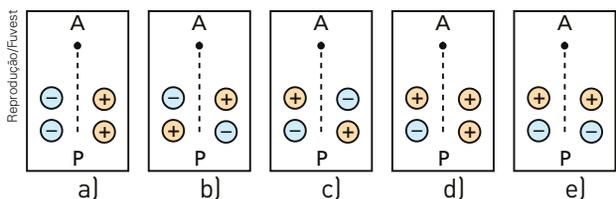
- a) $+Q, -Q, -Q, +Q$
- b) $+2Q, -Q, +Q, -2Q$
- c) $+Q, +Q, -Q, -Q$
- d) $-Q, -Q, +Q, +Q$
- e) $+Q, +2Q, -2Q, -Q$

Note e adote:

Q é um número positivo.

95. (Fuvest-SP)

Um pequeno objeto, com carga elétrica positiva, é largado da parte superior de um plano inclinado, no ponto **A**, e desliza, sem ser desviado, até atingir o ponto **P**. Sobre o plano, estão fixados 4 pequenos discos com cargas elétricas de mesmo módulo. As figuras representam os discos e os sinais das cargas, vendo-se o plano de cima. Das configurações abaixo, a única compatível com a trajetória retilínea do objeto é:



Reprodução/Fuvest

96. (Fuvest-SP)

Pequenas esferas, carregadas com cargas elétricas negativas de mesmo módulo Q , estão dispostas sobre um anel isolante e circular, como indicado na figura 1. Nessa configuração, a intensidade da força elétrica que age sobre uma carga de prova negativa, colocada no centro do anel (ponto **P**), é F_1 .

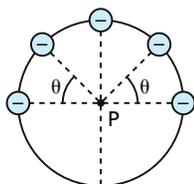


figura 1

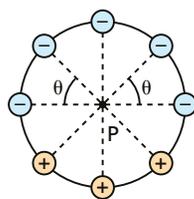


figura 2

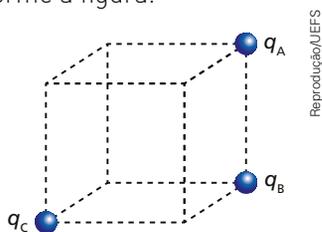
Reprodução/Fuvest

Se forem acrescentadas sobre o anel três outras cargas de mesmo módulo Q , mas positivas, como na figura 2, a intensidade da força elétrica no ponto **P** passará a ser:

- a) zero
- b) $\left(\frac{1}{2}\right)F_1$
- c) $\left(\frac{3}{4}\right)F_1$
- d) F_1
- e) $2 F_1$

97. (UEFS-BA)

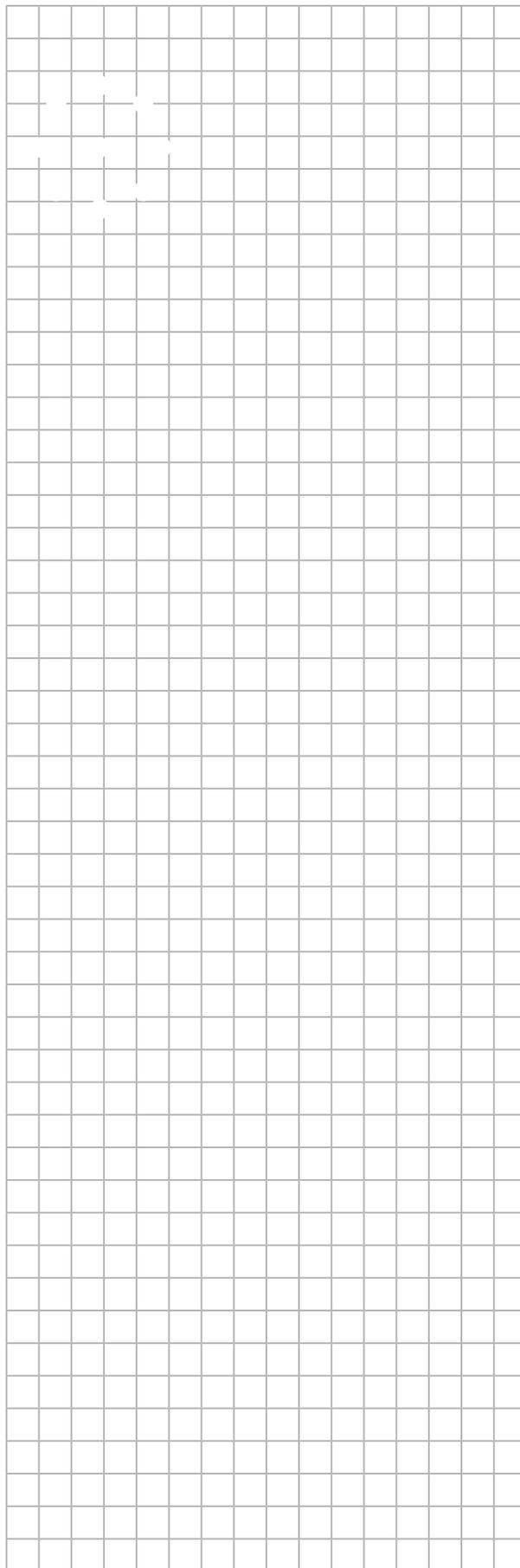
Três partículas eletrizadas com cargas positivas, $q_A = q_B = q_C$, estão fixas em três vértices de um cubo, conforme a figura.

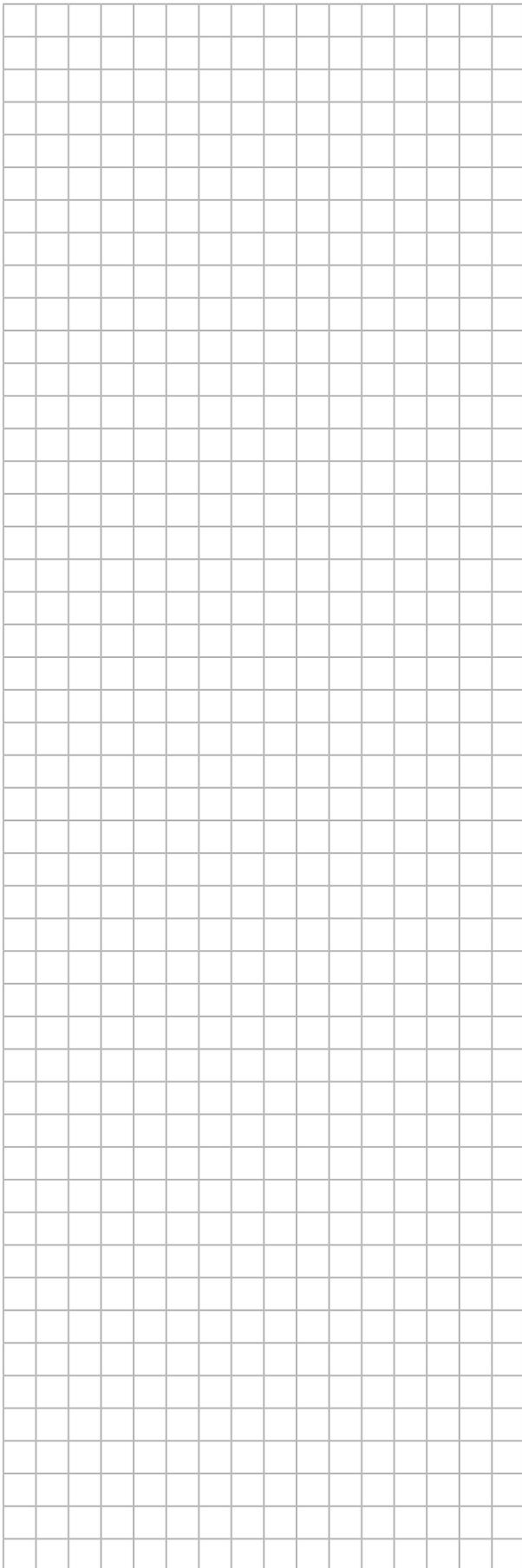


Reprodução/UEFS

Se F_{AB} a intensidade da força de repulsão entre q_A e q_B , F_{BC} a intensidade da força de repulsão entre q_B e q_C , e F_{AC} a intensidade da força de repulsão entre q_A e q_C , é correto afirmar que

- a) $F_{AB} = \sqrt{2} \cdot F_{BC} = \sqrt{3} \cdot F_{AC}$
- b) $F_{AB} = 1,5 \cdot F_{BC} = 2 \cdot F_{AC}$
- c) $2 \cdot F_{AB} = 3 \cdot F_{BC} = 4 \cdot F_{AC}$
- d) $\sqrt{2} \cdot F_{AB} = \sqrt{3} \cdot F_{BC} = 2 \cdot F_{AC}$
- e) $F_{AB} = 2 \cdot F_{BC} = 3 \cdot F_{AC}$





98. (Fuvest-SP)

Duas pequenas esferas metálicas idênticas, inicialmente neutras, encontram-se suspensas por fios inextensíveis e isolantes.



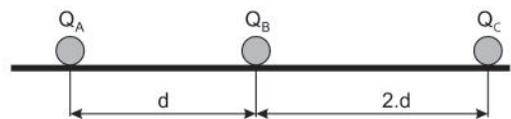
Um jato de ar perpendicular ao plano da figura é lançado durante um certo intervalo de tempo sobre as esferas. Observa-se então que ambas as esferas estão fortemente eletrizadas.

Quando o sistema alcança novamente o equilíbrio estático, podemos afirmar que as tensões nos fios:

- a) aumentaram e as esferas atraem-se.
- b) diminuíram e as esferas repelem-se.
- c) aumentaram e as esferas repelem-se.
- d) diminuíram e as esferas atraem-se.
- e) não sofreram alterações.

99. (UPM-SP)

Três pequenas esferas idênticas **A**, **B** e **C** estão eletrizadas com cargas elétricas Q_A , Q_B e Q_C , respectivamente, encontram-se em equilíbrio eletrostático sobre um plano horizontal liso, como mostra a figura abaixo.

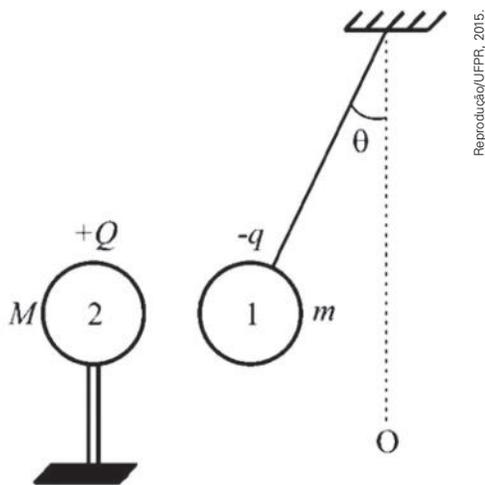


Quanto aos sinais das cargas elétricas de cada esfera eletrizada, podemos afirmar que

- a) todas as esferas estão eletrizadas com cargas elétricas de mesmo sinal.
- b) as esferas **A** e **B** estão eletrizadas com cargas elétricas positivas e a esfera **C** está eletrizada com cargas elétricas negativas.
- c) as esferas **A** e **B** estão eletrizadas com cargas elétricas negativas e a esfera **C** está eletrizada com cargas elétricas positivas.
- d) as esferas **B** e **C** estão eletrizadas com cargas elétricas negativas e a esfera **A** está eletrizada com cargas elétricas positivas.
- e) as esferas **A** e **C** estão eletrizadas com cargas elétricas positivas e a esfera **B** está eletrizada com cargas elétricas negativas.

100. (UFPR)

Uma esfera condutora, indicada pelo número 1 na figura, tem massa $m = 20 \text{ g}$ e carga negativa $-q$. Ela está pendurada por um fio isolante de massa desprezível e inextensível. Uma segunda esfera condutora, indicada pelo número 2 na figura, com massa $M = 200 \text{ g}$ e carga positiva $Q = 3 \text{ }\mu\text{C}$, está sustentada por uma haste isolante. Ao aproximar a esfera 2 da esfera 1 ocorre atração. Na situação de equilíbrio estático, o fio que sustenta a esfera 1 forma um ângulo $\theta = 27^\circ$ com a vertical e a distância entre os centros das esferas é de 10 cm . Calcule a carga $-q$ da esfera 1.

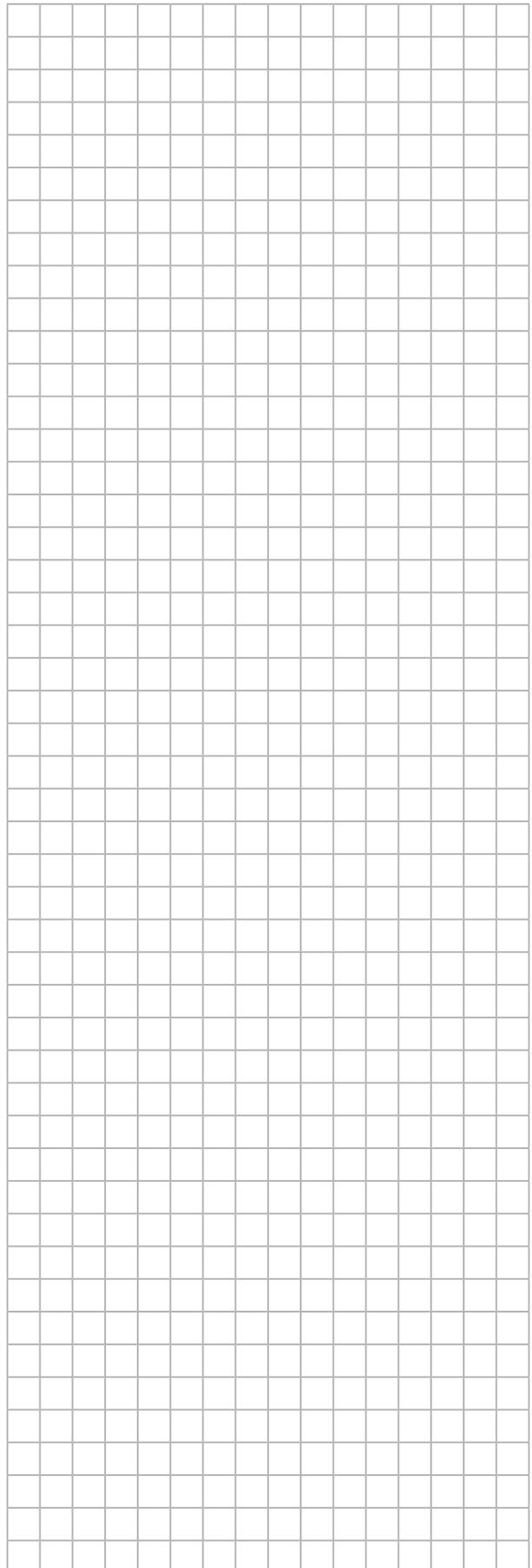


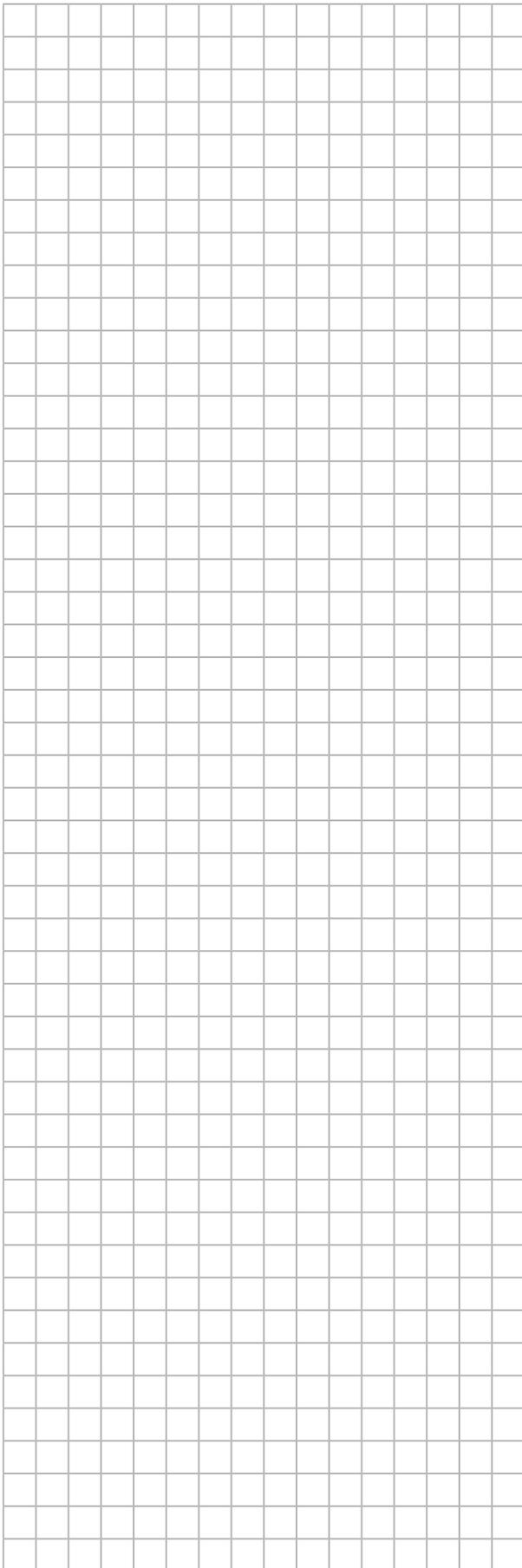
Para a resolução deste problema considere $g = 10 \text{ m/s}^2$, $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ e $\text{tg } 27^\circ = 0,5$.

101. (UPF-RS)

Uma lâmina muito fina e minúscula de cobre, contendo uma carga elétrica q , flutua em equilíbrio numa região do espaço onde existe um campo elétrico uniforme de 20 kN/C , cuja direção é vertical e cujo sentido se dá de cima para baixo. Considerando que a carga do elétron seja de $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ e a aceleração gravitacional seja de 10 m/s^2 e sabendo que a massa da lâmina é de $3,2 \text{ mg}$, é possível afirmar que o número de elétrons em excesso na lâmina é:

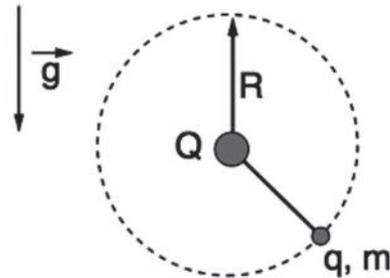
- a) $3,0 \cdot 10^{12}$
- b) $1,0 \cdot 10^{13}$
- c) $1,0 \cdot 10^{10}$
- d) $2,0 \cdot 10^{12}$
- e) $3,0 \cdot 10^{11}$





102.(UPE)

Duas cargas elétricas pontuais, $Q = 2,0 \mu\text{C}$ e $q = 0,5 \mu\text{C}$, estão amarradas à extremidade de um fio isolante. A carga q possui massa $m = 10 \text{ g}$ e gira em uma trajetória de raio $R = 10 \text{ cm}$, vertical, em torno da carga Q que está fixa.



Reprodução/UPE, 2015.

Sabendo que o maior valor possível para a tração no fio durante esse movimento é igual a $T = 11 \text{ N}$, determine o módulo da velocidade tangencial quando isso ocorre.

A constante eletrostática do meio é igual a $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

- a) 10 m/s
- b) 11 m/s
- c) 12 m/s
- d) 14 m/s
- e) 20 m/s

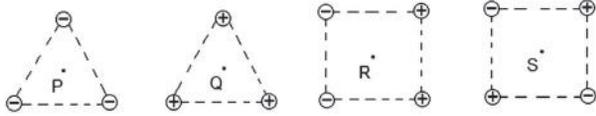
103.(Unicamp-SP)

Sabe-se atualmente que os prótons e nêutrons não são partículas elementares, mas sim partículas formadas por três *quarks*. Uma das propriedades importantes do *quark* é o sabor, que pode assumir seis tipos diferentes: *top*, *bottom*, *charm*, *strange*, *up* e *down*. Apenas os *quarks up* e *down* estão presentes nos prótons e nos nêutrons. Os *quarks* possuem carga elétrica fracionária. Por exemplo, o *quark up* tem carga elétrica igual a $q_{up} = +\frac{2}{3}e$ e o *quark down* $q_{down} = -\frac{1}{3}e$, onde e é o módulo da carga elementar do elétron.

- a) Quais são os três *quarks* que formam os prótons e os nêutrons?
- b) Calcule o módulo da força de atração eletrostática entre um *quark up* e um *quark down* separados por uma distância $d = 0,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. Caso necessário, use $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ e $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

104. (Uern)

Os pontos **P**, **Q**, **R** e **S** são equidistantes das cargas localizadas nos vértices de cada figura a seguir:



Reprodução/UERN, 2015.

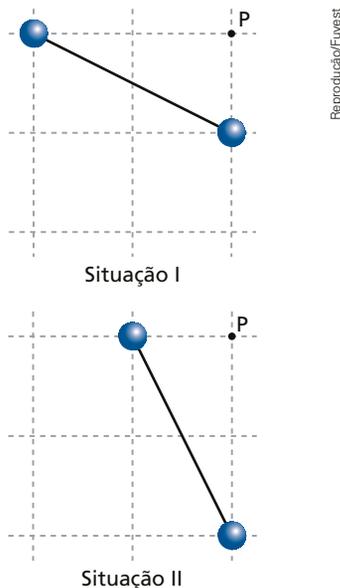
Sobre os campos elétricos resultantes, é correto afirmar que

- é nulo apenas no ponto **R**.
- são nulos nos pontos **P**, **Q** e **S**.
- são nulos apenas nos pontos **R** e **S**.
- são nulos apenas nos pontos **P** e **Q**.

105. (Fuvest-SP)

Duas pequenas esferas, com cargas elétricas iguais, ligadas por uma barra isolante, são inicialmente colocadas como descrito na situação I.

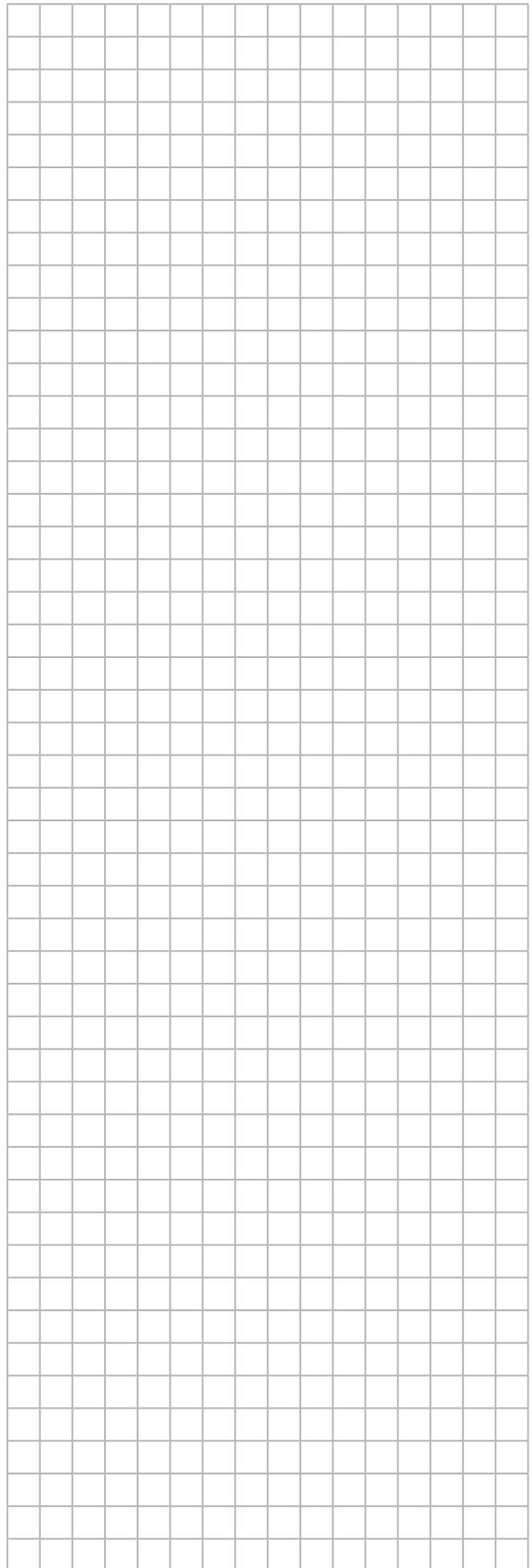
Em seguida, aproxima-se de uma das esferas de **P**, reduzindo-se à metade sua distância até esse ponto, ao mesmo tempo que se duplica a distância entre a outra esfera e **P**, como na situação II.

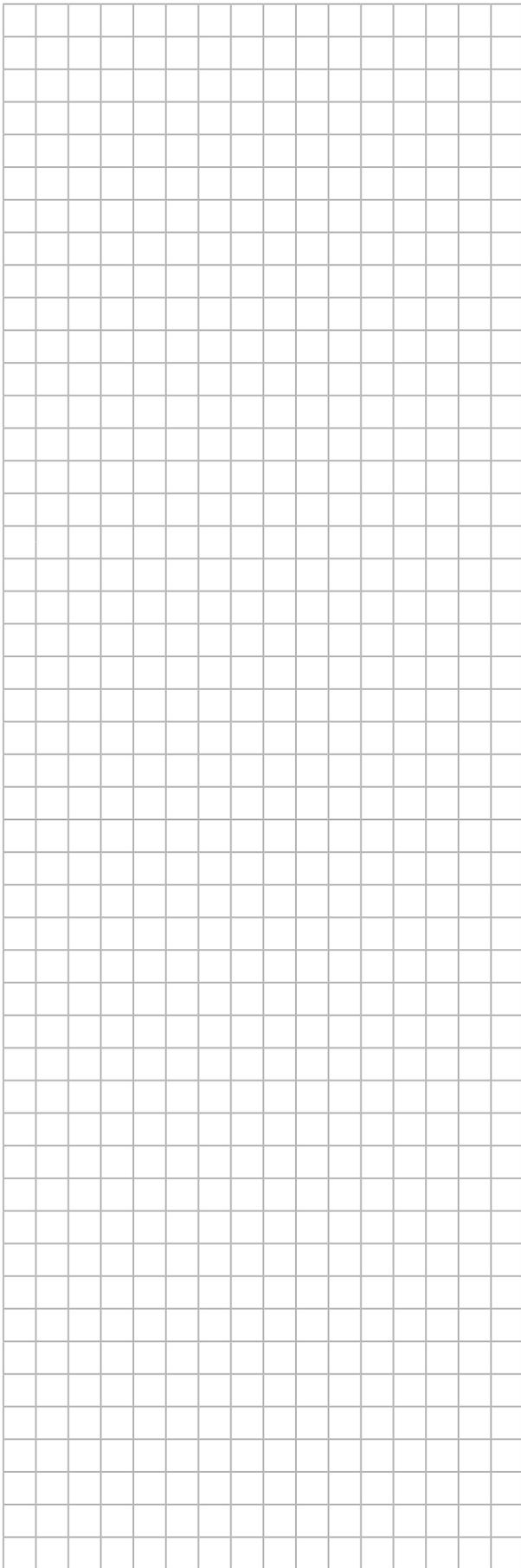


Reprodução/Fuvest

O campo elétrico em **P**, no plano que contém o centro das duas esferas, possui, nas duas situações indicadas:

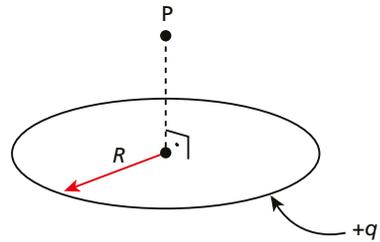
- mesma direção e intensidade.
- direções diferentes e mesma intensidade.
- mesma direção e maior intensidade em I.
- direções diferentes e maior intensidade em I.
- direções diferentes e maior intensidade em II.





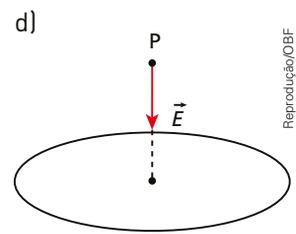
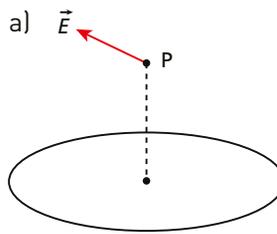
106. [Olimpíada Brasileira de Física]

Uma carga positiva $+q$ distribui-se uniformemente ao longo de um anel não condutor de raio R (ver figura).

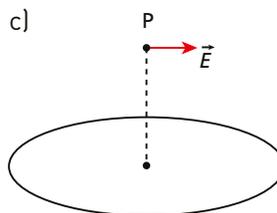
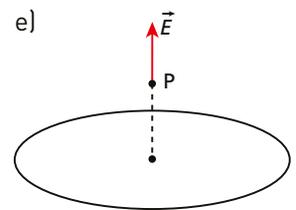
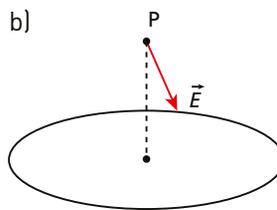


Reprodução/OBF

Dentre as alternativas abaixo, indique aquela que representa o vetor campo elétrico resultante \vec{E} no ponto **P**, localizado no eixo perpendicular ao plano do anel e que passa pelo seu centro:



Reprodução/OBF



107. Em uma região do espaço, isenta da ação de massas e cargas elétricas, imagine um triângulo equilátero **ABC**, de lado igual a 20 cm. Agora, no vértice **A**, vamos colocar uma partícula eletrizada com carga $+1,0$ nC e, no vértice **B**, outra partícula de carga $-1,0$ nC. Determine o módulo do vetor campo elétrico resultante nos pontos:

- a) **C**, terceiro vértice do triângulo;
- b) **M**, ponto médio da base **AB** do triângulo;
- c) **N**, ponto simétrico de **M** em relação ao vértice **A** do triângulo.

Dado: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

108. (Enem)

Em museus de ciências, é comum encontrarem-se máquinas que eletrizam materiais e geram intensas descargas elétricas. O gerador de Van de Graaff (Figura 1) é um exemplo, como atestam as faíscas (Figura 2) que ele produz. O experimento fica mais interessante quando se aproxima do gerador em funcionamento, com a mão, uma lâmpada fluorescente (Figura 3). Quando a descarga atinge a lâmpada, mesmo desconnectada da rede elétrica, ela brilha por breves instantes. Muitas pessoas pensam que é o fato de a descarga atingir a lâmpada que a faz brilhar. Contudo, se a lâmpada for aproximada dos corpos da situação (Figura 2), no momento em que a descarga ocorrer entre eles, a lâmpada também brilhará, apesar de não receber nenhuma descarga elétrica.

Figura 1



Figura 2

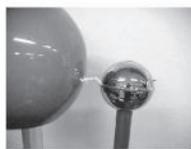


Figura 3



Reprodução/ENEM, 2014.

Gerador de Van de Graaff

Descarga elétrica no gerador

Lâmpada fluorescente

Disponível em: <http://naveastro.com>. Acesso em: 15 ago. 2012.

A grandeza física associada ao brilho instantâneo da lâmpada fluorescente, por estar próxima a uma descarga elétrica, é o(a)

- a) carga elétrica.
- b) campo elétrico.
- c) corrente elétrica.
- d) capacitância elétrica.
- e) condutividade elétrica.

109. (PUC-SP)

Responda às questões seguintes:

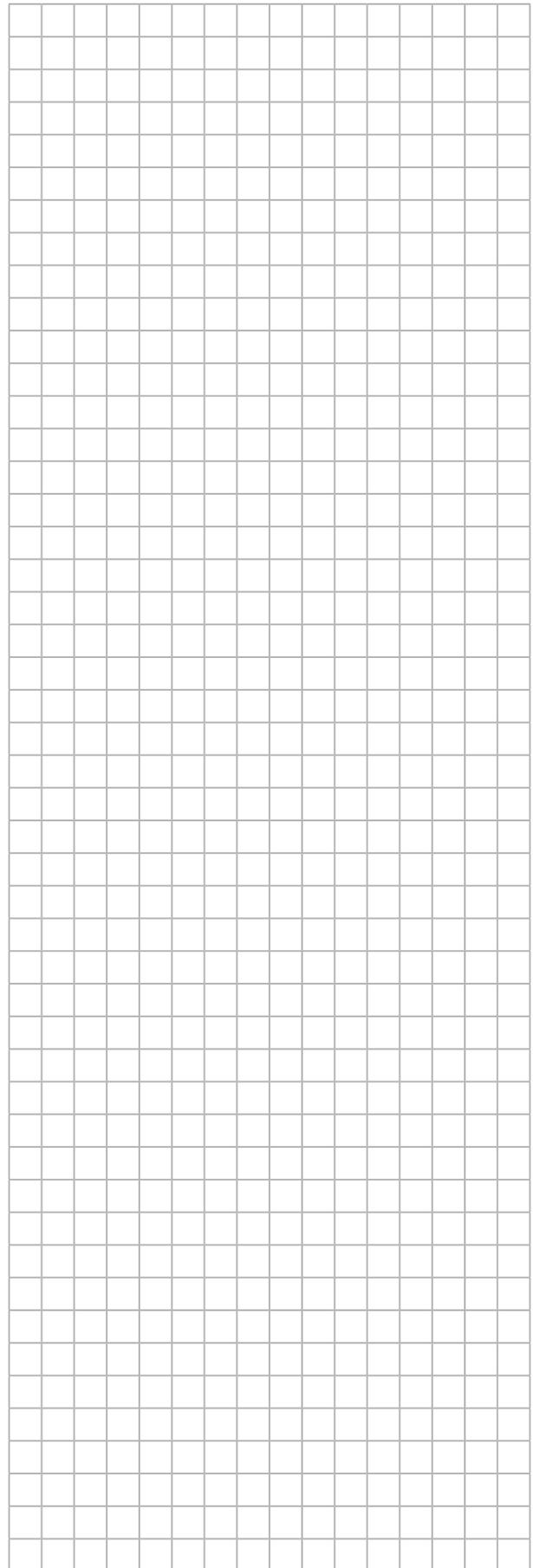
- a) Numa certa região da Terra, nas proximidades da superfície, a aceleração da gravidade vale 10 m/s^2 , e o campo eletrostático do planeta vale 100 N/C , orientado verticalmente para baixo. Determine o sinal e o valor da carga elétrica que uma bolinha de gude, de massa igual a 50 g , deveria ter para permanecer suspensa em repouso, acima do solo.

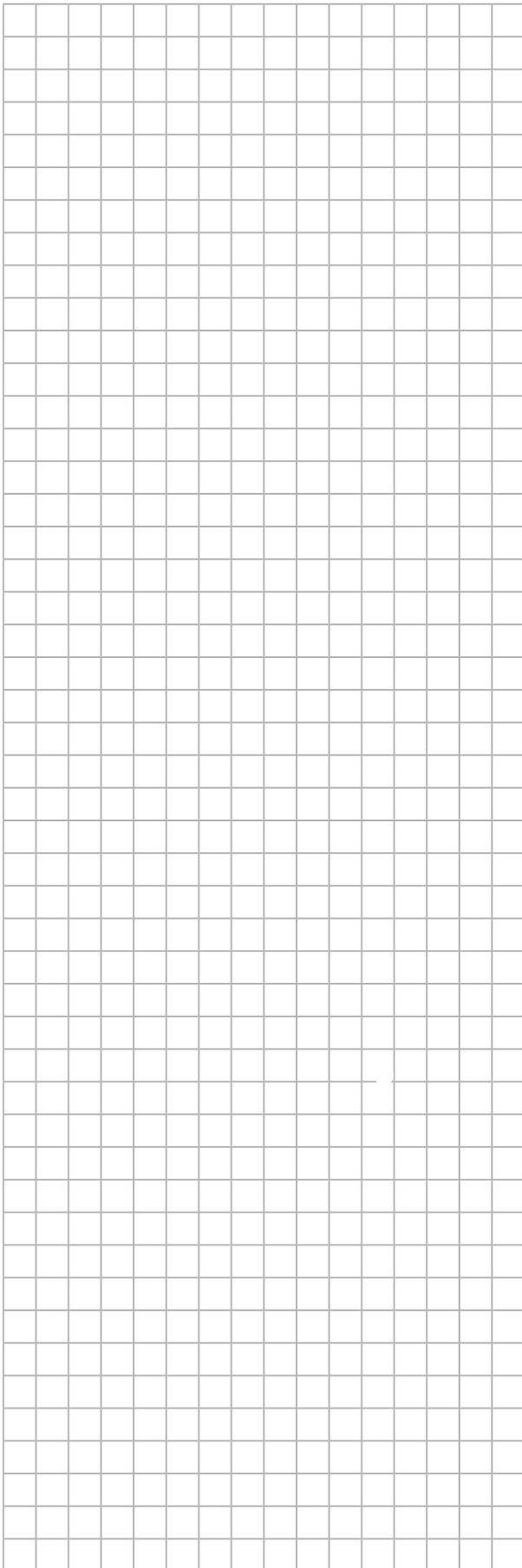


Reprodução/
PUC

Considere o campo elétrico praticamente uniforme no local e despreze qualquer outra força atuando sobre a bolinha.

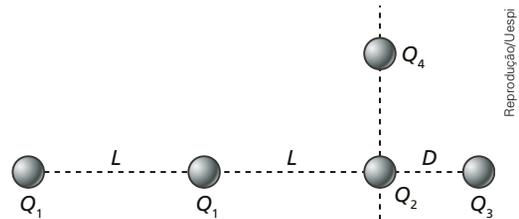
- b) Por que nos para-raios são geralmente utilizados metais pontiagudos? Explique.





110. (Uespi)

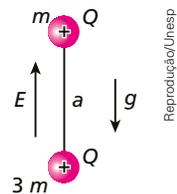
Cinco cargas elétricas pontuais positivas encontram-se fixas no vácuo de acordo com o arranjo da figura a seguir. O campo elétrico resultante sobre Q_2 aponta na direção que une as cargas Q_2 e Q_4 . Nessa situação, pode-se afirmar que $\frac{(Q_1 D^2)}{(Q_3 L^2)}$ vale:



- a) $\frac{4}{5}$.
- b) $\frac{2}{5}$.
- c) 1.
- d) $\frac{5}{2}$.
- e) $\frac{5}{4}$.

111. (Unesp-SP)

Duas pequenas esferas de material plástico, com massas m e $3m$, estão conectadas por um fio de seda inextensível de comprimento a . As esferas estão eletrizadas com cargas iguais a $+Q$, desconhecidas inicialmente. Elas encontram-se no vácuo, em equilíbrio estático, em uma região com campo elétrico uniforme E , vertical, e aceleração da gravidade g , conforme ilustrado na figura.

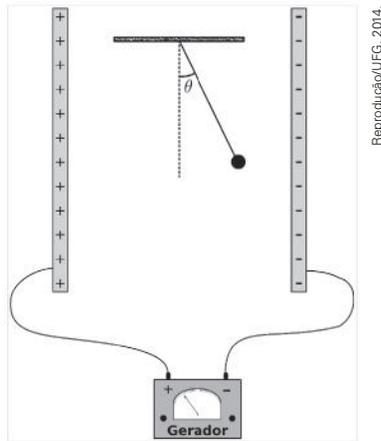


Considerando que, no Sistema Internacional (SI) de unidades, a força elétrica entre duas cargas q_1 e q_2 , separadas por uma distância d , é dada por $k \frac{q_1 q_2}{d^2}$, calcule:

- a) a carga Q , em termos de g , m e E .
- b) a tração no fio, em termos de m , g , a , E e k .

112. (UFG-GO)

Um capacitor de placas paralelas é formado por duas placas metálicas grandes ligadas a um gerador que mantém uma diferença de potencial tal que o campo elétrico uniforme gerado no interior do capacitor seja $E = 20000 \text{ N/C}$. Um pêndulo simples, formado por um fio de massa desprezível e uma esfera de massa $m = 6 \text{ g}$ eletricamente carregada com carga $q = \sqrt{3} \mu\text{C}$, é colocado entre as placas, como ilustra a figura a seguir.



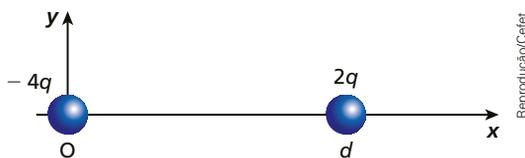
Reprodução/UFG, 2014.

Considerando que a carga q não altera o campo elétrico entre as placas do capacitor, responda:

- para qual ângulo θ entre o fio e a vertical o sistema estará em equilíbrio estático?
- Se a diferença de potencial fornecida pelo gerador fosse triplicada, para que ângulo θ entre o fio e a vertical haveria equilíbrio estático?

113. (Cefet-MG)

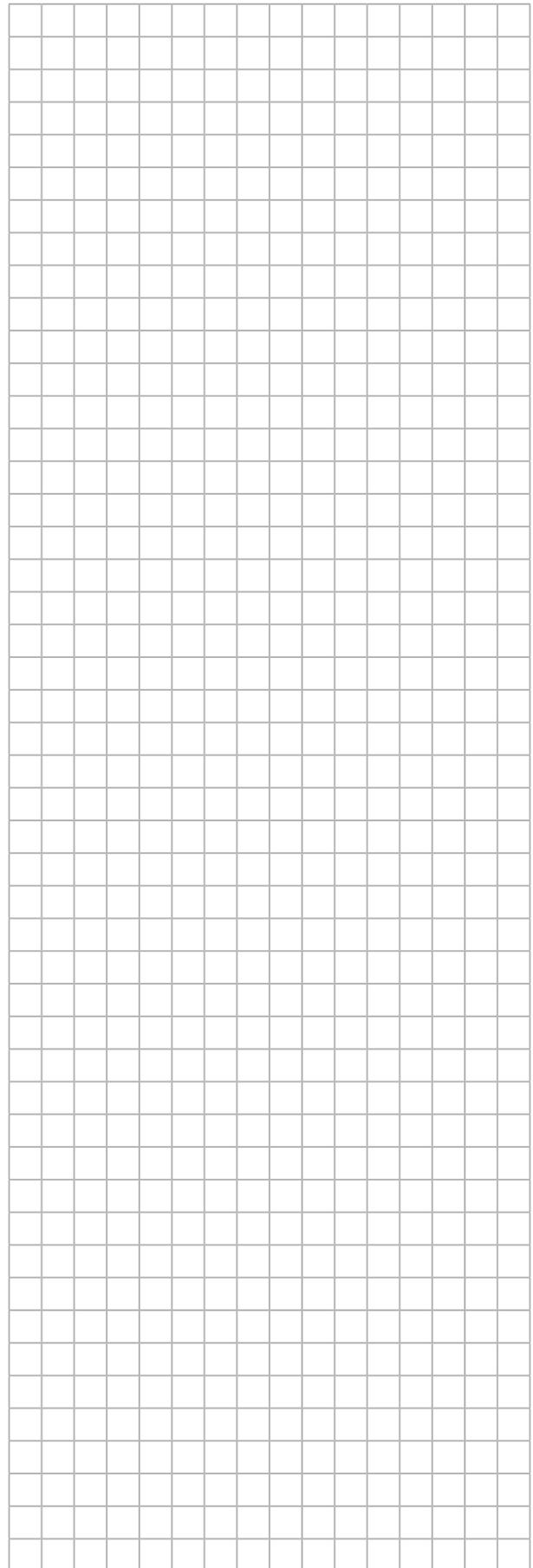
Dois cargas elétricas fixas estão separadas por uma distância d conforme mostra o esquema seguinte.

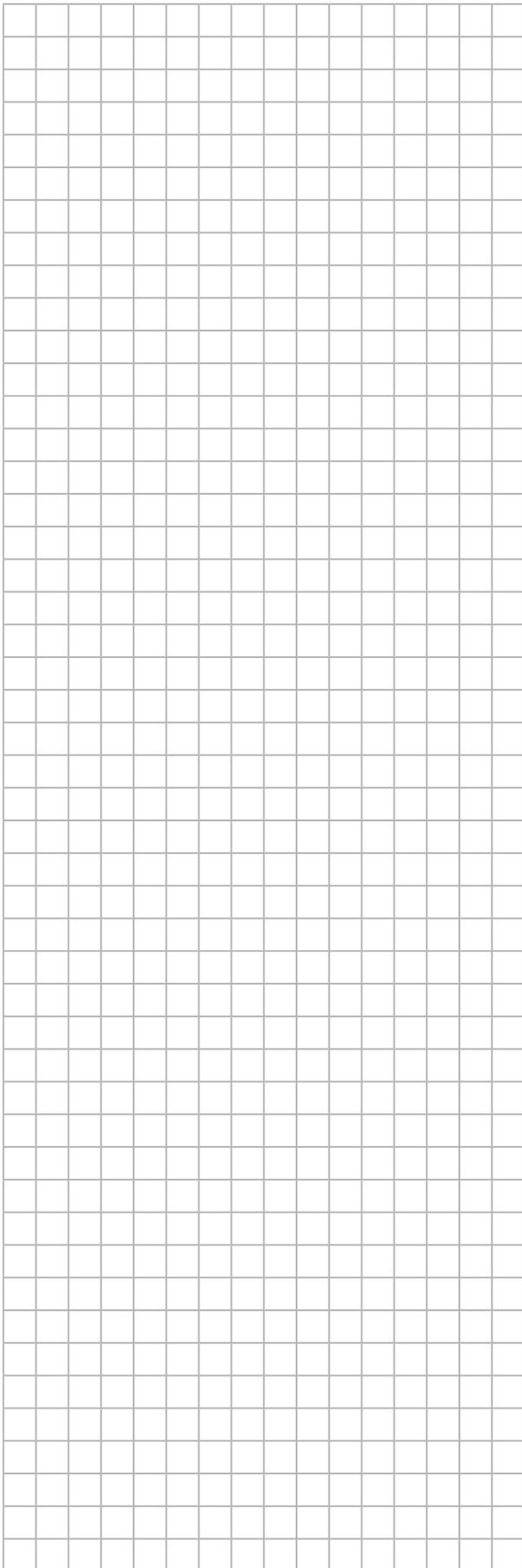


Reprodução/Cefet

Os pontos sobre o eixo x , onde o campo elétrico é nulo, estão localizados em

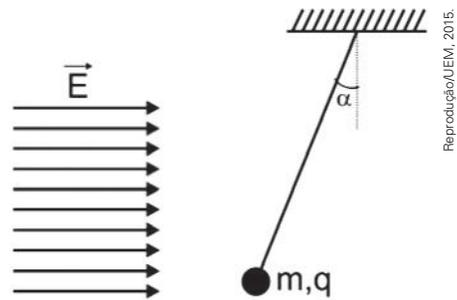
- $x = (2 - \sqrt{2})d$ e $x = (2 + \sqrt{2})d$.
- $x = -(2 - \sqrt{2})d$ e $x = -(2 + \sqrt{2})d$.
- $x = -(2 - \sqrt{2})d$ e $x = (2 + \sqrt{2})d$.
- $x = (2 - \sqrt{2})d$.
- $x = (2 + \sqrt{2})d$.





114. (UEM-PR)

Uma pequena massa m com carga q se encontra em equilíbrio, como mostrado abaixo.

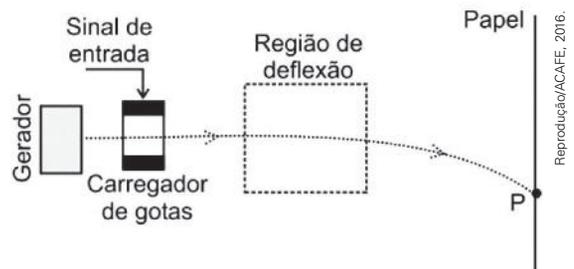


O campo elétrico \vec{E} é uniforme e constante. A aceleração da gravidade é g . Assinale o que for correto.

- 01) A carga q é positiva.
- 02) O ângulo α é dado por $\alpha = \arctan \frac{|q|E}{mg}$.
- 04) O módulo da tensão no fio vale $T = \sqrt{q^2E^2 + m^2g^2}$.
- 08) Se quisermos colocar a partícula na horizontal $\left(\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2}\right)$, devemos aplicar um campo elétrico infinito.
- 16) Se o fio se romper, a coordenada horizontal da partícula varia linearmente com o tempo t .

115. (Acafe-SC)

Na figura abaixo temos o esquema de uma impressora jato de tinta que mostra o caminho percorrido por uma gota de tinta eletrizada negativamente, numa região onde há um campo elétrico uniforme. A gota é desviada para baixo e atinge o papel numa posição **P**.

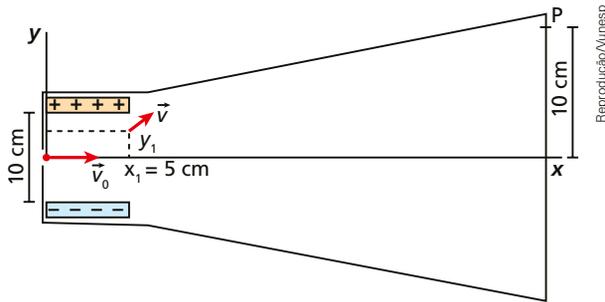


O vetor campo elétrico responsável pela deflexão nessa região é:

- a) \uparrow
- b) \downarrow
- c) \rightarrow
- d) \leftarrow

116. (Unesp)

Uma carga elétrica $q = 0,1 \mu\text{C}$ de massa $m = 10^{-6} \text{ kg}$ é lançada com velocidade $v_0 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ em uma região de campo elétrico uniforme gerado por duas placas planas e paralelas, distantes 10 cm uma da outra. A carga sai dessa região em um ponto de coordenadas $x_1 = 5 \text{ cm}$ e $y_1 = 2,5 \text{ cm}$ e atinge o ponto **P** em um anteparo situado 10 cm acima do eixo horizontal do tubo.

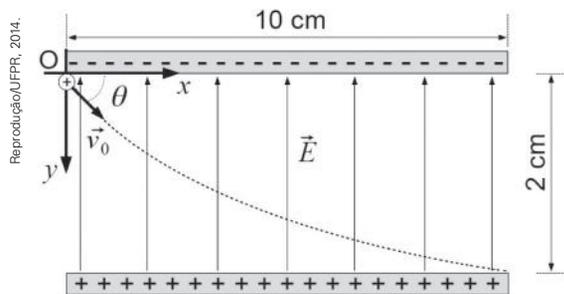


Desprezando-se ações gravitacionais, pede-se:

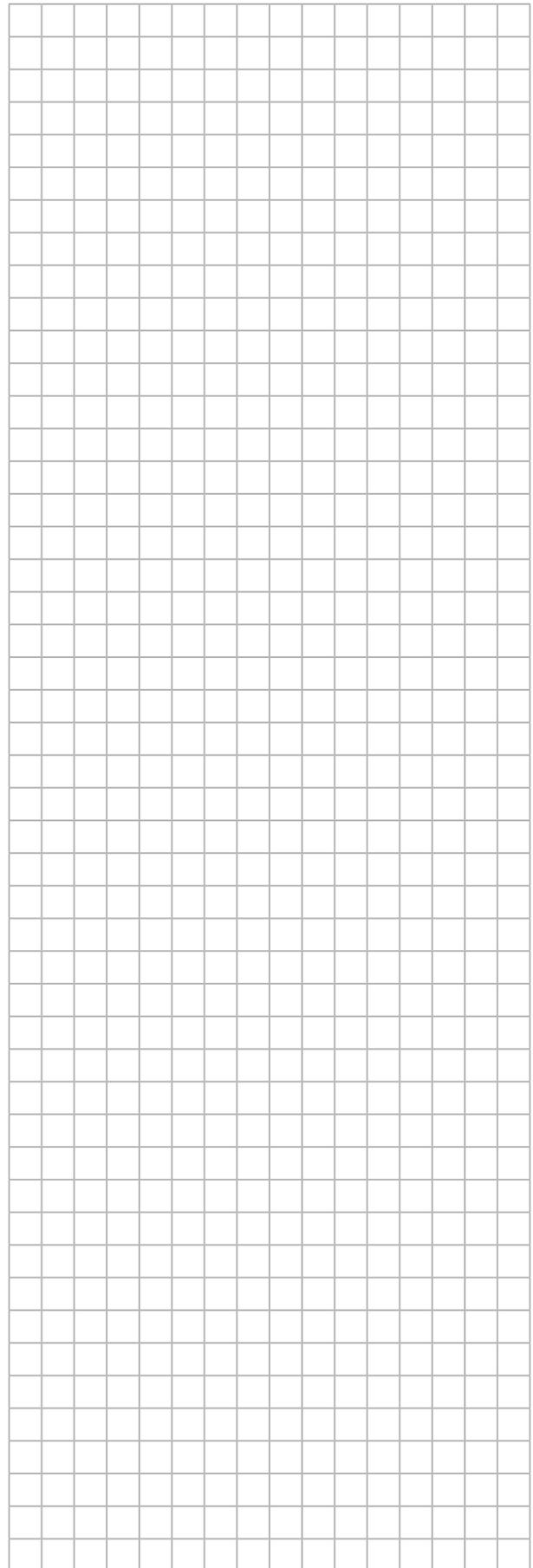
- a) o módulo do vetor campo elétrico nessa região;
- b) a velocidade com que a carga q chega ao ponto **P**.

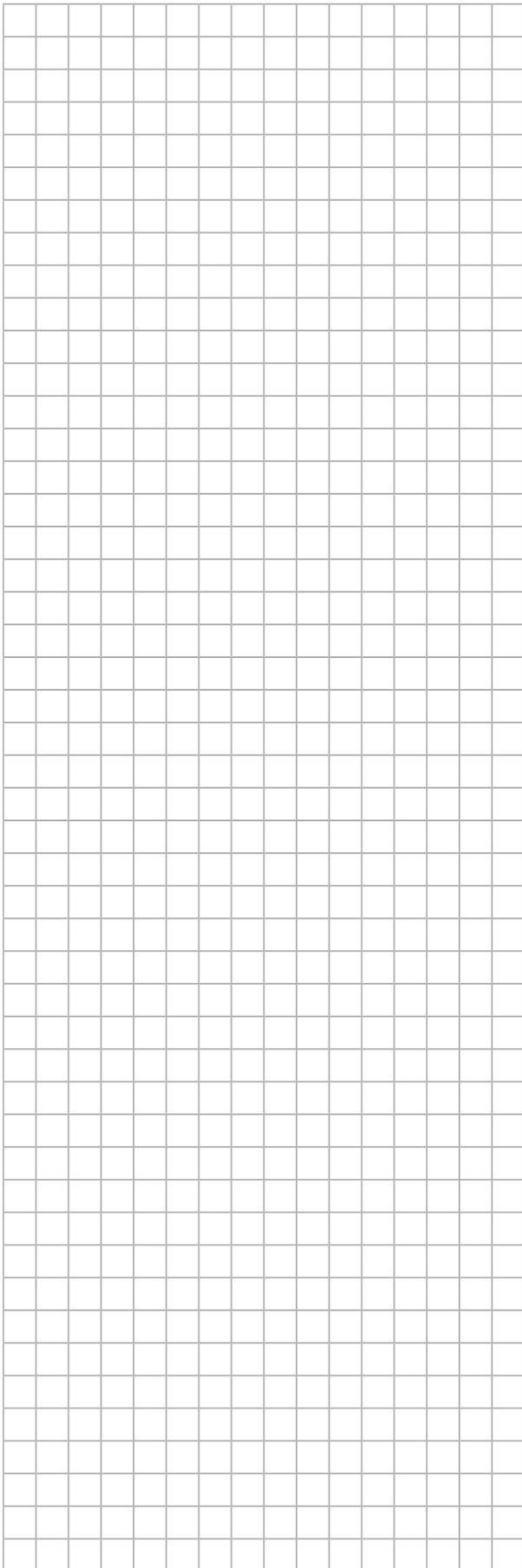
117. (UFPR)

Um próton é injetado no ponto **O** e passa a se mover no interior de um capacitor plano de placas paralelas, cujas dimensões estão indicadas na figura abaixo.



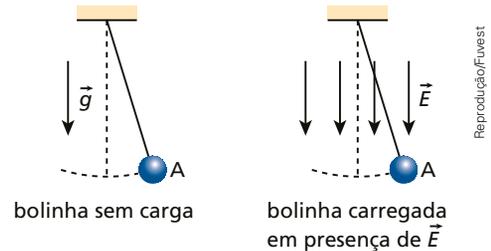
O próton tem velocidade inicial \vec{v}_0 com módulo $1,0 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ e direção formando um ângulo θ igual a 45° com o eixo x horizontal. O campo elétrico está orientado na direção do eixo y conforme mostrado na figura. Considere a massa do próton igual a $1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ e sua carga igual $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Supondo que somente o campo elétrico uniforme no interior do capacitor atue sobre o próton, calcule qual deve ser o mínimo módulo deste campo para que o próton não colida com a placa inferior.





118. (Fuvest-SP)

Um certo relógio de pêndulo consiste em uma pequena bola, de massa $M = 0,1 \text{ kg}$, que oscila presa a um fio. O intervalo de tempo que a bolinha leva para, partindo da posição **A**, retornar a essa mesma posição é seu período T_0 , que é igual a 2 s . Nesse relógio, o ponteiro dos minutos completa uma volta (1 hora) a cada 1800 oscilações completas do pêndulo.



Estando o relógio em uma região em que atua um campo elétrico \vec{E} , constante e homogêneo, e a bola carregada com carga elétrica Q , seu período será alterado, passando a T_Q . Considere a situação em que a bolinha esteja carregada com carga $Q = 3 \cdot 10^{-5} \text{ C}$, em presença de um campo elétrico cujo módulo $E = 1 \cdot 10^5 \text{ V/m}$. (Usar: $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

Então, determine:

- a) a intensidade da força efetiva F_e , em N, que age sobre a bola carregada;
- b) a razão $R = \frac{T_Q}{T_0}$ entre os períodos do pêndulo, quando a bola está carregada e quando não tem carga;
- c) a hora que o relógio estará indicando, quando forem de fato três horas da tarde, para a situação em que o campo elétrico tiver passado a atuar a partir do meio-dia.

Note e adote:

Nas condições do problema, o período T do pêndulo pode ser expresso por

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{massa} \cdot \text{comprimento do pêndulo}}{F_e}}$$

em que F_e é a força vertical efetiva que age sobre a massa, sem considerar a tensão do fio.

119. (UPE)

Dois esferas isolantes, **A** e **B**, possuem raios iguais a R_A e R_B e cargas, uniformemente distribuídas, iguais a Q_A e Q_B , respectivamente.

Sabendo-se que $5Q_A = 2Q_B$ e ainda que $10R_A = 3R_B$, qual a relação entre suas densidades volumétricas de cargas ρ_A/ρ_B ?

- a) $\frac{100}{9}$
- b) $\frac{15}{8}$
- c) $\frac{200}{6}$
- d) $\frac{400}{27}$
- e) $\frac{280}{9}$

120. (UFMT)

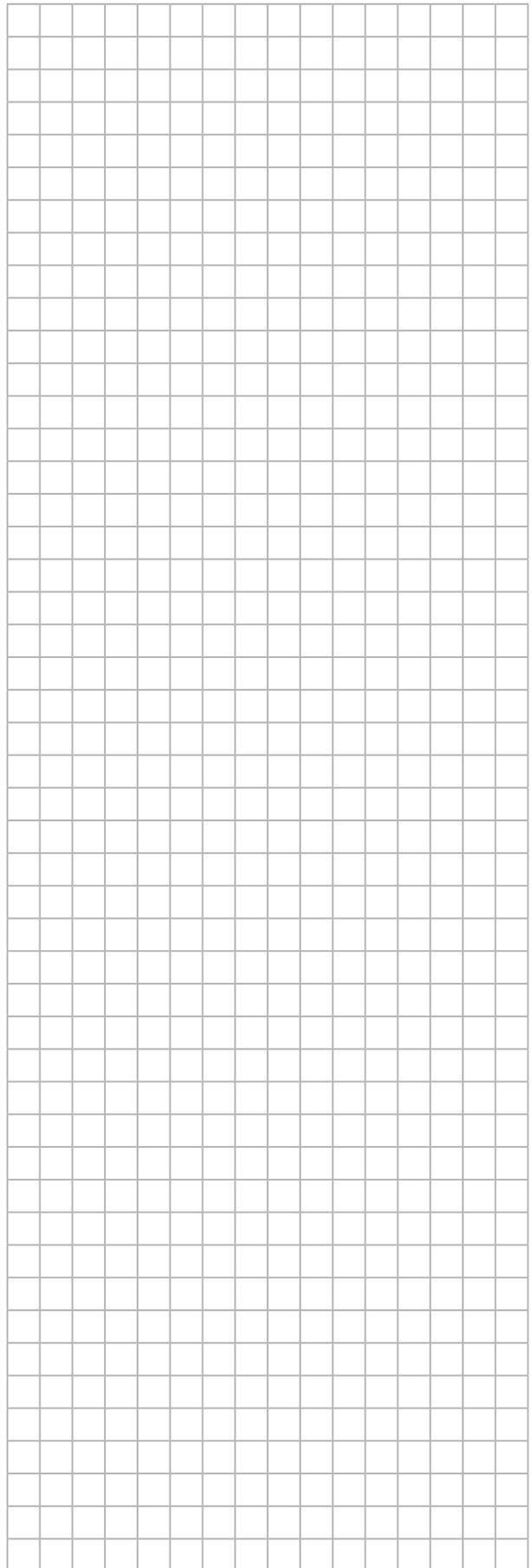
Indique a aplicação tecnológica do conceito demonstrado por Faraday, na primeira metade do século XIX, na experiência conhecida como gaiola de Faraday.

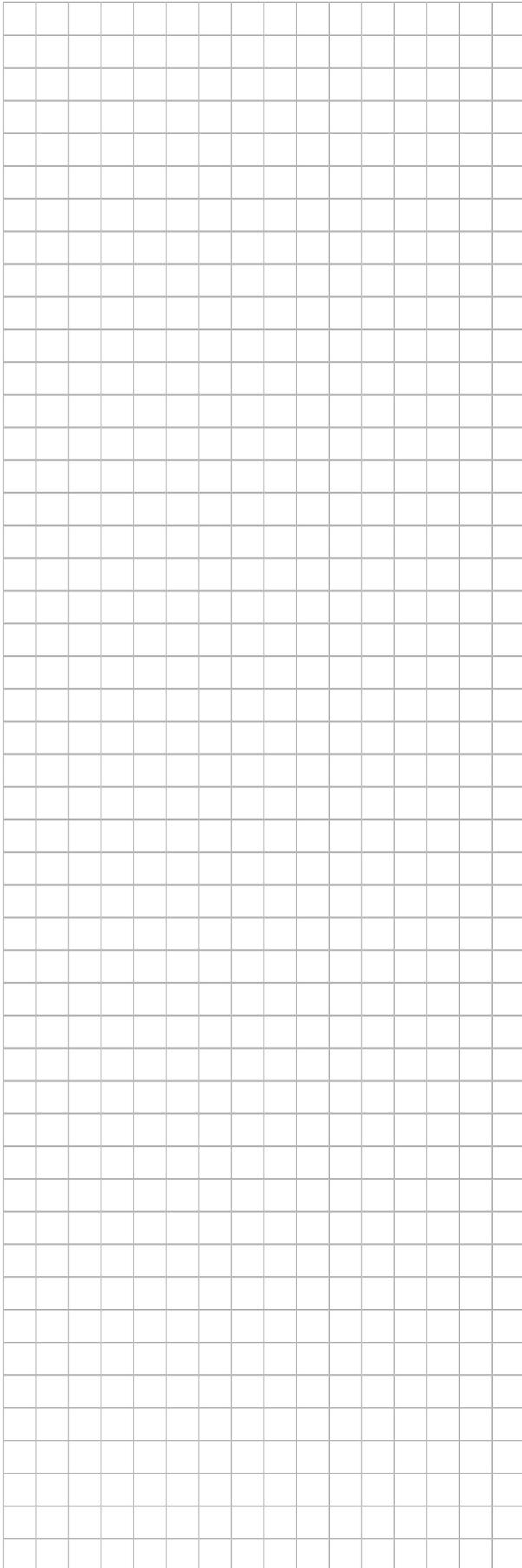
- a) Isolamento térmico do conteúdo de garrafas térmicas.
- b) Atração dos raios em tempestades por para-raios.
- c) Isolamento elétrico promovido pela borracha dos pneus de veículos.
- d) Recobrimento com material isolante em cabos utilizados para transporte de energia elétrica.
- e) Bloqueio para chamadas de telefone celular em penitenciárias.

121. (PUC-PR)

Um sistema de cargas pontuais é formado por duas cargas positivas $+q$ e uma negativa $-q$, todas de mesma intensidade, cada qual fixa em um dos vértices de um triângulo equilátero de lado r . Se substituirmos a carga negativa por uma positiva de mesma intensidade, qual será a variação da energia potencial elétrica do sistema? A constante de Coulomb é denotada por k .

- a) $\frac{2kq^2}{r}$
- b) $\frac{-2kq^2}{r}$
- c) $\frac{-4kq^2}{r}$
- d) $\frac{4kq^2}{r}$
- e) $\frac{kq^2}{r}$





122.(UFU-MG)

A Gaiola de Faraday nada mais é do que uma blindagem eletrostática, ou seja, uma superfície condutora que envolve e delimita uma região do espaço. A respeito desse fenômeno, considere as seguintes afirmativas.

- I. Se o comprimento de onda de uma radiação incidente na gaiola for muito menor do que as aberturas da malha metálica, ela não conseguirá o efeito de blindagem.
- II. Se o formato da gaiola for perfeitamente esférico, o campo elétrico terá o seu valor máximo no ponto central da gaiola.
- III. Um celular totalmente envolto em um pedaço de papel-alumínio não receberá chamadas, uma vez que está blindado das ondas eletromagnéticas que o atingem.
- IV. As cargas elétricas em uma Gaiola de Faraday se acumulam em sua superfície interna.

Assinale a alternativa que apresenta apenas afirmativas corretas.

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) II e III.
- d) III e IV.

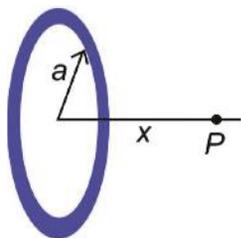
123.(Uema)

O uso do para-raios faz com que o percurso da descarga elétrica, entre a terra e as nuvens, seja mais seguro. O objetivo desse aparelho é proteger certa região, edifícios, residências ou assemelhados da ação devastadora de um raio. O para-raios é um dispositivo composto por uma haste metálica com pontas nas extremidades, que deve ser colocado na parte mais elevada do local a ser protegido. A parte inferior da haste é ligada à Terra por meio de um cabo metálico conectado a uma haste de ferro galvanizado e introduzido profundamente no solo. Isso leva a concluir que o funcionamento de um para-raios é baseado:

- a) no Efeito Joule e na indução eletrostática.
- b) na blindagem eletrostática e no poder de pontas.
- c) na indução eletrostática e na blindagem eletrostática.
- d) no Efeito Joule e no poder de pontas.
- e) na indução eletrostática e no poder de pontas.

124. (UEG-GO)

A figura a seguir descreve um anel metálico, de raio a , carregado positivamente com carga Q , no ponto P , o campo elétrico dado pela expressão.



$$E_P = \frac{kQx}{(a^2 + x^2)^{3/2}}$$

Reprodução/UEG, 2016.

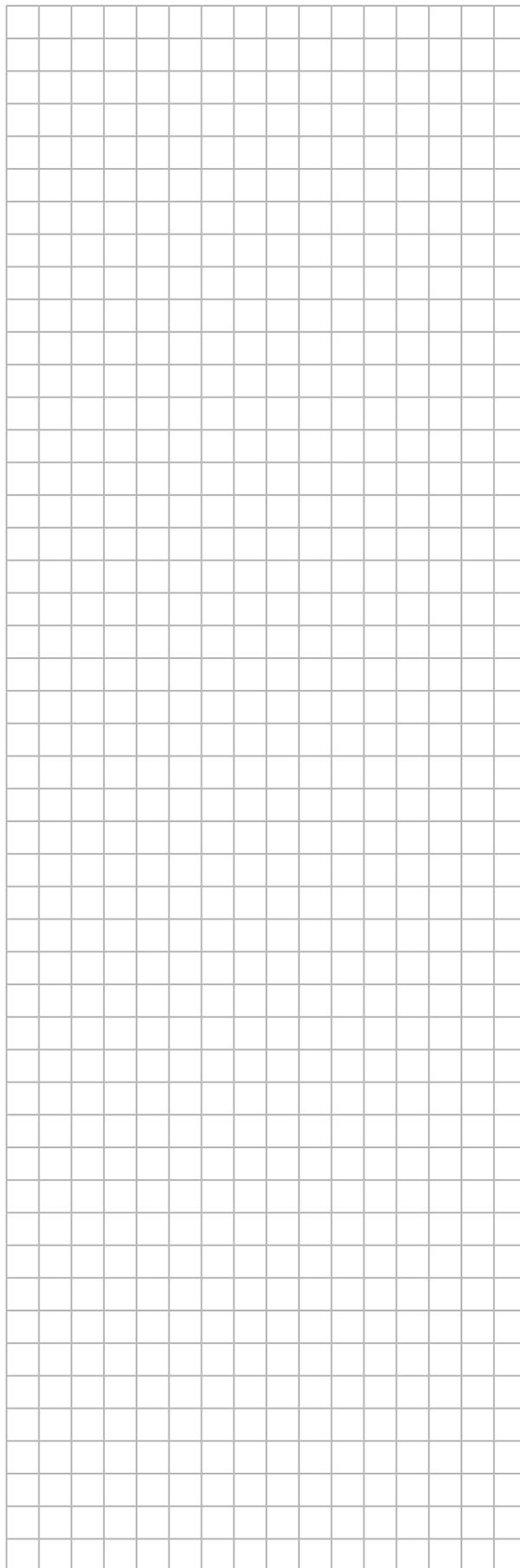
No limite de $x \gg a$ (leia-se x muito maior que a), a expressão do campo elétrico E_p é equivalente

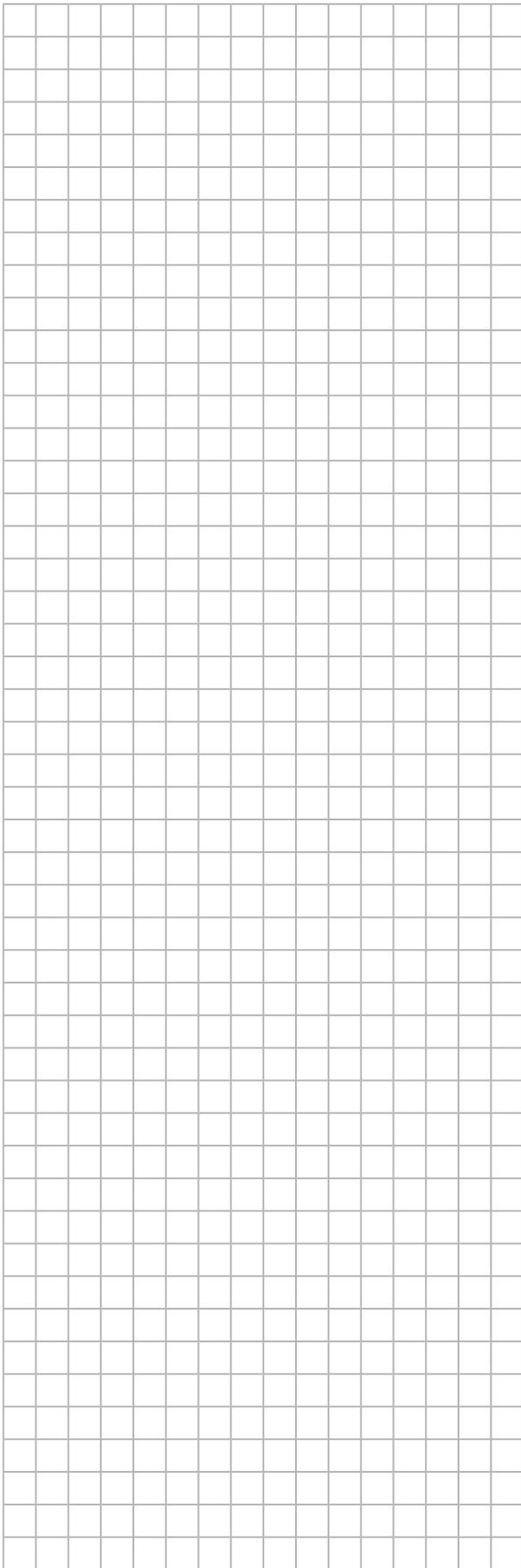
- a) ao campo elétrico de uma carga pontual com a carga do anel.
- b) a aproximação de $a \gg x$, que leva a um valor nulo nas duas situações.
- c) à mesma expressão apresentada no enunciado do problema.
- d) à equação E_p , salvo uma correção necessária no valor de Q .

125. (UFSC)

O ato de eletrizar um corpo consiste em gerar uma desigualdade entre o número de cargas positivas e negativas, ou seja, em gerar uma carga resultante diferente de zero. Em relação aos processos de eletrização e às características elétricas de um objeto eletrizado, é correto afirmar que:

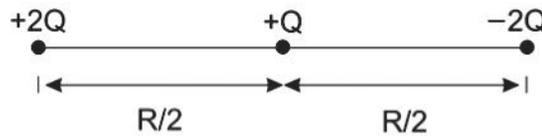
- 01) em qualquer corpo eletrizado, as cargas se distribuem uniformemente por toda a sua superfície.
- 02) no processo de eletrização por atrito, as cargas positivas são transferidas de um corpo para outro.
- 04) em dias úmidos, o fenômeno da eletrização é potencializado, ou seja, os objetos ficam facilmente eletrizados.
- 08) dois objetos eletrizados por contato são afastados um do outro por uma distância D . Nesta situação, podemos afirmar que existe um ponto entre eles onde o vetor campo elétrico resultante é zero.
- 16) o meio em que os corpos eletrizados estão imersos tem influência direta no valor do potencial elétrico e do campo elétrico criado por eles.





126. (UFRGS-RS)

Considere que U é a energia potencial elétrica de duas partículas com cargas $+2Q$ e $-2Q$ fixas a uma distância R uma da outra. Uma nova partícula de carga $+Q$ é agregada a este sistema entre as duas partículas iniciais, conforme representado na figura a seguir.



Reprodução/UFRGS, 2012.

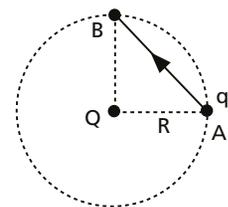
A energia potencial elétrica desta nova configuração do sistema é:

- a) zero
- b) $U/4$
- c) $U/2$
- d) U
- e) $3U$

127. (Uespi)

Uma carga pontual Q está fixa no vácuo. A linha tracejada na figura corresponde a uma circunferência de raio R e centro em Q . Uma outra carga pontual q é levada da posição **A** à posição **B** através da trajetória mostrada na figura em linha sólida. A constante elétrica no vácuo é denotada por k . O trabalho da força elétrica entre as posições **A** e **B** é igual a:

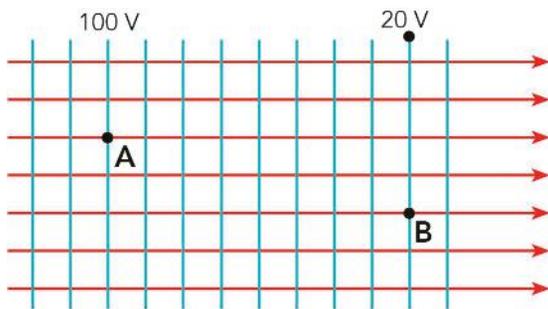
- a) zero
- b) $\frac{kQq}{R}$
- c) $\frac{kQq}{(2R)}$
- d) $\frac{kQq}{(R\sqrt{2})}$
- e) $\frac{kQq}{(2R\sqrt{2})}$



Reprodução/Uespi, 2010.

128. (Uerj)

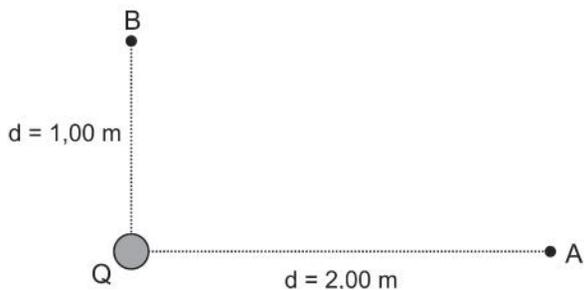
O esquema a seguir representa um campo elétrico uniforme E , no qual as linhas verticais correspondem às superfícies equipotenciais. Uma carga elétrica puntiforme, de intensidade $400 \mu\text{C}$, colocada no ponto **A**, passa pelo ponto **B** após algum tempo.



Reprodução/UFERJ, 2016.

Determine, em joules, o trabalho realizado pela força elétrica para deslocar essa carga entre os pontos **A** e **B**.

129. (UPM-SP)



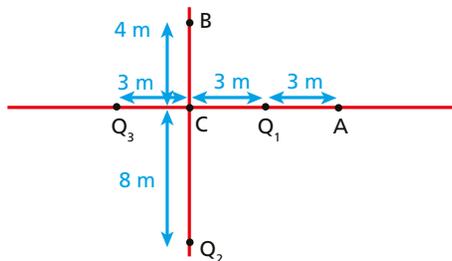
Reprodução/Mackenzie, 2015.

Uma carga elétrica de intensidade $Q = 10,0 \mu\text{C}$, no vácuo, gera um campo elétrico em dois pontos **A** e **B**, conforme figura acima. Sabendo-se que a constante eletrostática do vácuo é $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ o trabalho realizado pela força elétrica para transferir uma carga $q = 2,00 \mu\text{C}$ do ponto **B** até o ponto **A** é, em mJ, igual a

- a) 90,0
- b) 180
- c) 270
- d) 100
- e) 200

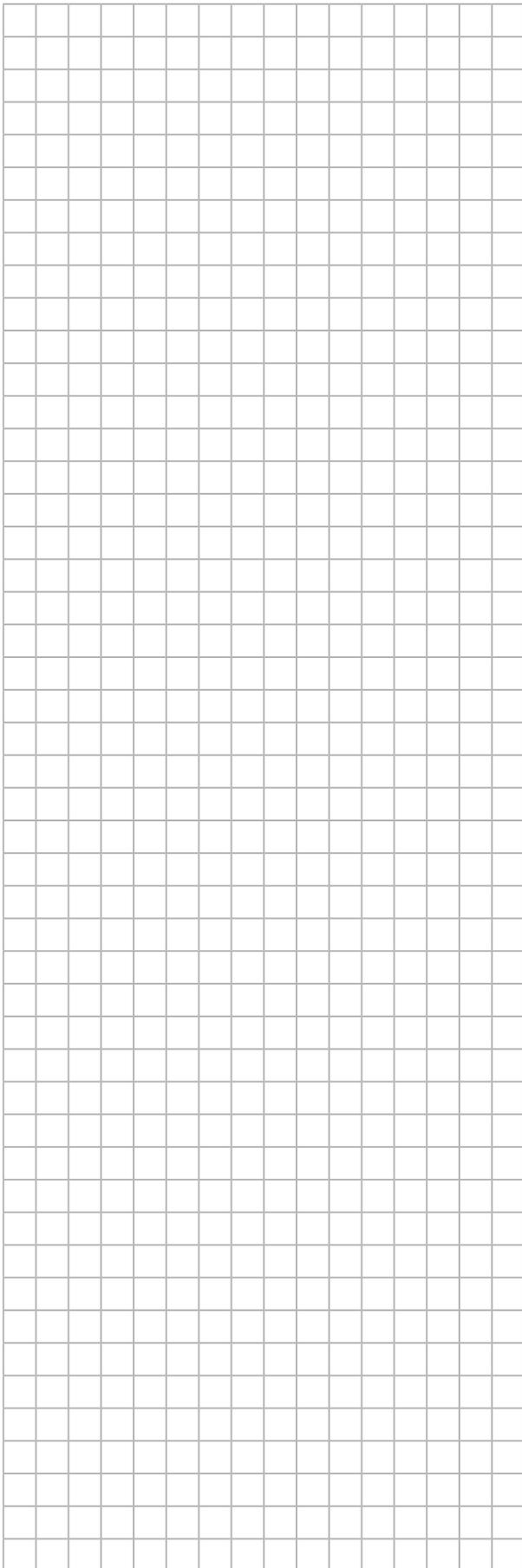
130. A figura representa uma distribuição discreta de cargas elétricas $Q_1 = 15 \text{ nC}$, $Q_2 = 60 \text{ nC}$ e $Q_3 = -45 \text{ nC}$ no vácuo.

Dado: $k_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$.



Banco de imagens/Arquivo da editora

- a) Qual a diferença de potencial entre os pontos **A** e **B**?
- b) Qual o trabalho necessário para levar uma carga elétrica de 10 mC do ponto **A** para o ponto **B**?



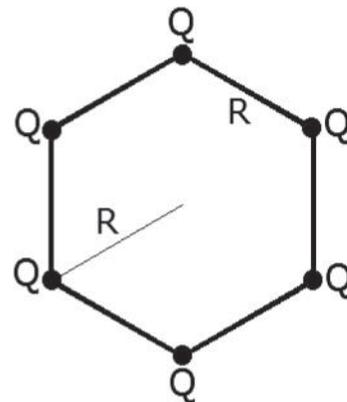
131. (UEPG-PR)

Uma carga elétrica puntiforme Q produz um campo elétrico de módulo $36 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ em um ponto situado a 1 cm de distância desta carga. Sobre o assunto, assinale o que for correto.

- 01) A força elétrica sobre uma carga de prova $q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, situada a 2 cm da carga Q é 5,4 N.
- 02) O trabalho da força elétrica atuante na carga de prova quando ela se desloca do ponto situado a 1 cm da carga Q ao ponto situado a 2 cm é $0,54 \cdot 10^{-3} \text{ J}$.
- 04) O potencial elétrico produzido pela carga Q num ponto situado a 2 cm de distância da carga é 90 V.
- 08) O campo elétrico gerado pela carga Q em um ponto situado a 2 cm dela é $9 \cdot 10^3 \text{ N/C}$.
- 16) O potencial elétrico produzido pela carga Q num ponto situado a 1 cm de distância da carga é 360 V.

132. (UFRGS-RS)

Seis cargas elétricas iguais a Q estão dispostas, formando um hexágono regular de aresta R , conforme mostra a figura abaixo.



Reprodução/UFRGS, 2017.

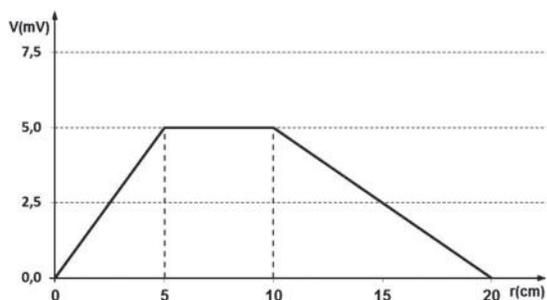
Com base nesse arranjo, sendo k a constante eletrostática, considere as seguintes afirmações.

- I. O campo elétrico resultante no centro do hexágono tem módulo igual a $6Q/R^2$.
- II. O trabalho necessário para se trazer uma carga q , desde o infinito até o centro do hexágono, é igual a $6kQq/R$.
- III. A força resultante sobre uma carga de prova q , colocada no centro do hexágono, é nula.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

133. (UFPR)



Verificou-se que, numa dada região, o potencial elétrico V segue o comportamento descrito pelo gráfico $V \times r$ acima.

(Considere que a carga elétrica do elétron é $21,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Baseado nesse gráfico, considere as seguintes afirmativas:

1. A força elétrica que age sobre uma carga $q = 4 \text{ mC}$ colocada na posição $r = 8 \text{ cm}$ vale $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ N}$.
2. O campo elétrico, para $r = 2,5 \text{ cm}$, possui módulo $E = 0,1 \text{ N/C}$.
3. Entre 10 cm e 20 cm , o campo elétrico é uniforme.
4. Ao se transferir um elétron de $r = 10 \text{ cm}$ para $r = 20 \text{ cm}$, a energia potencial elétrica aumenta de $8,0 \cdot 10^{-22} \text{ J}$.

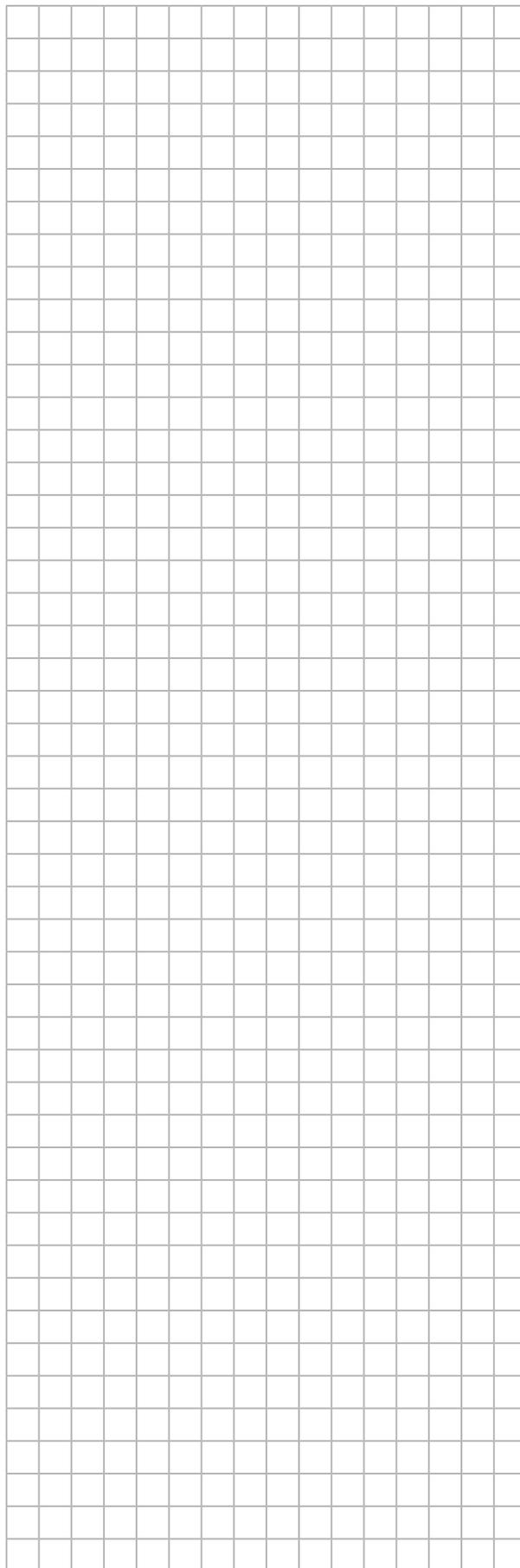
Assinale a alternativa correta.

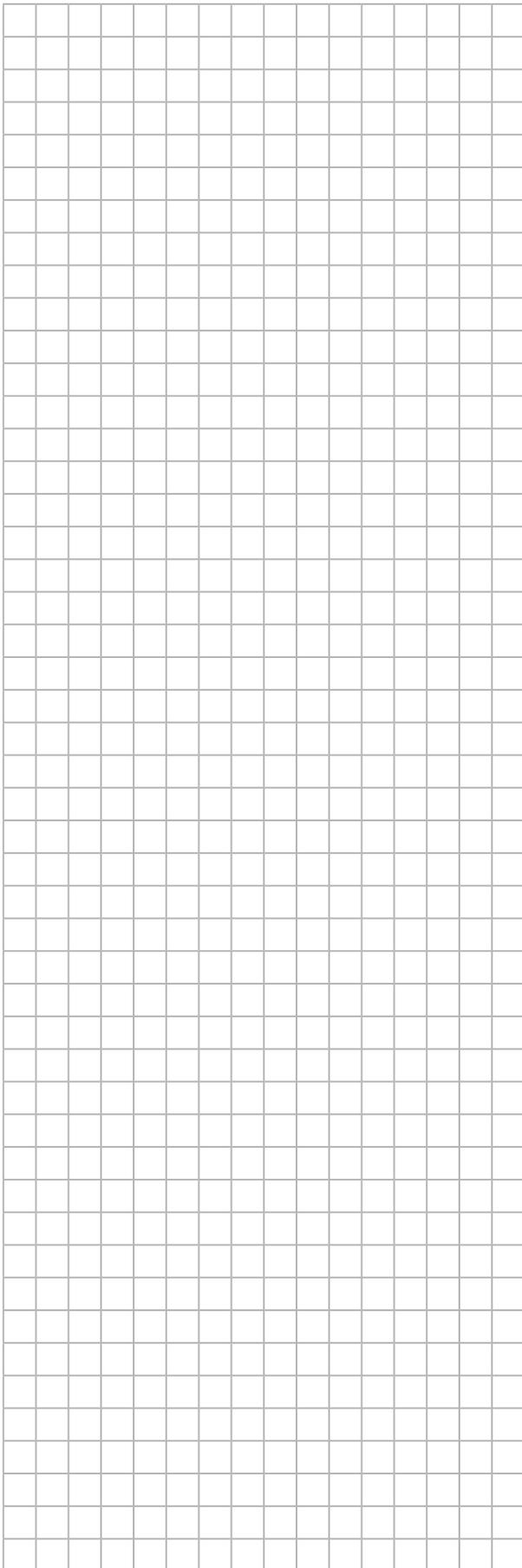
- a) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas 2 e 4 são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas 1, 3 e 4 são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas 2, 3 e 4 são verdadeiras.
- e) As afirmativas 1, 2, 3 e 4 são verdadeiras.

134. (UPF-RS)

Durante uma experiência didática sobre eletrostática, um professor de Física eletriza uma esfera metálica oca suspensa por um fio isolante. Na sequência, faz as seguintes afirmações:

- I. A carga elétrica transferida para a esfera se distribui na superfície externa desta.
- II. O campo elétrico no interior da esfera é nulo.
- III. O campo elétrico na parte exterior da esfera tem direção perpendicular à superfície desta.
- IV. A superfície da esfera, na situação descrita, apresenta o mesmo potencial elétrico em todos os pontos.
- V. A carga elétrica acumulada na esfera é positiva, pois lhe foram transferidas cargas positivas.



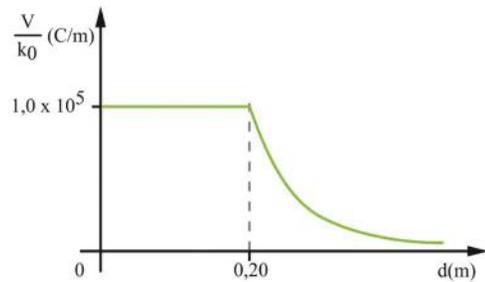


Está correto o que se afirma em:

- a) I apenas.
- b) I e II apenas.
- c) I, II e III apenas.
- d) I, II, III e IV apenas.
- e) I, II, III, IV e V.

135. [UEG-GO]

Considere uma esfera condutora carregada com carga Q , que possua um raio R . O potencial elétrico dividido pela constante eletrostática no vácuo dessa esfera em função da distância d , medida a partir do seu centro, está descrito no gráfico a seguir.



Reprodução/UEG, 2015.

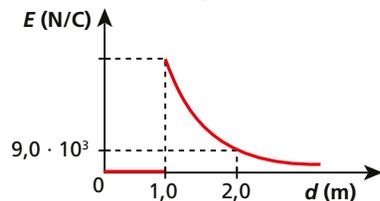
Qual é o valor da carga elétrica Q , em coulomb?

- a) $2,0 \cdot 10^4$
- b) $4,0 \cdot 10^3$
- c) $0,5 \cdot 10^6$
- d) $2,0 \cdot 10^6$

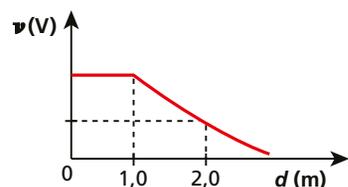
136. [PUCC-SP]

Uma esfera metálica oca encontra-se no ar, eletrizada positivamente e isolada de outras cargas. Os gráficos abaixo representam a intensidade do campo elétrico e do potencial elétrico criado por essa esfera em função da distância ao seu centro.

Dado: $k = 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$



Reprodução/PUCC

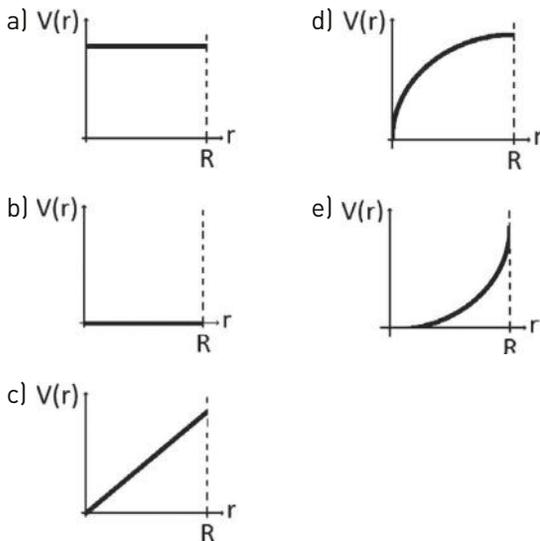


Com base nas informações, é correto afirmar que:

- a) a carga elétrica do condutor é $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$.
- b) o potencial elétrico no interior do condutor é nulo.
- c) o potencial elétrico do condutor vale $3,6 \cdot 10^4 \text{ V}$.
- d) o potencial elétrico de um ponto a $2,0 \text{ m}$ do centro do condutor vale $9,0 \cdot 10^3 \text{ V}$.
- e) a intensidade do campo elétrico em um ponto a $3,0 \text{ m}$ do centro do condutor vale $6,0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$.

137. (UFRGS-RS)

Uma esfera condutora e isolada, de raio R , foi carregada com uma carga elétrica Q . Considerando o regime estacionário, assinale o gráfico abaixo que melhor representa o valor do potencial elétrico dentro da esfera, como função da distância $r < R$ até o centro da esfera.



Reprodução/UFRGS, 2016.

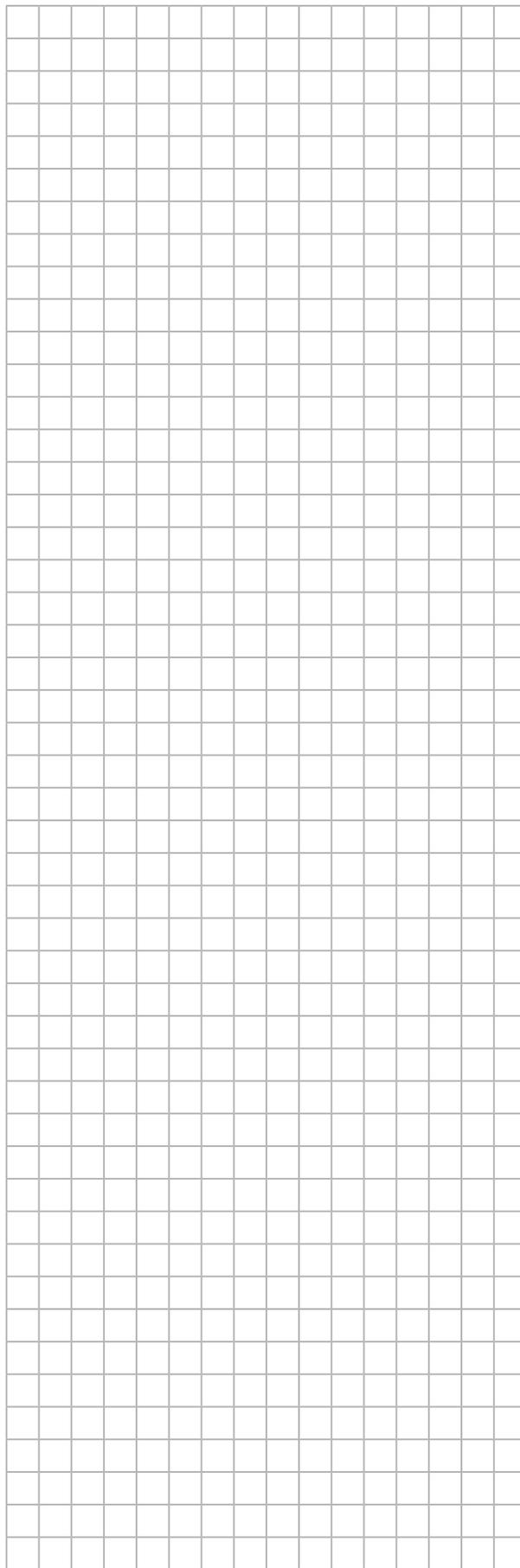
138. (Unisc-RS)

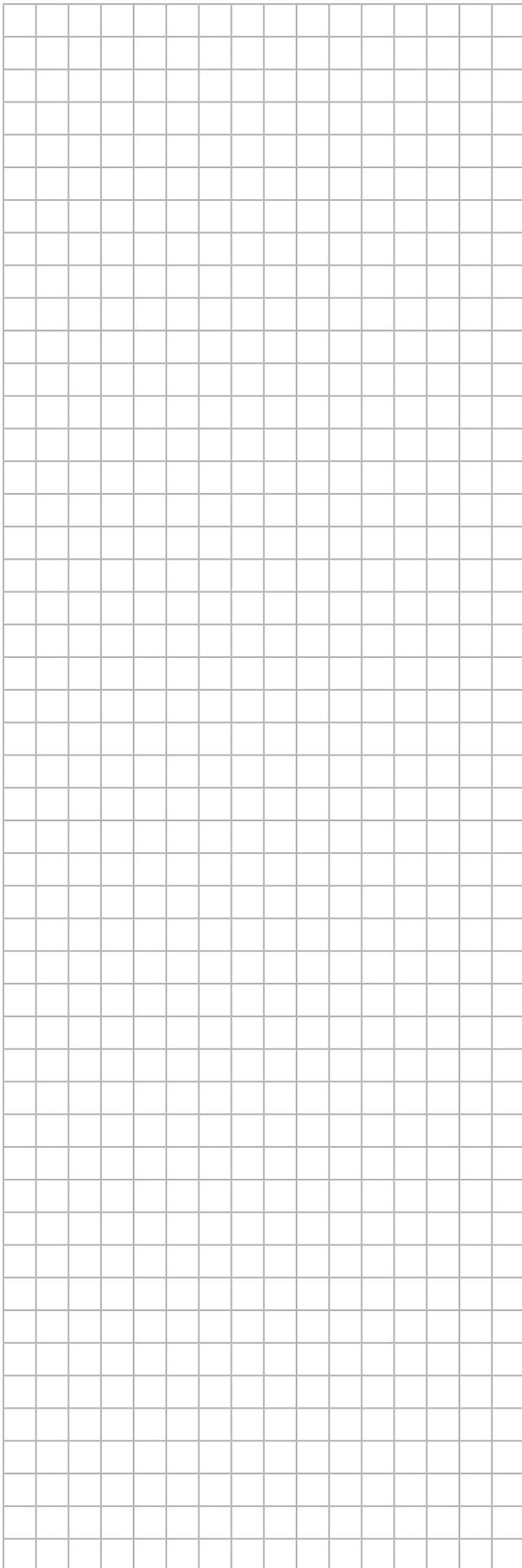
Em uma explosão de uma mina de carvão foram utilizadas 1 000 toneladas de explosivo trinitrotolueno (TNT), o que equivale a $1,0 \cdot 10^{12}$ calorias. Qual foi, aproximadamente, a quantidade de massa convertida em energia equivalente a essa explosão? (1 caloria = 4,18 J e $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

- a) $4,6 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$
- b) $4,6 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$
- c) $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$
- d) $1,1 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$
- e) $1,1 \cdot 10^{-13} \text{ kg}$

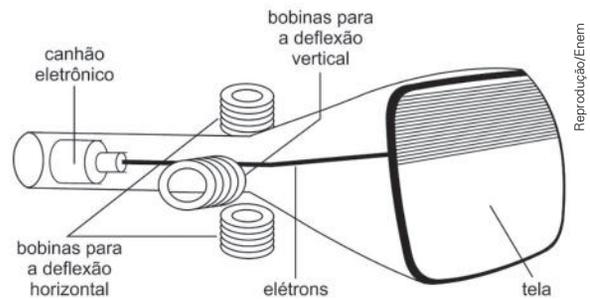
139. (Enem)

A figura mostra o tubo de imagens dos aparelhos de televisão usado para produzir as ima-





gens sobre a tela. Os elétrons do feixe emitido pelo canhão eletrônico são acelerados por uma tensão de milhares de volts e passam por um espaço entre bobinas onde são defletidos por campos magnéticos variáveis, de forma a fazerem a varredura da tela.



Nos manuais que acompanham os televisores é comum encontrar, entre outras, as seguintes recomendações:

- I. Nunca abra o gabinete ou toque as peças no interior do televisor.
- II. Não coloque seu televisor próximo de aparelhos domésticos com motores elétricos ou ímãs.

Estas recomendações estão associadas, respectivamente, aos aspectos de

- a) riscos pessoais por alta tensão/perturbação ou deformação de imagem por campos externos.
- b) proteção dos circuitos contra manipulação indevida/perturbação ou deformação de imagem por campos externos.
- c) riscos pessoais por alta tensão/sobrecarga dos circuitos internos por ações externas.
- d) proteção dos circuitos contra a manipulação indevida/sobrecarga da rede por fuga de corrente.
- e) proteção dos circuitos contra a manipulação indevida/sobrecarga dos circuitos internos por ação externa.

140. (UEG-GO)

Antes mesmo de ter uma ideia mais correta do que é a luz, o homem percebeu que ela era capaz de percorrer muito depressa enormes distâncias. Tão depressa que levou Aristóteles – famoso pensador grego que viveu no século IV a.C. e cujas obras influenciaram todo o mundo ocidental até a Renascença – a admitir que a velocidade da luz seria infinita.

GUIMARÃES, L. A.; BOA, M. F. "Termologia e óptica". São Paulo: Harbra, 1997. p. 177.

Hoje sabe-se que a luz tem velocidade de aproximadamente 300 000 km/s, que é uma velocidade muito grande, porém finita. A teoria moderna que admite a velocidade da luz constante em qualquer referencial e, portanto, torna elásticas as dimensões do espaço e do tempo é:

- a) a teoria da relatividade.
- b) a teoria da dualidade onda partícula.
- c) a teoria atômica de Bohr.
- d) o princípio de Heisenberg.
- e) a lei da entropia.

141. (UEG-GO)

2007: ANO HÉLIO-FÍSICO

O ano de 2007 é o Ano Internacional Hélio-Físico e será dedicado a eventos e estudos sobre o astro-rei. O Sol fica a 150 milhões de km da Terra. Todo o dia o sol perde 380 milhões de toneladas transformadas em energia. Seu poder de atração enfraquece gradativamente e, por isso, a Terra se afasta dele 3 mm ao ano. A temperatura da “superfície” solar é de 5,5 mil graus Celsius. A massa do Sol equivale a 330 mil vezes à da Terra e corresponde a 99% da massa do Sistema Solar. Estima-se que daqui a cerca de 5 bilhões de anos o hidrogênio solar, seu principal combustível, vai se esgotar. O Sol se converterá em outro tipo de estrela, modificando as condições físicas no Sistema Solar.

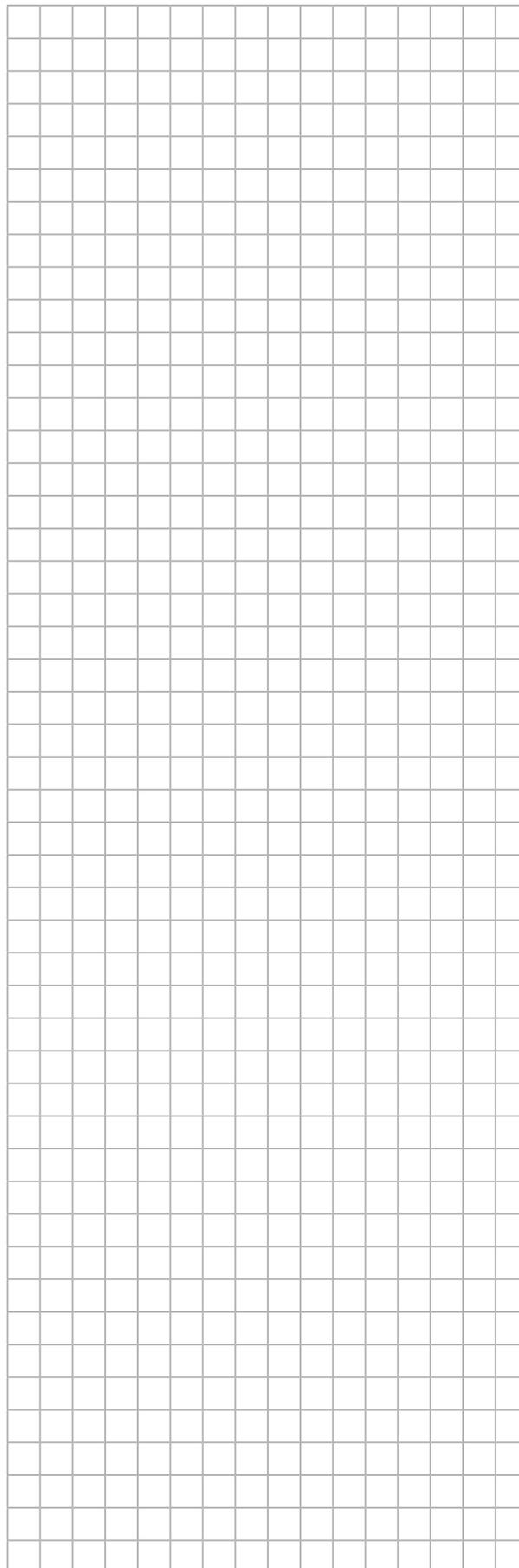
GALILEU, São Paulo, abr. 2007, p. 21. [Adaptado].

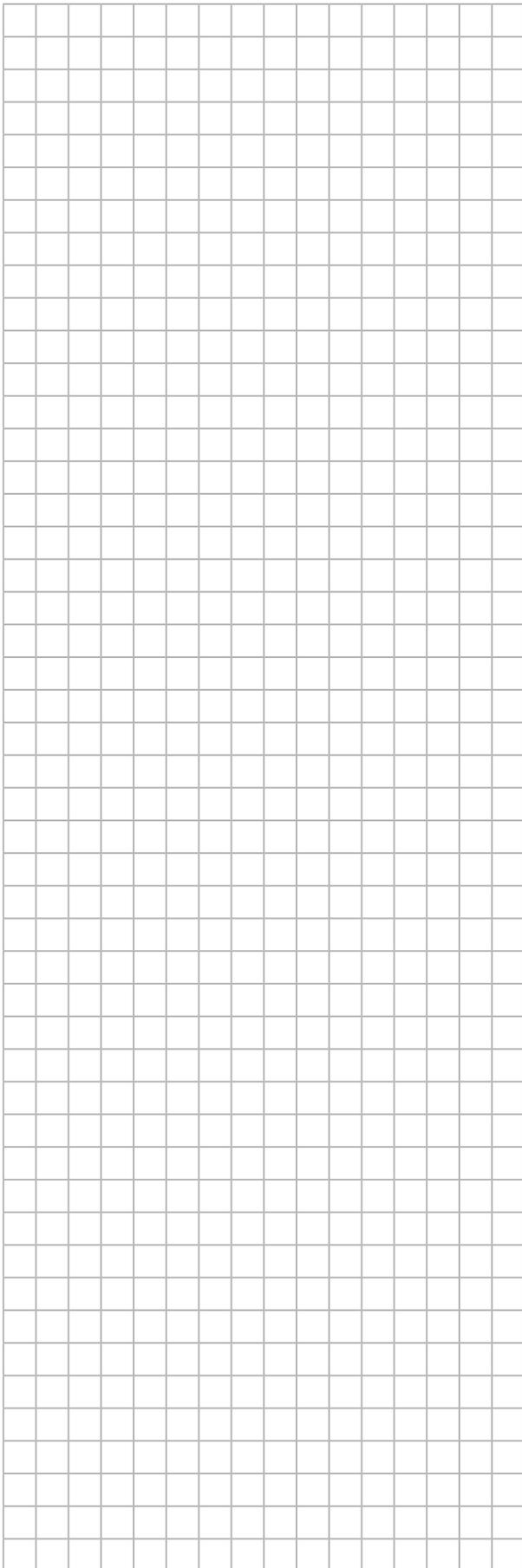
Com base no texto acima, é incorreto afirmar:

- a) O sol usa a fusão de átomos de hidrogênio para obter outro composto químico: o hélio.
- b) A energia diária transformada no Sol por causa da sua perda de massa seria suficiente para manter acesas 100 mil lâmpadas de 100 W por no máximo 300 séculos.
- c) A luz emitida pelo Sol demora cerca de 8 minutos para chegar à Terra.
- d) Sabendo-se que os pontos de ebulição da água e o ponto de fusão do gelo na escala Réaumur são, respectivamente, 80° R e 0° R, a temperatura da “superfície” solar é de 4,4 mil graus Réaumur.

142. Qual das afirmações a seguir é correta de acordo com a Teoria da Relatividade de Einstein?

- a) No vácuo, a velocidade da luz depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções.

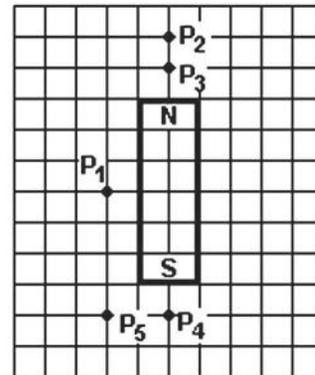




- b) Elétrons são expulsos de uma superfície quando ocorre a incidência de uma radiação eletromagnética (luz).
- c) Em determinados fenômenos, a luz apresenta natureza de partícula e, em outros, natureza ondulatória.
- d) Na natureza, não podem ocorrer interações de velocidades superiores à velocidade da luz.

143. (UEL-PR)

Considere o campo magnético nos pontos P_1 , P_2 , P_3 , P_4 e P_5 nas proximidades de um ímã em barra, conforme representado na figura a seguir.



A intensidade do campo magnético é menor no ponto

- a) P_1
- b) P_2
- c) P_3
- d) P_4
- e) P_5

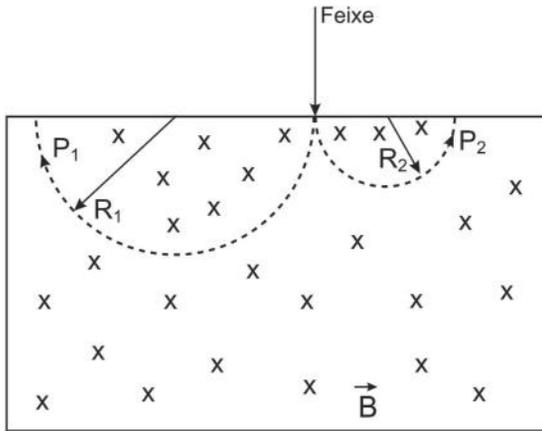
144. (Enem)

Quando a luz branca incide em uma superfície metálica, são removidos elétrons desse material. Esse efeito é utilizado no acendimento automático das luzes nos postes de iluminação, na abertura automática das portas, no fotômetro fotográfico e em sistemas de alarme. Esse efeito pode ser usado para fazer a transformação de energia

- a) nuclear para cinética.
- b) elétrica para radiante.
- c) térmica para química.
- d) radiante para cinética.
- e) potencial para cinética.

145. (Ufla-MG)

Um feixe de partículas eletrizadas P_1 e P_2 , de mesma massa, penetra em um campo magnético \vec{B} com mesma velocidade v . Observa-se que o feixe, ao penetrar no campo magnético, divide-se em dois, percorrendo trajetórias circulares de raios $R_1 = 2 R_2$, conforme figura a seguir.

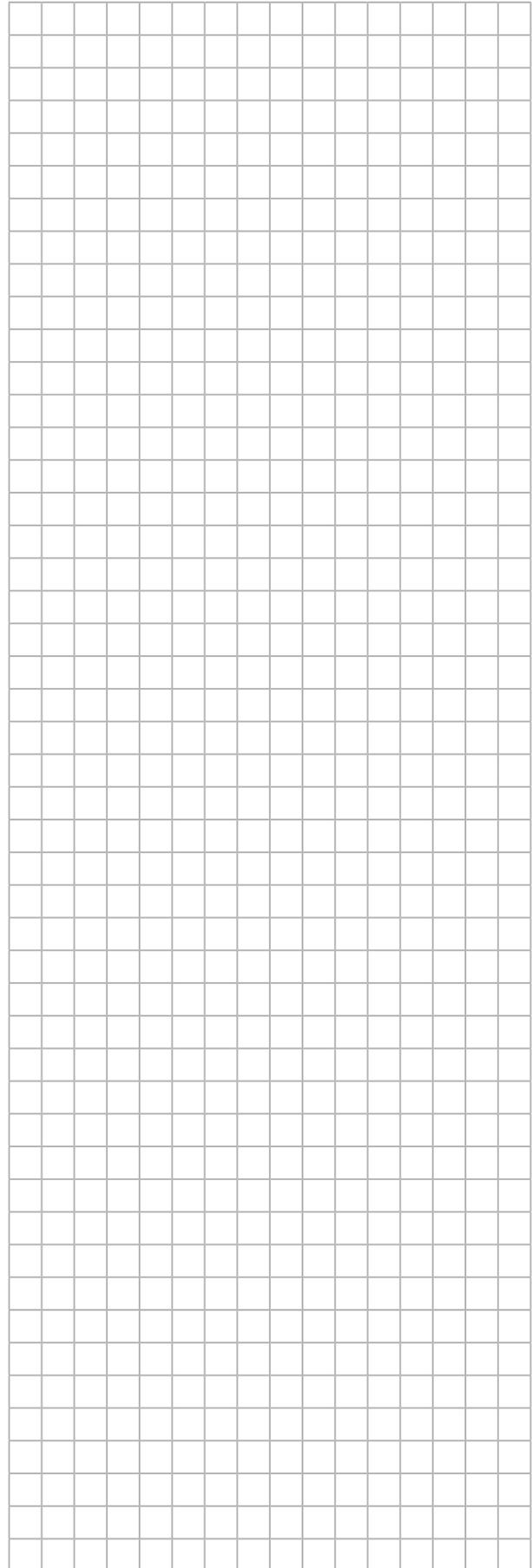


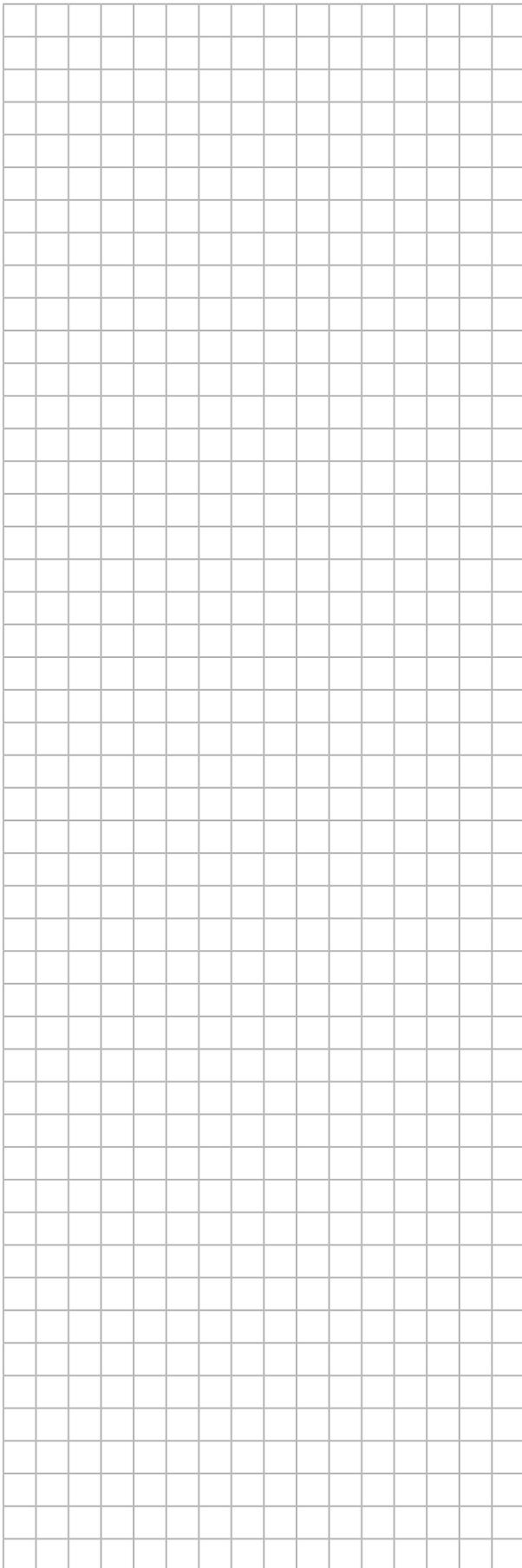
É correto afirmar:

- a) a força magnética que atua nas partículas eletrizadas P_1 é maior que a força magnética que atua nas partículas eletrizadas P_2 , e por isso descrevem uma trajetória de raio R_1 maior que R_2 .
- b) a força magnética que atua nas partículas eletrizadas P_2 é maior que a força magnética que atua nas partículas eletrizadas P_1 , e por isso descrevem uma trajetória de raio R_2 menor que R_1 .
- c) as cargas elétricas das partículas P_1 e P_2 são de mesmo sinal, sendo a carga da partícula P_1 maior que a da partícula P_2 .
- d) as cargas elétricas das partículas P_1 e P_2 são de sinais contrários, sendo a carga da partícula P_2 menor que a da partícula P_1 .

146. (Udesc)

Os fornos de micro-ondas usam um gerador do tipo magnetron para produzir micro-ondas em uma frequência de aproximadamente 2,45 GHz ($2,45 \cdot 10^9$ Hz). Ondas eletromagnéticas desta frequência são fortemente absorvidas pelas moléculas de água, tornando-as particularmente úteis para aquecer e cozinhar alimentos. Em um experimento em laboratório, deseja-se mover elétrons em órbitas circulares com a frequência de 2,45 GHz, usando um campo magnético.



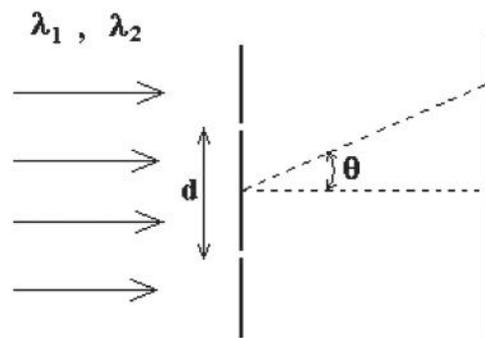


Assinale a alternativa que representa corretamente o valor do módulo do campo magnético necessário para que isso ocorra.

- a) $2,70 \cdot 10^{21}$ T
- b) $8,77 \cdot 10^{-2}$ T
- c) $2,32 \cdot 10^{-20}$ T
- d) $8,77 \cdot 10^{-21}$ T
- e) $2,70 \cdot 10^2$ T

147. (ITA-SP)

Um feixe de luz é composto de luzes de comprimentos de onda λ_1 e λ_2 , sendo λ_1 15% maior que λ_2 . Esse feixe de luz incide perpendicularmente num anteparo com dois pequenos orifícios, separados entre si por uma distância d . A luz que sai dos orifícios é projetada num segundo anteparo, onde se observa uma figura de interferência. Pode-se afirmar, então, que



- a) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{5\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- b) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{10\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- c) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{15\lambda_1}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_1 é observada.
- d) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{10\lambda_2}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_2 é observada.
- e) o ângulo de $\arcsen\left(\frac{15\lambda_2}{d}\right)$ corresponde à posição onde somente a luz de comprimento de onda λ_2 é observada.

1 - Cargas elétricas

1. a
2. a
3. e
4. a
5. 9 m/s^2

2 - Campo elétrico

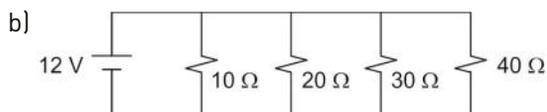
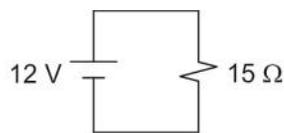
1. a
2. d
3. b
4. d

3 - Potencial elétrico

1. a
2. d
3. c
4. d
5. c

4 - Corrente elétrica, Tensão elétrica e resistência elétrica

1. a
2. a) $R = 60 \Omega$;
b) 2 resistores.
3. b
4. b
5. c
6. a)



- c) 2,5 A.

5 - Geradores elétricos e circuitos simples

1. b
2. b

3. d
4. a) 5 A; b) 2,5 V.
5. c
6. 0,15 A e 6 V.

6 - Energia e potência elétrica

1. a) $20 \text{ }^\circ\text{C}$; b) 2 m.
2. a
3. d
4. d
5. $08 + 16 = 24$.
6. a

7 - Leis de Kirchhoff

1. b
2. a
3. c
4. c

8 - Capacitores

1. d
2. d
3. a) 100 V/m ; b) $2,66 \cdot 10^{-11} \text{ C}$.
4. a) $1,068 \cdot 10^{-14} \text{ F}$; c) $1,068 \cdot 10^{-6} \text{ A}$.
b) $1,068 \cdot 10^{-12} \text{ C}$;
5. a

9 - Introdução ao Eletromagnetismo

1. a
2. d
3. b
4. $02 + 08 = 10$
5. b
6. b
7. a
8. c
9. c
10. b

10 - Corrente elétrica e campo magnético

1. c
2. d
3. a
4. d
5. c

11 - Força magnética sobre condutores retilíneos e propriedades magnéticas

1. b
2. c
3. $02 + 08 + 16 = 26$
4. c
5. $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

12 - Indução eletromagnética

1. d
2. c
3. c
4. e
5. c

13 - Introdução à Física Moderna

1. c
2. d
3. b
4. $01 + 02 + 16 = 19$
5. d

14 - Introdução à Física Quântica

1. e
2. a) $-13,59 \text{ eV}$; b) $-6,8 \text{ eV}$.
3. c
4. b
5. a

15 - Teoria da Relatividade

1. d
2. $01 + 04 + 08 = 13$
3. c
4. e

RUMO AO ENSINO SUPERIOR

1. d
2. b
3. b
4. b
5. b
6. e
7. a
8. b
9. $08 + 16 + 32 = 56$
10. $01 + 08 = 09$
11. a) Polegar aponta para a direção e sentido da corrente elétrica e o indicador dá a direção e sentido do vetor campo magnético.
b) As linhas de indução magnética formadas por um fio infinito transportando corrente elétrica são círculos concêntricos ao fio.
c) O módulo do vetor campo magnético é diretamente proporcional à intensidade de corrente elétrica e inversamente proporcional à sua distância do fio.
12. d
13. c
14. $0,5 \text{ T}$ e sentido perpendicular ao plano da página, saindo dela.
15. a) 50 V e 125 W ;
b) 5 cm .
16. e
17. e
18. b
19. b
20. c
21. e
22. a
23. b
24. c
25. b
26. a

27. c
28. d
29. d
30. c
31. d
32. a
33. b
34. e
35. a) 100 V;
b) Anti-horário.
36. a) A corrente induzida no anel tem sentido horário, pois ela deve ter um sentido tal que cria um campo magnético que gera um fluxo induzido que tende a anular a variação do fluxo indutor.
b) A amplitude de oscilação do ímã diminui, pois, se há o aparecimento de energia elétrica no anel, deve haver perda de energia mecânica para garantir a conservação da energia total do sistema.
37. a
38. a
39. a
40. e
41. a
42. b
43. c
44. d
45. b
46. e
47. c
48. b
49. b
50. c
51. e
52. F - V - F - F - F.
53. a) 0,34 m;
b) $5,81 \cdot 10^{25}$ J;
c) $1,72 \cdot 10^{21}$ fótons;
d) Aproximadamente 2 W/m².
54. 10,2 eV
55. e
56. c
57. 4
58. a
59. c
60. d
61. a
62. a
63. a
64. d
65. d
66. c
67. c
68. d
69. c
70. b
71. a
72. d
73. $01 + 04 + 16 = 21$
74. b
75. F - V - F - V - F.
76. b
77. c
78. $01 + 04 + 16 = 21$
79. e
80. a
81. b
82. Aproximadamente $3,4 \cdot 10^{-22}$ J.
83. b

84. d
85. d
86. d
87. Aproximadamente $12 \cdot 10^{-14}$ Hz.
88. c
89. b
90. b
91. b
92. b
93. 80 N
94. c
95. e
96. e
97. e
98. c
99. e
100. $-\frac{1}{27} \mu\text{C}$
101. b
102. a
103. a) próton = up + up + down e
nêutron = up + down + down;
b) $1,28 \cdot 10^3$ N.
104. b
105. b
106. e
107. a) 225 N/C; b) 1800 N/C; c) 800 N/C.
108. b
109. a) $-5,0 \cdot 10^{-3}$ C; b) Poder das pontas. Campo elétrico mais intenso nas regiões pontiagudas.
110. a
111. a) $\frac{2mg}{E}$; b) $\frac{4km^2g^2}{a^2E^2} + mg$.
112. a) 30° ; b) 60°
113. b
114. $02 + 04 + 08 = 14$
115. a
116. a) $2,0 \cdot 10^8$ N/C; b) $\sqrt{2,0} \cdot 10^3$ m/s
117. $5 \cdot 10^2$ N/C
118. a) 4 N; c) 6 horas da tarde.
b) $\frac{1}{2}$;
119. d
120. e
121. a
122. b
123. e
124. a
125. $08 + 16 = 24$
126. d
127. a
128. $3,2 \cdot 10^{-2}$ J
129. a
130. a) 63 V;
b) 0,63 J.
131. $08 + 16 = 24$
132. d
133. d
134. d
135. a
136. c
137. a
138. a
139. a
140. a
141. b
142. d
143. a
144. d
145. b
146. b
147. b

