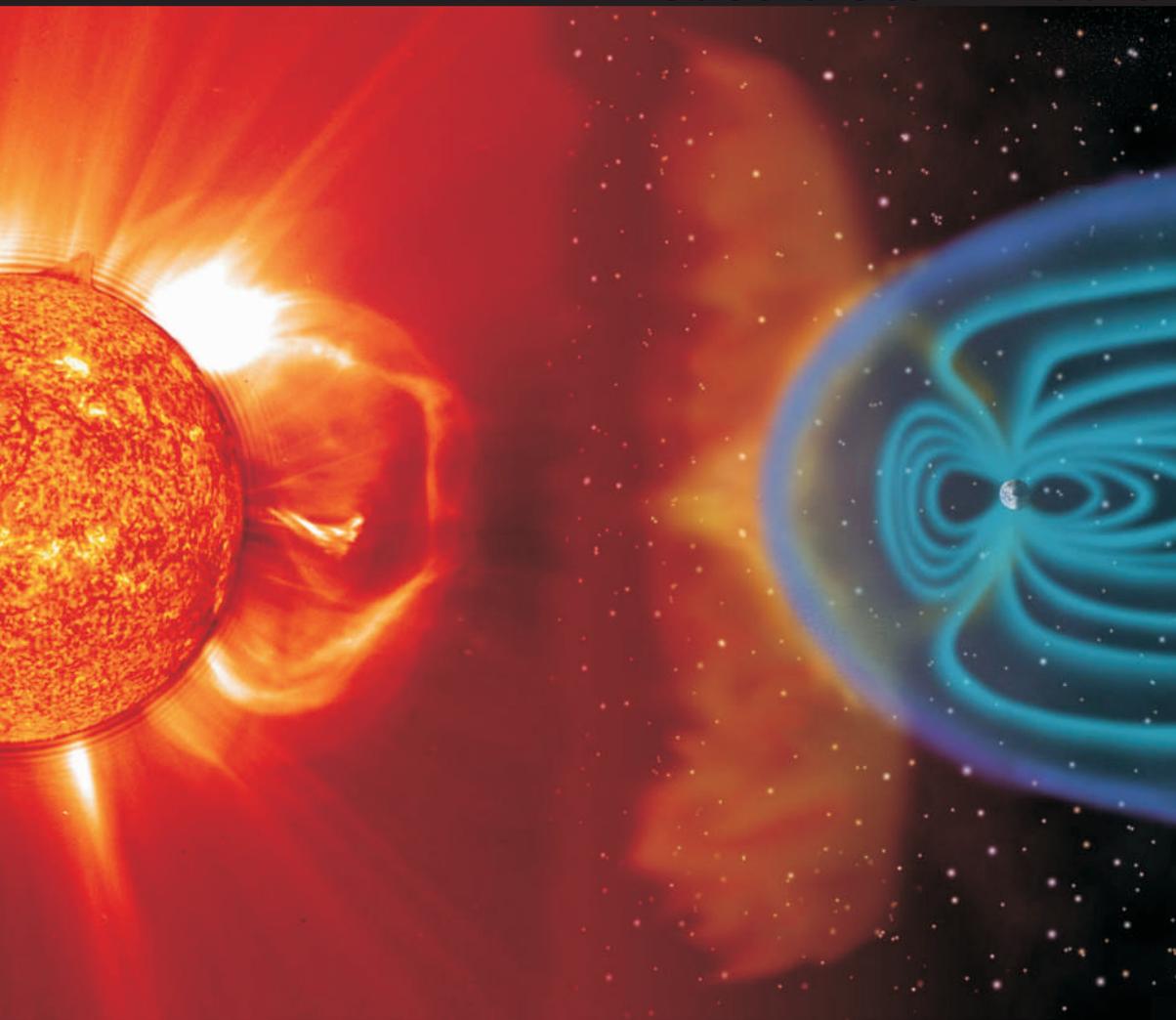


Física para o Ensino Médio

Gravitação, Eletromagnetismo e Física Moderna

Cássio Stein Moura



Física para o Ensino Médio

Gravitação, Eletromagnetismo e Física Moderna



Pontifícia Universidade Católica
do Rio Grande do Sul

Chanceler

Dom Dadeus Grings

Reitor

Joaquim Clotet

Vice-Reitor

Evilázio Teixeira

Conselho Editorial

Ana Maria Lisboa de Mello

Armando Luiz Bortolini

Bettina Steren dos Santos

Eduardo Campos Pellanda

Elaine Turk Faria

Érico João Hammes

Gilberto Keller de Andrade

Helenita Rosa Franco

Jane Rita Caetano da Silveira

Jerônimo Carlos Santos Braga

Jorge Campos da Costa

Jorge Luis Nicolas Audy – **Presidente**

Jurandir Malerba

Lauro Kopper Filho

Luciano Klöckner

Marília Costa Morosini

Nuncia Maria S. de Constantino

Renato Tetelbom Stein

Ruth Maria Chittó Gauer

EDIPUCRS

Jerônimo Carlos Santos Braga – **Diretor**

Jorge Campos da Costa – **Editor-Chefe**

Cássio Stein Moura

Física para o Ensino Médio

Gravitação, Eletromagnetismo e Física Moderna



edIPUCRS

Porto Alegre, 2011

© EDIPUCRS, 2011

CAPA Imagem livre da NASA

REVISÃO DE TEXTO Julia Roca dos Santos

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA Rodrigo Valls



EDIPUCRS – Editora Universitária da PUCRS

Av. Ipiranga, 6681 – Prédio 33

Caixa Postal 1429 – CEP 90619-900

Porto Alegre – RS – Brasil

Fone/fax: (51) 3320 3711

e-mail: edipucrs@pucrs.br - www.pucrs.br/edipucrs.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M929f Moura, Cássio Stein

Física para o ensino médio : gravitação, eletromagnetismo
e física moderna [recurso eletrônico] / Cássio Stein Moura. –

Dados eletrônicos – Porto Alegre : EDIPUCRS, 2011.

284 p.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/>>

ISBN 978-85-397-0130-8 (on-line)

1. Física – Ensino Médio. 2. Educação. I. Título.

CDD 372.35

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação da BC-PUCRS.

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfílmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial, bem como a inclusão de qualquer parte desta obra em qualquer sistema de processamento de dados. Essas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal), com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenizações diversas (arts. 101 a 110 da Lei 9.610, de 19.02.1998, Lei dos Direitos Autorais).

SUMÁRIO

Prefácio	6
1. Gravitação	9
2. Eletrostática	36
3. Lei de Coulomb	52
4. Campo elétrico	66
5. Potencial elétrico	80
6. Condutor carregado	93
7. Corrente elétrica	103
8. Resistência elétrica	111
9. Circuitos elétricos	124
10. Magnetismo	150
11. Lei de Lorentz	169
12. Física Moderna	206
13. Problemas Extras	244
Respostas dos exercícios selecionados	279
Bibliografia	281

PREFÁCIO

O ensino de jovens é um trabalho fascinante! Somente aqueles que se dedicam à carreira docente têm a satisfação de fazer essa descoberta. E é essa motivação que mantém muitos profissionais atuando na área, mesmo com todas as dificuldades existentes. Lembro-me até hoje de quando iniciei meu trabalho como professor de Ensino Médio. As incertezas, ansiedades e desafios que estavam para ser vencidos. Um dos quais se referia ao material didático a ser oferecido aos alunos. Existem excelentes obras na bibliografia nacional que poderiam ser citadas aqui. Algumas delas são relacionadas ao final do livro. No entanto, tais obras costumam abranger um universo imenso de informações que, muitas vezes, não se adaptam perfeitamente às condições locais dos estudantes. Essa constatação ocorreu-me logo no início das minhas atividades docentes. Sendo assim, iniciei um trabalho de confecção de uma *apostila* que se adequasse da melhor forma possível aos meus alunos. Com o passar dos anos, essa apostila foi tomando forma até chegar ao texto que ora apresento ao meu caro leitor. Foi um processo de aprimoramento contínuo, em que, a cada ano, eram sanadas as falhas da versão anterior.

A maioria dos livros didáticos é escrita por autores do centro do país e são voltados para alunos daquela região. O Sul do país carece de obras didáticas direcionadas para seus estudantes, em especial na área de física. E é com isso em mente que procurei desenvolver esse texto ao longo dos anos como professor de Ensino Médio na cidade de Porto Alegre. Um dos objetivos do Ensino Médio, entre tantos outros, é preparar o aluno para a prova de vestibular que dá acesso ao ensino superior. Nos livros que encontramos no mercado brasileiro, a grande maioria das questões de vestibular empregadas, como exemplos ou a título de exercícios, são provenientes de universidades concentradas na região Sudeste. Poucas são as questões selecionadas do Sul, e muito menos ainda das universidades de menor porte. Desta forma, coletei questões das grandes universidades do estado do Rio Grande do Sul bem como das universidades do interior, que muitas vezes são esquecidas pelos autores. Vale lembrar que várias dessas universidades *menores* têm excelente qualidade de ensino, inclusive ocupando posições de destaque em classificações emitidas por órgãos federais.

Alguns de nossos alunos acabam, por vontade própria, ou não, tentando uma vaga em universidades dos estados próximos de Santa Catarina e Paraná. É por isso que nossos vizinhos não foram esquecidos, e algumas questões foram selecionadas dentre suas universidades. Menciono, ainda, que os programas das provas de vestibular das duas mais tradicionais universidades do Estado, PUCRS e UFRGS, foram cuidadosamente analisados de forma que o conteúdo deste livro os cobrisse completamente, no que se refere a gravitação, eletromagnetismo e física moderna.

O texto foi escrito numa tentativa de torná-lo agradável não só para alunos colegiais, mas também para a população em geral que tenha interesse em aprender física. Várias partes foram escritas tendo-se em vista a divulgação científica para uma sociedade que necessita de pessoas informadas e cultas. Valorizei muito os aspectos conceituais dos temas abordados, mas sem esquecer o formalismo matemático quando se fizesse necessário.

Finalmente, gostaria de tecer alguns agradecimentos aos personagens que possibilitaram o desenvolvimento desta obra. Ao Professor Regis Ethur, que providenciou as sugestões iniciais ao texto. Aos alunos e alunas do Colégio Santa Dorotéia que foram as *cobaías* deste trabalho e que em muito contribuíram para a sua realização, constantemente sugerindo modificações e criticando de forma construtiva.

Espero que o leitor possa fazer bom uso desta obra e que ela possa servir para o engrandecimento do nosso povo!

Prof. Cássio Stein Moura
Julho de 2009.

<u>Potência de dez</u>	<u>Nome</u>	<u>Abreviatura</u>	<u>Exemplos</u>
10^{-15}	femto	f	fs (femtosssegundo)
10^{-12}	pico	p	ps (picosssegundo) pm (picometro)
10^{-9}	nano	n	nm (nanometro)
10^{-6}	micro	μ	μ C (microcoulomb) μ m (micrometro)
10^{-3}	mili	m	mC (milicoulomb) ml (mililitro) mm (milímetro)
10^0	-	-	-
10^3	quilo	k	kg (quilograma) km (quilômetro)
10^6	mega	M	MHz (mega-hertz) Mb (megabytes)
10^9	giga	G	GHz (giga-hertz) Gb (gigabytes)
10^{12}	tera	T	THz (tera-hertz) Tb (terabytes)

GRAVITAÇÃO

CAPÍTULO 1

A astronomia é uma das ciências mais antigas desenvolvidas pelo ser humano. Todas as civilizações que passaram pelo nosso planeta utilizaram-se do movimento dos astros para ritmar suas vidas. A observação da repetição periódica das posições dos astros nos céus serviu para orientar as épocas corretas para o plantio e a colheita da safra, bem como rituais de fertilidade e de sacrifícios aos deuses. Esta prática é evidenciada pela observação da orientação de antigas construções. Desde as pirâmides incas e astecas, na América, até os monumentos erguidos no Camboja, no sul da Ásia, passando pela Esfinge e as pirâmides no Egito, as direções principais costumavam seguir as coordenadas do Sol ou das estrelas. Devido à sua importância à geração e manutenção da vida na Terra, o Sol era louvado como um deus por algumas civilizações. Os egípcios o chamavam de deus *Rá*, enquanto na cultura greco-romana era chamado de Hélios. Por volta de 2000 a.C., os babilônios adotaram o calendário de 365 dias, correspondente ao ciclo solar. Ao longo da trajetória do Sol, definiram 12 grupos de estrelas diferentes cujos nomes identificariam cada um dos 12 meses do ano. Assim, se torna fácil saber em que mês do ano estamos: basta determinar em que constelação o Sol se encontra. Esta é a origem do zodíaco que conhecemos hoje. O Sol, a Lua e os cinco planetas conhecidos na época emprestaram seus nomes aos sete dias da semana em várias línguas.

Os planetas do sistema solar foram batizados com nomes dos deuses da mitologia greco-romana. Júpiter era o deus maior dos romanos e acabou emprestando seu nome ao maior dos planetas. Saturno, que perdeu seu poder para seu filho Júpiter, era o deus do tempo. Marte recebeu o nome do deus da guerra devido à sua cor avermelhada. Já Vênus, a mais formosa das deusas, era considerada a deusa do amor e da beleza. Netuno era irmão de Júpiter e recebeu deste o mar como esfera de domínio. O planeta de cor azulada leva o seu nome. Urano personificava o céu, o universo. Mercúrio era pequeno e servia como mensageiro dos deuses. Inventou a escrita, a aritmética, a geometria, a

previsão do tempo, o peso e a medida. O último planeta a ser descoberto e também o mais longínquo recebeu o nome de Plutão, o deus do inferno, que, segundo a mitologia, situa-se nos confins interiores da Terra. Vários nomes de estrelas e constelações originaram-se de personagens mitológicos (Andrômeda, Centauro, Órion, etc).

Plutão foi o pivô de uma controvérsia que perdurou desde o seu descobrimento, em 1930, até 2006 quando a União Astronômica Internacional resolveu classificá-lo como planeta anão. Isto porque seu tamanho é menor do que a Lua, e sua órbita não está no mesmo plano que os outros oito planetas. Nesta mesma categoria entram também Ceres, que possui órbita entre Marte e Júpiter, e Xena que está bem além de Plutão e leva 560 anos para dar uma volta em torno do Sol. Os outros oito planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) passaram a ser classificados de planetas clássicos.

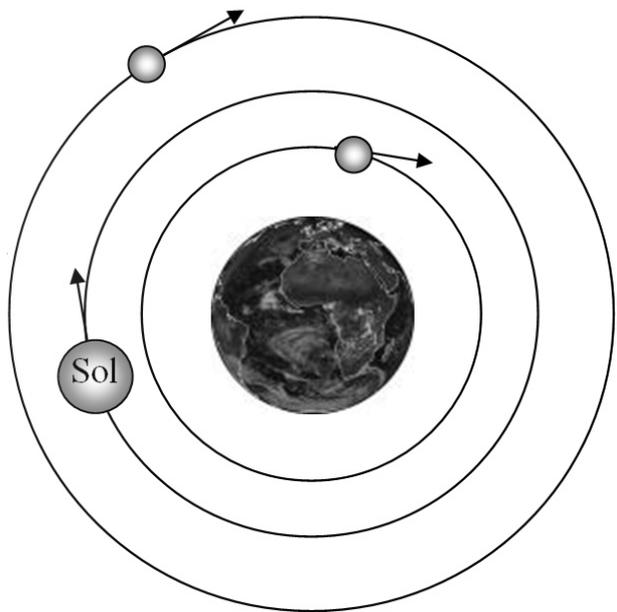
Os antigos gregos tornaram-se célebres não só por sua mitologia, mas também pela sua filosofia. Existiam várias escolas que buscavam explicações para a natureza que os cercava. Vamos nos ater às suas ideias sobre os astros.

Para um observador situado na superfície da Terra, parece bastante óbvio de imediato pensar que todos os astros giram em torno de nosso planeta. Basta observar o Sol e a Lua e ver que todos os dias eles nascem no oriente e se põem no ocidente. O mesmo acontece com as estrelas. A esta movimentação dos objetos celestes damos o nome de *movimento aparente*. O movimento real seria aquele observado por alguém que estivesse longe do nosso sistema solar. Os gregos desenvolveram duas teorias para o movimento real dos astros: o *heliocentrismo* e o *geocentrismo*.

Aristarco de Samos (310 - 230 a.C.) propôs o modelo heliocêntrico, no qual o Sol seria o centro do universo e os planetas girariam em torno dele em trajetórias circulares. Além disso, foi o primeiro a propor que a Terra possuía um movimento diário de rotação. Apesar de seus cálculos mostrarem que o tamanho do Sol seria muito maior do que a Terra, seu modelo foi refutado devido à falta de *paralaxe* das estrelas. Para entendermos o que é paralaxe, imagine um lápis colocado verticalmente a cerca de 30 cm dos olhos. Quando fechamos o olho direito vemos o lápis em determinada posição. Ao fecharmos o olho esquerdo e abrirmos o direito, temos a impressão que o lápis encontra-se em

nova posição. Mas sabemos que ele não foi deslocado. O mesmo deveria acontecer com as estrelas. Em janeiro, deveríamos observá-las em determinada posição, e em julho, quando a Terra encontra-se no outro extremo da órbita, deveríamos ver as estrelas em uma posição levemente alterada. No entanto, os gregos não conseguiram observar esta diferença e refutaram a teoria. Isto se deve ao fato de as estrelas estarem muito distantes da Terra. Experimente afastar o lápis para uma distância de 30 m! Como a distância das estrelas é muito grande, o efeito de paralaxe estelar é extremamente pequeno, o que só foi detectado com telescópios muito potentes, em 1838.

Platão (427-347 a.C.) acreditava que a natureza deveria ser explicada pelas figuras geométricas perfeitas, entre elas a circunferência e a esfera. Então, propôs que as estrelas estariam fixas a uma esfera muito grande, à qual damos o nome de *abóbada celeste*, e esta esfera giraria em torno da Terra. O Sol ocuparia uma circunferência interna da

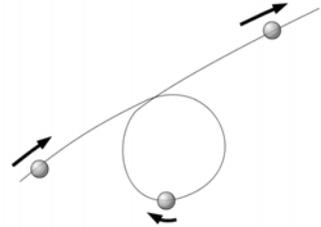


abóbada e teria seu próprio movimento de rotação em torno da Terra. O problema era explicar o movimento dos planetas...

A palavra *planeta* tem origem no grego e quer dizer *errante*. É fácil identificar um planeta no céu e diferenciá-lo das estrelas. Os primeiros costumam ter um brilho fixo durante a noite, enquanto as últimas parecem cintilar. Até a invenção do telescópio, eram conhecidos somente os planetas visíveis a olho nu: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, sendo os dois primeiros internos à Terra e os outros três externos à Terra. O planeta Urano só foi descoberto em 1781 graças ao aprimoramento do telescópio refletor pelo astrônomo inglês William

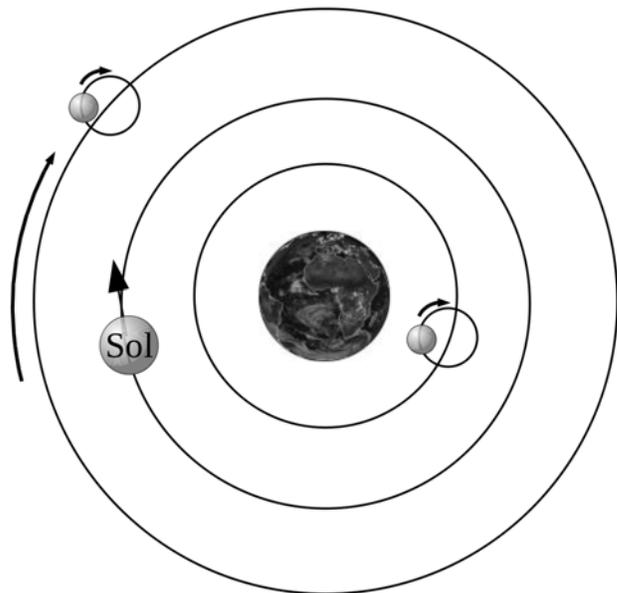
Herschel (1738-1822). O movimento aparente das estrelas ao longo do ano corresponde a trajetórias circulares que seriam descritas por pontos na abóbada celeste. O movimento aparente dos planetas se dá sobre o plano que contém o caminho do Sol.

O curioso é que, em determinadas épocas do ano, os planetas parecem se movimentar para trás por alguns dias e depois novamente para frente, descrevendo a figura de um laço, como na figura ao lado.



Para explicar o movimento retrógrado dos planetas, Eudoxo de Cnido (409-356 a.C.), discípulo de Platão, propôs a associação de várias esferas para cada um deles. O centro de rotação de todas as esferas seria a Terra, mas elas poderiam ter eixos e velocidades diferentes.

No entanto, existia uma contradição neste modelo: quando os planetas exibem o movimento retrógrado, seu brilho diminui. Para sanar a discrepância, Cláudio Ptolomeu de Alexandria (127-151 d.C.) propôs a seguinte hipótese: um certo ponto matemático descreveria uma circunferência em torno da Terra, e o planeta, por sua vez, descreveria uma circunferência em torno deste ponto, conforme esquematizado na figura abaixo. Algo parecido com o movimento descrito pelo ventil do pneu de uma motocicleta que se aventura no movimento esférico de um *globo da morte*.



Este modelo parecia tão perfeito, dentro da precisão de medida da época, que era de 2°, que prevaleceu por mais de 15 séculos. Os árabes chegaram a chamar a obra de Ptolomeu de *Almagesto*, o “maior

dos livros”. Santo Agostinho, um dos maiores pensadores da Igreja, era seguidor das teorias ptolomaicas, e incorporou a ideia geocêntrica às Verdades assumidas pela Igreja.

No século XV, iniciaram-se as grandes navegações. Esta atividade exige grande precisão, especialmente em viagens de longo curso. Os navegadores daquela época repararam que o modelo em vigor não era preciso o suficiente. Além do mais, o calendário possuía um erro de vários dias na previsão do início das estações do ano.

No ano de sua morte, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) publicou sua obra completa, na qual defendia a ideia que o movimento dos corpos celestes deveria seguir regras simples, e não as figuras geométricas perfeitas. A sua hipótese era baseada no *heliocentrismo*, no qual os planetas, incluindo a Terra, orbitam em torno do Sol. As órbitas seriam círculos concêntricos e o Sol ocuparia uma posição levemente deslocada do centro. Além de explicar o movimento retrógrado dos planetas e sua diminuição de brilho, permitiu estimar a distância de cada planeta ao Sol, em unidades da distância Terra-Sol. Os valores por ele obtidos estão muito próximos dos valores aceitos atualmente. Ainda por cima, Copérnico conseguiu determinar com notável precisão o período de revolução de cada planeta em torno do Sol, o *período sideral*. Ele fez a primeira observação que *o período de revolução do planeta aumenta regularmente quão mais distante ele estiver do Sol*. Também foi o primeiro a sugerir que os outros planetas fossem semelhantes à Terra, cada um com sua própria gravidade.

As ideias de Copérnico sofreram grande resistência, inclusive sendo acusados de hereges aqueles que contrariassem o geocentrismo. Martinho Lutero (1483-1546), teólogo alemão e fundador da reforma protestante, era opositor ferrenho ao modelo heliocêntrico. Ele chegou a comparar o movimento da Terra em torno do Sol, como se ao invés de um burro puxar a carroça para frente, estaria sim a empurrar o chão para trás. Giordano Bruno (1548-1600) foi queimado na fogueira por defender as ideias de Copérnico. Em 1616, a obra de Copérnico foi classificada entre os livros proibidos pela Igreja, o Index, saindo da lista em 1835.

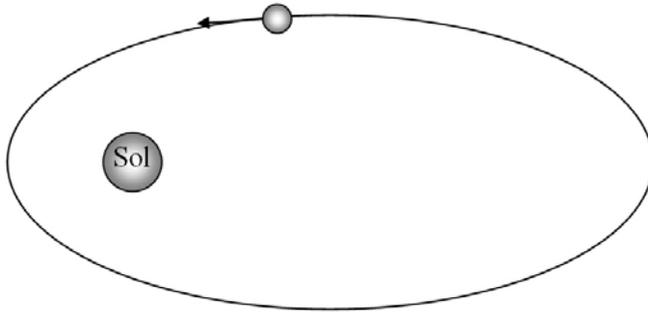
O italiano Galileu Galilei (1564-1642) realizou grandes feitos na ciência. Entre eles, desenvolveu os telescópios construídos pelos holandeses. Ao apontar o telescópio para o céu, fez grandes descobertas, como as manchas solares e o relevo da Lua; com isto viu-se

que nosso satélite natural não é uma esfera perfeita. Apontando o telescópio para Vênus, Galileu observou que o planeta possui fases semelhantes às da Lua, o que mostra que o planeta não possui luz própria, mas que é iluminado pelo astro em torno do qual ele gira. Observando Júpiter, ele descobriu a existência de quatro luas orbitando o planeta, as *luas galileanas*. Além disso, descobriu uma infinidade de estrelas que não são visíveis a olho nu, e que Ptolomeu nunca tinha mencionado. Todas essas observações corroboraram a ideia de que a Terra não era o centro do universo. Em 1633, Galileu foi julgado pela acusação de heresia. Para evitar ser queimado na fogueira, ele desmentiu perante o tribunal da inquisição todas as suas ideias sobre o universo. Mas ao deixar o julgamento, disse baixinho sua célebre frase: “Porém, ela (a Terra) se move”. Passou o resto da vida em prisão domiciliar. Durante este tempo, escreveu e publicou clandestinamente suas ideias heliocêntricas.

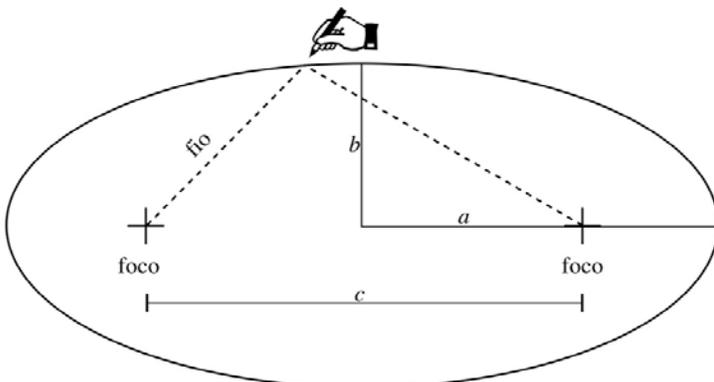
Tycho Brahe (1546-1601) foi um astrônomo dinamarquês que dedicou a sua vida a medir as posições dos astros com extrema precisão. Seu observatório foi construído na ilha de Hveen na baía de Copenhague, graças ao apoio do rei Frederico II, um grande empreendimento para a época. Neste observatório não existiam telescópios, mas apenas instrumentos de observação a olho nu. A precisão das medidas situava-se em torno de 4', muito menor que os 2° da antiguidade. Com a morte do rei, em 1599, Brahe perdeu o emprego e foi trabalhar para o imperador Rodolfo II, em Praga. No ano seguinte, juntou-se a ele o assistente alemão Johannes Kepler (1571-1630), que foi fundamental para o desenvolvimento da astronomia moderna. Cerca de um ano após Kepler ter começado a trabalhar com Brahe, este morreu de uma enfermidade. De posse dos dados coletados, Kepler enunciou três leis.

1ª Lei de Kepler: Lei das órbitas

Os planetas orbitam em torno do Sol descrevendo trajetórias elípticas, com o Sol ocupando um dos focos da elipse.



Vamos primeiro entender que figura geométrica é esta. Elipse é definida como o *lugar geométrico* no qual a soma das distâncias dos focos a cada ponto é constante. Podemos desenhar uma elipse da seguinte maneira. Basta fixar dois pregos sobre uma superfície plana a certa distância um do outro e, a seguir, uni-los com um fio bastante solto. Com a ponta de um lápis, espichamos o fio ao máximo. Mantendo o fio espichado, circulamos o lápis em torno dos pregos sobre a superfície e obtemos assim uma elipse. Na figura acima exageramos a *excentricidade* da órbita para melhorar a visualização. Na figura abaixo, mostramos os dois focos da elipse e o fio que os une.



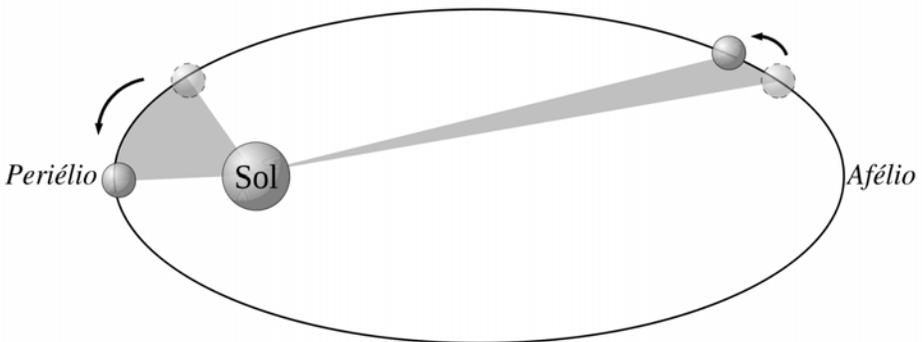
Define-se como excentricidade a razão entre a distância entre os focos c e o semieixo maior a :

$$e = \frac{c}{a}$$

Quando a excentricidade aproxima-se de zero, ou seja, c aproxima-se de zero, temos uma circunferência. De uma forma geral, a excentricidade das órbitas dos planetas se aproxima de zero, ou seja, suas trajetórias são praticamente circulares. A órbita de Marte, que levou Kepler à dedução de sua primeira lei, tem excentricidade de apenas 0,093. Observe a precisão de suas medidas! A excentricidade das órbitas da Terra (0,017), Vênus (0,0068) e Netuno (0,0086) são ainda menores. Por outro lado, outros planetas são bastante excêntricos: Mercúrio (0,206), Plutão (0,249).

2ª Lei de Kepler: Lei das áreas

A linha que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.



Na figura acima, representamos duas situações: o planeta numa região em torno do *periélio* e em outra região em torno de *afélio*. Chama-se de periélio o ponto da órbita do planeta mais próximo do Sol, e de afélio o ponto da órbita mais afastado do Sol.

Supondo que o planeta tenha levado o mesmo tempo para se deslocar em cada uma das situações, as áreas hachuradas devem ser iguais, conforme a 2ª lei de Kepler. Com isto, concluímos que a velocidade do planeta nas proximidades do Sol é maior do que a velocidade na região mais afastada. Na verdade, a variação da velocidade é pequena. No caso da Terra, a velocidade de translação no periélio é de cerca de 30,3 km/s, enquanto que no afélio é de cerca de 29,3 km/s, uma diferença da ordem de 3%.

3ª Lei de Kepler: Lei dos Períodos

A razão entre o quadrado do período de translação e o cubo da distância média ao Sol é uma constante.

Fica mais claro se expressarmos esta lei em uma fórmula:

$$\frac{T^2}{d^3} = \text{constante} .$$

A constante na fórmula acima depende da massa solar M da seguinte forma:

$$\text{constante} = \frac{4\pi^2}{GM} ,$$

onde, $M = 1,9 \times 10^{30}$ kg e G é chamada de constante universal da gravitação e vale $6,67 \times 10^{-11}$ N.m²/kg².

Igualando as duas expressões acima podemos escrever a forma geral da terceira lei de Kepler:

$$\frac{T^2}{d^3} = \frac{4\pi^2}{GM} .$$

Uma informação importante que esta equação nos fornece é que: quanto mais distante o planeta se encontra do Sol, maior o seu período, o que nos parece bastante razoável. Por exemplo, Mercúrio está a $0,58 \times 10^8$ km do Sol e seu período de translação é de apenas 88 dias terrestres,

enquanto a Terra está a $1,50 \times 10^8$ km do Sol e sabemos que seu período de translação é de 365 dias. Já Plutão, o mais longínquo dos planetas está a $59,0 \times 10^8$ km do Sol e leva 247,7 anos terrestres para completar uma volta completa.

Observações:

- Kepler deduziu suas leis para os planetas girando em torno do Sol. No entanto, elas valem para qualquer objeto orbitando um corpo celeste mais massivo. Por exemplo, a Lua girando em torno da Terra segue exatamente as mesmas leis. A diferença é que a massa que entra na terceira lei é a massa do corpo central, no caso, a Terra. O mesmo vale para os satélites artificiais da Terra e os cometas que orbitam em torno do Sol. Mas como fazer para colocar um satélite em órbita? É o que veremos a seguir.

- O tempo de rotação da Terra sobre seu próprio eixo é de aproximadamente 24h. Na verdade, a duração exata do dia é 23h 56min 4s. E o tempo que a Terra leva para dar uma volta completa em torno do Sol é de 365 dias 5h 48min 46s.

Exemplos:

1. Sabendo que Vênus tem um período de translação de 225 dias terrestres, determine sua distância do Sol.
2. Sabendo que Marte está a $2,28 \times 10^8$ km do Sol, determine seu período de translação.

Exercícios:

1. Sabendo que Júpiter possui um período de translação de 11,86 anos terrestres, determine sua distância ao Sol.
2. Se a distância de Saturno ao Sol é de $14,2 \times 10^8$ km, quanto tempo ele leva para dar uma volta completa?

LEI UNIVERSAL DA GRAVITAÇÃO

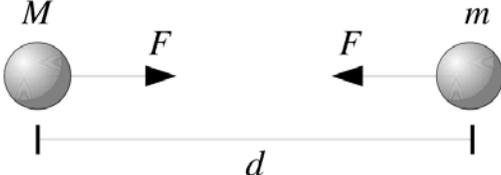
O inglês Isaac Newton (1642-1727) foi um dos maiores gênios da matemática e da física. Entre suas maiores conquistas estão o desenvolvimento do cálculo diferencial e integral (de forma independente Leibnitz chegou aos mesmos resultados) e importantes contribuições na mecânica e na ótica. Já conhecemos as três leis de Newton que definem muito bem o conceito de força.

Quando Newton nasceu, seu pai já havia falecido e sua mãe ficou encarregada de tomar conta da fazenda da família. Quando tinha 23 anos, uma praga atingiu a poluída Londres, dizimando 1/7 da população, e Newton refugiou-se na fazenda para evitar sua contaminação. Aquele ano foi o mais prolífico de sua vida, pois passava o dia inteiro pensando em ciências. Um de seus questionamentos era o seguinte: será que a força que atrai uma maçã em queda livre em direção à Terra é a mesma que mantém a Lua em órbita da Terra? A resposta é sim. Mas aí podemos nos questionar, então por que a Lua não cai em direção à Terra? Vamos primeiramente nos ocupar da primeira pergunta.

Newton propôs a seguinte lei, que ficou conhecida como a Lei Universal da Gravitação:

Matéria atrai matéria na razão direta do produto de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância que as separa.

Matematicamente expressamos com a seguinte fórmula:

$$F = G \frac{mM}{d^2}$$


Onde m e M são as massas e d é a distância entre os centros dos corpos. Observe que, quando considerarmos corpos esféricos como, por exemplo, a Terra, o valor de d a ser colocado na fórmula é a distância entre o centro dos corpos. G é a constante universal da gravitação:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2} .$$

É curioso que o valor desta constante foi determinado mais de um século após Newton tê-la proposto. Isto porque seu valor é extremamente pequeno, o que requer medidas muito precisas. Para esta determinação pode-se usar uma balança de torção, consistindo em uma haste horizontal com esferas de chumbo que pode girar em torno de seu eixo vertical. Outras esferas de chumbo são colocadas próximas daquelas e se observa a força de atração gravitacional entre elas. Um aparato similar foi usado por Coulomb para estudar a força de interação elétrica que veremos no próximo capítulo.

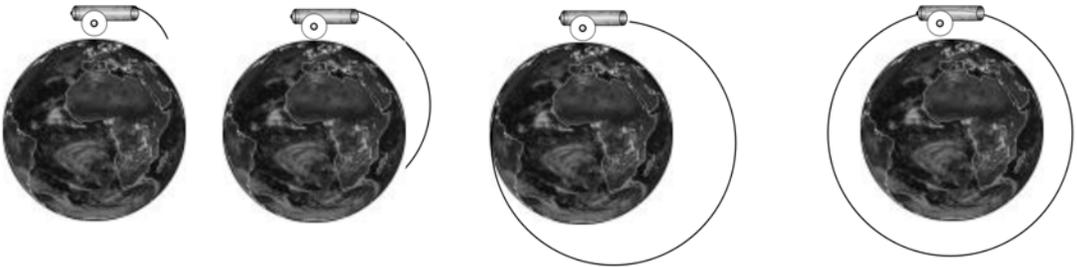
Lembremos que a força é uma entidade vetorial e, portanto, para ser completamente caracterizada, além de sua intensidade e unidade, necessita de uma orientação no espaço. A intensidade é dada pela fórmula acima. A unidade de força é newton. E a sua direção?

A força gravitacional entre dois corpos é sempre atrativa e orienta-se sobre a linha que une os dois corpos, apontando na direção de seus centros. É devido a isto que sempre somos atraídos em direção à Terra. Da mesma forma, atraímos o planeta Terra em nossa direção; porém como a massa de uma pessoa é muito menor do que a massa de um planeta, podemos desprezar o efeito que a Terra sofre devido à atração de uma pessoa.

Da fórmula acima, vemos que: quanto maior forem as massas, mais intensa será a atração. Na Lua, a atração gravitacional que uma pessoa sofre em sua superfície é cerca de sete vezes menor do que na Terra, devido à massa da Lua que é muito menor do que a da Terra. É por isso que os astronautas, quando lá estiveram, podiam dar saltos de vários metros de distância com a maior facilidade.

Vamos agora responder a segunda pergunta: por que a Lua e os outros satélites artificiais não caem em direção a Terra, se eles estão sendo atraídos na sua direção? Para melhor compreender a situação, vamos observar a figura abaixo, inicialmente proposta por Newton. Imaginemos que, sobre uma alta montanha na superfície da Terra, exista um canhão pronto para disparar um projétil. Se o canhão tiver pouca potência, a bala

disparada cairá logo após o disparo. Isto porque existe uma força gravitacional puxando a bala para o centro da Terra. Se aumentarmos a potência do canhão, a bala irá mais longe, mas ainda assim cairá no chão. Se aumentarmos cada vez mais a potência do canhão, chegará determinado momento em que o projétil retornará ao ponto de partida e até passará adiante. Neste instante, a bala do canhão entrou em órbita da Terra. Se não houvesse força gravitacional no primeiro disparo, a bala prosseguiria em movimento retilíneo uniforme. Então, é a força gravitacional que mantém o projétil em órbita. Isto se aplica tanto a satélites artificiais quanto naturais, no caso a Lua. Podemos dizer então que os satélites estão, na verdade, eternamente caindo em direção à Terra...



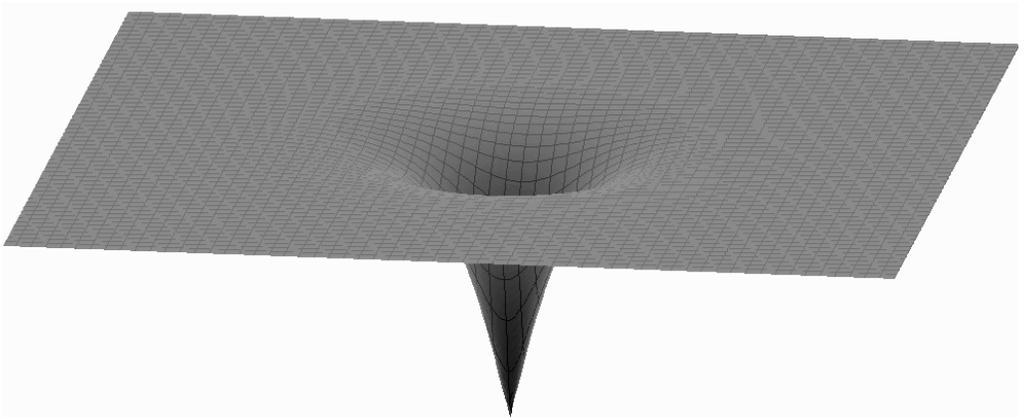
CAMPO GRAVITACIONAL

Costumamos classificar forças em dois tipos: **forças de contato** e **forças de ação à distância**. Forças de contato são aquelas que necessitam de contato para atuarem sobre determinado corpo. Por exemplo, podemos citar a força de atrito. Se não houver contato entre dois corpos, não haverá atrito. Estamos também acostumados a empurrar objetos com nossas mãos. Se não tocarmos nos objetos não conseguiremos movê-los. Forças de ação à distância são aquelas que não necessitam de contato para atuarem sobre determinado corpo. Entre elas estão a força gravitacional, a força elétrica e a força magnética. Vamos nos ocupar da primeira.

Quando um corpo cai em queda livre em direção à Terra, sabemos que existe uma força puxando-o para baixo, mas não existe contato entre o planeta e o corpo até o instante que este toque o solo. Não existe uma “mão” que saia do chão e puxe o corpo em sua direção. Por isso chamamos a força gravitacional de força de ação à distância.

É muito útil introduzir o conceito de *campo* quando estudamos forças de ação à distância. Em física, **campo é uma região de influência**, ou uma região onde atua determinada força. Podemos dizer que a Terra possui à sua volta um campo gravitacional. Todo campo gravitacional é sempre **atrativo** e diminui de intensidade à medida que aumenta a distância entre os corpos.

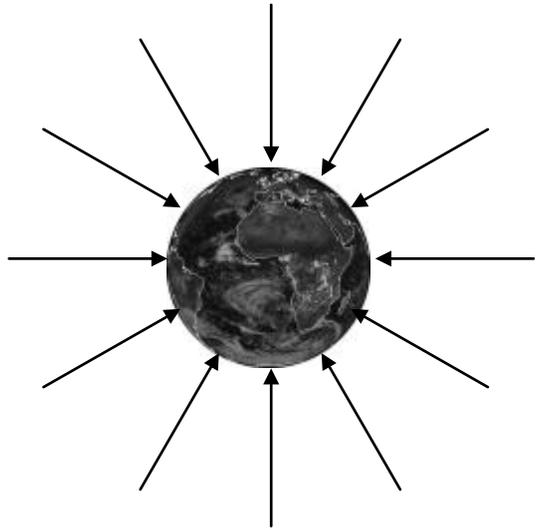
Dessa forma, ao invés de pensarmos na atração gravitacional como forças de ação mútua, podemos trabalhar com o conceito de **campo gravitacional** existente ao redor de um determinado corpo. Para entender melhor, vamos imaginar que nosso universo fosse bidimensional. Podemos supor que o universo fosse um lençol esticado. Se colocássemos uma pedra no centro do lençol, ela provocaria uma deformação como na figura abaixo. Qualquer outro corpo que fosse colocado na proximidade do buraco criado pela pedra, ou seja, na região de influência, cairia em direção a ela. Corpos que estivessem mais longe não sentiriam a deformação do lençol e não seriam atraídos, pois estariam fora do campo gerado pela pedra.



A figura do lençol é bastante útil para visualizarmos um campo gravitacional. Mas normalmente utilizamos outra representação de campo. Ela consiste de linhas indicando a orientação da força. Como o campo gravitacional é sempre atrativo, as linhas devem apontar para o centro do planeta. Na região próxima da superfície, sabemos que o campo é mais intenso e isto está representado pela proximidade das linhas. Quando mais próximas entre si estiverem as linhas, mais intenso será o

campo. Num ponto afastado da superfície, as linhas estão bastante distantes umas das outras, indicando que o campo é menos intenso.

Vamos supor que possuímos um pequeno objeto com uma massa m muito menor que a massa da Terra. A este objeto vamos dar o nome de **corpo de prova**. Escolhemos este nome porque o corpo servirá para determinar a intensidade do campo em várias regiões do espaço. Sempre que colocarmos o corpo de prova no campo gravitacional da Terra,



verificaremos que atua sobre ele uma força que aponta para o centro do planeta. Desta maneira podemos fazer um levantamento de todas as *linhas de campo gravitacional*. Este corpo de prova está sujeito a uma força peso, dada por:

$$\vec{P} = m \vec{g} .$$

Daí, definimos campo gravitacional pela razão:

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m} .$$

Estamos acostumados a dizer que o módulo de \vec{g} na superfície da Terra vale $9,8 \text{ m/s}^2$. Mas empregando a definição acima, podemos

também dizer que o módulo de \vec{g} vale 9,8 N/kg, ou seja, cada quilograma de massa sofre uma força de 9,8 newtons.

Se deslocarmos o corpo de prova para regiões mais afastadas da superfície do planeta, verificaremos que o campo gravitacional diminui. Por exemplo, se o corpo de prova estiver a 400 km do nível do mar, o módulo do campo gravitacional será 8,70 N/kg, uma redução de quase 10 %.

Por outro lado, se formos na direção contrária, ou seja, rumo ao centro do planeta, o peso do corpo de prova tende a diminuir. Isso porque, à medida que nos aprofundamos, deixamos para trás certa quantidade de matéria que, segundo a lei universal da gravitação, também exerce atração sobre o corpo, puxando-o em direção à superfície. Se fosse possível atingir o centro da Terra, o corpo de prova seria igualmente atraído em todas as direções, resultando em peso nulo.

Exemplo:

3. Utilizando a lei da gravitação universal e a definição de campo gravitacional, calcule a aceleração da gravidade na superfície da Terra. Dados: massa da Terra = $5,98 \times 10^{24}$ kg, raio da Terra = $6,37 \times 10^6$ m.

Exercícios:

3. Sabendo que a massa de Júpiter é $1,908 \times 10^{27}$ kg e que seu raio médio é de 7×10^4 km, determine o valor da aceleração da gravidade em sua superfície.

4. Uma criança de 3 kg é trazida ao mundo por uma parteira de 65 kg. Calcule a força gravitacional que a parteira exerce sobre a criança quando o centro de massa delas estão separados por uma distância de 1 cm.

5. Calcule a força gravitacional que a Lua exerce sobre a criança do problema anterior no momento de seu nascimento, sabendo que o astro se encontra a uma distância de $3,84 \times 10^8$ m e possui uma massa de $7,0 \times 10^{22}$ kg.

ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Sabemos que a energia potencial gravitacional nas proximidades da superfície terrestre é dada por $E_{PG} = m g h$, onde m é a massa do corpo que se encontra a uma altura h do solo. A aceleração da gravidade é representada por g . No entanto, se nos distanciarmos muito da superfície da Terra, esta fórmula perde a validade. No caso de corpos que se encontram a distâncias astronômicas como, por exemplo, o sistema Terra-Lua, a fórmula que nos fornece o valor adequado da energia potencial gravitacional é:

$$E_{PG} = -G \frac{mM}{d}$$

Observa-se que nesta fórmula aparecem as massas de ambos os corpos envolvidos. Quanto maior forem suas massas, maior será o módulo da energia potencial, isto é, mais difícil será separá-los. A distância d é medida entre o centro dos corpos e, pelo fato de estar no denominador, indica que a energia de interação entre os corpos somente será zero quando eles estiverem infinitamente separados. O sinal negativo indica que a tendência de qualquer sistema celeste que estiver em equilíbrio continue em equilíbrio. Em outras palavras, se quisermos desmanchar um conjunto planetário será necessário dar muita energia para que o módulo de E_{PG} vá a zero, à medida que a distância entre os corpos aumenta.

MOVIMENTO DE SATÉLITES

Como vimos anteriormente, um projétil pode entrar em órbita se ele for disparado com velocidade suficiente. O primeiro satélite artificial posto em órbita, o Sputnik, foi disparado pela extinta União Soviética, em 1957, e possuía uma altitude média de 550 km e período de 96 min. Satélites atuais possuem várias aplicações: coleta de dados meteorológicos, controle de queimadas, espionagem militar e, principalmente, telecomunicações.

Proprietários de antenas parabólicas de televisão estão acostumados a direcionar suas antenas para determinado ponto no céu para que possam receber o sinal das emissoras. Ao se ajustar a orientação de uma antena, apenas se está apontando-a na direção de um satélite retransmissor. Poderíamos nos perguntar, como o satélite não cai em direção à Terra, mas fica aparentemente parado no céu? Este tipo de satélite pertence a um tipo muito importante, o qual chamamos de *geoestacionário*. Na verdade, um satélite geoestacionário possui exatamente a mesma velocidade angular da Terra. Isto quer dizer que a cada 24 horas o satélite dá uma volta completa. Como o raio da órbita de tais satélites é maior que o raio terrestre, eles possuem uma velocidade linear muito maior do que a superfície da Terra. Outra condição para que o satélite seja geoestacionário é que ele esteja sobre a linha do Equador. Este fato torna o Brasil um dos melhores pontos do planeta para lançar este tipo de satélites, pois é o país que possui a maior extensão da linha do Equador sobre seu território. O governo brasileiro possui uma importante base de lançamentos na cidade de Alcântara, vizinha de São Luís do Maranhão. Neste mundo, cada vez mais dependente de telecomunicações, uma base deste tipo torna-se uma riqueza imensa. Riqueza esta que tem atraído a atenção de países ditos desenvolvidos.

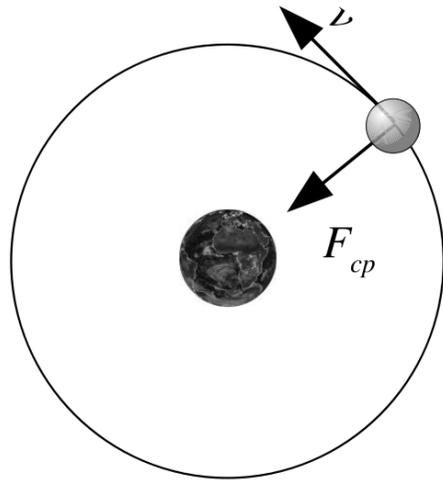
A velocidade de um satélite v depende apenas do raio r da sua órbita e da massa M do corpo central que o mantém em órbita, no caso, a massa da Terra. Veremos, a seguir, como determinar esta velocidade.

Um corpo de massa m em movimento circular uniforme (MCU) está sujeito a uma aceleração centrípeta dada por:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{r}$$

Pela 2ª lei de Newton,
 $F = ma$, temos:

$$F_{cp} = ma_{cp} = \frac{mv^2}{r}$$



No caso de um satélite, a força centrípeta é a própria força gravitacional. Então, trocando a distância entre o centro do planeta e o satélite d na lei universal da gravitação por r , o raio da órbita, temos que:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GmM}{r^2} \Rightarrow v^2 = \frac{GM}{r}$$

Ou então,

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Apesar de, ao deduzir a expressão acima, termos em mente um satélite artificial da Terra, ela é uma excelente aproximação para os planetas que descrevem órbitas de baixa excentricidade em torno do Sol. Basta substituir M pela massa solar. Vemos que, quanto maior o raio da órbita, menor é a velocidade linear, ou tangencial, do planeta. É por isto que Plutão possui uma velocidade de translação de apenas 4,7 km/s, o que o faz demorar 247,7 anos terrestres para dar uma volta completa em torno do Sol. Já Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol, possui uma velocidade de estonteantes 47,9 km/s e dá uma volta completa em apenas 88 dias terrestres.

Vimos que todos os satélites geoestacionários possuem exatamente a mesma velocidade. Da fórmula acima podemos concluir que todos eles encontram-se à mesma altura do solo. Isto gera um problema de congestionamento aéreo!

Os satélites geoestacionários, que estão todos à mesma distância do centro do planeta, e além de possuírem a mesma velocidade orbital, possuem também a mesma energia potencial. Esta capa esférica que contém estes satélites pode ser chamada de uma *superfície equipotencial gravitacional*. Satélites que orbitam outras alturas também descrevem uma capa esférica, porém com raio, velocidade e energia potencial gravitacional próprios. Cada uma destas capas é, por sua vez, uma superfície equipotencial.

Exemplo:

4. Determine a que altura da superfície da Terra deve ser posicionado um satélite para que ele seja geoestacionário. Dados: massa da Terra = $5,98 \times 10^{24}$ kg, raio da Terra = $6,37 \times 10^6$ m.

Exercícios:

6. (FURG) Suponha que Ganimedes, uma das grandes luas de Júpiter, efetua um movimento circular uniforme em torno deste planeta. Então, a força que mantém o satélite Ganimedes na trajetória circular está dirigida

- a) para o centro do Sol.
- b) para o centro de Júpiter.
- c) para o centro da Terra.
- d) para o centro de Ganimedes.
- e) tangente à trajetória.

7. (FURG) Um satélite na superfície da Terra tem uma certa massa m e um peso P . Se esse satélite for colocado em órbita, a uma altitude igual ao raio da Terra, sua massa e seu peso, respectivamente, serão:

- a) m e nulo
- b) $m/2$ e $P/2$
- c) m e $P/2$
- d) $m/4$ e $P/4$
- e) m e $P/4$

8. (UFSM) Dois corpos esféricos e homogêneos de mesma massa têm seus centros separados por uma certa distância, maior que o seu diâmetro. Se a massa de um deles for reduzida à metade e a distância entre seus centros, duplicada, o módulo da força de atração gravitacional que existe entre eles ficará multiplicado por

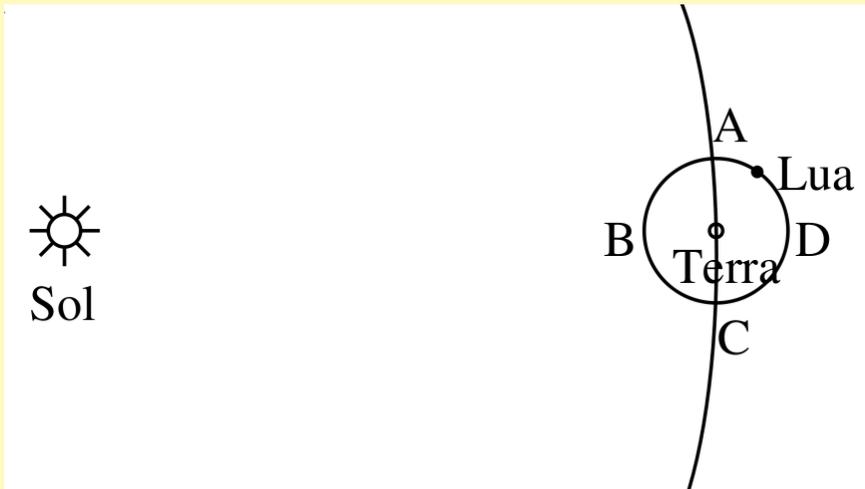
- a) 8.
- b) 4.
- c) 1.
- d) $1/4$.
- e) $1/8$.

9. (La Salle) Após uma pescaria da Confraria dos Físicos do Unilassalle, o professor “M” começa uma palestra sobre Astrofísica e sobre Lei de Newton da gravitação universal. O assunto levou o grupo a refletir sobre as forças gravitacionais que atuam entre o planeta Terra e o Sol. Com referência a essas forças, é correto afirmar que:

- a) a força que o planeta Terra exerce sobre o Sol é maior que a força que o Sol exerce sobre a Terra.
- b) a força que o Sol exerce sobre a Terra é maior que a força que a Terra exerce sobre o Sol.
- c) as forças entre a Terra e o Sol anulam-se, pois têm sentidos opostos e módulos iguais.
- d) as forças que a Terra e o sol exercem mutuamente têm o mesmo módulo.
- e) apenas o Sol exerce força sobre a Terra, pois somente as estrelas possuem capacidade de gerar campos gravitacionais.

10. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão com base na figura e no enunciado abaixo.

A figura representa o Sol e, aproximadamente, as trajetórias da Terra e da Lua.



Em relação às posições A, B, C e D da figura, é correto afirmar que

- a) D é a posição mais próxima da Lua nova.
- b) B é a posição mais próxima da Lua cheia.
- c) em A e C podem ocorrer eclipses lunares.
- d) um eclipse solar, quando ocorre, é em torno da posição B.
- e) a fase da Lua é crescente em B e minguante em D.

11. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas no texto abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Alguns satélites artificiais usados em telecomunicações são geoestacionários, ou seja, no seu movimento de revolução em torno da Terra, eles devem se manter fixos sobre o mesmo ponto da superfície terrestre, apesar do movimento de rotação da Terra em torno do próprio eixo. Para isso, esses satélites precisam:

1º) ter uma órbita circular, cujo plano coincida com o plano do equador terrestre;

2º) ter o sentido de revolução ao sentido de rotação da Terra; e
3º) ter o período de revolução período de rotação da Terra.

- a) contrário - igual ao dobro do
- b) igual - igual à metade do
- c) contrário - igual à metade do
- d) igual - igual ao
- e) contrário - igual ao

12. (FURG) Sobre um satélite mantido em órbita a uma distância R do centro da Terra (que possui massa M), é correto afirmar que

- a) a força com que a Terra atrai o satélite é ligeiramente menor do que a força com que o satélite atrai a Terra.
- b) o satélite é colocado em uma órbita em que a força gravitacional é zero.
- c) a velocidade tangencial ao quadrado do satélite é menor ou igual a GM/R .
- d) a velocidade tangencial ao quadrado do satélite é igual a GM/R .
- e) a velocidade tangencial ao quadrado do satélite é maior ou igual a GM/R .

13. (UERGS) Devido à força gravitacional, dois corpos atraem-se com uma força de 18 N. Se a distância entre esses corpos for triplicada, a força gravitacional passará para

- a) 54 N.
- b) 36 N.
- c) 9 N.
- d) 6 N.
- e) 2 N.

14. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que elas aparecem.

A relação que deve existir entre o módulo v da velocidade linear de um satélite artificial em órbita circular ao redor da Terra e o raio r dessa órbita é

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

onde G é a constante de gravitação universal e M a massa da Terra. Conclui-se dessa relação que v da massa do satélite, e que, para aumentar a altitude da órbita, é necessário que v

- a) não depende - permaneça o mesmo
- b) não depende - aumente
- c) depende - aumente
- d) não depende - diminua
- e) depende - diminua

15. (UFSM) Um satélite de massa m, usado para comunicações, encontra-se estacionário a uma altura h de um ponto da superfície do planeta Terra, de massa M_T , cujo raio é R_T . Com base nesses dados, assinale falsa (F) ou verdadeira (V) em cada uma das alternativas, considerando G a constante de gravitação universal.

() Velocidade linear = $\frac{2\pi(h + R_T)}{24} (km/h)$

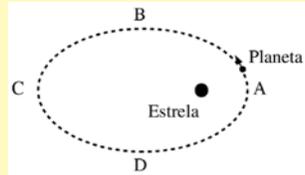
() Peso = $m \frac{GM_T}{(R_T + h)^2} (N)$

() Peso = $m \cdot 9,8 (N)$

() Velocidade linear = $\frac{2\pi R_T}{24} (km/h)$

- a) V - V - F - F.
- b) V - V - V - F.
- c) F - V - F - V.
- d) F - V - V - V.
- e) F - F - V - F.

16. (UFRGS) Um planeta descreve trajetória elíptica em torno de uma estrela que ocupa um dos focos da elipse, conforme indica a figura abaixo. Os pontos A e C estão situados sobre o eixo maior da elipse, e os pontos B e D, sobre o eixo menor.



Se t_{AB} e t_{BC} forem os intervalos de tempo para o planeta percorrer os respectivos arcos de elipse, e se \vec{F}_A e \vec{F}_B forem, respectivamente, as forças resultantes sobre o planeta nos pontos A e B, pode-se afirmar que

- a) $t_{AB} < t_{BC}$ e que \vec{F}_A e \vec{F}_B apontam para o centro da estrela.
- b) $t_{AB} < t_{BC}$ e que \vec{F}_A e \vec{F}_B apontam para o centro da elipse.
- c) $t_{AB} = t_{BC}$ e que \vec{F}_A e \vec{F}_B apontam para o centro da estrela.
- d) $t_{AB} = t_{BC}$ e que \vec{F}_A e \vec{F}_B apontam para o centro da elipse.
- e) $t_{AB} > t_{BC}$ e que \vec{F}_A e \vec{F}_B apontam para o centro da estrela.

17. (La Salle) Uma maneira simples de se obter a aceleração da gravidade em função da altura de um objeto de massa m é igualando a força peso naquele determinado ponto do espaço com a força de atração gravitacional entre a Terra e o corpo. A aceleração da gravidade em função da distância à superfície do planeta é dada, nesse caso, por

$$g = \frac{GM}{(r_T + h)^2}$$

onde G é a constante gravitacional, M é a massa da Terra, r_T é o raio terrestre médio e h é a altura até o objeto de massa m . Quando a altura do objeto, medida em relação à superfície do planeta for $h = 0$, teremos $g = GM/r_T^2$ que é a aceleração utilizada como constante; e, quando h for igual a duas vezes o raio terrestre, a aceleração da gravidade sentida nessa altura h será aproximadamente

- a) 9g.
- b) 3g.
- c) g.
- d) g/3.
- e) g/9.

18. (UFRGS) O diagrama da figura 1, abaixo, representa duas pequenas esferas, separadas por uma certa distância. As setas representam as forças gravitacionais que as esferas exercem entre si.

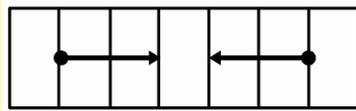


Figura 1

A figura 2 mostra cinco diagramas, representando possibilidades de alteração daquelas forças, quando a distância entre as esferas é modificada.

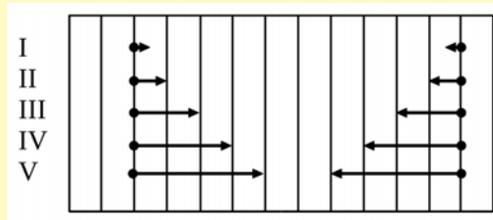


Figura 2

Segundo a Lei da Gravitação Universal, qual dos diagramas da figura 2 é coerente com o diagrama da figura 1?

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

19. (UFRGS) Considere as seguintes afirmações.

I – Para que um satélite se mantenha em uma órbita circular ao redor da Terra, a força resultante sobre ele não deve ser nula.

II – O efeito de marés oceânicas, que consiste na alteração do nível da água do mar, não é influenciado pelo Sol, apesar da grande massa deste.

III – O módulo da aceleração da gravidade em um ponto interior de um planeta diminui com a distância deste ponto em relação ao centro do planeta. Tendo em vista os conceitos da Gravitação Universal, quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

20. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão 20 com base nas informações a seguir.

Um satélite geostacionário é um tipo especial de satélite que orbita no plano do equador terrestre, e que permanece em repouso em relação a um observador em repouso em relação à Terra.

Para um observador que do espaço observasse a Terra e o satélite girando,

- I. O sentido de rotação do satélite seria contrário ao da Terra.
- II. O período de rotação do satélite seria o mesmo da Terra.
- III. A velocidade angular do satélite seria a mesma da Terra.
- IV. A força centrípeta exercida sobre o satélite seria menor do que o seu peso na superfície da Terra.

As alternativas corretas são, apenas,

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

ELETRÓSTÁTICA

CAPÍTULO 2

Quem poderia imaginar a nossa sociedade atual sem eletricidade? Será que poderíamos viver sem o conforto da luz elétrica e de tantos aparelhos eletrônicos projetados para facilitar nossa vida? Como viveríamos sem uma simples geladeira? Nos últimos cem anos, a vida do ser humano mudou radicalmente. Após as primeiras descobertas relacionadas à eletricidade, feitas no século XIX, foi possível desenvolver o motor elétrico que levou à Segunda Revolução Industrial.

Povos antigos conheciam fenômenos elétricos que existem na natureza. Os relâmpagos eram temidos e muitas vezes associados a divindades. Hoje sabemos que nada mais são que meros deslocamentos de carga elétrica.

Os antigos gregos já conheciam o processo mais simples de eletrização: por atrito. Tales de Mileto (640-546 a.C.) relatou em seus escritos que era possível atrair pequenos pedaços de palha ou de folhas secas com um pedaço de âmbar que havia sido atritado com um tecido. Âmbar é uma resina vegetal fossilizada, ou seja, que passou por um processo em que toda sua água foi perdida sendo substituída por outros minerais ao longo de milhões de anos. A tradução grega para a palavra âmbar é *elektron*. Daí vem a origem da palavra eletricidade em português.

No século XVIII foram feitos os primeiros estudos científicos que levaram às bases da parte da física chamada de eletricidade. Inicialmente os estudos se limitaram às propriedades físicas das cargas em repouso. Chamamos esta parte da eletricidade de **eletrostática**. Mais tarde seguiu-se o estudo das cargas em movimento, a **eletrodinâmica**.

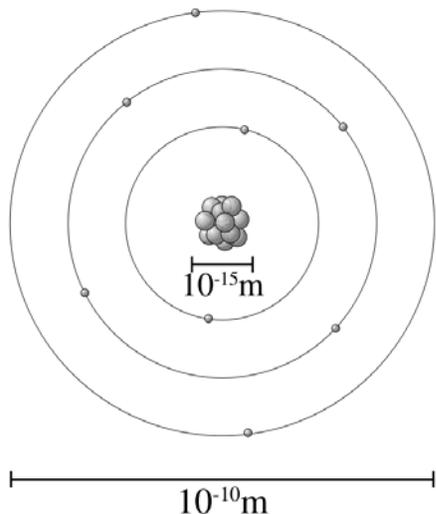
Em 1745, o holandês Pieter van Musschenbroek (1692-1761) inventou uma garrafa capaz de conservar cargas elétricas e produzir choques elétricos. Em homenagem à cidade de sua realização, esse instrumento ficou conhecido como garrafa de Leyden. Segundo as palavras do inventor, que tomou o primeiro choque: *“o braço e o corpo ficaram afetados de uma maneira terrível que sou incapaz de expressar; em uma palavra, achei que tinha chegado o meu fim”*.

O norte-americano Benjamin Franklin (1706-1790) mostrou que os relâmpagos tinham origem elétrica. Em 1752, ele realizou seu famoso experimento em que empinou uma pandorga num dia de tempestade. Um raio atingiu a pandorga e foi conduzido pelo fio molhado até uma garrafa de Leyden onde ficou armazenado. Então Franklin, que sobreviveu à experiência por não segurar o fio durante o evento, propôs que a eletricidade fosse uma espécie de fluido que preenchia os corpos e o espaço vazio. Um corpo que possuísse mais desse fluido que o meio exterior era denominado positivo, enquanto que um corpo que possuísse menos deste fluido seria negativo. Um corpo neutro teria a mesma quantidade de fluido que o meio externo. Em outras palavras, denominou-se que certos corpos adquiriam carga **positiva** ou **negativa**. De forma independente, o inglês William Watson (1715-1787) chegou à mesma conclusão.

Hoje se sabe que carga elétrica é uma propriedade fundamental da matéria, associada às partículas elementares do átomo: os prótons e os elétrons. Todos os corpos possuem carga elétrica, apesar de a maioria ser eletricamente neutra. A seguir, vamos ver uma descrição mais próxima da realidade da carga elétrica na natureza.

MODELO PLANETÁRIO DO ÁTOMO

Em 1911, Ernst Rutherford (1871-1937) irradiou uma fina folha de ouro com partículas carregadas e descobriu que os átomos, que são os constituintes da matéria, possuem uma estrutura semelhante à do sistema solar. Segundo este modelo, quase toda massa do átomo estaria concentrada numa região muito pequena no centro (**núcleo**) do átomo e que conteria cargas positivas (**prótons**), enquanto que cargas negativas (**elétrons**) deveriam encontrar-se espalhadas na região à sua volta (**eletrosfera**). Neste modelo, os elétrons poderiam situar-se



a qualquer distância do núcleo atômico. Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) aprimorou o modelo postulando que os elétrons somente poderiam circular o núcleo a distâncias bem definidas, as quais chamamos de **orbitais** ou **estados estacionários**. No Capítulo 12 estudaremos em mais detalhes o átomo.

A definição de que prótons possuem carga positiva e elétrons possuem carga negativa é uma mera convenção. Se no momento que esta convenção foi definida fosse escolhido o contrário, os fenômenos físicos continuariam a acontecer exatamente da mesma forma como os descrevemos hoje.

Atualmente sabemos que existe outro tipo de partícula que compõe o núcleo atômico: o **nêutron**. Esta partícula foi descoberta somente 30 anos após a proposição do modelo de Bohr. Por não ter carga elétrica, não nos preocuparemos com o nêutron no estudo dos fenômenos eletromagnéticos.

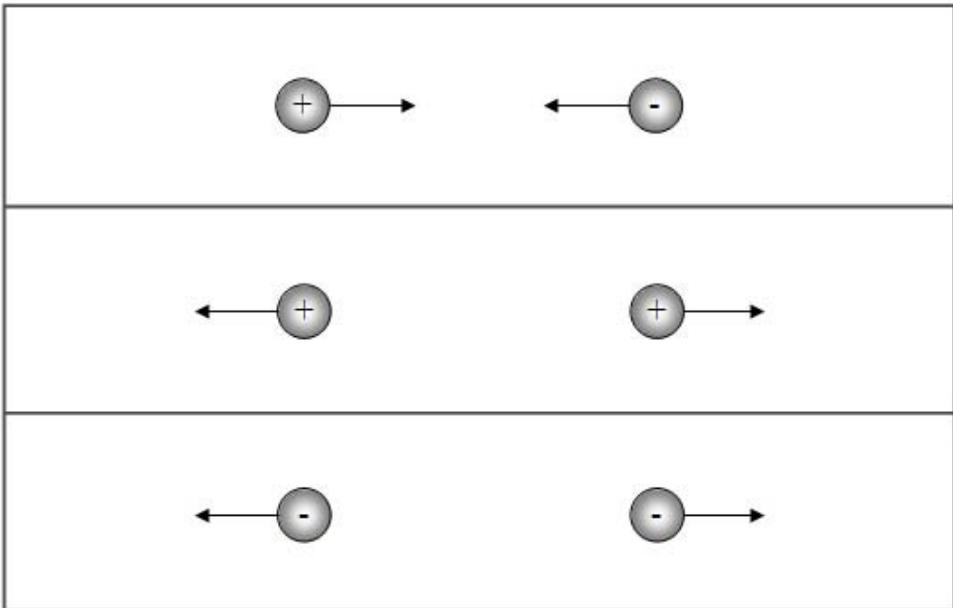
Um átomo contendo o mesmo número de elétrons e prótons é eletricamente neutro. Um corpo que contenha somente átomos eletricamente neutros também é neutro. Entretanto, é possível, sob determinadas condições, arrancar os elétrons mais externos dos átomos. Devido à perda de carga negativa, o átomo passa a ter um excesso de carga positiva e perde a neutralidade. Pode também ocorrer de elétrons de fora virem a se agregar ao átomo. Neste caso, o átomo passa a ser negativamente carregado. A este fenômeno de perda ou ganho de elétrons damos o nome de **ionização**. É graças a essa facilidade que os elétrons têm de se desprender do átomo que podemos carregar eletricamente os corpos. Quando um corpo, que é constituído por um número muito grande de átomos, perde ou ganha carga elétrica, dizemos que ocorreu **eletrização**.

Em suma, se um ou mais elétrons forem retirados do átomo, este ficará ionizado positivamente. Se elétrons forem fornecidos ao átomo, ele ficará eletrizado negativamente. Observe que um corpo neutro eletricamente não é completamente desprovido de cargas elétricas, mas sim, apresenta exatamente a mesma quantidade de cargas positivas e negativas, causando sua neutralização.

PRINCÍPIO DA ATRAÇÃO E REPULSÃO

Desde o século XVIII observou-se que corpos que possuíssem carga elétrica poderiam ser atraídos ou repelidos por outros corpos carregados eletricamente. Aqueles corpos de mesma constituição, que recebessem carga de maneira idêntica, exibiam força de repulsão entre eles. Por outro lado, corpos de materiais diferentes que fossem carregados por distintos processos podiam apresentar força de atração. O fluxo da carga elétrica parecia seguir uma tendência semelhante. Então se pôde enunciar o princípio da atração e repulsão eletrostática:

**Cargas elétricas de sinais iguais se repelem;
cargas elétricas de sinais opostos se atraem.**



As forças eletrostáticas não necessitam de contato para serem observadas, portanto podemos dizer que há interação à distância. Por serem forças, devem seguir o princípio da ação e reação, ou 3ª lei de Newton.

QUANTIZAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA

A menor carga elétrica que pode ser encontrada na natureza é a carga do elétron e do próton. Ambas as partículas possuem o mesmo módulo de carga, porém de sinais contrários. Como vimos, convencionou-se que o próton possui carga positiva e o elétron carga negativa. O valor desta carga é conhecido como **carga elementar** (e). O módulo da carga elementar vale:

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$$

A unidade de carga é denominada *coulomb* em homenagem ao físico francês Charles Augustin Coulomb (1736-1806). A quantidade de elétrons ou prótons para completar 1 coulomb de carga é igual a $6,24 \times 10^{18}$. Por ser uma unidade muito grande de carga, costuma-se usar seus submúltiplos:

$$1 \text{ milicoulomb} = 1 \text{ mC} = 1 \times 10^{-3} \text{ C}$$

$$1 \text{ microcoulomb} = 1 \text{ } \mu\text{C} = 1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

Para se ter uma ideia de quão grande é a unidade coulomb, um relâmpago costuma ter uma carga em torno de 10 C.

Pilhas recarregáveis e baterias de automóvel costumam usar outra unidade de carga que não faz parte do Sistema Internacional, o ampère-hora (Ah), ou seu submúltiplo, miliampère-hora (mAh). Uma quantidade de carga de 1 Ah equivale a 3600 C. Já o seu submúltiplo vale: $1 \text{ mAh} = 3,6 \text{ C}$.

A carga elétrica Q de um corpo é dada pelo número n de prótons ou elétrons em excesso, multiplicados pela carga elementar e :

$$Q = n e$$

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA

Em um sistema eletricamente **isolado**, o número de prótons e elétrons, ou seja, a quantidade de carga elétrica, permanece constante. Nesse sistema, mesmo ocorrendo um fenômeno qualquer, por exemplo, uma reação química ou nuclear, a quantidade de carga elétrica é a mesma antes e após o fenômeno. **É constante a soma algébrica das cargas positivas e negativas**, isto é, o número total de prótons e elétrons existentes no sistema não se altera.

Exemplo:

1. (UFRGS) Duas pequenas esferas metálicas idênticas e eletricamente isoladas, X e Y, estão carregadas com cargas elétricas $+4\text{ C}$ e -8 C , respectivamente. As esferas X e Y estão separadas por uma distância que é grande em comparação com seus diâmetros. Uma terceira esfera Z, idêntica às duas primeiras, isolada e inicialmente descarregada, é posta em contato, primeiro com a esfera X e, depois, com a esfera Y.

As cargas elétricas finais nas esferas X, Y, e Z são, respectivamente,

- a) $+2\text{ C}$, -3 C e -3 C .
- b) $+2\text{ C}$, $+4\text{ C}$ e -4 C .
- c) $+4\text{ C}$, 0 e -8 C .
- d) 0 , -2 C e -2 C .
- e) 0 , 0 , e -4 C .

CONDUTORES E ISOLANTES

Algumas substâncias apresentam facilidade em se adicionar ou remover elétrons nas camadas externas de seus átomos constituintes. Esta mobilidade de carga faz com que tais substâncias sejam chamadas de **condutoras**, ou seja, elas podem *conduzir* facilmente carga elétrica de um lugar para outro. Os metais são os principais condutores, mas temos outros exemplos: grafite, gases ionizados, soluções eletrolíticas.

Em outras substâncias, a remoção ou adição de elétrons nas camadas atômicas não ocorrem tão facilmente. Estas substâncias que apresentam grande dificuldade ao movimento de carga elétrica são chamadas de **isolantes** ou dielétricas. Os isolantes mais comuns são ar, vidro, borracha, cerâmica, plástico, tecidos, água pura.

Existe ainda a classe dos **semicondutores**, que apresentam propriedades intermediárias entre condutores e isolantes. Como exemplos temos o silício e o germânio. É graças a estes elementos que foi possível o desenvolvimento de toda tecnologia da informação atual, desde o rádio até o computador.

PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

Existem três formas de se eletrizar um corpo: atrito, contato e indução.

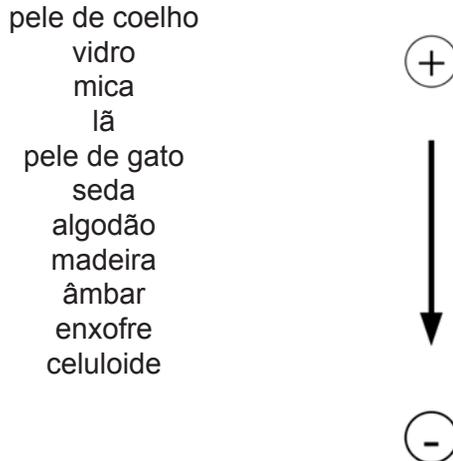
1. Eletrização por Atrito

Os antigos gregos já haviam observado que, atritando corpos de materiais diferentes, eles ficavam carregados eletricamente. Isto se deve ao fato que, ao se raspar um material no outro, elétrons são perdidos por um corpo indo parar no outro. Assim, um corpo fica com excesso de carga negativa e o outro com falta de carga negativa, ou seja, positivamente carregado. Por exemplo, quando nos penteamos, o cabelo remove e adquire cargas negativas do pente. Assim, o pente fica carregado positivamente e o cabelo negativamente.

Como fazemos para saber o sinal da carga de cada um dos corpos que foram esfregados?

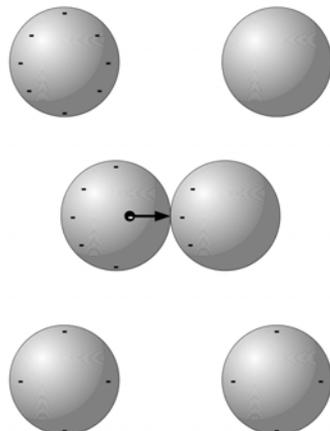
Inicialmente, definia-se como “eletricidade de resina” aquela que o âmbar adquire ao ser friccionado com peles de animais; e também

“eletricidade vítrea” àquela que adquire o vidro ao ser atritado com seda. Após várias e várias experiências pôde-se determinar a tendência que cada substância tem de ficar eletricamente positiva ou negativa, dependendo do tipo de material em que foi atritada. Esta tendência está representada na série **triboelétrica**, que exemplificamos abaixo. Se, por exemplo, atritarmos lã em vidro, a lã ficará carregada negativamente, enquanto que o vidro ficará carregado positivamente.



2. Eletrização por contato

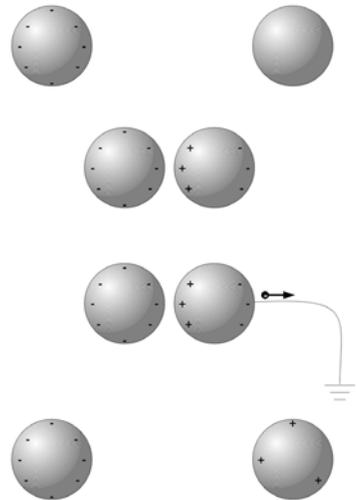
Se possuímos um objeto feito de material condutor que tiver sido previamente carregado eletricamente, podemos transferir pelo menos parte de sua carga elétrica através do simples contato com outro corpo condutor. Este fenômeno é comum de ocorrer nos dias frios e secos de inverno. Ao usar roupas de determinados tecidos acabamos causando seu atrito com outras substâncias, como, por exemplo, o próprio ar. Da mesma forma, ao caminhar com um calçado com sola de borracha sobre um carpete sintético, provocamos o atrito e a conseqüente troca de cargas elétricas. Ao tocar numa maçaneta de porta ou outro objeto metálico podemos sentir a troca de carga elétrica entre os corpos em contato.



Neste tipo de eletrização, um corpo neutro que receba as cargas elétricas fica carregado com o mesmo sinal do corpo que doe as cargas. Se ambos os corpos forem idênticos, cada um ficará com exatamente metade do valor da carga total. Corpos em contato com a Terra costumam perder toda sua carga. Isto porque a Terra tem dimensões muito maiores que qualquer corpo sobre sua superfície e, portanto, tem a capacidade de receber qualquer quantidade de carga, independente do sinal. A função do *fio terra* em aparelhos elétricos é desviar eventuais excessos de carga para a Terra de forma a proteger o equipamento.

3. Eletrização por indução

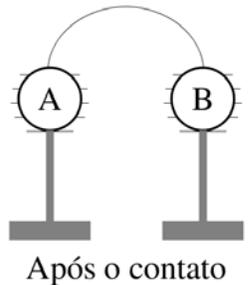
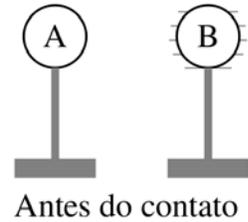
Suponhamos que um corpo carregado negativamente é aproximado de outro corpo neutro feito de uma substância condutora. Devido ao princípio da atração e repulsão, as cargas no condutor neutro tendem a se redistribuir. As cargas negativas serão repelidas para a extremidade oposta, deixando para trás cargas positivas que serão atraídas pelo corpo eletrizado. Esta redistribuição de cargas é chamada de *polarização*. Se conectarmos um fio terra no corpo neutro, as cargas negativas terão a oportunidade de se distanciarem ainda mais do corpo carregado, migrando em direção à Terra. Com isso, o corpo que era inicialmente neutro passará a ter um excesso de carga positiva. Ao desconectarmos o fio terra, este corpo continuará apresentando carga positiva. Observe que não há contato entre os corpos inicialmente carregados e induzidos, e que a carga final de cada um dos corpos tem sinal oposto.



Exemplo:

2. (UCS) A fim de eletrizar uma esfera metálica A, inicialmente neutra, utilizou-se outra esfera metálica B com carga elétrica negativa. As esferas foram colocadas em contato através de um fio condutor de eletricidade. Considerando o fenômeno da eletrização por contato, para carregar a esfera A, obrigatoriamente migraram

- íons positivos da esfera A para a esfera B.
- elétrons da esfera A para a esfera B.
- prótons da esfera A para a esfera B.
- prótons da esfera B para a esfera A.
- elétrons da esfera B para a esfera A.



RELÂMPAGOS

Relâmpagos são descargas elétricas que acontecem na atmosfera do planeta. Diariamente, mais de mil raios atingem o território brasileiro. Com isto, o nosso país é o campeão mundial de raios. Existe a possibilidade de que uma pessoa atingida por um relâmpago sobreviva.

“O Rio Grande do Sul foi o segundo estado com mais mortes causadas por raios na década passada. Segundo o INPE, em parceria com o Grupo de Eletricidade Atmosférica, foram 110 casos, atrás apenas de São Paulo que teve 238. O ano mais mortífero foi 2008, com 19 gaúchos mortos. Entre 2000 e 2010, quase 1,4 mil pessoas atingidas por raios morreram, a maior parte (19%) em atividades rurais.” Jornal do Comércio, 22/06/2011.

Vamos entender como ocorre a formação de relâmpagos. As gotículas de água que compõem uma nuvem sofrem atrito com moléculas de ar durante o movimento de convecção que ocorre no interior da nuvem. Esse atrito gera ionização dos átomos e consequente acumulação de cargas em diferentes partes da nuvem. Ao ser ionizado, o ar deixa de ser isolante e passa a ser condutor, permitindo que as cargas escoem em direção ao solo ou a outras nuvens por caminhos onde a resistência elétrica é menor. A maior parte da carga segue o caminho da descarga

principal, mas surgem também as descargas secundárias que são conhecidas popularmente como coriscos. Um relâmpago possui uma carga elétrica da ordem de 10 C e uma energia de cerca de 100 J, o que equivale a 300 kWh. A maior parte desta energia é convertida na expansão do ar à volta do caminho percorrido pela descarga. Apenas 1% da energia total chega ao solo na forma de energia elétrica.

Mais adiante vamos aprender como nos proteger destas perigosas descargas meteorológicas.

Exercícios:

1. (UFSM) Analise as seguintes afirmativas:

- I. O *quantum* de carga, a menor carga elétrica encontrada na natureza, é a carga de um elétron.
- II. Cargas elétricas de sinais opostos se atraem e de mesmo sinal se repelem.
- III. O princípio da conservação da carga elétrica garante que a soma das cargas de dois corpos isolados eletricamente é igual à soma das cargas desses mesmos dois corpos, depois que eles são colocados em contato elétrico entre si.

Está(ão) correta(s):

- a) Apenas I
- b) Apenas II
- c) Apenas III
- d) Apenas I e II
- e) I, II e III

2. (UCS) Num dia chuvoso, uma nuvem com carga positiva aproxima-se de uma edificação munida de para-raios. A ponta desse para-raios carrega-se eletricamente devido à presença da nuvem. Considerando os processos de eletrização de corpos, é correto afirmar que a carga na extremidade superior do para-raios:

- a) foi obtida por indução;
- b) foi obtida por atrito;
- c) foi obtida por contato;

- d) foi obtida por polarização;
- e) é positiva.

3. (IPA) Um gerador eletrostático (por exemplo, do tipo Van de Graaff, usualmente visto em vídeos e fotografias como “levantador elétrico de cabelos”) previamente eletrizado é capaz de eletrizar uma esfera metálica neutra colocada à distância, desde que o gerador e a esfera estejam ligados por um fio metálico. Esse contato garante que a esfera inicialmente neutra ficará com carga elétrica de mesmo sinal da carga elétrica do gerador eletrostático. Para que isso aconteça, pode-se afirmar que, ao longo do fio que une o gerador eletrostático à esfera metálica, durante o intervalo de tempo que acontece a eletrização dessa última, aparece, no sentido da esfera para o gerador, uma corrente de:

- a) prótons;
- b) cátions;
- c) ânions;
- d) elétrons;
- e) nêutrons.

4. (FAPA) Há muitas situações do dia a dia em que o atrito pode gerar cargas elétricas nos mais diferentes corpos. Por exemplo, os aviões podem ficar eletrizados pelo atrito com o ar. Esse fato poderia provocar eventualmente acidentes graves. Por exemplo, quando o avião estivesse sendo abastecido, poderia saltar uma faísca, incendiando os vapores de combustível.

Um corpo metálico A, eletrizado negativamente, é posto em contato com outro corpo metálico B, neutro. Podemos afirmar sobre a transferência de cargas elétricas entre os dois corpos, até adquirirem equilíbrio eletrostático:

- a) passarão prótons do corpo B para o corpo A.
- b) passarão elétrons do corpo B para o corpo A.
- c) passarão prótons do corpo A para o corpo B.
- d) passarão elétrons do corpo A para o corpo B.
- e) passarão nêutrons do corpo B para o corpo A.

5. (UERGS) Um pente isolante, quando passado repetidamente no cabelo, fica eletrizado. Sobre tal fenômeno, é correto afirmar que o pente pode ter

- a) perdido elétrons e o cabelo ganhado elétrons.
- b) perdido elétrons e o cabelo ganhado prótons.
- c) perdido prótons e o cabelo ganhado elétrons.
- d) perdido prótons e o cabelo ganhado elétrons.
- e) perdido prótons e o cabelo ganhado prótons.

6. (UPF) Em dias secos, as pessoas que têm cabelos secos notam que, quanto mais tentam pentear os cabelos, mais os fios ficam ouriçados. Este fenômeno pode ser explicado como uma:

- a) eletrização por contato.
- b) eletrização por indução.
- c) eletrização por atrito.
- d) reação química.
- e) magnetização

7. (FURG) Quatro esferas metálicas idênticas estão isoladas umas das outras. As esferas A, B e C estão inicialmente neutras (sem carga), enquanto a esfera D está eletrizada com carga Q . A esfera D é colocada inicialmente em contato com a esfera A, depois é afastada e colocada em contato com a esfera B. Depois de ser afastada da esfera B, a esfera D é colocada em contato com a esfera C e afastada a seguir.

Pode-se afirmar que ao final do processo as cargas das esferas C e D são, respectivamente,

- a) $Q/8$ e $Q/8$
- b) $Q/8$ e $Q/4$
- c) $Q/4$ e $Q/8$
- d) $Q/2$ e $Q/2$
- e) Q e $-Q$

8. (FURG) Três esferas metálicas podem ser carregadas eletricamente. Aproximando-se as esferas duas a duas, observa-se que, em todos os casos, ocorre atração elétrica entre elas.

Para essa situação são apresentadas três hipóteses:

I - Somente uma das esferas está carregada.

II - Duas esferas estão descarregadas.

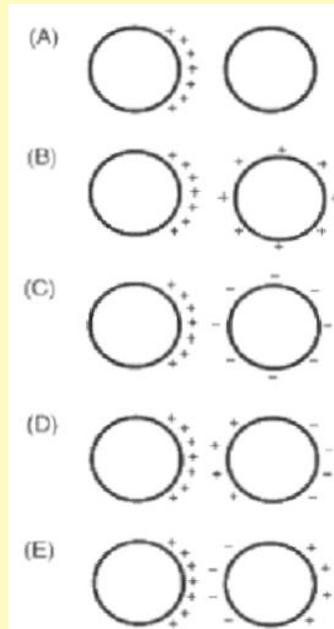
III - As três esferas estão carregadas.

Quais das hipóteses explicam o fenômeno descrito?

- a) Apenas a hipótese I.
- b) Apenas a hipótese II.
- c) Apenas a hipótese III.
- d) Apenas a hipótese II e III.
- e) Nenhuma das três hipóteses.

9. (UFRGS) A superfície de uma esfera isolante é carregada com carga elétrica positiva, concentrada em um dos seus hemisférios. Uma esfera condutora descarregada é, então, aproximada da esfera isolante.

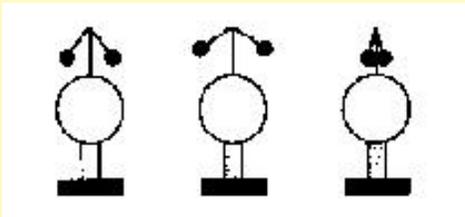
Assinale, entre as alternativas abaixo, o esquema que melhor representa a distribuição final de cargas nas duas esferas.



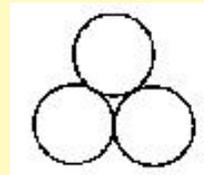
10. (Univali) Alguns fenômenos naturais relacionados com a eletricidade estática estão presentes em nosso cotidiano, por exemplo, o choque que uma pessoa recebe ao tocar a maçaneta da porta de um automóvel, em um dia seco no inverno. Além disso, a eletrostática tem uma aplicação importante em várias atividades humanas, como o filtro eletrostático para redução de poluição industrial e o processo xerográfico para fotocópias. Com relação à eletrização de um corpo, é correto afirmar:

- a) Um corpo eletricamente neutro que perde elétrons fica eletrizado positivamente.
- b) Um corpo eletricamente neutro não tem cargas elétricas.
- c) Um dos processos de eletrização consiste em retirar prótons do corpo.
- d) Um corpo eletricamente neutro não pode ser atraído por um corpo eletrizado.
- e) Friccionando-se dois corpos constituídos do mesmo material, um se eletriza positivamente e o outro, negativamente.

11. (UFRGS) Três esferas metálicas idênticas, mantidas sobre suportes isolantes, encontram-se inicialmente afastadas umas das outras, conforme indica a figura (a). Duas das esferas estão eletricamente carregadas, uma com $9 \times 10^{-6} \text{ C}$ e a outra com $15 \times 10^{-6} \text{ C}$, enquanto a terceira está descarregada. As três esferas são então colocadas em contato, de modo que se toquem mutuamente, conforme indica a figura (b).



(a) Antes (vista lateral)

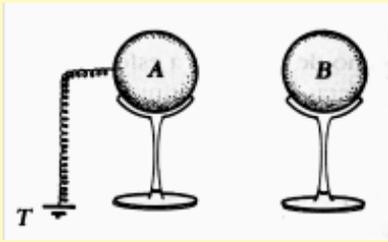


(b) Depois (vista superior)

Assinale a alternativa que fornece os valores corretos das cargas elétricas que as esferas apresentam após terem sido postas em contato:

- a) 0 C , 0 C , 0 C
- b) $9 \times 10^{-6} \text{ C}$, $15 \times 10^{-6} \text{ C}$, 0 C
- c) $12 \times 10^{-6} \text{ C}$, $12 \times 10^{-6} \text{ C}$, 0 C
- d) $8 \times 10^{-6} \text{ C}$, $8 \times 10^{-6} \text{ C}$, $8 \times 10^{-6} \text{ C}$
- e) $2 \times 10^{-6} \text{ C}$, $2 \times 10^{-6} \text{ C}$, $2 \times 10^{-6} \text{ C}$

12. (UFRGS) Uma esfera metálica A, neutra, está ligada à terra T por um fio condutor. Uma esfera B, carregada negativamente, é aproximada de A. As hastes que suportam as esferas A e B são isolantes. Nessas condições, pode-se afirmar que, pelo fio condutor:



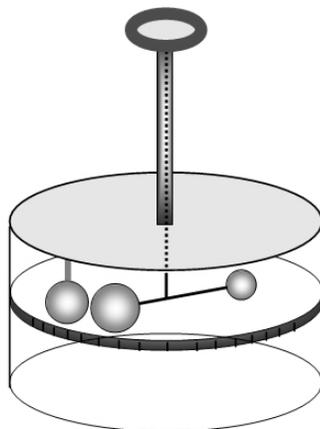
- a) elétrons deslocam-se de A para T.
- b) prótons deslocam-se de T para A.
- c) prótons deslocam-se de A para T.
- d) elétrons deslocam-se de T para A.
- e) não ocorre movimentação de cargas.

LEI DE COULOMB

CAPÍTULO 3

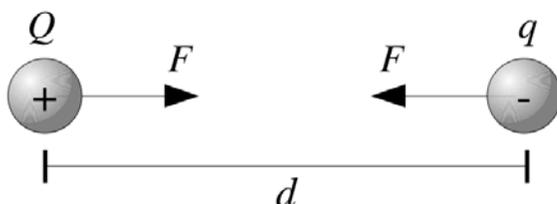
LEI DE COULOMB

Em 1785, o físico francês Charles Augustin de Coulomb, procurou entender do que depende a força de interação entre cargas elétricas. Para tanto, ele desenvolveu uma balança de torção esquematizada na figura ao lado. No cilindro inferior encontram-se três esferas condutoras: uma fixa ao fundo e outras duas suspensas por uma haste isolante. Esta haste funciona como uma mola de torção, e qualquer movimento de rotação das duas esferas será detectado em uma escala fixa à superfície do aparelho.



Coulomb eletrizou corpos condutores e os colocou em contato com as esferas do seu aparelho. Carregando as esferas com cargas de mesmo sinal, observou que quanto mais carga fosse transferida a cada esfera, maior era a força de repulsão. Então ele concluiu que a *força elétrica é proporcional ao produto das cargas elétricas*. Ao afastar as esferas carregadas, Coulomb observou que a força de repulsão diminuía. Sua conclusão foi que *a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas*. A linha de ação da força é a reta que une as duas cargas. Em termos matemáticos podemos expressar a lei de Coulomb da seguinte forma:

$$F = k \frac{qQ}{d^2}$$



A constante k que aparece na fórmula é chamada de “constante da lei de Coulomb” ou de *constante dielétrica*. O valor desta constante é definido conforme o sistema de unidades utilizado. No Sistema Internacional, as cargas q e Q são dadas em coulombs, a distância d é dada em metros, e o valor da constante no vácuo é:

$$k = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

Vemos que a fórmula acima é muito parecida com a lei da gravitação universal. Podemos até dizer que do ponto de vista puramente matemático, são a mesma equação. Porém, cada uma tem seu próprio significado físico. Vejamos as diferenças e as similaridades.

Onde tínhamos massa na fórmula da força gravitacional, temos agora carga na fórmula da força elétrica. No caso gravitacional, dizemos que matéria atrai matéria e a força é proporcional à razão direta do produto das massas. No caso elétrico, isso é verdade se as cargas forem de sinais opostos, e podemos concluir que carga atrai carga na razão direta do produto do módulo das cargas. Se as cargas tiverem o mesmo sinal, dizemos que elas se repelem, sendo a força também proporcional ao produto do módulo das cargas. Em ambos os casos, o vetor força aponta na linha que une as cargas.

A constante universal da gravitação G cede lugar na fórmula da força elétrica à constante dielétrica k . Comparando as ordens de grandezas destas duas constantes, vemos que a força gravitacional é muito menos intensa que a força elétrica. A constante k é característica do ambiente onde estamos estudando os fenômenos elétricos. Alguns valores são apresentados

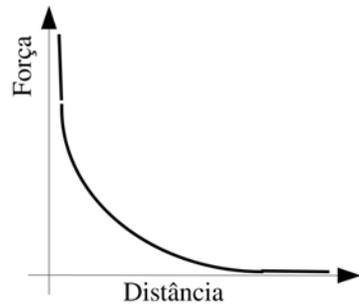
	k (N m ² /C ²)
vácuo	$9,0 \times 10^9$
petróleo	$3,6 \times 10^9$
benzeno	$2,3 \times 10^9$
etanol	$3,6 \times 10^8$
água	$1,1 \times 10^8$

na tabela ao lado. Quando realizamos experiências no ar seco podemos tomar como excelente aproximação o valor dado acima para o vácuo.

Se afastarmos uma carga da outra, a força de interação decresce rapidamente como mostrado no gráfico abaixo. De modo particular, se duplicarmos a distância, a força diminui por um fator quatro, devido ao quadrado no denominador. Podemos observar que

quanto maior a distância d , mais a força se aproxima de zero.

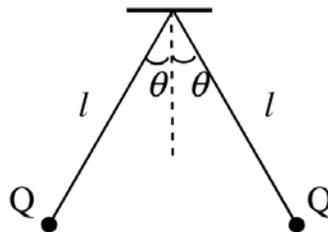
A lei de Coulomb vale exatamente para partículas **puntiformes**, ou seja, partículas muito pequenas, na forma de ponto. Entretanto ela pode ser usada para corpos esféricos, onde d é a distância entre os centros das esferas.



Exemplo:

1. (UNISC) Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem com uma força F e, quando são de sinais opostos, se atraem com uma força F . Nos dois casos, a força F é dada pela seguinte expressão:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$



onde k é uma constante eletrostática de valor $9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$, Q_1 e Q_2 , as cargas elétricas, e r , a distância em metros que as separa. No caso da figura, as duas cargas elétricas são idênticas, $Q = 8 \times 10^{-6} \text{ C}$, penduradas por um fio de comprimento $l = 40 \text{ cm}$ que faz com a vertical um ângulo $\theta = 30^\circ$.

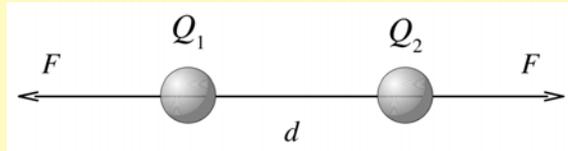
Neste caso, o módulo da força F é igual a

- a) 7,2 N.
- b) 3,6 N.
- c) 72 N.
- d) 1,8 N.
- e) 36 N.

Exercícios:

1. (UNISC) Duas esferas puntiformes possuem a mesma carga positiva e estão afixadas à extremidade de uma corda de comprimento d não-condutora de eletricidade. Nessa condição, as duas esferas sofrem uma força de repulsão dada pela seguinte expressão:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$



onde $k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$ é uma constante, Q_1 e Q_2 são as cargas de cada esfera e d , a distância que separa as duas cargas. Admitindo-se que a corda não mude de comprimento, queremos quadruplicar o valor da força de repulsão entre as esferas.

Para isso, o valor da cada carga deve ser

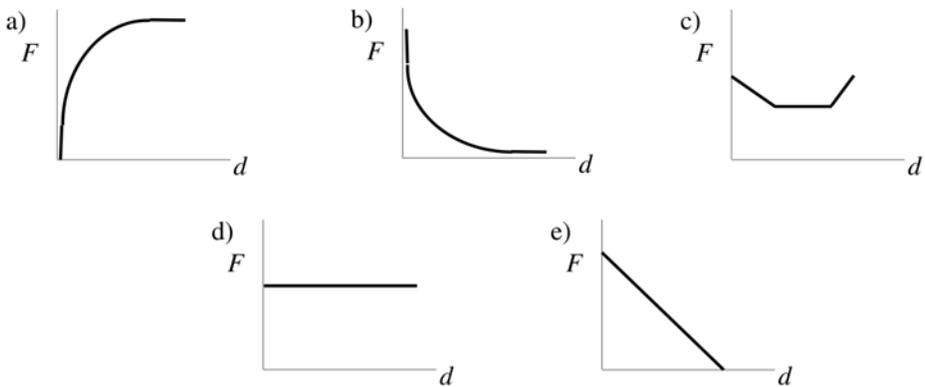
- a) duplicado.
- b) triplicado.
- c) quadruplicado.
- d) reduzido à metade.
- e) dividido por quatro.

2. (UFRGS) O módulo da força eletrostática entre duas cargas elétricas elementares - consideradas puntiformes - separadas pela distância nuclear típica de 10^{-15} m é $2,30 \times 10^2 \text{ N}$. Qual é o valor aproximado da carga elementar?

(Constante eletrostática $k = (4\pi\epsilon_0)^{-1} = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$)

- a) $2,56 \times 10^{-38} \text{ C}$.
- b) $2,56 \times 10^{-20} \text{ C}$.
- c) $1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- d) $3,20 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- e) $1,60 \times 10^{-18} \text{ C}$.

3. (La Salle) Em 1911, o físico Ernst Rutherford demonstrou a inadequação do modelo atômico de Thomson - uma esfera de carga positiva entremeadada de elétrons - também chamado de modelo do “pudim de passas”. Rutherford estudou o espalhamento de partículas α (átomos de hélio duplamente ionizados) por átomos em uma fina folha metálica. As partículas α (positivas) eram espalhadas pelo então recentemente descoberto núcleo atômico (também positivo). Nos gráficos a seguir, a melhor representação da variação da força elétrica F entre uma partícula α e um núcleo em função da distância d entre ambos é:



4. (UCS) Duas cargas elétricas (q_1 e q_2) se atraem com uma força F . Para quadruplicar a força entre as cargas, é necessário:

- a) duplicar a distância entre elas.
- b) quadruplicar a distância entre elas.
- c) dividir por dois a distância entre elas.
- d) dividir por quatro a distância entre elas.
- e) duplicar o valor de q_1 ou de q_2 .

5. (Ritter) Dobrando-se a distância entre duas cargas elétricas de mesmo valor, o módulo da força elétrica entre elas muda de F para

- a) $2 F$.
- b) $4 F$.

- c) $8 F$.
- d) $F/4$.
- e) $F/2$.

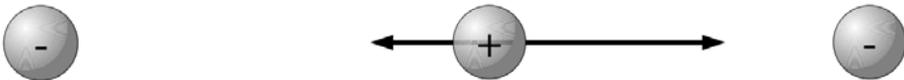
6. (UFRGS) Em um átomo de hidrogênio, no seu estado fundamental, o módulo de força de elétrica é módulo da força de gravitacional entre o núcleo e o elétron.

- a) atração - maior do que o - atração
- b) repulsão - maior do que o - repulsão
- c) repulsão - igual ao - atração
- d) repulsão - menor do que o - repulsão
- e) atração - menor do que o - atração

FORÇA ELÉTRICA ENTRE VÁRIAS CARGAS

Num sistema contendo apenas duas cargas (um exemplo seria o átomo de hidrogênio), a lei de Coulomb pode ser aplicada diretamente ao par de cargas para determinar a força elétrica. No entanto, em sistemas com um maior número de cargas, devemos resolver o problema iterativamente.

Se houverem várias cargas e todas elas estiverem sobre uma mesma linha, podemos determinar a força resultante da seguinte maneira. Calculamos a força par a par via lei de Coulomb e depois somamos todas as forças, levando em conta o sinal e a intensidade de cada uma.

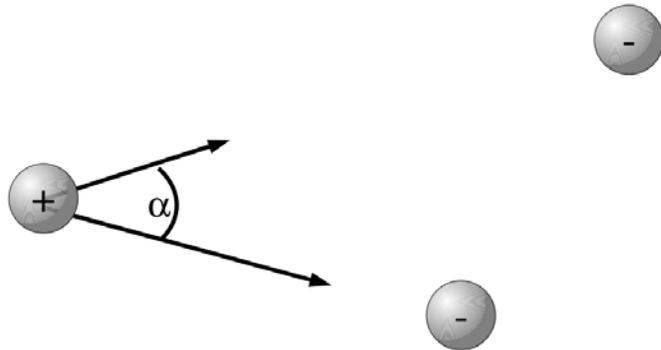


$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Se as cargas não estiverem todas sobre uma mesma linha temos que utilizar o cálculo vetorial. Lembramos que a força, por ser um vetor,

além do seu módulo (intensidade) possui direção e sentido. A força resultante sobre uma carga, quando na presença de outras duas cargas, deve ser determinada pela regra do paralelogramo. O valor da força resultante é dado pela expressão:

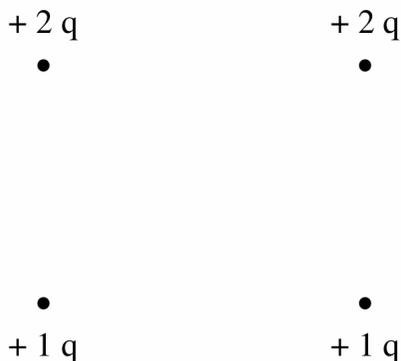
$$F_{res} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos\alpha}$$



Se houverem mais do que duas cargas exercendo força sobre uma terceira carga, devemos sucessivamente somar vetorialmente cada par de forças.

Exemplos:

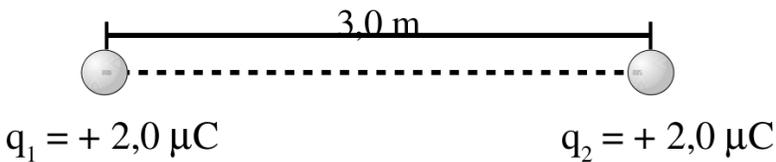
2. (PUCRS) Quatro pequenas cargas elétricas encontram-se fixas nos vértices de um quadrado, conforme a figura abaixo.



Um elétron no centro desse quadrado ficaria submetido, devido às quatro cargas, a uma força, que está corretamente representada na alternativa.

- a) \longrightarrow b) \longleftarrow c) \uparrow d) \downarrow e) \nearrow

3. (PUCRS) Considerem-se duas cargas elétricas pontuais fixas e separadas conforme a figura abaixo.

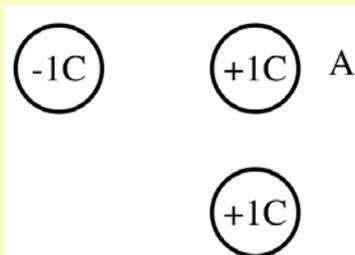


Uma terceira carga ficaria em equilíbrio entre as duas, numa posição distante de q_1 , em metros, igual a:

- a) 0,5
 b) 1,0
 c) 1,5
 d) 2,0
 e) 2,5

Exercícios:

7. (FURG) Três cargas elétricas são mantidas fixas conforme a figura.



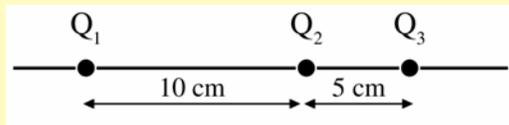
Qual das alternativas expressa corretamente a direção e o sentido da força elétrica total sobre a carga A?

- a)  b)  c)  d)  e) 

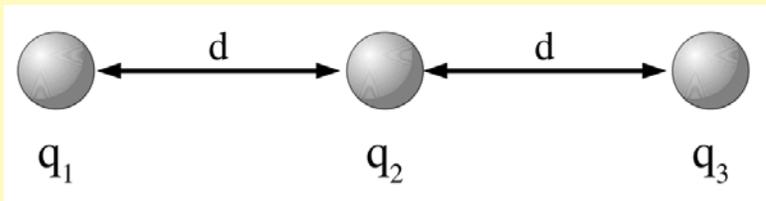
8. (UFRGS) Três cargas elétricas puntiformes idênticas, Q_1 , Q_2 e Q_3 , são mantidas fixas em suas posições sobre uma linha reta, conforme indica a figura abaixo.

Sabendo-se que o módulo da força elétrica exercida por Q_1 sobre Q_2 é de $4,0 \times 10^{-5}$ N, qual é o módulo da força elétrica resultante sobre Q_2 ?

- a) $4,0 \times 10^{-5}$ N.
 b) $8,0 \times 10^{-5}$ N.
 c) $1,2 \times 10^{-4}$ N.
 d) $1,6 \times 10^{-4}$ N.
 e) $2,0 \times 10^{-4}$ N.



9. (UFSC) Três cargas puntiformes estão dispostas em linha reta, como mostra a figura, sendo $q_1 = +4q_0$, $q_2 = -q_0$ e $q_3 = +q_0$, onde q_0 é a carga de um próton.



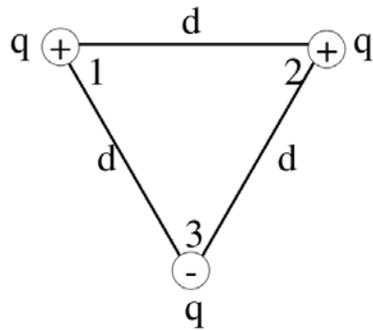
Sobre as forças elétricas atuantes podemos afirmar, corretamente:

- (01) O módulo da força que q_1 exerce sobre q_2 é igual ao módulo da força que q_3 exerce sobre q_2 .
 (02) A soma das forças sobre q_2 é zero.
 (04) A soma das forças sobre q_3 é zero.
 (08) O módulo da força que q_2 exerce sobre q_1 é quatro vezes maior que o módulo da força que q_2 exerce sobre q_3 .

(16) A força que q_1 exerce sobre q_2 é de atração e a força que q_1 exerce sobre q_3 é de repulsão.

(32) O módulo da força que q_1 exerce sobre q_3 é quatro vezes o módulo da força exercida por q_3 sobre q_1 .

(64) A força exercida por q_1 sobre q_2 tem a mesma direção e o mesmo sentido da força exercida por q_3 sobre q_1 .



10. (UNISC) Três (3) pequenas esferas carregadas com o mesmo valor q (sendo que as cargas 1 e 2 são positivas enquanto a carga 3 é negativa) são afixadas nas extremidades de um triângulo equilátero de aresta d . Neste caso, o módulo da força F de interação Coulombiana que atua entre qualquer par de cargas é dado pela seguinte expressão:

$$F = k \frac{q^2}{d^2}$$

Onde k é uma constante de eletricidade, q , o valor da carga de cada esfera, e d , a distância que as separa. O módulo da força resultante que atua em cima de cada carga (ou seja, a soma das forças que cada par de cargas aplica em cima da terceira) é melhor representado por:

a) $F_{R1} = F_{R2} = F\sqrt{3}; F_{R3} = F.$

b) $F_{R1} = F_{R2} = 2F\sqrt{3}.$

c) $F_{R1} = F_{R2} = 2F_{R3} = F.$

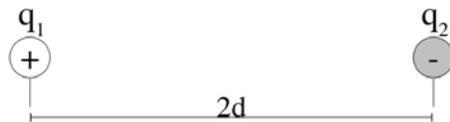
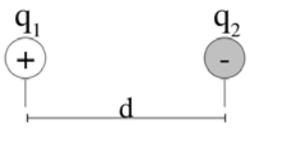
d) $F_{R1} = F_{R2} = F; F_{R3} = F\sqrt{3}.$

e) $F_{R1} = F_{R2} = F_{R3} = F\sqrt{3}.$

lembramos:

$$\begin{aligned} \text{sen } 30^\circ = \text{cos } 60^\circ &= \frac{1}{2} \\ \text{sen } 60^\circ = \text{cos } 30^\circ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \end{aligned}$$

11. (PUCRS) Duas cargas elétricas puntiformes, q_1 e q_2 , no vácuo, atraem-se com uma força de intensidade F , quando separadas pela distância d , e atraem-se com força de intensidade F_1 , quando separadas pela distância $2d$, conforme as figuras:



O valor da relação F/F_1 é:

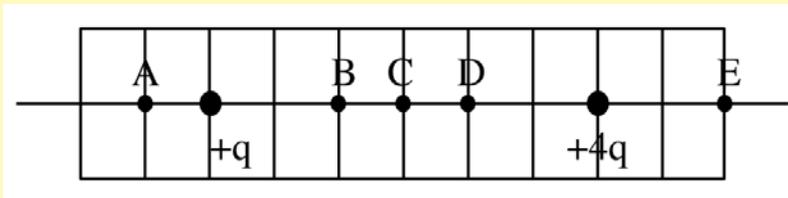
- a) 1.
- b) 2.
- c) 3.
- d) 4.
- e) 5.

12. (UFRGS) Uma partícula, com carga elétrica q , encontra-se a uma distância d de outra partícula, com carga $-3q$. Chamando de F_1 o módulo da força elétrica que a segunda carga exerce sobre a primeira e de F_2 o módulo da força elétrica que a primeira carga exerce sobre a segunda, podemos afirmar que:

- a) $F_1 = 3F_2$ e as forças são atrativas.
- b) $F_1 = 3F_2$ e as forças são repulsivas.
- c) $F_1 = F_2$ e as forças são atrativas.

- d) $F_1 = F_2$ e as forças são repulsivas.
 e) $F_1 = F_2/3$ e as forças são atrativas.

13. (UFRGS) A figura abaixo representa duas cargas elétricas puntiformes positivas, $+q$ e $+4q$, mantidas fixas em suas posições.



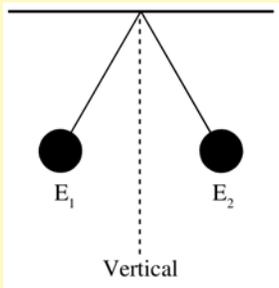
Para que seja nula a força eletrostática resultante sobre uma terceira carga puntiforme, esta carga deve ser colocada no ponto

- a) A.
 b) B.
 c) C.
 d) D.
 e) E.

14. (UFRGS) Duas cargas q_1 e q_2 encontram-se separadas por uma distância r . Nessa situação, a intensidade da força elétrica sobre a carga q_1 depende:

- a) apenas de q_1 .
 b) apenas de q_2 .
 c) apenas de q_1 e r .
 d) apenas de q_2 e r .
 e) de q_1 , q_2 e r .

15. (UFCSPA) A figura abaixo representa duas pequenas esferas metálicas E_1 e E_2 , de mesma massa, suspensas por fios isolantes. A esfera E_1 tem uma carga q , e a esfera E_2 , uma carga $2q$.



Se F_1 é a intensidade da força elétrica que a esfera E_1 exerce na esfera E_2 e se F_2 é a intensidade da força elétrica que a esfera E_2 exerce na esfera E_1 , então é correto afirmar que

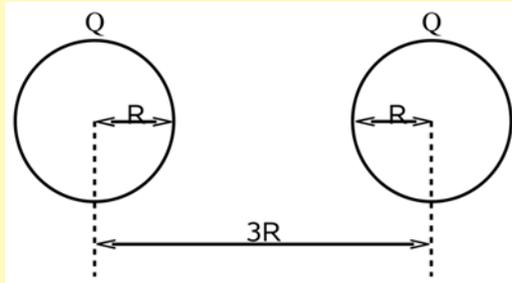
- a) $F_1 = 2 F_2$.
- b) $F_1 = 4 F_2$.
- c) $F_1 = F_2$.
- d) $F_2 = 2 F_1$.
- e) $F_2 = 4 F_1$.

16. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Duas cascas esféricas finas, de alumínio, de mesmo raio R , que estão a uma distância de $100R$ uma da outra, são eletrizadas com cargas de mesmo valor, Q , e de mesmo sinal. Nessa situação, o módulo da força

eletrostática entre as cascas é $k \frac{Q^2}{10.000R^2}$, onde k é a constante

eletrostática. A seguir, as cascas são aproximadas até atingirem a configuração final representada na figura abaixo.



Nessa nova situação, o módulo da força eletrostática entre as cascas é

..... $k \frac{Q^2}{9R^2}$.

- a) igual a - menor do que
- b) igual a - igual a
- c) igual a - maior do que
- d) maior do que - igual a
- e) maior do que - menor do que

CAMPO ELÉTRICO

CAPÍTULO 4

Vimos no Capítulo 1 o conceito de campo gravitacional. Podemos também definir o *campo elétrico* como uma região de influência em torno de uma ou mais cargas elétricas. Então, podemos dizer que: **um corpo eletrizado cria ao seu redor um campo elétrico**. Cada ponto desse campo é caracterizado por um **vetor campo elétrico**, sendo que qualquer outra carga colocada nesse ponto ficará submetida a uma força elétrica. O campo deve ser chamado de vetor porque possui orientação, além de seu módulo e unidade. No caso de partículas carregadas eletricamente, podemos observar o fenômeno de atração e de repulsão, diferentemente do campo gravitacional que apresenta apenas atração. No entanto, tanto o campo gravitacional quanto o elétrico diminuem de intensidade à medida que nos afastamos da fonte do campo. O conceito de campo elétrico é tão importante que, quando um corpo sofre a ação de uma força elétrica, dizemos que ele está, na verdade, sob a ação de um campo elétrico.

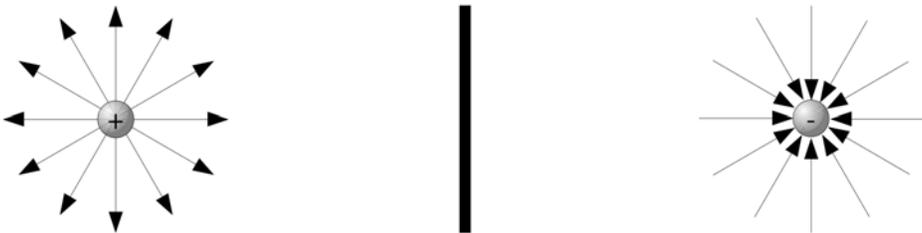
Vamos definir o vetor campo elétrico \vec{E} gerado por uma partícula carregada como a razão entre a força \vec{F} e o valor da sua carga q :

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

Como \vec{F} é dada em newtons, e q é dada em coulombs, a unidade de campo elétrico é N/C. Um campo de 1 N/C significa que uma partícula de 1 C sofrerá uma força de 1 N. Lembremos da definição de campo gravitacional, cuja unidade é o N/kg.

Para determinar a intensidade e orientação do campo elétrico gerado por uma carga q lançamos mão de um artifício que chamamos de *carga de prova*. Esta carga possui módulo q_0 , que é muito menor que a carga q , de forma a não distorcer o campo gerado por q . Por convenção, definiu-se que o sinal da carga de prova é positivo. Assim,

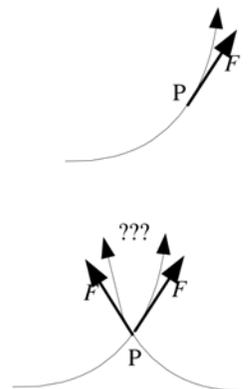
quando uma carga de prova for colocada no campo gerado por uma carga positiva, ela sofrerá uma força para longe da carga. Já se a carga de prova for colocada no campo gerado por uma carga negativa, ela sofrerá uma força na direção da carga. Ao varrer com q_0 toda a vizinhança em torno de q , é possível mapear para onde aponta a força elétrica em cada ponto do espaço. Com isto, podemos definir o que chamamos de *linhas de força*, que nada mais são que linhas indicando a direção que apontaria a força se uma carga elétrica positiva estivesse sujeita àquele campo elétrico. Esta definição foi proposta pelo físico inglês Michael Faraday (1791-1867). Abaixo, representamos as linhas de força de uma carga positiva isolada e de uma carga negativa isolada.



Se aproximarmos duas cargas elétricas uma da outra, as linhas de força tendem a se curvar, como se houvesse atração ou repulsão *entre as linhas*, dependendo do sinal das cargas.

As linhas de campo nunca se cruzam. Vamos entender por quê. Imagine uma linha de campo como a mostrada na figura abaixo. Se quisermos descobrir para onde apontará a força sobre uma carga de prova que for colocada no ponto P, basta tomar a reta tangente no respectivo ponto.

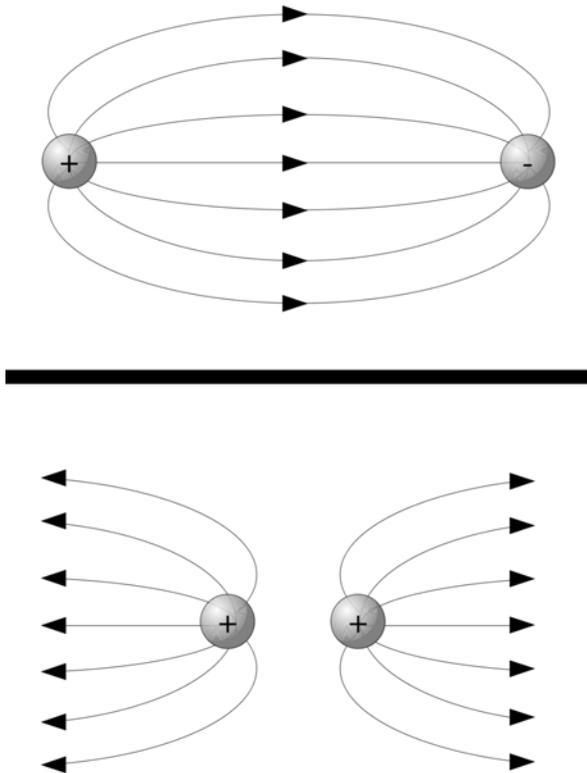
E se fosse possível que duas linhas de força se cruzassem? Vamos imaginar o que aconteceria. Na figura ao lado, qual das tangentes escolheríamos para representar a força no ponto P? A tangente à linha da direita ou a tangente à linha da esquerda? Chegamos a uma ambiguidade. Portanto, tal fato não pode ocorrer.



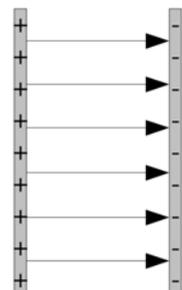
Assim, se tivermos duas partículas de mesmo módulo de carga, uma próxima da outra, teremos um campo elétrico conforme as figuras

abaixo. Se observarmos as figuras, vemos que nas regiões muito próximas das cargas as linhas estão muito próximas umas das outras, ou existe uma densidade maior de linhas próximo das cargas. Interpretamos a maior densidade de linhas como uma maior intensidade de campo. Nas regiões longe das cargas, as linhas são mais rarefeitas e o campo é mais fraco.

Podemos dizer que as linhas de campo “nascem” nas cargas positivas e “morrem” nas cargas negativas.



Se aproximarmos duas grandes placas metálicas, sendo uma carregada positivamente e outra negativamente, podemos gerar um campo elétrico uniforme. Neste tipo de campo, as linhas são todas paralelas e à mesma distância umas das outras, indicando que o campo tem sempre o mesmo valor em qualquer ponto entre as placas.

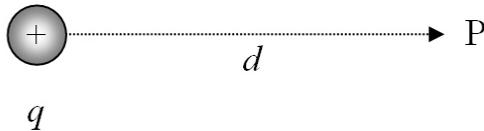


Agora que entendemos bem a característica geométrica do campo elétrico, vamos estudar o comportamento de sua intensidade. Se substituirmos na definição de campo elétrico a fórmula de Coulomb para a força,

$$F = k \frac{qQ}{d^2}$$

é fácil ver que o campo elétrico pode ser expresso por:

$$E = k \frac{q}{d^2}$$



Desta forma, podemos calcular a intensidade do campo elétrico em um ponto P a uma distância d da carga geradora do campo. Quanto maior for q , mais intenso será o campo e, quanto mais distante o ponto estiver da carga, mais fraco será o campo.

Assim, definimos completamente o campo elétrico como possuindo uma orientação e um módulo, o que é necessário por ser uma grandeza vetorial. Se várias cargas estiverem próximas umas das outras, o campo resultante no ponto P será dado pela soma vetorial de cada campo individual:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

Exemplo:

1. Uma gotícula de água carregada positivamente com $5 \mu\text{C}$ encontra-se no ar seco. Quanto vale o campo elétrico a uma distância de 10 cm da gotícula?

2. (UFSM) Duas cargas puntiformes Q_1 e Q_2 estão separadas por uma distância de 6 cm. Se a 2 cm da carga Q_1 , em um ponto que une as cargas, o campo elétrico é nulo, a razão $\frac{Q_1}{Q_2}$ vale:

- a) $\frac{1}{4}$
- b) $\frac{1}{3}$
- c) 1
- d) $-\frac{1}{3}$
- e) $-\frac{1}{4}$

Exercícios:

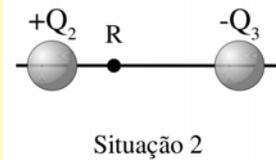
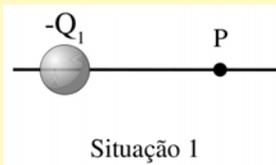
1. (Unicruz) A que distância o campo elétrico gerado pelo elétron, de carga $1,6 \times 10^{-19}$ C, exerce uma força elétrica de 230,4 N? Considere a constante eletrostática do meio $9,0 \times 10^9$ N m²/C².

- a) 10^{-6} m
- b) 10^{-9} m
- c) 10^{-12} m
- d) 10^{-15} m
- e) 10^{-18} m

2. (UFPEL) Numa certa experiência, verificou-se que a carga de $5 \mu\text{C}$, colocada num certo ponto do espaço, ficou submetida a uma força de origem elétrica de valor $4 \times 10^{-3} \text{ N}$. Nesse ponto, a intensidade do campo elétrico é igual a:

- a) 20 kN/C .
- b) $0,8 \mu\text{N/C}$.
- c) $0,8 \text{ kN/C}$.
- d) $20 \mu\text{N/C}$.
- e) $0,8 \text{ N/C}$.

3. (UFSC) A figura mostra duas situações distintas: na situação 1 estão representados uma carga pontual negativa, $-Q_1$, e um ponto P; na situação 2 estão representados uma carga pontual positiva, $+Q_2$, uma carga pontual negativa $-Q_3$ e um ponto R, localizado entre elas.



(01) O campo elétrico no ponto P aponta horizontalmente para a direita.

(02) O campo elétrico no ponto R pode ser igual a zero, dependendo das intensidades das cargas Q_2 e $-Q_3$.

(04) O campo elétrico no ponto P tem o mesmo sentido que o campo elétrico no ponto R.

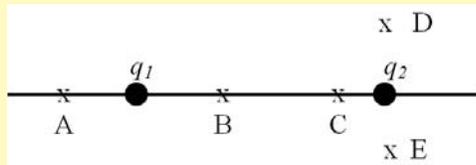
(08) O Campo elétrico no ponto R causado pela carga $-Q_3$ tem sentido oposto ao do campo elétrico no ponto P.

(16) As forças elétricas que as cargas Q_2 e $-Q_3$ exercem uma sobre a outra são forças idênticas.

4. (PUCRS) Duas cargas puntiformes, q_1 positiva e q_2 negativa, sendo q_2 maior que q_1 , em módulo, fixas e separadas por distância d , são representadas na figura abaixo.

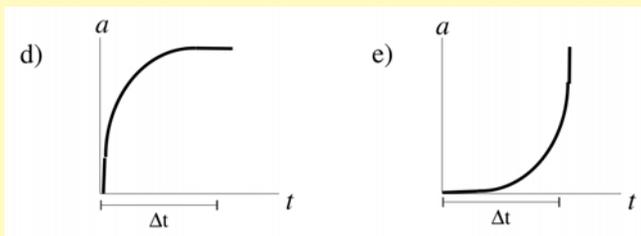
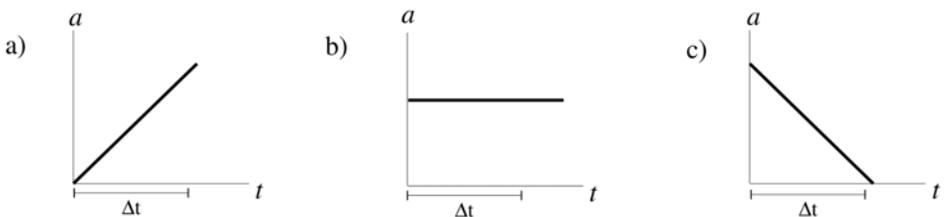
O campo elétrico pode ser nulo na região

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E



5. (UFRGS) Uma partícula com carga elétrica positiva q_0 é colocada em uma região onde existe um campo elétrico uniforme e na qual se fez vácuo. No instante em que a partícula é abandonada nessa região, ela tem velocidade nula. Após um intervalo de tempo Δt , sofrendo apenas a ação do campo elétrico, observa-se que a partícula tem velocidade de módulo V , muito menor do que a velocidade da luz.

Selecione o gráfico que melhor representa o módulo da aceleração (a) sofrida pela partícula, em função do tempo (t), durante o intervalo Δt .



6. (UCS) Alguns acendedores automáticos de fogão funcionam graças à presença de um cristal piezelétrico, um material isolante (dielétrico) que, mesmo eletricamente neutro, quando pressionado, produz um campo elétrico e, portanto, uma diferença de potencial entre suas faces.

Assinale a alternativa que contém a explicação correta para esse fenômeno.

a) A pressão gera um alinhamento ordenado das moléculas, o qual provoca acumulação de carga positiva resultante numa face do cristal e carga negativa resultante na face oposta, o que, por sua vez, produz um campo elétrico resultante.

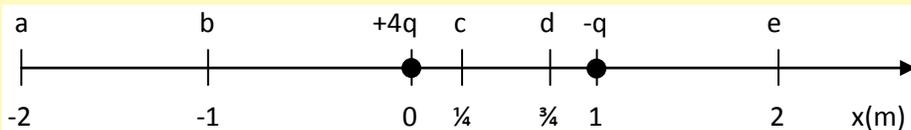
b) A pressão, como se sabe, é um dos poucos meios de criar cargas elétricas e, posteriormente, campos elétricos resultantes em materiais nos quais cargas elétricas não existem, como os dielétricos.

c) A pressão gera uma recombinação das moléculas do cristal piezelétrico, fazendo com que este se transforme de isolante em condutor, e, como se sabe, qualquer condutor, eletricamente carregado ou não, produz um campo elétrico resultante.

d) A pressão faz com que algumas cargas positivas se transformem em negativas, causando um desequilíbrio nas cargas do cristal piezelétrico, o que produz um campo elétrico atrativo.

e) A pressão faz com que algumas cargas negativas se transformem em positivas, causando um desequilíbrio nas cargas do cristal piezelétrico, o que produz um campo elétrico repulsivo.

7. (UFRGS) Duas cargas elétricas puntiformes, de valores $+4q$ e $-q$, são fixadas sobre o eixo dos x , nas posições indicadas na figura abaixo.



Sobre esse eixo, a posição na qual o campo elétrico é nulo é indicada pela letra:

- a) a.
- b) b.
- c) c.

- d) d.
- e) e.

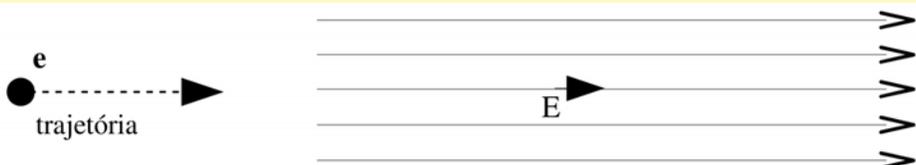
8. (UFSM) Preencha as lacunas e, após, assinale a alternativa correta. Uma esfera de pequena massa, carregada positivamente, encontra-se em repouso, quando submetida, simultaneamente, a um campo elétrico e ao campo gravitacional da Terra. Nessa situação, a direção do campo elétrico é _____ com sentido _____ .

- a) horizontal – do norte para o sul
- b) horizontal – do sul para o norte
- c) horizontal – do oeste para leste
- d) vertical – de cima para baixo
- e) vertical – de baixo para cima

9. Quando duas partículas eletrizadas com cargas simétricas são fixadas em dois pontos de uma mesma região do espaço, verifica-se, nessa região, um campo elétrico resultante que pode ser representado por linhas de força. Sobre essas linhas de força é correto afirmar que se originam na carga:

- a) positiva e podem cruzar-se entre si.
- b) positiva e não podem se cruzar entre si.
- c) positiva e são paralelas entre si.
- d) negativa e podem cruzar-se entre si.
- e) negativa e não se podem cruzar entre si.

10. (ULBRA) Um elétron e penetra num campo elétrico uniforme com velocidade bastante elevada, conforme representado na figura abaixo.



O mais provável é que o elétron, assim que penetrar o campo:

- a) descreva uma trajetória circular;
- b) aumente a sua velocidade;
- c) reduza sua velocidade;
- d) descreva uma trajetória parabólica;
- e) aumente a sua aceleração.

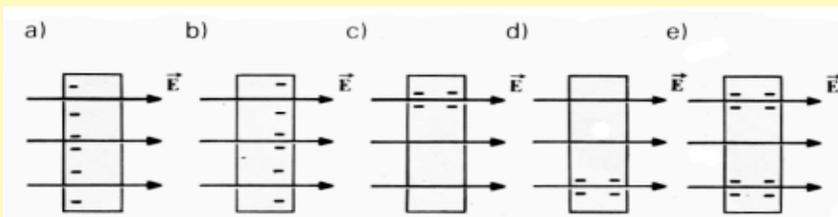
11. (UFRGS) Duas grandes placas planas carregadas eletricamente, colocadas uma acima da outra paralelamente ao solo, produzem entre si um campo elétrico que pode ser considerado uniforme. O campo está orientado verticalmente e aponta para baixo.

Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo.

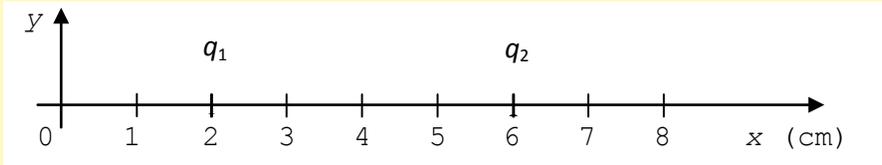
Uma partícula com carga negativa é lançada horizontalmente na região entre as placas. À medida que a partícula avança, sua trajetória, enquanto que o módulo de sua velocidade (Considere que os efeitos da força gravitacional e da influência do ar podem ser desprezados.)

- a) se encurva para cima - aumenta
- b) se encurva para cima - diminui
- c) se mantém retilínea - aumenta
- d) se encurva para baixo - aumenta
- e) se encurva para baixo - diminui

12. (PUCRS) Quando um condutor é submetido a um campo elétrico \vec{E} , seus elétrons livres, sob a ação desse campo, concentram-se mais em uma região do condutor. Das cinco alternativas abaixo, a que representa corretamente o fenômeno é:



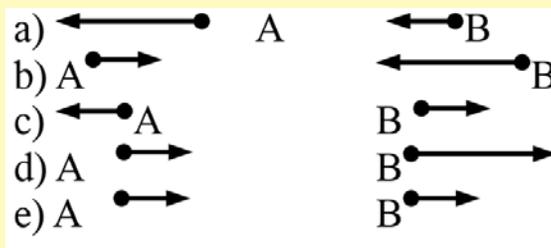
13. (UFRGS) Na figura, q_1 e q_2 representam duas cargas elétricas puntiformes de mesmo sinal, fixadas nos pontos $x = 2$ cm e $x = 6$ cm, respectivamente.



Para que o campo elétrico resultante produzido por essas cargas seja nulo no ponto de abscissa $x = 3$ cm, qual deve ser a relação entre as cargas?

- a) $q_1 = q_2$
- b) $q_1 = 3 q_2$
- c) $q_1 = 4 q_2$
- d) $q_1 = q_2 / 3$
- e) $q_1 = q_2 / 9$

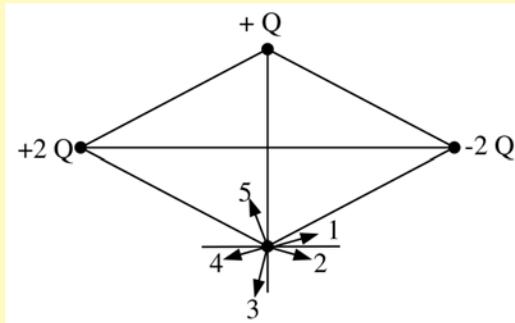
14. (UFRGS) Duas cargas elétricas, A e B, sendo A de $2 \mu\text{C}$ e B de $-4 \mu\text{C}$, encontram-se em um campo elétrico uniforme. Qual das alternativas representa corretamente as forças exercidas sobre as cargas A e B **pelo campo elétrico**?



15. (UFRGS) Três cargas puntiformes, de valores $+2Q$, $+Q$ e $-2Q$, estão localizadas em três vértices de um losango, do modo indicado na figura abaixo.

Sabendo-se que não existem outras cargas elétricas presentes nas proximidades desse sistema, qual das setas mostradas na figura representa melhor o campo elétrico no ponto P, quarto vértice do losango?

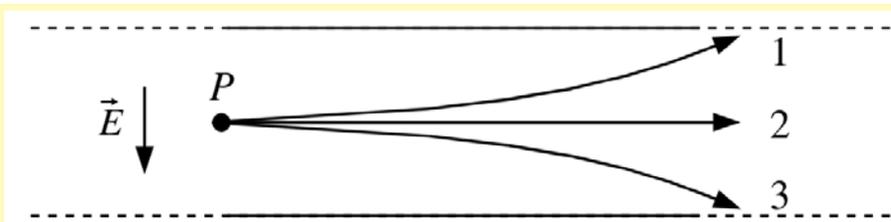
- a) A seta 1.
- b) A seta 2.
- c) A seta 3.
- d) A seta 4.
- e) A seta 5.



16. (UFPEL) O pósitron é a antipartícula do elétron, possuindo a mesma massa, porém com carga elétrica positiva $+e$. Sob a ação de um campo elétrico uniforme o pósitron sofre uma aceleração cujo módulo é a . Ao quadruplicarmos a intensidade do campo elétrico, o pósitron sofrerá uma aceleração cujo módulo vale:

- a) $\frac{1}{4} a$.
- b) a .
- c) $2a$.
- d) $4a$.
- e) $\frac{1}{2} a$
- f) I.R.

17. (UFRGS) A figura abaixo representa um campo elétrico uniforme \vec{E} existente entre duas placas extensas, planas e paralelas, no vácuo. Uma partícula é lançada horizontalmente, com velocidade de módulo constante, a partir do ponto P situado a meia distância entre as placas. As curvas 1, 2 e 3 indicam possíveis trajetórias da partícula. Suponha que ela não sofra ação da força gravitacional.

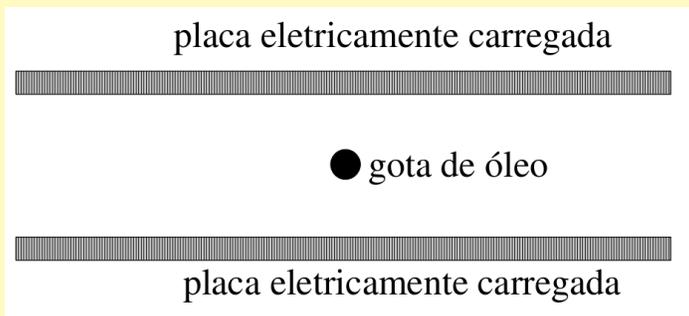


Com base nesses dados, assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do seguinte enunciado.

A trajetória indica que a partícula

- a) 3 - está carregada negativamente
- b) 3 - está carregada positivamente
- c) 1 - está carregada positivamente
- d) 3 - não está carregada
- e) 2 - está carregada positivamente

18. (PUCRS) A quantização da carga elétrica foi observada por Millikan em 1909. Nas suas experiências, Millikan mantinha pequenas gotas de óleo eletrizadas em equilíbrio vertical entre duas placas paralelas também eletrizadas, como mostra a figura abaixo. Para conseguir isso, regulava a diferença de potencial entre essas placas alterando, conseqüentemente, a intensidade do campo elétrico entre elas, de modo a equilibrar a força da gravidade.



Suponha que, em uma das suas medidas, a gota tivesse um peso de $2,4 \times 10^{-13}$ N e uma carga elétrica positiva de $4,8 \times 10^{-19}$ C. Desconsiderando os efeitos do ar existente entre as placas, qual

deveria ser a intensidade e o sentido do campo elétrico entre elas para que a gota ficasse em equilíbrio vertical?

- a) $5,0 \times 10^5$ N/C, para cima.
- b) $5,0 \times 10^4$ N/C, para cima.
- c) $4,8 \times 10^{-5}$ N/C, para cima.
- d) $2,0 \times 10^{-5}$ N/C, para baixo.
- e) $2,0 \times 10^{-6}$ N/C, para baixo.

POTENCIAL ELÉTRICO

CAPÍTULO 5

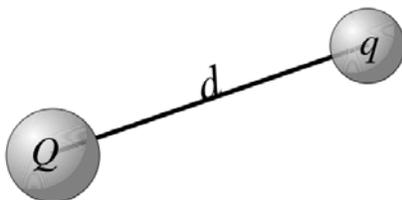
Quando estudamos um sistema físico qualquer, muitas vezes buscamos entender quais as forças que agem nele. Sabendo a intensidade e a orientação das forças atuando em cada corpo que compõe o sistema, podemos fazer predições sobre seu comportamento. Vimos que, além de descrevermos um sistema por suas forças, também podemos usar a descrição de campo elétrico. Neste caso, dizemos que cada carga que compõe o sistema está sob o efeito de um campo elétrico preexistente. Outra forma, ainda, de caracterizar o sistema é através do potencial elétrico.

Sabemos que, quando dois corpos de massas m e M encontram-se separados por uma distância d , a energia potencial do sistema é dada por

$$E_{PG} = -G \frac{mM}{d}$$

Também vimos que a forma matemática das forças gravitacional e elétrica para sistemas de dois corpos são muito parecidas, e podemos chegar de uma força à outra pela simples analogia: massa \leftrightarrow carga. Usando novamente esta analogia na fórmula da energia potencial gravitacional e, escolhendo um valor nulo para a energia potencial quando as cargas estão infinitamente separadas, podemos chegar à definição de energia potencial elétrica:

$$E_{PE} = k \frac{qQ}{d}$$



A força gravitacional, por ser sempre atrativa, contém o sinal de menos e, portanto, a energia potencial gravitacional é sempre negativa. No caso elétrico, força é de atração ou repulsão, dependendo do sinal das cargas.

Quando as cargas tiverem sinais **diferentes**, a energia potencial elétrica é **negativa** e a força é de **atração**. Quando as cargas tiverem sinais **iguais**, a energia potencial elétrica é **positiva** e a força é de **repulsão**.

O sinal da energia potencial é um indicador da estabilidade de um sistema de cargas. Quando a energia é negativa, o sistema tende a ficar coeso, enquanto que quando a energia é positiva, as várias cargas tendem a se afastar. Quando uma carga movimentada-se espontaneamente em um campo elétrico, sua energia diminui. Se a carga é forçada a se movimentar por uma força externa, ela aumenta sua energia. Isto ocorre centenas de vezes com as cargas que são armazenadas em baterias recarregáveis. Quando uma bateria é utilizada para fazer funcionar algum circuito elétrico, suas cargas fluem espontaneamente de um polo ao outro através do circuito. O trabalho do circuito é transformar a energia elétrica das cargas em outras formas como energia sonora, luminosa, mecânica, etc. A bateria é considerada descarregada quando não é mais capaz de fornecer energia para o circuito. Chegou o momento de recarregá-la. Para isto acontecer, outro circuito é conectado na bateria com o trabalho de forçar as cargas a percorrer o sentido inverso. Assim, as cargas aumentam sua energia que passa a ser estocada no interior da bateria.

A energia potencial elétrica depende apenas das posições relativas das cargas, não importando como tenham chegado a elas. Assim, dizemos que o campo elétrico produz uma *força conservativa*. Se gastarmos uma energia E para levar uma carga de um ponto A para um ponto B, recuperamos a mesma quantidade de energia ao retornarmos do ponto B para o ponto A, não importando o percurso que as cargas tenham percorrido.

Ao contrário da força, que é um vetor, a energia potencial é um escalar e, portanto, é definida por apenas um número e uma unidade, no caso joule. Quando calculamos a energia potencial de várias cargas, calculamos a energia de cada par de cargas e depois somamos tudo, sem a necessidade de levar em conta qualquer orientação, mas apenas o sinal.

Qual a diferença entre uma tomada ligada em 110 V e uma ligada em 220 V? Para saber a resposta temos que entender o que é a grandeza física chamada potencial elétrico.

O **potencial elétrico** está associado com a energia que uma carga possui na presença de um campo elétrico. Formalmente, potencial elétrico é a energia potencial elétrica por unidade de carga:

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

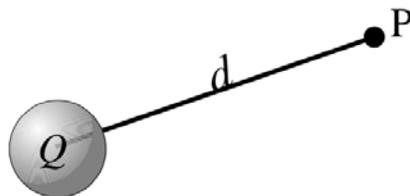
A unidade de campo elétrico é o volt, em homenagem ao inventor da pilha elétrica, o físico italiano Alessandro Volta (1745-1827). Da definição acima, temos que $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$. Isto quer dizer que uma carga de 1 coulomb colocada numa região do espaço onde o potencial elétrico é de 1 volt possui uma energia de 1 joule.

De forma similar ao campo elétrico, o potencial elétrico é uma característica de cada ponto do espaço, e, logo, existe independentemente de existir carga no ponto em questão. Quanto maior for o módulo da carga colocada nesse ponto, maior será o módulo da energia potencial elétrica adquirida. O potencial elétrico é uma grandeza escalar, pois não necessita uma orientação em sua definição. O potencial resultante em um ponto consiste da soma algébrica dos potenciais das cargas na sua vizinhança:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Se substituirmos a equação da energia potencial elétrica na definição de potencial, e lembrando que a energia potencial elétrica vai à zero no infinito, ficamos com:

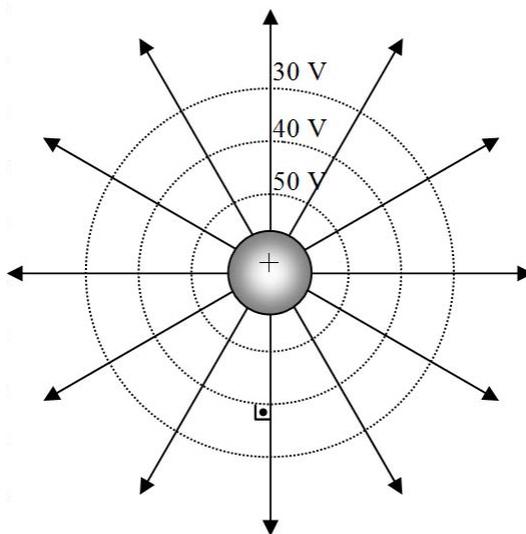
$$U = k \frac{Q}{d}$$



Ao simplificar q na substituição, chegamos à conclusão que uma carga gera à sua volta um potencial independentemente da presença de outras cargas. Cargas positivas geram potenciais positivos e cargas negativas geram potenciais negativos. Podemos então dizer que uma região próxima a cargas positivas possui potencial mais alto em relação a uma

região próxima de cargas negativas. O módulo do potencial é máximo próximo da carga e diminui com a distância. A fórmula acima vale somente para partículas puntiformes ou no lado externo de corpos esféricos.

Pontos que estiverem à mesma distância da carga possuem o mesmo potencial elétrico. As superfícies que contêm esses pontos chamamos de *equipotenciais*. Estas superfícies têm a propriedade de serem sempre perpendiculares às linhas de campo elétrico. No caso de um campo gerado por uma carga puntiforme, as superfícies equipotenciais são esferas concêntricas. O valor da energia potencial entre os pontos de



uma mesma superfície equipotencial ser o mesmo, equivale a dizer que não se tem gasto de energia para levar uma carga de um ponto ao outro da mesma superfície. E o trabalho para levar uma carga de uma superfície à outra superfície só depende da diferença de potencial entre elas.

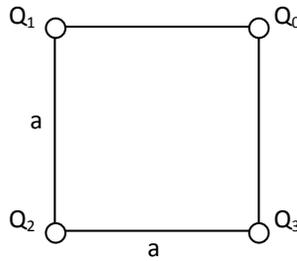
A *diferença de potencial (ddp)* entre as superfícies A e B é dado por:

$$\Delta U = U_B - U_A = \frac{E_{PE}^B}{q} - \frac{E_{PE}^A}{q}$$

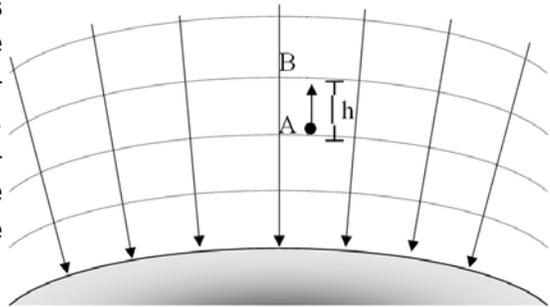
Exemplo:

1. (UNISC) Quatro cargas Q_0 , Q_1 , Q_2 e Q_3 são afixadas nos vértices de um quadrado de aresta a . Sabe-se que $Q_1 = -2q$, $Q_2 = +4q$ e $Q_3 = -8q$. Precisamos que o potencial elétrico resultante criado por todas as cargas no centro do quadrado seja igual a zero; para obter este resultado, Q_0 tem que ser igual a:

- a) $+ 2q$.
- b) $+ 4q$.
- c) $+ 6q$.
- d) $+ 8q$.
- e) $+ 10q$.



Vamos agora analisar o caso de um campo elétrico uniforme. Para tanto, temos de recorrer novamente à analogia entre força gravitacional e força elétrica. Nas proximidades da superfície terrestre, o campo gravitacional é praticamente uniforme. O trabalho τ que devemos realizar para levar um corpo de massa m de uma altura A até uma altura B é:



$$\tau = m g h.$$

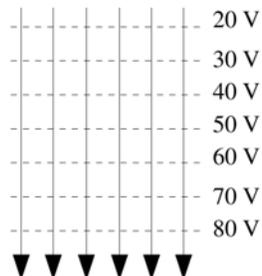
Façamos as seguintes analogias:

- massa \longleftrightarrow carga
- campo gravitacional \longleftrightarrow campo elétrico
- altura \longleftrightarrow distância entre as equipotenciais

Assim, podemos escrever uma expressão para o trabalho realizado quando uma carga se move entre duas equipotenciais:

$$\tau = qEd$$

Superfícies equipotenciais de um campo elétrico uniforme



Se uma carga positiva é solta em um campo elétrico, ela sofre uma força na direção da linha de campo, ou seja, para potenciais mais baixos. O trabalho que a força elétrica realiza é igual à variação da energia potencial:

$$\tau = E_{PE}^B - E_{PE}^A = q(U^B - U^A)$$

Se definirmos a diferença de potencial entre os pontos A e B por

temos que
$$\Delta U = q(U^B - U^A)$$

$$\tau = q\Delta U$$

Comparando as expressões do trabalho temos, para um campo elétrico uniforme,

$$q\Delta U = qEd$$

$$\boxed{\Delta U = Ed}$$

Esta expressão nos diz que: quanto mais intenso for o campo elétrico numa região do espaço, maior será a ddp entre dois pontos; e que tanto maior a distância entre as equipotenciais destes pontos, maior será sua diferença de potencial.

Em laboratório utiliza-se um equipamento chamado de *gerador de van de Graaff* para produzir diferenças de potencial extremamente elevadas. Nesse aparelho, uma correia isolante é posta para girar entre duas polias, normalmente na posição vertical. Próximo à polia inferior encostado na correia é colocada uma escova condutora em contato com a terra. Próximo à polia superior, também é posicionada uma escova metálica encostada na correia e em contato elétrico com uma grande esfera metálica. O movimento da correia produz a eletrização da mesma pelo atrito com as escovas e acumula uma grande quantidade de carga na esfera condutora gerando uma ddp em relação à terra que pode chegar a dezenas de milhares de volts.

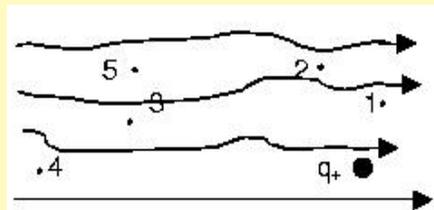
Exemplo:

2. (UFRGS) A diferença de potencial entre duas placas paralelas separadas por $2 \times 10^{-2} \text{ m}$ é de 12 V . Qual a intensidade da força elétrica que atua numa partícula de carga igual a $2 \times 10^{-9} \text{ C}$, que se encontra entre essas placas?

- a) $2,4 \times 10^{-11} \text{ N}$
- b) $6,0 \times 10^{-10} \text{ N}$
- c) $2,4 \times 10^{-9} \text{ N}$
- d) $1,2 \times 10^{-7} \text{ N}$
- e) $1,2 \times 10^{-6} \text{ N}$

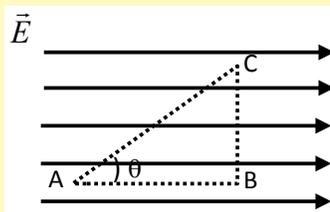
Exercícios:

1. (PUCRS) A figura abaixo representa um campo elétrico não uniforme, uma carga de prova q e cinco pontos quaisquer no interior do campo. Um agente externo ao campo realiza trabalho para levar a carga de prova, sem aceleração, desde onde ela se encontra até um dos cinco pontos assinalados. O trabalho maior corresponde ao ponto



- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

2. (UFRGS) Uma carga elétrica puntiforme positiva é deslocada ao longo de três segmentos indicados na figura abaixo, \overline{AB} , \overline{BC} e \overline{CA} , em uma região onde existe um campo elétrico uniforme, cujas linhas de força estão também representadas na figura.



Assinale a alternativa correta.

- a) De A até B a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho negativo.
- b) De A até B a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho nulo.
- c) De A até B a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho de módulo igual a $|W_{CA}| \cos \theta$, onde $|W_{CA}|$ é o módulo do trabalho realizado por esta força entre C e A.
- d) De B até C a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho nulo.
- e) De B até C a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho igual àquele realizado entre A e B.

3. (UFMS) São feitas as seguintes afirmações a respeito de linhas de campo e superfícies equipotenciais:

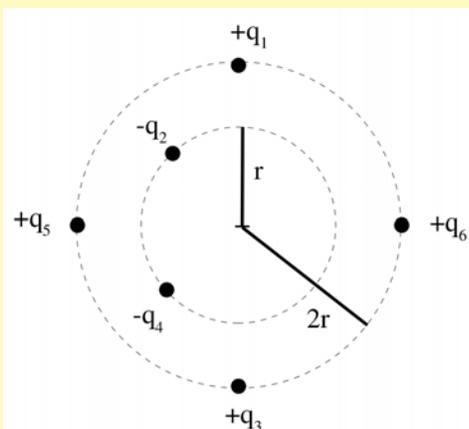
- I. O sentido de uma linha de campo elétrico indica o sentido de diminuição do potencial elétrico.
- II. As linhas de campo são perpendiculares às superfícies equipotenciais.
- III. Uma carga de prova em movimento espontâneo num campo elétrico aumenta sua energia potencial.

Está(ão) correta(s)

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

4. (UNISC) Seis (6) cargas elétricas de sinais diferentes são afixadas em cima de dois círculos concêntricos de raios r e $2r$, respectivamente, como mostra a figura.

Sabendo que $q_1=1q$, $q_2=2q$, $q_3=3q$, $q_4=4q$ e $q_5=5q$, qual é o valor de q_6 para que o potencial resultante (criado por todas as



cargas) no centro dos círculos seja igual a zero?

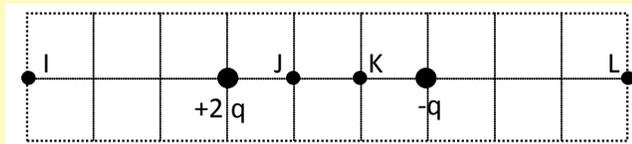
O valor da carga q_6 é igual a:

- a) $+6q$.
- b) $-3q$.
- c) $0q$.
- d) $+3q$.
- e) $-6q$.

5. (UFRGS) A figura abaixo representa duas cargas elétricas puntiformes, mantidas fixas em suas posições, de valores $+2q$ e $-q$, sendo q o módulo de uma carga de referência.

Considerando-se zero o potencial elétrico no infinito, é correto afirmar que o potencial elétrico criado pelas duas cargas será zero também nos pontos

- a) I e J.
- b) I e K.
- c) I e L.
- d) J e K.
- e) K e L.



6. (UPF) Um elétron é abandonado em repouso num campo elétrico E criado por uma carga elétrica positiva $(+q)$ fixa na origem de um sistema de coordenadas cartesiano. Sobre esta situação considere as afirmações a seguir:

- I. A força elétrica F que atua sobre o elétron tem a mesma direção e sentido do vetor E .
- II. O elétron irá se deslocar em sentido contrário ao vetor E .
- III. O elétron irá se mover de pontos onde o potencial é menor para pontos onde o potencial é maior.
- IV. O elétron irá se mover com velocidade constante.

Dessas afirmações, são verdadeiras:

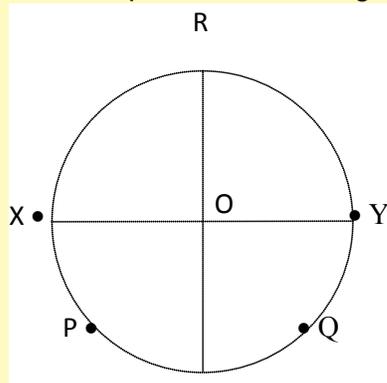
- a) I e IV.
- b) I, II e III.

- c) II e III.
- d) II e IV.
- e) I, II e IV.

7. (FURG) Verifica-se experimentalmente que, em condições normais, existe um campo elétrico de 100 N/C na atmosfera terrestre, dirigido verticalmente para baixo, criado por cargas elétricas na Terra. Em relação a esse campo elétrico terrestre, assinale a alternativa INCORRETA.

- a) Entre um ponto a 1m de altura e a superfície da Terra existe uma voltagem de 100 V .
- b) Os íons positivos existentes no ar tendem a mover-se para baixo e os íons negativos tendem a mover-se para cima.
- c) Uma carga de $100 \mu\text{C}$ experimenta uma força de $0,01 \text{ N}$.
- d) Uma gota de chuva adquire polarização, ficando positiva a parte superior da gota.
- e) A carga da Terra é predominantemente negativa.

8. (UFRGS) Duas cargas elétricas puntiformes, de mesmo módulo e sinais contrários, estão fixas nos pontos X e Y representados na figura. Entre que pontos indicados na figura a diferença de potencial gerada pelas cargas é nula?



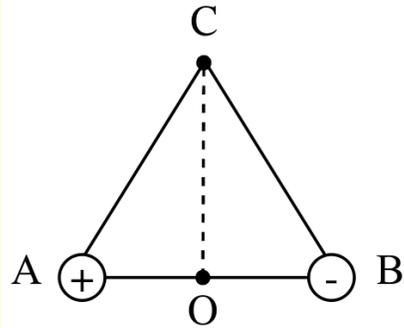
- a) O e R
- b) X e R
- c) X e Y
- d) P e Q
- e) O e Y

9. (UFCSPA) Para responder à questão 9 considere as informações e a figura a seguir.

Duas cargas elétricas de mesmo módulo, porém de sinais contrários, ocupam dois vértices, A e B de um triângulo equilátero, conforme

ilustra a figura. A constante eletrostática do meio é a mesma em todos os pontos do meio.

Nas condições descritas na instrução desta questão, a afirmação correta para o potencial elétrico e o campo elétrico resultantes no vértice C do triângulo é:

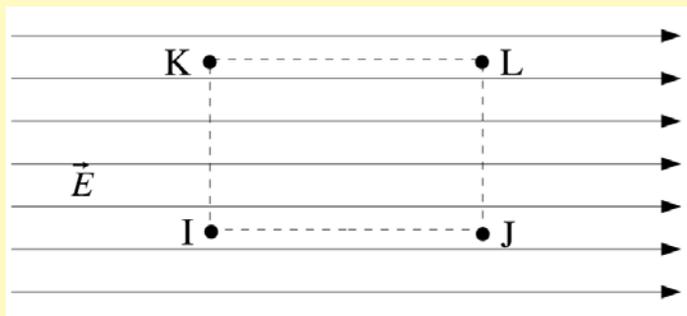


- a) o potencial e o campo elétrico resultantes são nulos.
- b) o potencial elétrico é nulo e a direção do campo elétrico resultante é a mesma da reta que passa em C, paralela a AB.
- c) o potencial elétrico é negativo e a direção do campo elétrico resultante é a mesma da reta que passa por BC.
- d) o potencial elétrico é positivo e a direção do campo elétrico resultante é a mesma da reta que passa por AC.
- e) o potencial elétrico é nulo e a direção do campo elétrico resultante é dada pela reta que passa em C e o ponto médio, O, entre AB.

10. (UFRGS) Uma carga de -10^{-6} C está uniformemente distribuída sobre a superfície terrestre. Considerando-se que o potencial elétrico criado por essa carga é nulo a uma distância infinita, qual será aproximadamente o valor deste potencial elétrico sobre a superfície da Lua? (Dados: $D_{\text{terra-Lua}} \approx 3,8 \times 10^8$ m; $k_0 = 9 \times 10^9$ Nm²/C².)

- a) $-2,4 \times 10^7$ V.
- b) $-0,6 \times 10^{-1}$ V.
- c) $-2,4 \times 10^{-5}$ V.
- d) $-0,6 \times 10^7$ V.
- e) $-9,0 \times 10^6$ V.

11. (UFRGS) A figura abaixo representa as linhas de força correspondentes a um campo elétrico uniforme. Os pontos I, J, K e L situam-se nos vértices de um retângulo cujos lados IJ e KL são paralelos às linhas de força.



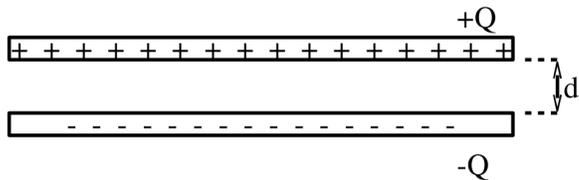
Em função disso, assinale a alternativa correta.

- a) O potencial elétrico em K é maior do que o potencial elétrico em I.
- b) O potencial elétrico em J é maior do que o potencial elétrico em I.
- c) O potencial elétrico em K é igual ao potencial elétrico em L.
- d) A diferença de potencial elétrico entre I e J é a mesma que existe entre I e L.
- e) A diferença de potencial elétrico entre I e L é a mesma que existe entre J e L.

12. (IPA) As pilhas elétricas, muito utilizadas atualmente para permitir o funcionamento de uma infinidade de aparelhos elétricos, são fontes de *diferença de potencial elétrico*. Essa diferença de potencial elétrico é resultado da conversão da energia química em energia elétrica e calor. Em vista disso, pode-se afirmar que a equação de funcionamento de uma pilha pode ser escrita na forma:

- a) energia térmica = energia química + energia elétrica;
- b) energia térmica = energia química - energia elétrica;
- c) energia elétrica = energia térmica + energia química;
- d) energia elétrica = energia química x energia térmica;
- e) energia elétrica = energia química + energia térmica.

13. (UFRGS) A figura abaixo representa a vista lateral de duas placas metálicas quadradas que, em um ambiente desumidificado, foram eletriza-



das com cargas de mesmo valor e de sinais contrários. As placas estão separadas por uma distância $d = 0,02$ m, que é muito menor do que o comprimento de seus lados. Dessa forma, na região entre as placas, existe um campo elétrico praticamente uniforme, cuja intensidade é aproximadamente igual a 5×10^3 N/C. Para se transferir uma carga elétrica positiva da placa negativamente carregada para a outra, é necessário realizar trabalho contra o campo elétrico. Esse trabalho é função da diferença de potencial existente entre as placas.

Quais são, respectivamente, os valores aproximados da diferença de potencial entre as placas e do trabalho necessário para transferir uma carga elétrica de 3×10^{-3} C da placa negativa para a positiva?

- a) 15 V e 0,2 J
- b) 75 V e 0,2 J
- c) 75 V e 0,3 J
- d) 100 V e 0,3 J
- e) 100 V e 0,4 J

14. (ULBRA) O gerador de Van de Graaff é um aparelho que leva o nome do seu idealizador, o físico norte americano Robert Van de Graaff. Serve para estabelecer diferenças de potenciais muito elevadas, chegando a alguns milhões de volts, empregados para acelerar partículas eletrizadas nos estudos da física nuclear. O princípio básico de funcionamento deste aparelho está baseado:

- a) na transferência integral de cargas elétricas de um corpo para outro;
- b) na impossibilidade de eletrizar a matéria;
- c) na impossibilidade de armazenar cargas elétricas em esferas;
- d) na eletrização da matéria por indução;
- e) nas forças de repulsão entre cargas elétricas.

CONDUTOR CARREGADO

CAPÍTULO 6

Definimos no Capítulo 2 que materiais isolantes são aqueles em que as cargas elétricas têm dificuldade em se movimentar, enquanto que nos materiais condutores as cargas movimentam-se facilmente. Esta definição, no entanto, vale para potenciais elétricos considerados baixos. Quando o campo elétrico é muito intenso, um corpo inicialmente isolante pode se tornar um condutor, pois os elétrons mais externos dos seus átomos constituintes são arrancados e passam a se movimentar dentro da substância. Um exemplo bem característico é o ar. Se aproximarmos o dedo alguns milímetros de uma tomada 110 V ou 220 V, não seremos eletrocutados, desde que a parte metálica não seja tocada. Isto porque o potencial elétrico é muito pequeno. No caso dos relâmpagos, facilmente observa-se ddps da ordem de 100 milhões de volts. O potencial elétrico é tão intenso que ioniza o ar e o torna condutor.

Qualquer corpo pode ser eletrizado, ou seja, receber um excesso de cargas elétricas, seja ele um condutor ou um isolante. No entanto, fenômenos diferentes ocorrem dependendo da natureza do corpo.

No caso de um corpo isolante, é possível eletrizar apenas determinada região do corpo. Basta acrescentar àquela região um excesso de carga. Como num isolante, as cargas não podem se movimentar livremente, elas ficam concentradas na região onde foram introduzidas. Outras regiões não alteram a quantidade de carga. Mas existem técnicas de eletrização que permitem carregar corpos isolantes de maneira uniforme sobre todo o seu volume. Se este for o caso, o potencial elétrico será o mesmo em qualquer ponto do corpo.

Quando introduzimos um excesso de carga em um corpo condutor, as cargas extras tornam-se livres para se movimentarem dentro do corpo. Como as cargas introduzidas têm o mesmo sinal, elas se repelirão, buscando ficar o mais afastado umas das outras. A região que oferece esta possibilidade é a superfície. A movimentação das cargas se dá de uma forma extremamente rápida. Praticamente de imediato

as cargas se rearranjam sobre a superfície e o corpo atinge o equilíbrio eletrostático. Logo, não existe excesso de carga no interior do condutor e, portanto, **em seu interior o campo elétrico é nulo**. Se o campo elétrico é nulo, uma carga não sofre força nenhuma, independentemente de qual região interna do condutor ela esteja. Se não há força, então temos que o **potencial elétrico no interior do condutor é constante** e igual ao da superfície.

O fato de as cargas se acumularem na superfície do condutor foi demonstrado em 1729, por Stephen Gray, ao carregar cubos feitos de material condutor. Tanto os cubos ocos quanto os maciços apresentavam as mesmas propriedades elétricas, indicando que o miolo do corpo não continha carga nenhuma. Em 1767, Joseph Priestley mostrou que, quando dentro de um corpo condutor oco fosse colocado um objeto com carga elétrica, este não sofreria força elétrica alguma.

Na **região externa** ao corpo carregado, seja ele isolante ou condutor, tanto o campo quanto o potencial elétrico se comporta como se toda a carga estivesse concentrada num ponto no seu centro. Em outras palavras, para pontos externos ao corpo é indiferente se as cargas estiverem distribuídas por todo ele ou se estivessem contidas em apenas uma partícula. Como as linhas de campo elétrico se orientam de forma radial em relação à partícula com carga, no caso de **uma esfera carregada, as linhas de campo devem ser perpendiculares à superfície**.

A EXPERIÊNCIA DE FARADAY

O fato de o campo elétrico ser nulo no interior de um condutor permite a construção de uma **blindagem eletrostática**, que protege da ação de campos elétricos qualquer corpo colocado em seu interior. Este fato foi confirmado experimentalmente por Michael Faraday, em 1836. No experimento, Faraday entrou em uma caixa, cujas paredes eram feitas de metal, portando instrumentos que detectariam a existência de qualquer campo elétrico. Enquanto ele estava lá dentro, uma grande descarga elétrica foi dirigida ao aparato. Nenhum campo elétrico foi detectado no interior da caixa e o cientista pôde sair completamente ileso. Graças a sua coragem, o equipamento ficou conhecido como **gaiola de Faraday**.

Em dias de chuva o interior de um automóvel apresenta uma ótima proteção contra relâmpagos. Se acontecer de um raio cair no carro, qualquer pessoa em seu interior está a salvo da descarga, pois no interior de uma caixa metálica o campo elétrico se anula. É por este motivo que um avião pode atravessar tempestades sem fritar seus ocupantes.

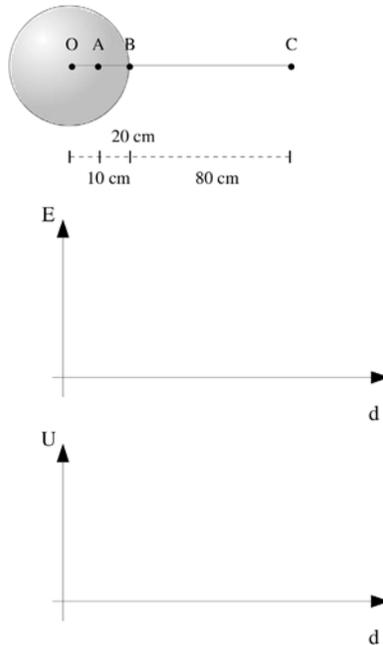
O PODER DAS PONTAS

Vimos que as cargas elétricas tendem a se acumular na superfície dos condutores. Se o condutor possuir regiões pontiagudas ele acaba acumulando uma quantidade maior de cargas nessas regiões do que em áreas mais planas. Devido à maior densidade de cargas nas pontas, o campo elétrico acaba ficando mais intenso nessas regiões. Isto propicia uma maior atração de cargas elétricas que estejam na vizinhança.

Este fenômeno ocasionou a invenção do para-raios. Este equipamento consiste em uma ponta metálica colocada em um lugar alto e conectada com a terra. Durante tempestades as nuvens ficam carregadas eletricamente. Um para-raios, devido ao campo elétrico a sua volta, atrai para si as cargas em excesso das nuvens, evitando que a descarga elétrica se dê em outro ponto indesejável da vizinhança. Após as cargas atingirem o para-raios elas são conduzidas para a terra, que é capaz de aceitar qualquer quantidade de cargas. Pode acontecer também de as cargas serem atraídas da terra pelas nuvens. Neste caso, elas sobem pelo fio-terra do para-raios e são liberadas na atmosfera pela ponta.

Exemplo:

Uma esfera metálica sofreu um processo de carga por indução, recebendo $81 \mu\text{C}$ de carga positiva. Sabendo que o raio da esfera vale 20 cm, determine o campo e o potencial elétrico nos pontos A, B e C indicados na figura abaixo. Utilizando estes pontos de referência, esboce os gráficos de E e U como função da distância ao centro geométrico da esfera.



Obs.: O potencial em A deve ser igual ao potencial em B, pois se houvesse uma ddp entre A e B, então uma carga colocada entre A e B sofreria uma força, o que é incompatível com o fato de o campo elétrico ser nulo nesta região.

Exercícios:

1. (PUCRS)

I. A força de interação eletrostática entre duas cargas q_1 e q_2 será alterada se uma outra carga q_3 for aproximada de q_1 e q_2 .

II. Se o potencial elétrico for constante numa região do espaço, a intensidade do campo elétrico será nula.

III. Um objeto eletricamente neutro pode ficar polarizado eletricamente sob a ação de um campo elétrico externo.

IV. As linhas de força do campo elétrico criado por um corpo carregado e isolado podem se interceptar.

Analisando as afirmativas, são corretas

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

2. (UFSM) São feitas as seguintes afirmações a respeito de um condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático:

I - A carga elétrica em excesso localiza-se na superfície externa.

II - No seu interior, o campo elétrico é nulo.

III - No seu interior o potencial elétrico é nulo.

Está(ão) correta(s):

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

3. (UCS) Certa civilização antiga atribuía a uma estátua de ouro poderes mágicos de fertilidade. A mulher que, em dias que prenunciavam tempestade, subisse num altar de madeira e, ao colocar suas mãos sobre o ídolo, tivesse os fios de cabelo eriçados, estaria abençoada. Conta-se que as mulheres que não agradavam ao ídolo eram alvejadas com raios vindos do céu. A despeito da mitologia envolvida na história, este é um claro caso de eletrostática em que:

- a) a mulher, ao colocar suas mãos no ídolo, fica com o mesmo potencial elétrico deste.
- b) o altar de madeira funciona como um condutor que permite a eletrização do corpo da mulher frente às nuvens com carga elétrica.
- c) o ouro não permite acúmulo de carga elétrica no ídolo frente às nuvens eletrizadas.

d) a cabeça da mulher está num potencial elétrico maior do que seus pés, por isso seus cabelos eriçam.

e) os raios só atingiam as mulheres que, ao serem carregadas eletricamente, não apresentassem campo elétrico.

4. (UPF) Considere um cubo metálico carregado positivamente com uma carga de 2 coulombs. Neste caso,

a) no interior do cubo não existe potencial elétrico;

b) no exterior do cubo pode-se calcular o potencial pela fórmula:

$$V = k Q/R;$$

c) no interior do cubo, o campo elétrico é calculado por $E = V/L$, onde L é o valor da aresta do cubo, V é o potencial e E é a intensidade do campo elétrico.

d) o interior do cubo funciona como uma gaiola de Faraday;

e) se forem dobradas as dimensões do cubo, a carga do mesmo reduz-se a um coulomb.

5. (UERGS) Uma esfera metálica homogênea, está eletrizada negativamente. Se ela estiver isolada, então sua carga,

a) distribui-se por todo seu volume e com densidade aumentando com a distância do centro.

b) distribui-se por todo seu volume e com densidade diminuindo com a distância do centro.

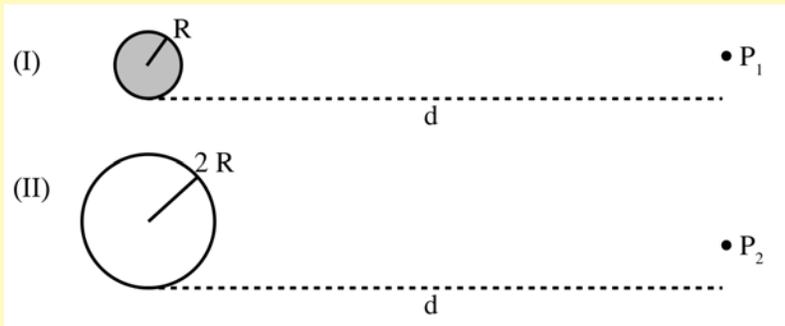
c) acumula-se no centro.

d) distribui-se uniformemente por todo o seu volume.

e) distribui-se uniformemente na sua superfície.

6. (UFRGS) A figura (I) representa, em corte, uma esfera maciça de raio R , contendo carga elétrica Q , uniformemente distribuída **em todo o seu volume**. Essa distribuição de carga produz no ponto P_1 , a uma distância d do centro da esfera maciça, um campo elétrico de intensidade E_1 . A figura (II) representa, em corte, uma casca esférica de raio $2R$, contendo a mesma

carga elétrica Q , porém uniformemente distribuída **sobre sua superfície**. Essa distribuição de carga produz no ponto P_2 , à mesma distância d do centro da casca esférica, um campo elétrico de intensidade E_2 .

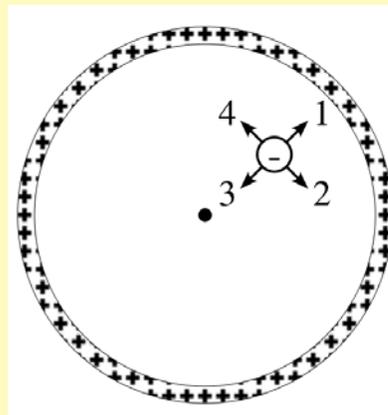


Selecione a alternativa que expressa corretamente a relação entre as intensidades de campo elétrico E_1 e E_2 .

- a) $E_2 = 4 E_1$
- b) $E_2 = 2 E_1$
- c) $E_2 = E_1$
- d) $E_2 = E_1/2$
- e) $E_2 = E_1/4$

7. (UFRGS) Uma partícula carregada negativamente é abandonada no interior de uma casca esférica isolante, carregada uniformemente com carga positiva, no ponto indicado na figura. Nessas condições, a força elétrica que atua na partícula:

- a) aponta em direção a 1.
- b) aponta em direção a 2.
- c) aponta em direção a 3.
- d) aponta em direção a 4.
- e) é nula.



8. (UFSC) Assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S):

01. O campo elétrico, no interior de um condutor eletrizado em equilíbrio eletrostático, é nulo.

02. O campo elétrico, no interior de um condutor eletrizado, é sempre diferente de zero, fazendo com que o excesso de carga se localize na superfície do condutor.

04. Uma pessoa dentro de um carro está protegida de raios e descargas elétricas, porque uma estrutura metálica blindada o seu interior contra efeitos elétricos externos.

08. Numa região pontiaguda de um condutor, há uma concentração de cargas elétricas maior do que numa região plana, por isso a intensidade do campo elétrico próximo às pontas do condutor é muito maior do que nas proximidades de regiões mais planas.

16. Como a rigidez dielétrica do ar é 3×10^6 N/C, a carga máxima que podemos transferir a uma esfera de 30 cm de raio é 10 microcoulombs.

32. Devido ao poder das pontas, a carga que podemos transferir a um corpo condutor pontiagudo é menor que a carga que podemos transferir para uma esfera condutora que tenha o mesmo volume.

64. O potencial elétrico, no interior de um condutor carregado, é nulo.

Dê como resposta a soma dos números associados às afirmações corretas.

9. (PUCRS) Durante as tempestades, normalmente ocorrem nuvens carregadas de eletricidade. Uma nuvem está eletrizada quando tem carga elétrica resultante, o que significa excesso ou falta de _____, em consequência de _____ entre camadas da atmosfera. O para-raios é um metal em forma de ponta, em contato com o solo, que _____ a descarga da nuvem para o ar e deste para o solo.

- | | | |
|-------------|---------|-----------|
| a) energia | choque | facilita |
| b) carga | atrito | dificulta |
| c) elétrons | atração | facilita |
| d) elétrons | atrito | facilita |
| e) prótons | atrito | dificulta |

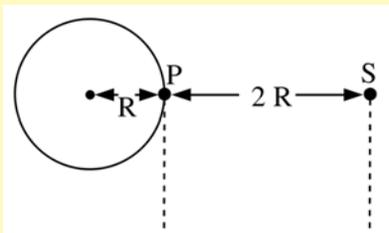
10. (PUCRS) Uma esfera condutora, oca, encontra-se eletricamente carregada e isolada. Para um ponto de sua superfície, os módulos do campo elétrico e do potencial elétrico são 900 N/C e 90 V . Portanto, considerando um ponto no interior da esfera, na parte oca, é correto afirmar que os módulos para o campo elétrico e para o potencial elétrico são, respectivamente,

- a) zero N/C e 90 V .
- b) zero N/C e zero V .
- c) 900 N/C e 90 V .
- d) 900 N/C e $9,0 \text{ V}$.
- e) 900 N/C e zero V .

11. (UPF) Ultimamente aconteceram vários acidentes com descargas elétricas atmosféricas chamadas raios. Sobre essas situações, é correto o que se afirma que:

- a) No interior de um ônibus, uma pessoa está protegida dos efeitos elétricos dos raios, pois nele não existe potencial elétrico.
- b) No exterior do ônibus, pode-se calcular o potencial elétrico causado pelas nuvens carregadas pela fórmula: $V = k Q/d$.
- c) No interior de um ônibus, o campo elétrico é calculado por $E = V/d$, onde d é o valor da altura do mesmo, V é o potencial e E é a intensidade do campo elétrico.
- d) No interior de um carro, uma pessoa está protegida contra os efeitos dos raios, pois este funciona como uma gaiola de Faraday.

12. (UFRGS) A figura abaixo representa uma esfera metálica oca, de raio R e espessura desprezível. A esfera é mantida eletricamente isolada e muito distante de quaisquer outros objetos, num ambiente onde se fez vácuo.



Em certo instante, uma quantidade de carga elétrica negativa, de módulo Q , é depositada no ponto P da superfície da esfera. Considerando nulo o potencial elétrico em pontos infinitamente afastados da esfera e designando por k a constante eletrostática, podemos afirmar que, após terem decorridos alguns segundos, o potencial elétrico no ponto S, situado à distância $2R$ da superfície da esfera, é dado por,

a) $-\frac{kQ}{2R}$.

b) $-\frac{kQ}{3R}$.

c) $+\frac{kQ}{3R}$.

d) $-\frac{kQ}{9R^2}$.

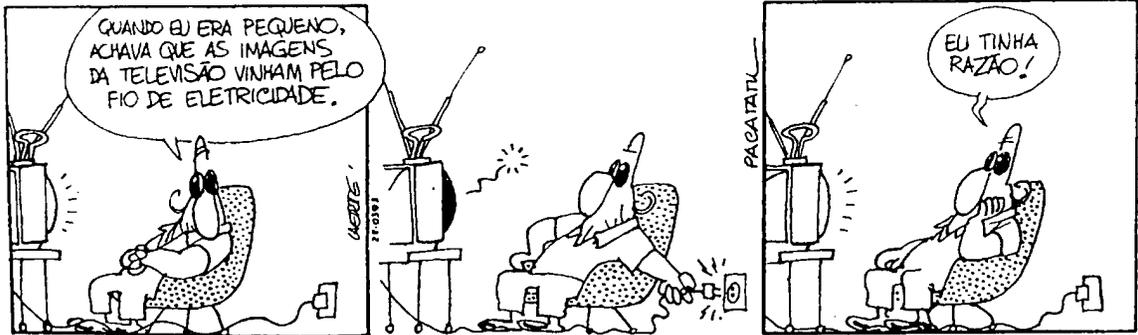
e) $+\frac{kQ}{9R^2}$.

CORRENTE ELÉTRICA

CAPÍTULO 7

STRIPTIRAS

de Laerte



Será...?

Os primeiros estudos dos fenômenos elétricos no século XVII, limitavam-se ao acúmulo de carga nos corpos. Daí o nome eletrostática. Toda movimentação de cargas dava-se de forma muito rápida no momento da descarga dos corpos. Isto dificultava o entendimento e a possível aplicação das propriedades físicas de cargas em movimento.

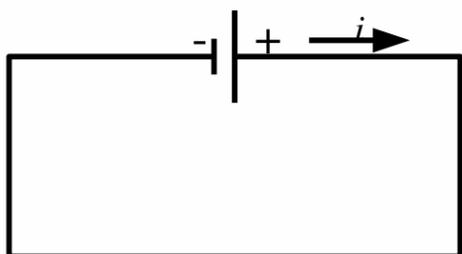
Em 1799, o italiano Alessandro Volta inventou a pilha úmida que consistia de discos de bronze e de aço empilhados, separados por um pedaço de pano embebido em solução salina. Ele observou que uma das superfícies dos discos ficava oxidada e descobriu a relação entre eletricidade e seu efeito químico. Esta pilha de discos disponibilizava pequenas quantidades de carga, mas que podiam ser fornecidas a um circuito por um tempo considerável. Ao movimento ordenado de cargas em algum meio deu-se o nome de **corrente elétrica**. Esse movimento direcional de cargas só é possível se existe uma diferença de potencial entre duas regiões onde estão acumuladas as cargas. Assim, cargas negativas tendem a se movimentar na direção de um potencial mais alto e vice-versa. O físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) foi quem definiu o potencial elétrico e sugeriu que: assim como o fluxo de calor se dá sob uma diferença de

temperatura, o fluxo de cargas ocorre sob uma diferença de potencial. Lembramos que a definição de calor é o fluxo de energia térmica.

Na verdade, as cargas não se movimentam todas exatamente na mesma direção. Ao se chocarem com os átomos que compõem o material, elas são defletidas aleatoriamente. Mas, *na média*, o movimento das cargas tende a ser em uma determinada direção.

SENTIDO DA CORRENTE ELÉTRICA

Muito antes de se saber da existência de elétrons, os cientistas achavam que a eletricidade era uma espécie de fluido de cargas positivas que circulava dentro dos corpos. Então, convencionou-se que esse fluido sairia do ponto de mais alto potencial para o ponto de potencial mais baixo, ou seja, do polo positivo para o polo negativo. Mesmo depois da descoberta de que é o elétron que circula dentro dos condutores manteve-se a convenção antiga. Usamos, então, o termo **sentido convencional** da corrente elétrica como sendo sempre o movimento do polo positivo para o polo negativo. Esta definição será adotada ao longo de todo o nosso estudo, a começar pela representação da figura abaixo. Por outro lado, chamamos de **sentido real** aquele percorrido por cargas negativas saindo do polo negativo para o positivo.



Sentido convencional da corrente.

A figura acima representa um fio condutor conectando o polo positivo ao polo negativo de uma fonte de corrente, que pode ser uma pilha elétrica. Conforme a convenção adotada, cargas positivas deixam o polo positivo e vão diretamente para o polo negativo.

Poderíamos fazer uma comparação hidráulica com a figura acima. A pilha seria um reservatório de água acoplado a uma bomba hidráulica.

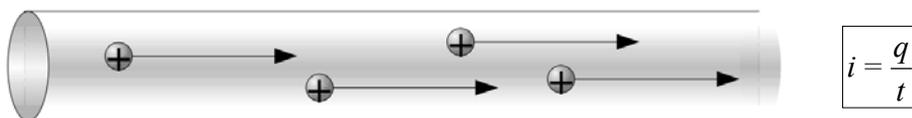
Esta última empurraria a água através de um cano que está representado pelo fio na figura acima. Depois de dar a volta no cano, a água retorna novamente ao reservatório.

Por enquanto, analisaremos apenas o caso da **corrente contínua**, ou seja, a corrente sempre sai do polo positivo e chega ao polo negativo do gerador (sentido convencional). Este tipo de corrente é produzido pelas pilhas comuns, baterias de carro, de celular, etc.

Existe também o que chamamos de **corrente alternada**. Neste caso, ora as cargas seguem do polo positivo para o negativo, ora saem do polo negativo para o positivo, invertendo o seu sentido. Este tipo de corrente é o que encontramos na rede comercial de distribuição de energia. Em nosso país, a corrente comercial tem uma frequência de 60 Hertz, o que quer dizer que, ora a corrente é positiva, ora é negativa, completando 60 oscilações por segundo. É graças à corrente alternada que funcionam por exemplo, os transformadores de voltagem. Um efeito curioso da corrente alternada que alimenta os postes de iluminação pública é, que à noite, se observarmos automóveis que se deslocam para frente, em alguns momentos, temos a impressão que as rodas estão girando no sentido contrário. Por quê?

INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA

Vamos colocar um microscópio extremamente potente sobre um fio no qual passa uma corrente elétrica. Imagine um corte no fio perpendicular à direção de movimento das cargas. A área que surge neste corte chamamos de seção reta ou seção transversal do fio. Podemos definir a intensidade da corrente elétrica no condutor como a quantidade de carga q que atravessa a seção reta do fio na unidade de tempo t :



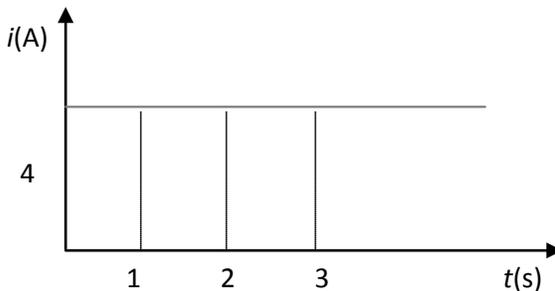
Lembramos que a quantidade de carga que atravessa o condutor é simplesmente o número n de elétrons multiplicado pela sua carga elétrica e , ou seja, $q = n e$.

A unidade de corrente elétrica no sistema internacional é o ampère, em homenagem ao matemático e físico francês André Marie Ampère (1775-1836). A corrente de 1 A correspondente à passagem de 1 C de carga por segundo pelo condutor. Desta forma, $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$.

Exemplos:

1. (UFSC) Um fio condutor é percorrido por uma corrente elétrica constante de 0,25 A. Calcule, em coulombs, a carga que atravessa uma seção reta do condutor, num intervalo de 160 s.

2. (UFRGS) O gráfico representa a intensidade de corrente i em um fio condutor, em função do tempo transcorrido t . Calcule a carga elétrica que passa por uma seção do condutor nos dois primeiros segundos.



LEI DOS NÓS

Muitas vezes emendamos fios elétricos com o fim de levar a corrente para diversos pontos. Cada uma destas emendas, chamamos em física, de nó. Neste ponto, a corrente pode ser dividida para vários caminhos diferentes ou ser a soma da corrente trazida por vários fios condutores. Podemos fazer uma analogia com um sistema hidráulico. Imagine vários canos que se unem em algum ponto para remeter água a um cano mais grosso, ou então um cano grosso que divide sua água para canos mais finos. É óbvio que, se não houver nenhum vazamento nos canos, a quantidade de água em seu interior permanecerá constante. Podemos dizer que a quantidade de água que chega a um ponto de união dos

canos é a mesma quantidade que sai daquele ponto. Retornando à analogia para um sistema elétrico, chamando de corrente total a soma das correntes que chegam ou saem de um nó, podemos dizer que:



A corrente total que chega a um nó é igual à corrente total que sai do nó.

$$i_1 = i_2 + i_3 + i_4 + i_5 + \dots$$

EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA

Sempre que cargas são movimentadas de forma a produzir corrente, elas têm como resultado cinco possíveis efeitos:

A) Joule: este efeito, assim como o magnético, sempre ocorre quando uma corrente passa por algum condutor. As cargas, durante seu movimento de translação, chocam-se com os átomos, fazendo-os vibrar em torno de suas posições de equilíbrio. Esse aumento na vibração dos átomos do material resulta em um aumento da temperatura. Esse efeito é amplamente usado em aquecedores e chuveiros.

B) Magnético: toda vez que uma carga se movimenta, ela gera um campo magnético. Nos Capítulos 11 e 12 estudaremos em mais detalhes este belo fenômeno que possibilita o funcionamento de motores, transformadores, microfones e alto-falantes.

C) Luminoso: quando o efeito Joule é muito intenso, pode ocorrer de o material que transporta corrente aquecer tanto de forma a ficar incandescente,

ou seja, emitindo luz. Este é o princípio de funcionamento das lâmpadas, uma das primeiras aplicações práticas da eletricidade.

D) Químico: sua ocorrência mais corriqueira é a estocagem de energia nas baterias elétricas. Também podemos citar eletrólise, que é a decomposição de uma determinada substância quando esta é atravessada por uma corrente elétrica. Por exemplo, podemos separar a água em seus dois componentes, oxigênio e hidrogênio.

E) Efeito fisiológico: os músculos do corpo humano são atuados pelos nervos que conduzem impulsos elétricos provindos do cérebro. Se uma corrente elétrica externa percorrer parte do organismo pode comprometer o funcionamento de seus órgãos, podendo, inclusive, levar à morte.

Exercícios:

1. Qual é a definição formal de corrente elétrica? Qual a diferença entre sentido real e sentido convencional da corrente?

2. (UPF) Sabendo que uma carga elétrica de 60 C atravessa um fio condutor em 5 segundos, o número de elétrons que atravessam esse fio nesse intervalo de tempo é:

- a) $7,350 \times 10^{20}$.
- b) $0,375 \times 10^{10}$.
- c) $75,300 \times 10^{20}$.
- d) $3,750 \times 10^{20}$.
- e) $16,200 \times 10^{20}$.

3. (UFRGS) A frase “O calor do cobertor não me aquece direito” encontra-se em uma passagem da letra da música *Volta*, de Lupicínio Rodrigues. Na verdade, sabe-se que o cobertor não é uma fonte de calor e que sua função é a de isolar termicamente nosso corpo do ar frio que nos cerca. Existem, contudo, cobertores que, em seu interior, são aquecidos

eletricamente por meio de uma malha de fios metálicos nos quais é dissipada energia em razão da passagem de uma corrente elétrica. Esse efeito de aquecimento pela passagem de corrente elétrica, que se observa em fios metálicos, é conhecido como

- a) efeito Joule.
- b) efeito Doppler.
- c) efeito estufa.
- d) efeito termoiônico.
- e) efeito fotoelétrico.

4. (UFSM) Uma lâmpada permanece acesa durante 5 minutos por efeito de uma corrente de 2 A, fornecida por uma bateria. Nesse intervalo de tempo, a carga total (em C) liberada pela bateria é:

- a) 0,4
- b) 2,5
- c) 10
- d) 150
- e) 600

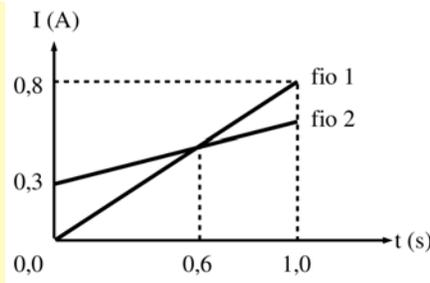
5. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que elas aparecem.

As correntes elétricas em dois fios condutores variam em função do tempo de acordo com o gráfico mostrado abaixo, onde os fios estão identificados pelos algarismos 1 e 2.

No intervalo de tempo entre zero e 0,6 s, a quantidade de carga elétrica que atravessa uma seção transversal do fio é maior para o fio do que para o outro fio; no intervalo entre 0,6 s e 1,0 s, ela é maior para o fio do que para o outro fio; e no intervalo entre zero e 1,0 s, ela é maior para o fio do que para o outro fio.

- a) 1 - 1 - 2
- b) 1 - 2 - 1
- c) 2 - 1 - 1

- d) 2 - 1 - 2
- e) 2 - 2 - 1



6. (PUCRS) As unidades joule, pascal e coulomb correspondem, respectivamente a:

- a) energia, pressão e carga elétrica.
- b) energia, pressão e corrente elétrica.
- c) trabalho, empuxo e corrente elétrica.
- d) trabalho, empuxo e resistência elétrica.
- e) trabalho, vazão e condutividade elétrica.

7. (UFSM) Por uma seção transversal de um condutor passam 10^6 elétrons por segundo. Sabendo-se que a carga do elétron é $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$, a intensidade de corrente no condutor será:

- a) $1,6 \times 10^{-25} \text{ A}$
- b) $1,6 \times 10^{-18} \text{ A}$
- c) $1,6 \times 10^{-13} \text{ A}$
- d) $6,2 \times 10^{24} \text{ A}$
- e) $6,2 \times 10^{25} \text{ A}$

8. (AFA) Num fio de cobre passa uma corrente contínua de 20 A. Isso quer dizer que, em 5 s, passa por uma seção reta do fio um número de cargas elementares igual a: ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

- a) $1,5 \times 10^{20}$
- b) $3,25 \times 10^{20}$
- c) $4,25 \times 10^{20}$
- d) $6,25 \times 10^{20}$

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

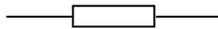
CAPÍTULO 8

A água tratada somente chega à caixa de água da nossa residência se o reservatório da CORSAN estiver num plano mais alto. A diferença de altura implica numa diferença de energia potencial gravitacional da água. Havendo esta diferença, a água é empurrada para regiões de mais baixa energia potencial. No caso da eletricidade, se supormos cargas positivas movimentando-se em um condutor, elas também procurarão regiões em que o potencial elétrico é mais baixo.

Assim como canos mais finos restringem a passagem da água pela tubulação hidráulica, existem condutores que dificultam a passagem de corrente elétrica. Portanto, uma determinada ddp pode gerar correntes mais ou menos intensas, dependendo do material de que é composto o circuito elétrico. Este fato tem uma importância muito grande no estudo da eletricidade: alguns materiais condutores possuem uma capacidade maior de se *opor* à passagem de corrente elétrica do que outros.

A oposição que um elemento de circuito apresenta à passagem de corrente elétrica é uma propriedade física à qual chamamos de **resistência elétrica**. Esta propriedade depende do material de que é feito o condutor, de sua forma geométrica e da temperatura. Na maioria das substâncias, a resistência elétrica tende a aumentar com o aumento da temperatura. Isto porque quanto mais alta for a temperatura, mais agitados estarão os átomos e mais difícil será para as cargas se esgueirarem por meio deles.

Ao elemento de circuito que apresenta resistência à passagem de corrente chamamos de **resistor**. A propriedade física do resistor de oposição à passagem de corrente é chamada de resistência. No entanto, vale ressaltar que muitas vezes usamos as palavras *resistência* e *resistor* indiferentemente para designar o elemento de circuito. Em um circuito, o resistor é identificado por qualquer um dos seguintes símbolos:



A natureza da grandeza física resistência pode ser explicada da seguinte forma. A corrente transportada por um condutor deve-se ao movimento de elétrons de uma extremidade até a outra. Durante seu caminho pelo condutor, os elétrons constantemente chocam-se com os átomos que formam o material. Estes choques dificultam sua passagem. Imagine caminhar numa calçada extremamente movimentada às 6 horas da tarde! Ao chocarem-se com os átomos do material, os elétrons lhes transmitem parte de sua energia cinética. Desta forma, os íons passam a se agitar mais em torno de sua posição de equilíbrio, o que interpretamos por um aumento de temperatura. Este fenômeno de transformação de energia da corrente elétrica em energia térmica é denominado **efeito Joule**. Vemos então porque sem energia elétrica um chuveiro não aquece a água e um secador de cabelos também não funciona.

LEIS DE OHM

Em 1827, Georg Simon Ohm (1787-1854) estava a estudar vários tipos de condutores elétricos e descobriu a existência de uma relação entre a tensão U e a corrente i . Ele observou que quanto maior fosse a ddp aplicada, mais intensa seria a corrente. Assim, ele definiu resistência elétrica como o quociente:

$$R = \frac{U}{i}$$

Podemos reescrever esta fórmula de outro jeito,

$$U = Ri$$

para lembrar mais da equação de uma reta. Neste caso, o coeficiente angular da reta é a resistência. Quanto mais inclinada estiver uma reta, maior será a resistência e, quanto mais horizontal for a reta, menor será a resistência.

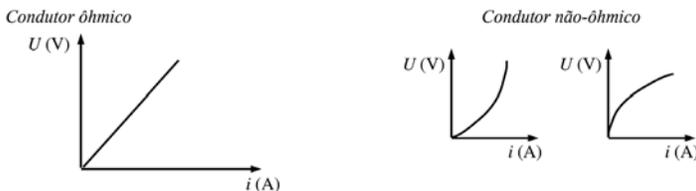
Observamos desta definição que a unidade de resistência elétrica é o volt/ampère. Em homenagem ao precursor dos estudos de resistência elétrica, esta unidade foi chamada de ohm, representada pela letra grega ômega Ω . Um condutor que possua uma resistência de 1Ω , permite a passagem de uma corrente de 1 A quando submetido a uma ddp de 1 V .

Ohm observou a existência de dois grupos de condutores. Em um grupo notou que a corrente cresce *linearmente* com a ddp, ou seja, a relação matemática entre as duas grandezas físicas é a equação de uma reta. Assim, podemos enunciar a **1ª Lei de Ohm**:

Certas substâncias mantém fixo o quociente entre a ddp e a corrente, desde que a temperatura se mantenha fixa.

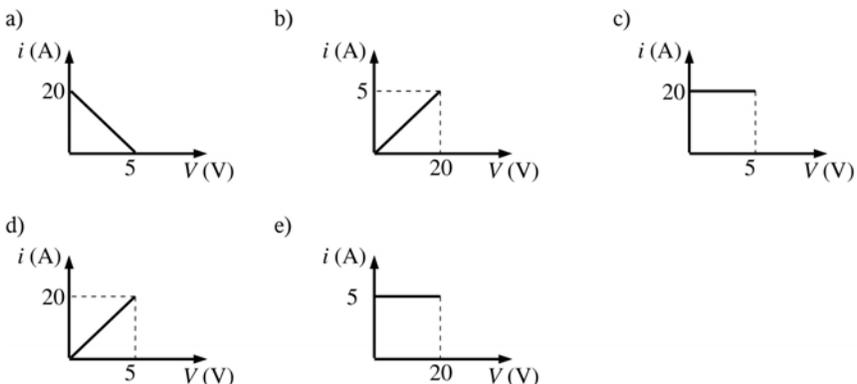
Materiais que apresentam este comportamento são chamados de **condutores ôhmicos**.

Na figura abaixo, o lado esquerdo representa a lei de Ohm. Já o lado direito mostra o comportamento de um condutor não-ôhmico, ou seja, a relação entre U e i não é uma reta.



Exemplo:

1. (UFSM) Em um laboratório, mede-se a corrente elétrica em função da tensão de um resistor de 4Ω , mantendo-se constante a temperatura. O gráfico que melhor representa o resultado do experimento é:



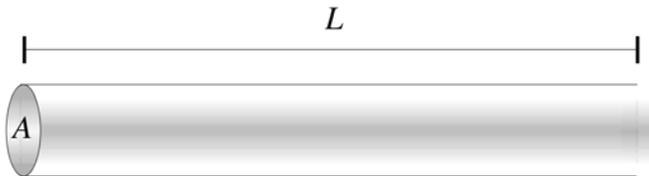
Indo mais fundo em seus estudos, Ohm descobriu que a resistência elétrica de um fio condutor varia se modificarmos qualquer das seguintes propriedades: comprimento, seção reta, e material de que é feito. Ele observou que:

- I) Comprimento maior implica em resistência maior (é mais difícil transportar cargas através de fios mais longos);
- II) Quanto maior a seção reta do condutor, mais fácil se torna a passagem de corrente (é como no caso de um encanamento hidráulico: quanto mais grosso for o cano, mais fácil é para a água passar.);
- III) Materiais diferentes apresentam resistências diferentes mesmo que as dimensões dos condutores sejam as mesmas.

Juntando estas três observações em uma fórmula matemática, podemos enunciar a **2ª Lei de Ohm**:

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

onde L , é o comprimento do fio; A , é a área de seção reta; a letra grega ρ é a *resistividade elétrica* do material e é dada no SI em $\Omega.m$.



Na maioria dos materiais, o aumento de temperatura provoca um aumento da resistividade. E de outro lado, ao baixar a temperatura, a resistividade também diminui até atingir um valor fixo. Ao estudar esta propriedade em metais, o físico holandês Heike Kamerling-Onnes descobriu, em 1911, que abaixo de determinada temperatura próxima do zero absoluto, a resistividade abruptamente caía a zero. Quando a resistividade do material torna-se nula dizemos que ele tornou-se **supercondutor**.

Tabela de resistividades

Material	Resistividade ($\Omega \cdot m$)
prata	$1,47 \times 10^{-8}$
cobre	$1,72 \times 10^{-8}$
ouro	$2,44 \times 10^{-8}$
alumínio	$2,75 \times 10^{-8}$
tungstênio	$5,25 \times 10^{-8}$
mercúrio	$9,4 \times 10^{-7}$
chumbo	$2,2 \times 10^{-7}$
ferro	$1,0 \times 10^{-7}$
platina	$1,1 \times 10^{-7}$
níquel-cromo	$1,5 \times 10^{-6}$
carbono (grafite)	$3,5 \times 10^{-5}$
germânio	$0,60 \times 10^0$
silício	$2,3 \times 10^2$
madeira	10^8-10^{11}
âmbar	5×10^{14}
vidro	$10^{12}-10^{14}$
borracha	$\sim 10^{13}$
teflon	$> 10^{13}$
mica	$10^{11}-10^{15}$
enxofre	10^{15}
quartzo fundido	$7,5 \times 10^{17}$

Exemplos:

2. (UPF) A resistência elétrica de um condutor depende de vários fatores. A alternativa que expressa corretamente essa dependência é

- a) A resistência elétrica de um condutor aumenta sempre com a temperatura.
- b) A resistência elétrica de um fio condutor metálico não aumenta quando a voltagem aplicada aumenta.

- c) Para aumentar o valor da resistência elétrica de um condutor ôhmico, deve-se diminuir a área de sua seção reta.
- d) Uma solução eletrolítica aumenta sua resistência quando se aumenta a temperatura desta.
- e) A resistência elétrica de um condutor é determinada pela fórmula $V i$.

3. (UFRGS) Os fios comerciais de cobre, usados em ligações elétricas, são identificados através de números de bitola. À temperatura ambiente, os fios 14 e 10, por exemplo, têm áreas de seção reta iguais a $2,1 \text{ mm}^2$ e $5,3 \text{ mm}^2$, respectivamente. Qual é, àquela temperatura, o valor aproximado da razão R_{14}/R_{10} entre a resistência elétrica, R_{14} , de um metro de fio 14 e a resistência elétrica, R_{10} de um metro de fio 10?

- a) 2,5.
- b) 1,4.
- c) 1,0.
- d) 0,7.
- e) 0,4.

POTÊNCIA ELÉTRICA

Em física, costumamos associar o conceito de potência à quantidade de trabalho que algum agente realiza em determinado intervalo de tempo. Já o trabalho, por sua vez, pode ser definido como o fluxo de energia de uma forma para outra. Por exemplo, um motor a combustão pode transformar a energia química de um combustível líquido, como a gasolina, em energia mecânica de movimento de um automóvel. Já um motor elétrico transforma energia elétrica em energia mecânica. Por fim, um resistor transforma a energia elétrica em energia térmica, ao que chamamos de efeito Joule. Já sabemos que a taxa de realização de trabalho do motor, ou seja, sua potência P é dada por:

$$P = \frac{\tau}{t}$$

Sabendo que o trabalho é dado em joules e o tempo é dado em segundos, temos que a unidade de potência é o watt: $1 \text{ W} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s}$.

A ddp, ao qual está ligado o resistor, força a passagem de carga em seu interior causando a conversão de energia elétrica em térmica. Conforme vimos no Capítulo 5, este trabalho é dado por:

$$\tau = qU$$

Usando estas duas fórmulas e lembrando a definição de corrente $i = q/t$, chegamos à potência dissipada pelo resistor em termos da corrente e da ddp:

$$P = \frac{qU}{t} \Rightarrow \boxed{P = iU}$$

Da definição de resistência elétrica, $U = Ri$, é possível reescrever esta fórmula para a potência:

$$P = Ri^2 \quad \text{ou} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

Exemplos:

4. (ULBRA) Uma lâmpada do farol de um automóvel apresenta potência de 120 mW e tensão de 12 V. Neste caso, a corrente elétrica que ela suporta, quando em funcionamento, em mA, é igual a:

- a) 10;
- b) 12;
- c) 15;
- d) 18;
- e) 25.

5. (UFSM) Um resistor dissipa 200 W de potência quando ligado em 220 V. Que potência desenvolverá, em watts, se o seu comprimento for reduzido à metade e estiver ligado em 110 V?

- a) 50
- b) 100
- c) 200
- d) 400
- e) 800

Exercícios:

1. (ULBRA) A energia proveniente de uma queda d'água utilizada para acender lâmpadas de filamento incandescente, em nossas residências, passa, basicamente, pelo seguinte conjunto de transformações:

- a) elétrica → mecânica → térmica;
- b) elétrica → térmica → mecânica;
- c) térmica → elétrica → mecânica;
- d) mecânica → elétrica → térmica;
- e) mecânica → térmica → elétrica.

2. (UFRGS) Quando uma diferença de potencial é aplicada aos extremos de um fio metálico, de forma cilíndrica, uma corrente elétrica i percorre esse fio. A mesma diferença de potencial é aplicada aos extremos de outro fio, do mesmo material, com o mesmo comprimento, mas com o dobro do diâmetro. Supondo os dois fios à mesma temperatura, qual será a corrente elétrica no segundo fio?

- a) i
- b) $2 i$
- c) $i/2$
- d) $4 i$
- e) $i/4$

3. (PUCRS) Dois fios metálicos de mesma resistividade elétrica e mesmo comprimento têm diâmetros de 2,0mm e 4,0mm. Se aplicarmos a mesma diferença de potencial entre seus extremos, o quociente entre a intensidade de corrente no condutor de maior diâmetro e a intensidade de corrente no condutor de menor diâmetro é:

- a) 4
- b) 2
- c) 1
- d) $\frac{1}{2}$
- e) $\frac{1}{4}$

4. (UFRGS) Um resistor cuja resistência é constante dissipa 60 mW quando é submetido a uma diferença de potencial de 220 V. Se for submetido a uma diferença de potencial de 110 V, a potência dissipada por esse resistor será:

- a) 15 mW
- b) 30 mW
- c) 60 mW
- d) 120 mW
- e) 240 mW

5. (UFRGS) Uma lâmpada de lanterna, que traz as especificações 0,9 W e 6 V, tem seu filamento projetado para operar a alta temperatura. Medindo a resistência elétrica do filamento à temperatura ambiente (isto é: estando a lâmpada desligada), encontramos o valor de $R_0 = 4 \Omega$. Sendo R o valor da resistência do filamento à temperatura de operação, qual é, aproximadamente, a razão R/R_0 ?

- a) 0,10
- b) 0,60
- c) 1,00
- d) 1,66
- e) 10,00

6. (PUCRS) Um fio condutor metálico submetido a uma tensão V dissipa potência P . Se a tensão for aumentada em 10% e supondo-se que a resistência do fio se mantém constante, a potência dissipada aumenta:

- a) 10%
- b) 11%
- c) 21%
- d) 24%

7. (Ritter) A especificação de fábrica para um determinado aparelho elétrico é: 500W - 120V. Logo, a energia térmica que ele produz em três minutos é:

- a) $9,0 \times 10^4$ J.
- b) $2,88 \times 10^5$ J.
- c) $1,26 \times 10^6$ J.
- d) $8,64 \times 10^5$ J.
- e) $1,2 \times 10^4$ J.

8. Um chuveiro elétrico dissipa uma potência de 5,6 kW. Calcule o custo de um banho com 10 minutos de duração se a tarifa é de R\$ 0,50 por kWh.

9. (PUCRS) Uma bateria de automóvel é comercializada com a informação de que ela é de 12 volts e de 30 ampères.hora. Estes dados permitem concluir que a bateria pode fornecer energia de _____ KWATT.HORA, e carga elétrica de _____ kC.

- a) 0,120 100
- b) 0,150 102
- c) 0,360 108
- d) 0,480 110
- e) 0,600 112

10. (PUCRS) Uma lâmpada incandescente de 100 W, ligada durante 24 horas, dissipa energia elétrica de:

- a) 0,24 kWh
- b) 2,4 kWh
- c) 4,8 kWh
- d) 12 kWh
- e) 24 kWh

11 e 12. (UERGS) Instrução: Para responder às questões de números 11 e 12, considere uma lâmpada com a seguinte etiqueta: 40 W - 220 V. Suponha também que a lâmpada seja ligada corretamente.

11. A corrente elétrica que circulará na lâmpada será de:

- a) 0,018 A.
- b) 0,18 A.
- c) 0,55 A.
- d) 1,8 A.
- e) 5,5 A.

12. A lâmpada gastará 1 kWh em:

- a) 25 h.
- b) 10 h.
- c) 5,5 h.
- d) 2,5 h.
- e) 0,25 h.

13. (PUCRS) Preocupado com o meio ambiente, um cidadão resolveu diminuir o gasto de energia elétrica de seu escritório, no qual havia dez lâmpadas de 100 W e um condicionador de ar de 2000 W (cerca de 7200 BTU/h), que permaneciam ligados oito horas por dia. Com essa intenção, foram propostas várias soluções. Qual a que proporciona maior economia de energia elétrica?

- a) Substituir definitivamente as dez lâmpadas de 100 W por dez lâmpadas de 75 W.
- b) Manter apagadas as lâmpadas durante o horário do almoço, totalizando duas horas por dia.
- c) Desligar o condicionador de ar durante o mesmo período do almoço, ou seja, duas horas por dia.
- d) Manter apagadas as lâmpadas e desligado o condicionador de ar durante uma hora por dia.
- e) Diminuir o número de lâmpadas de 100 W para oito e mantê-las apagadas durante o horário de almoço, ou seja, duas horas por dia.

14. (PUCRS) Um chuveiro tem as seguintes especificações: 4000 W – 220 V. Para aumentar a temperatura da água que sai desse chuveiro, pode-se:

- a) ligá-lo em uma rede cuja tensão é 127 V.
- b) selecionar um comprimento maior para o comprimento do resistor do chuveiro.
- c) selecionar um comprimento menor para o comprimento do resistor do chuveiro.
- d) conectá-lo com um disjuntor que permita maior passagem de corrente.
- e) substituir os fios da rede por outros de maior diâmetro.

15. (UFRGS) Um secador de cabelo é constituído, basicamente, por um resistor e um soprador (motor elétrico). O resistor tem resistência elétrica de 10Ω . O aparelho opera na voltagem de 110 V e o soprador tem consumo de energia desprezível. Supondo-se que o secador seja ligado por 15 min diariamente, e que o valor da tarifa de energia elétrica seja de R\$ 0,40 por kWh, o valor total do consumo mensal, em reais, será de aproximadamente:

- a) 0,36.
- b) 3,30.
- c) 3,60.
- d) 33,00.
- e) 360,00

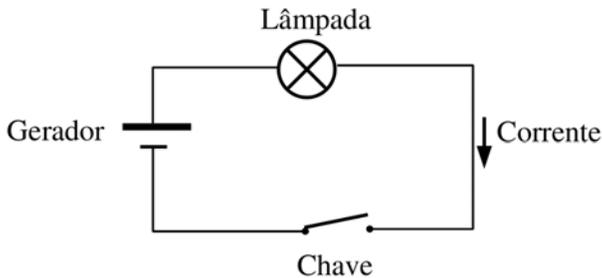
16. (UNISINOS) Muitas campanhas têm sido feitas no sentido de promover economia de energia elétrica. Num chuveiro elétrico, cujos dados especificados pelo fabricante são 2.000 W – 120 V, uma redução de potência de 30% corresponde a _____ em sua resistência elétrica de _____ ohms para _____ ohms. As lacunas são corretamente preenchidas, respectivamente, por:

- a) um aumento; 0,06; 36
- b) uma redução; 16,67; 11,67
- c) um aumento; 11,67; 16,67
- d) uma redução; 10,28; 7,20
- e) um aumento; 7,20; 10,28

CIRCUITOS ELÉTRICOS

CAPÍTULO 9

Estudamos em detalhe, no capítulo anterior, o elemento mais básico de um circuito elétrico, que é o resistor. Para que o resistor seja útil, ele deve fazer parte de um *circuito elétrico*, que pode conter outros resistores além de outros elementos. Podemos exemplificar um circuito elétrico simples como aquele existente em uma lanterna a pilhas, conforme a figura abaixo.

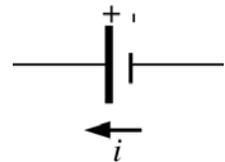


Mas quais são os outros elementos do circuito da lanterna? Vamos dar uma olhada em cada um deles e mais alguns...

GERADORES

O trabalho do gerador é transformar em energia elétrica alguma outra forma de energia, que pode ser química (pilhas), mecânica (dínamos), solar (células solares), etc.

Observe que neste símbolo usamos a **convenção** de que a corrente é formada por cargas positivas que saem do polo positivo, atravessam o circuito e chegam finalmente ao polo negativo.



A “força” que empurra as cargas no circuito elétrico é chamada de **força eletromotriz (fem)**, representada pela letra grega *épsilon*, ϵ . A unidade da fem é o volt, que mede, na verdade, a energia que cada carga recebe ao passar pelo gerador.

Se medirmos a tensão entre os terminais do gerador, sem que ele esteja fornecendo carga a nenhum circuito, a tensão será igual à fem do gerador. Um *gerador ideal* mantém a mesma tensão em seus terminais, qualquer que seja o circuito a ele conectado. Infelizmente, este tipo de gerador não existe. Na realidade, podemos encontrar apenas o *gerador real*. Neste caso, ao ligarmos um circuito em seus terminais, ocorre uma queda de tensão. Dizemos que o gerador real possui em seu interior uma *resistência interna*. Quando uma pilha fica velha, sua resistência interna aumenta muito. Isto causa uma queda no potencial da pilha e ela já não consegue mais alimentar um circuito elétrico.

Qualquer elemento que consuma energia do circuito pode também ser chamado de *receptor*. Se, por um lado, através da fem o gerador fornece energia para que as cargas possam circular no circuito, o receptor retira energia das cargas devido ao que chamamos de *força contraeletromotriz (fem)*.

DISPOSITIVOS DE MANOBRA

Quando queremos acionar ou desligar um circuito elétrico, normalmente pressionamos um botão que deixa passar corrente, ou a interrompe, conforme sua posição. Chamamos este elemento de circuito elétrico de *chave* ou *interruptor*.



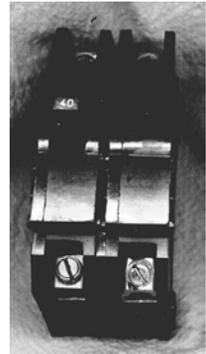
DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

Se um circuito elétrico, por algum mau-funcionamento indesejado, apresentar um excesso de corrente, ele pode causar um superaquecimento que pode resultar em incêndio. Isso sem falar no perigo de uma pessoa ser percorrida por uma corrente muito intensa.



Para evitar que a corrente de um circuito ultrapasse um valor pre-determinado utilizam-se dispositivos de segurança. Um *fusível* é constituído por um fio condutor que, ao ser percorrido por uma corrente acima de seu limite, atinge uma temperatura muito alta e acaba fundindo, como o próprio nome diz. A partir do momento em que o fio funde, cessa a passagem de corrente elétrica, evitando que algo pior aconteça.

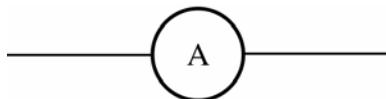
Em nossas residências é comum atualmente usarmos, no lugar de fusíveis, os *disjuntores*. Eles têm a vantagem que, uma vez resolvido o problema de excesso de corrente, basta acionar sua chave para que volte a permitir a passagem de corrente elétrica.



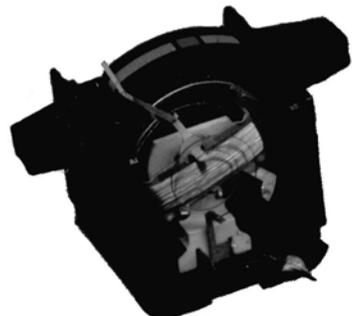
DISPOSITIVOS DE MEDIDA

Quando queremos medir quantidades como corrente, tensão ou resistência, usamos *dispositivos de medida*. É comum encontrarmos vários dispositivos de medida em um único aparelho, ao qual chamamos de *multímetro*.

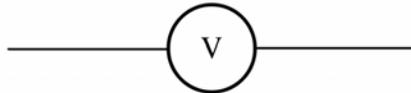
Para medirmos corrente elétrica, utilizamos o *amperímetro*. Ele deve ser ligado em série com o circuito, para que toda corrente passe por ele. O amperímetro ideal é aquele que possui resistência nula, ou seja, não atrapalha a passagem de corrente.



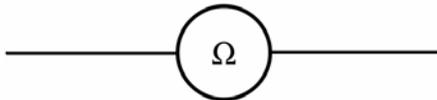
Uma forma simplificada de amperímetro é o chamado *galvanômetro*. Este dispositivo funciona apenas para correntes muito pequenas. Costuma ser utilizado para indicar intensidade sonora em aparelhos de som ou o estado das pilhas em toca-fitas ou rádios portáteis. Pode também ser usado em detectores de mentira.



Quando queremos medir a ddp entre dois pontos do circuito, ligamos em paralelo com esses dois pontos um voltímetro. O *voltímetro ideal* é aquele que possui resistência infinita, ou seja, não rouba nenhuma corrente do circuito e acaba marcando a diferença de potencial exata que existe entre dois pontos do circuito.



Para medir a resistência elétrica dos elementos de um circuito elétrico, utilizamos um *ohmímetro*. Assim como os outros instrumentos de medida, o ohmímetro costuma ter um botão que permite selecionar a escala, o que aumenta a precisão, quer meçamos uma resistência de poucos ohms, quer meçamos vários megaohms.

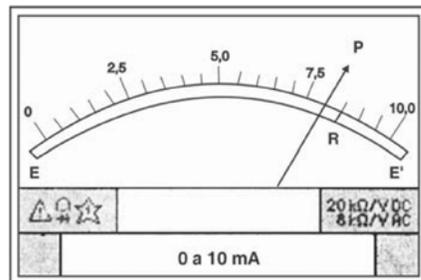


Exemplo:

1. (UFRGS) Certo instrumento de medida tem um ponteiro P cuja extremidade se move sobre uma escala espelhada EE', graduada de 0,0 a 10,0 mA. Quando se olha obliquamente para a escala - o que é um procedimento incorreto de medida -, o ponteiro é visto na posição indicada na figura abaixo, sendo R sua reflexão no espelho.

Se a leitura do instrumento for feita corretamente, seu resultado será

- a) o valor de 7,5 mA.
- b) um valor entre 7,5 mA e 8,0 mA.
- c) o valor de 8,0 mA.
- d) um valor entre 8,0 mA e 8,5 mA.
- e) o valor de 8,5 mA.



CAPACITORES

Um capacitor é formado por duas finas chapas metálicas separadas por um isolante (dielétrico). Este isolante, que pode ser de cerâmica, plástico, óleo ou mesmo ar, não permite que cargas passem de uma placa para a outra. Portanto, estes elementos têm a *capacidade* de acumular cargas elétricas. A esta propriedade física damos o nome de **capacitância**, cuja unidade de medida é o farad.



Capacitores possuem diversas aplicações. Devido à sua capacidade de acumular cargas, é utilizado em *flashes* de máquinas fotográficas ou em armas de choque de uso policial. Capacitores também podem ser usados como filtro de frequência, pois permitem a passagem de sinais de alta frequência e bloqueiam sinais de baixa frequência. Numa caixa de som, por exemplo, um capacitor ligado em série com o alto-falante pequeno evita que sons graves sejam reproduzidos pelo mesmo. Na retificação de corrente alternada também são utilizados estes elementos de circuito.

É possível alterar a capacitância de um capacitor alterando a sua geometria, ou seja, a forma e a posição de suas placas. Este elemento de circuito recebe o nome de capacitor variável. Ele pode ser usado, por exemplo, para sintonizar diferentes estações transmissoras em um aparelho receptor de rádio.



BOBINA

A bobina, também chamada de **solenóide** (em grego, *solen* significa tubo), consiste simplesmente de um fio enrolado. Uma das funções da bobina é gerar campo magnético. Mas isto é assunto para o próximo capítulo. Outra finalidade da bobina num circuito elétrico, é funcionar como filtro de frequências. Ao contrário do capacitor, a bobina evita a passagem de sinais de alta frequência, mas permite a passagem de sinais de baixa frequência. Em uma caixa de som, uma bobina ligada em série com o alto-falante grande evita que sons agudos sejam reproduzidos por ele. O símbolo da bobina é bastante intuitivo:



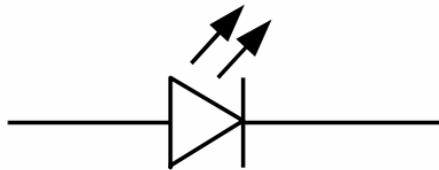
DIODO

Diodos são elementos de circuito que deixam a corrente fluir em apenas uma direção. Seu símbolo é bastante sugestivo para indicar em que direção a corrente é permitida fluir:



No símbolo acima, a corrente flui da esquerda para a direita. Como o diodo permite que a corrente passe apenas num sentido, ele pode ser utilizado em um estágio inicial de retificação de corrente alternada, em fontes ou eliminadores de pilha. Também pode ser usado para distorcer o sinal provindo de um captador de instrumentos musicais elétricos como guitarra ou contrabaixo. A parte do circuito que realiza a sintonia de estações de rádio costuma empregar um diodo para a detecção do sinal.

Painéis de aparelhos de som ou celulares têm sua iluminação provinda de um ou mais LEDs, que é a sigla em inglês para *diodo emissor de luz*. Estes diodos que emitem luz são representados pelo símbolo do diodo, acrescentando-se setas. Existem no mercado atualmente, várias aplicações comerciais para LEDs: desde lâmpadas piloto em eletrodomésticos até iluminação doméstica, passando por lanternas de variadas formas.

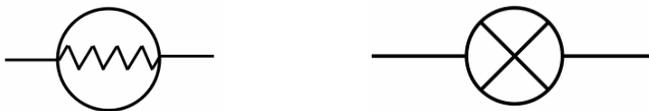


RESISTORES

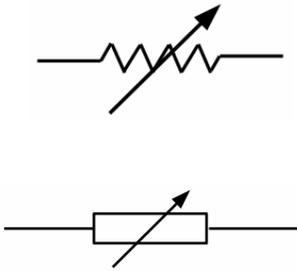
No capítulo anterior estudamos os efeitos da passagem de corrente em um único resistor. Como este elemento de circuito elétrico é tão comum de encontrarmos, e por ter um funcionamento simples, vamos estudá-lo em mais detalhes. Lembremos inicialmente o símbolo do resistor, na figura abaixo.



Muitas vezes, lâmpadas são representadas em circuitos pelo símbolo do resistor, ou suas variantes:



Existe também o *resistor variável*, que pode ser chamado de *reostato* ou *potenciômetro*. Usa-se um reostato para, por exemplo, alterar o volume dum aparelho de som, ou então para variar o brilho de uma televisão. O seu funcionamento está baseado na segunda lei de Ohm: um cursor



desliza sobre uma trilha de carbono; ao variarmos o percurso feito pela corrente na trilha de carbono, variamos o comprimento do condutor e, portanto, sua resistência. Seu símbolo é o do resistor com uma flecha cruzada.

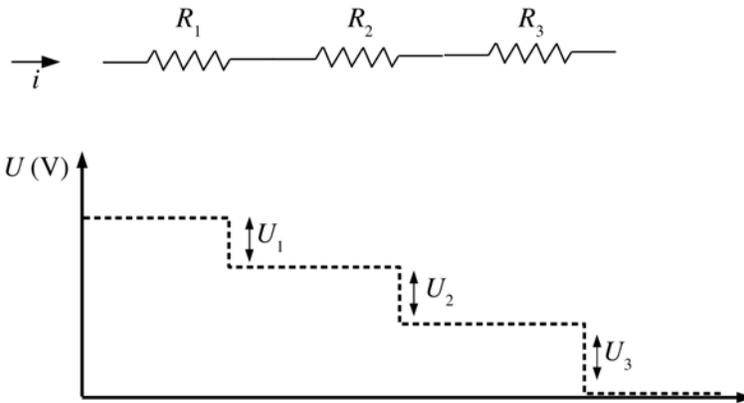


ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Dependendo da aplicação prática à que se destina o uso da propriedade física resistência elétrica, vários resistores podem ser associados de variadas formas. Costumamos classificar o tipo de associação como em *série*, em *paralelo*, ou *mista*, sendo esta última uma mescla das duas primeiras.

ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Na associação em série, um terminal de um resistor é ligado ao resistor imediatamente seguinte, que, por sua vez, é ligado no próximo resistor, e assim por diante. Um exemplo típico de aplicação desta forma de associação são as conhecidas luzes de pinheiro de Natal. Todas as lâmpadas são ligadas umas às outras, em sequência. É simples perceber que neste tipo de associação, a mesma corrente elétrica percorre cada um dos resistores.



Numa associação em série, a corrente tem somente um caminho disponível para percorrer e, portanto, a corrente em todos os resistores é a mesma:

$$i_1 = i_2 = i_3 = \dots$$

As cargas, ao passarem por cada resistor, entregam parte de sua energia elétrica, que é convertida em energia térmica. Desta forma, o potencial sofre uma queda em cada um dos resistores, como mostra o gráfico acima. Do gráfico é fácil observar que o potencial total aplicado na associação é composto pela soma de cada uma das quedas de potencial em cada resistor:

$$U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

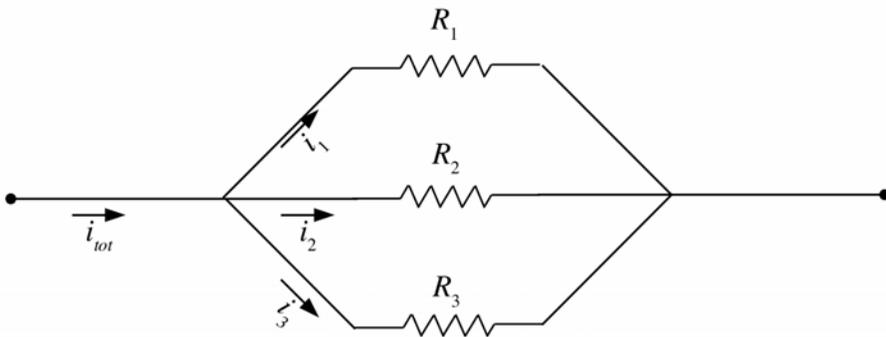
Definimos de *resistor equivalente* aquele resistor que, ao ser colocado no lugar da associação de resistores, apresentará a mesma corrente e potência dissipada que a associação, quando ligado no mesmo potencial.

Na associação em série, a dificuldade que as cargas têm de atravessar o percurso feito pelos vários resistores é igual à soma das várias dificuldades individuais. Então dizemos que a resistência equivalente de uma associação em série é dada pela soma das resistências individuais:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Numa associação em paralelo, os resistores têm seus terminais ligados ao mesmo ponto, conforme a figura abaixo. Como exemplo deste tipo de associação, temos a instalação elétrica que fornece a corrente elétrica para cada um dos eletrodomésticos de uma casa. A corrente que passa em cada um deles deve ser completamente independente da corrente que passa pelos demais, sendo que alguns podem até estar desligados, ou seja, com corrente nula.



Ora, a corrente que chega à associação é dividida entre seus vários componentes. Pela lei dos nós, sabemos que a corrente total que chega a um nó é a soma das correntes individuais que saem do nó:

$$i_{tot} = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$$

Como os terminais dos resistores estão ligados ao mesmo ponto, eles estão sujeitos à mesma diferença de potencial:

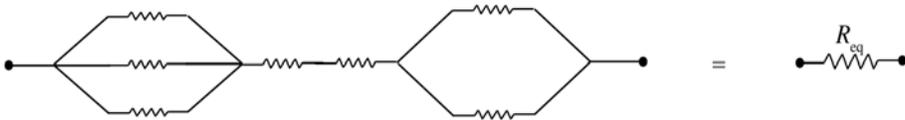
$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots$$

Aplicando a 1ª Lei de Ohm da fórmula da corrente acima, chegamos facilmente à expressão para a resistência equivalente para uma associação em paralelo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

ASSOCIAÇÃO MISTA

Em algumas situações, temos uma associação mista de resistores, que envolve associações em série e em paralelo no mesmo circuito.



Se quisermos encontrar a resistência equivalente de uma associação mista, temos que proceder da seguinte forma. Inicialmente, buscamos os nós do trecho entre os terminais. A seguir, determinamos que tipo de associação, se em série ou em paralelo, apresenta-se entre cada par de nós. Por fim, encontramos a resistência equivalente de cada trecho entre os nós, procurando resolver primeiro os casos em paralelo.

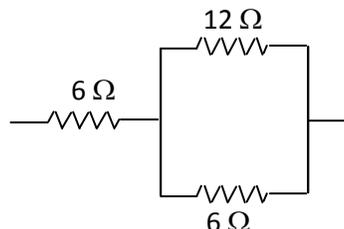
Para determinar a tensão e a corrente em cada resistor, temos que lembrar as propriedades que vimos anteriormente para cada tipo de associação.

Exemplos:

2. (Ritter) Quatro resistores de resistências 3 ohms, 4 ohms, 6 ohms e 12 ohms são associados em paralelo. A resistência equivalente é de:

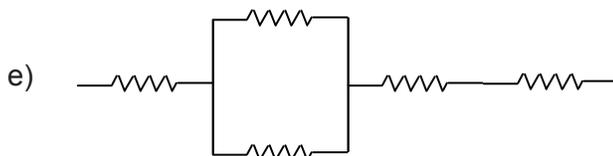
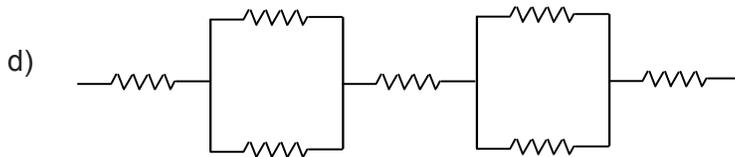
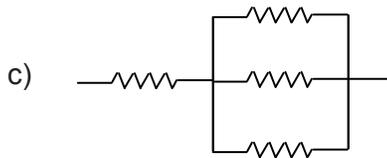
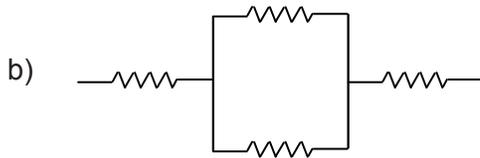
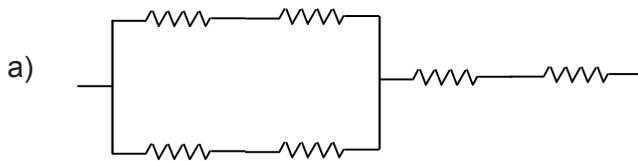
- a) 1,2 ohm.
- b) 12 ohms.
- c) 25 ohms.
- d) 34,2 ohms.
- e) 50 ohms.

3. (PUCRS) Três resistores formam uma associação conforme a figura ao lado. A resistência equivalente da associação vale:



- a) 6Ω
- b) 10Ω
- c) 12Ω
- d) 18Ω
- e) 24Ω

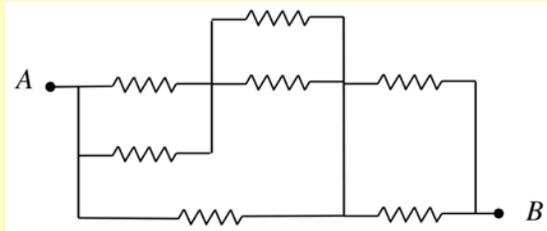
4. (UCS) Para obter uma resistência de $4,0 \text{ ohms}$, com resistências de $1,0 \text{ ohm}$, devemos escolher o esquema da letra:



Exercícios:

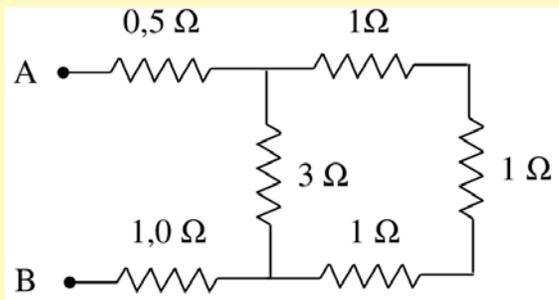
1. (UFSC) O circuito abaixo é montado com resistores de resistência R . A resistência equivalente entre os pontos A e B é:

- a) R
- b) $2R$
- c) $3R$
- d) $R/2$
- e) $R/3$



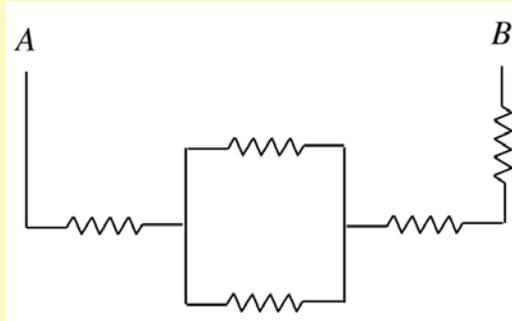
2. (Ritter) Na associação esquematizada, a resistência equivalente entre os pontos A e B é:

- a) 7Ω .
- b) 5Ω .
- c) 4Ω .
- d) 3Ω .
- e) 2Ω .



3. (La Salle) Todos os resistores da figura têm resistência igual a R . A resistência equivalente entre os terminais A e B é de

- a) $3,5R$
- b) $5,0R$
- c) $4,0R$
- d) $1,0R$
- e) $0,5R$

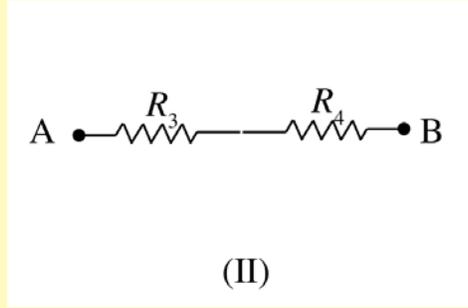
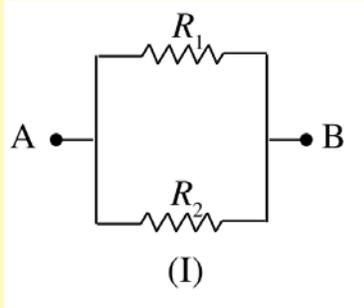


4. (La Salle) Num circuito elétrico temos três resistores com resistência elétrica de **9 ohms** cada. Os resistores estão ligados por fios ideais a uma bateria de **6 volts**. Ao medir a corrente elétrica que percorre o circuito, verificou-se que a mesma tem um valor de **2 ampères**. Assim, podemos afirmar que os resistores têm que estar conectados em _____, e que a potência elétrica dissipada neste circuito é de _____.

As respostas corretas estão na alternativa:

- a) Paralelo e 12 W.
- b) Paralelo e 6 W.
- c) Série e 6 W.
- d) Série e 12 W
- e) Série e 24 W.

5. (FAPA) Na figura estão representados quatro resistores, R_1 , R_2 , R_3 , e R_4 , de valores iguais, ligados à mesma diferença de potencial V_{AB} , associados em paralelo (I) e em série (II).

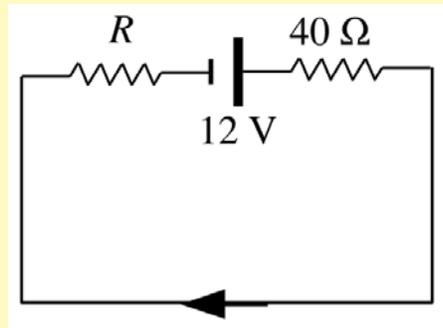


Pode-se afirmar que:

- a) a corrente elétrica em R_1 é maior que em R_3 .
- b) a corrente elétrica em R_1 é menor que em R_4 .
- c) a tensão elétrica em R_1 é menor que em R_2 .
- d) a resistência elétrica equivalente em II é menor que em I.
- e) a tensão elétrica em R_4 é maior que em R_1 .

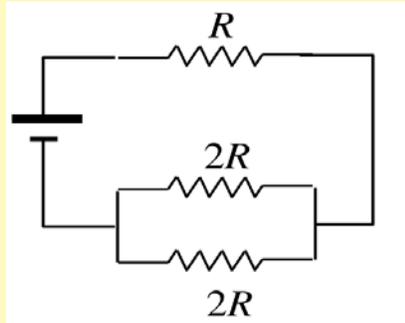
6. (FAPA) Dois resistores, um de 40Ω e outro de resistência desconhecida R , são ligados em série com uma bateria ideal de 12 V , como mostra a figura. Sabendo que a corrente elétrica tem intensidade $0,25 \text{ A}$, o valor da resistência R , em Ω , é de:

- a) 4
- b) 8
- c) 12
- d) 20
- e) 40



7. (IPA) Qual a resistência total do circuito apresentado na figura?

- a) $5R$;
- b) $4R$;
- c) $3R$;
- d) $2R$;
- e) R .



8. (PUCRS) Três resistores iguais de $4,0 \Omega$, cada um, estão ligados em série e a uma bateria de 12 V . Se percorrermos o circuito externamente, indo do polo positivo para o negativo da bateria, a intensidade de corrente em cada um dos resistores será, respectivamente,

- | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|
| a) $3,0 \text{ A}$ | $2,0 \text{ A}$ | $1,0 \text{ A}$ |
| b) $1,0 \text{ A}$ | $1,0 \text{ A}$ | $1,0 \text{ A}$ |
| c) $3,0 \text{ A}$ | $3,0 \text{ A}$ | $3,0 \text{ A}$ |
| d) $1,0 \text{ A}$ | $2,0 \text{ A}$ | $3,0 \text{ A}$ |
| e) $6,0 \text{ A}$ | $4,0 \text{ A}$ | $2,0 \text{ A}$ |

9. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas no parágrafo abaixo.

Para fazer funcionar uma lâmpada de lanterna, que traz as especificações $0,9\text{W}$ e 6V , dispõe-se, como única fonte de tensão, de uma bateria de automóvel de 12V . Uma solução para compatibilizar esses dois elementos de circuito consiste em ligar a lâmpada à bateria (considerada uma fonte ideal) em, com um resistor cuja resistência elétrica seja no mínimo de

- a) paralelo - 4Ω
- b) série - 4Ω
- c) paralelo - 40Ω
- d) série - 40Ω
- e) paralelo - 80Ω

CIRCUITOS DE VÁRIAS MALHAS

Muitas vezes nos deparamos com circuitos em que a corrente se divide várias vezes, alimentando diversas partes do circuito, e se junta novamente antes de chegar ao gerador. A cada diferente percurso disponível à passagem de cargas damos o nome de **malha**.

As cargas recebem energia no gerador e, em seguida, deslocam-se pelo circuito e entregam sua energia para cada um dos componentes do circuito. Dizemos que no gerador as cargas sofrem um acréscimo em seu potencial, e nos outros elementos sofrem um decréscimo de potencial. Pode acontecer de um circuito possuir mais de um gerador, cada um com sua fem própria.

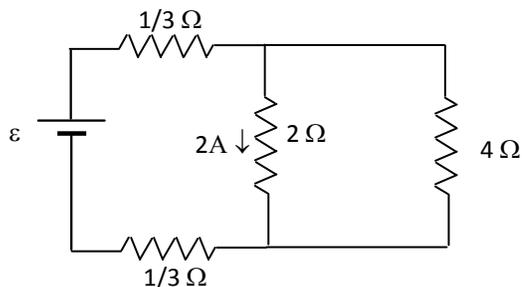
Quando precisamos descobrir a corrente ou a ddp em determinada parte do circuito, precisamos lembrar a lei dos nós e da primeira lei de Ohm. Vamos entender melhor através de exemplos.

Exemplos:

5. (UFRGS) No circuito representado na figura abaixo, a intensidade da corrente elétrica através do resistor de $2\ \Omega$ é de $2\ \text{A}$. O circuito é alimentado por uma fonte de tensão ideal ε .

Qual o valor da diferença de potencial entre os terminais da fonte?

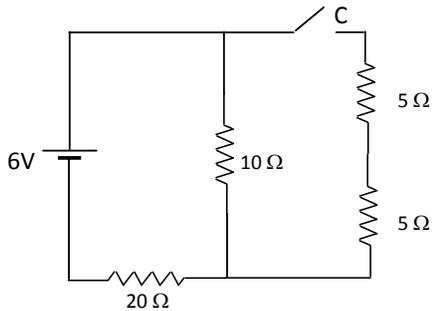
- a) $4\ \text{V}$
- b) $14/3\ \text{V}$
- c) $16/3\ \text{V}$
- d) $6\ \text{V}$
- e) $40/3\ \text{V}$



6. (UFRGS) Considere o circuito elétrico representado na figura abaixo. Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas na alternativa seguinte:

Com a chave C aberta, a corrente elétrica que passa pela resistência de $20\ \Omega$ é de; com a chave C fechada, a corrente elétrica que passa pela resistência de $20\ \Omega$ é de

- a) 300 mA; 300 mA
- b) 200 mA; 200 mA
- c) 200 mA; 240 mA
- d) 900 mA; 780 mA
- e) 200 mA; 150 mA

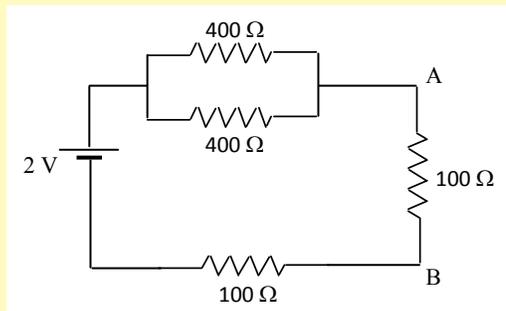


Exercícios:

10. (UFRGS) A figura abaixo representa um circuito elétrico alimentado por uma fonte ideal.

Assinale a alternativa que fornece o valor correto do módulo da diferença de potencial entre os pontos A e B desse circuito.

- a) 2,0 V
- b) 1,0 V
- c) 0,5 V
- d) 0,2 V
- e) 0,0 V



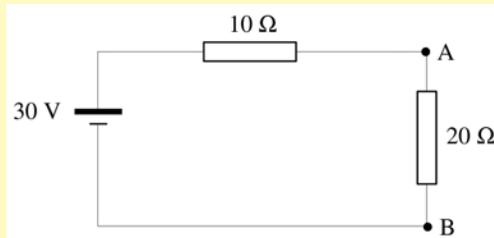
11. (PUCRS) Na entrada de rede elétrica de 120 V, contendo aparelhos puramente resistivos, existe um único disjuntor de 50 A. Por segurança, o disjuntor deve desarmar na condição em que a resistência equivalente de todos os aparelhos ligados é menor que:

- a) $0,42 \Omega$
- b) $0,80 \Omega$
- c) $2,40 \Omega$
- d) $3,50 \Omega$
- e) $5,60 \Omega$

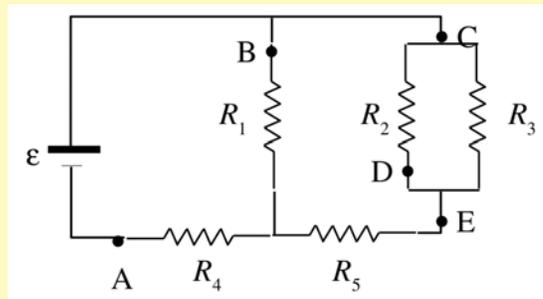
12. (PUCRS) Uma força eletromotriz contínua e constante é aplicada sobre dois resistores conforme representa o esquema abaixo.

A diferença de potencial em volts, entre os pontos A e B do circuito, vale:

- a) 20
- b) 15
- c) 10
- d) 8
- e) 6



13 e 14 (UFRGS) As questões de números 13 e 14 referem-se ao circuito elétrico representado na figura abaixo, no qual todos os resistores têm a mesma resistência elétrica R .



13. Em qual dos pontos assinalados na figura a corrente elétrica é mais intensa?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

14. Qual dos resistores está submetido à maior diferença de potencial?

- a) R_1
- b) R_2
- c) R_3
- d) R_4
- e) R_5

15. (PUCRS) Em relação à rede elétrica e aos aparelhos resistivos de uma casa são feitas as seguintes afirmativas:

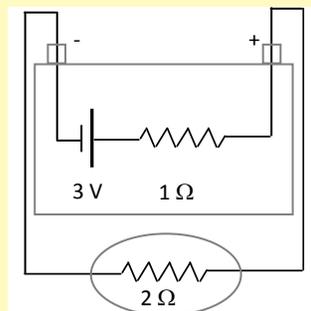
- I. Exceto algumas lâmpadas de Natal, todos os aparelhos são ligados em paralelo.
- II. O aparelho de maior potência é o que tem mais resistência.
- III. O disjuntor (ou fusível) está ligado em série com os aparelhos protegidos por ele.

Analisando-se as afirmativas, conclui-se que:

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

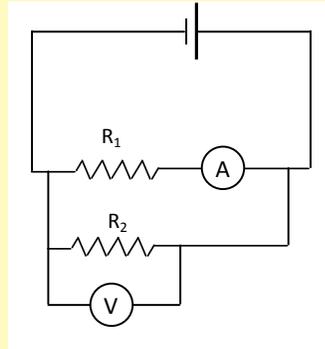
16. (UFCSPA) A figura abaixo representa uma bateria, com força eletromotriz de 3 V e resistência interna de 1Ω , alimentando um receptor com resistência de 2Ω . A intensidade da corrente elétrica na resistência interna da bateria e a energia elétrica dissipada em 1min em todo o circuito são, respectivamente,

- a) 1 A e 1 J.
- b) 1 A e 3 J.
- c) 1 A e 180 J.
- d) 3 A e 3 J.
- e) 3 A e 180 J.



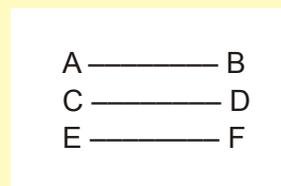
17. (UFCSPA) Na figura abaixo, o amperímetro A e o voltímetro V são considerados ideais, indicando, respectivamente, as medidas de 0,25 A e de 32 V. Os resistores R_1 e R_2 possuem a mesma resistência elétrica. O valor da resistência elétrica equivalente à associação dos dois resistores é de:

- a) 8
- b) 16
- c) 32
- d) 64
- e) 128



18. (UNISC) Um fabricante de aquecedores, com resistências de fios, revestidos com tubos de quartzo, está interessado em reduzir o consumo de energia e resolve desenvolver um equipamento com essa finalidade, para ser utilizado com uma bateria de tensão conhecida V . Se, no projeto desenvolvido, foi definido montar um aquecedor com três fios de mesmo tipo, comprimento e mesma seção transversal (indicados na figura) e conectar a bateria aos pontos “A” e “F”, as outras conexões (de dois pontos, com fios condutores de resistência desprezível) que darão a menor potência serão:

- a) AC, CE, BD e DF.
- b) AC, BD e BE.
- c) AC, BD e DE.
- d) BC, CE e DF.
- e) BD e CE.



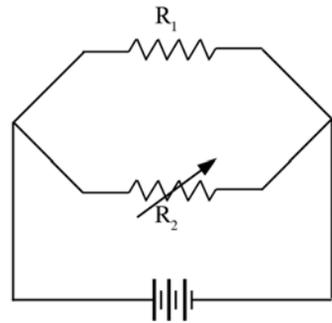
19. (FURG) Duas resistências R_1 e R_2 são ligadas a uma bateria de resistência interna nula, conforme a figura.

Aumentando-se o valor da resistência R_2 , considere as seguintes afirmativas:

I - A resistência total aumenta.

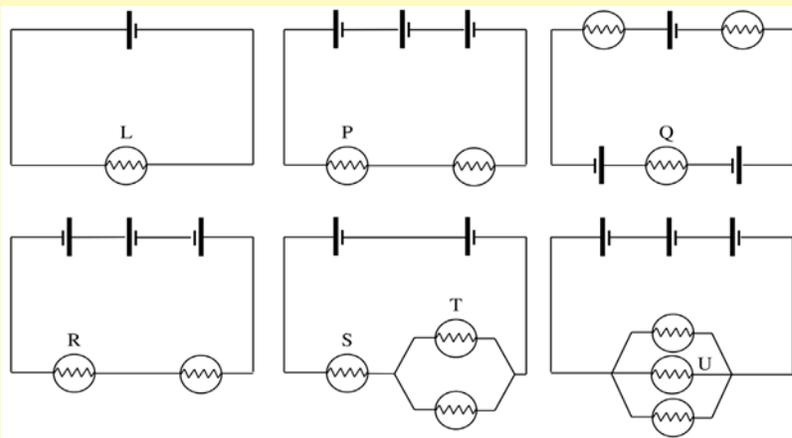
II - A corrente em R_1 aumenta.
 III - A corrente que a bateria fornece diminui.
 Quais afirmativas estão corretas?

- a) Nenhuma.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

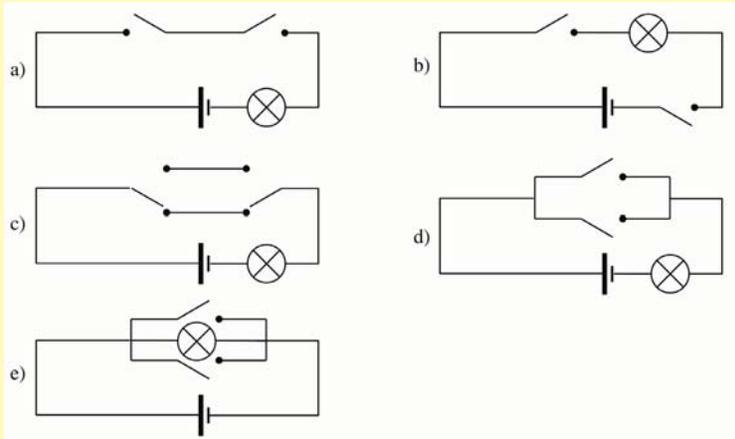


20. (UFPEL) As figuras abaixo representam seis circuitos elétricos montados com lâmpadas de mesma resistência e pilhas com a mesma força eletromotriz. Tanto as pilhas como as lâmpadas são consideradas como ideais. Com base no texto e em seus conhecimentos, é correto afirmar que as duas lâmpadas que apresentam brilhos menores do que o da lâmpada L são:

- a) P e S.
- b) R e Q.
- c) T e U.
- d) Q e S.
- e) R e T.
- f) I.R.

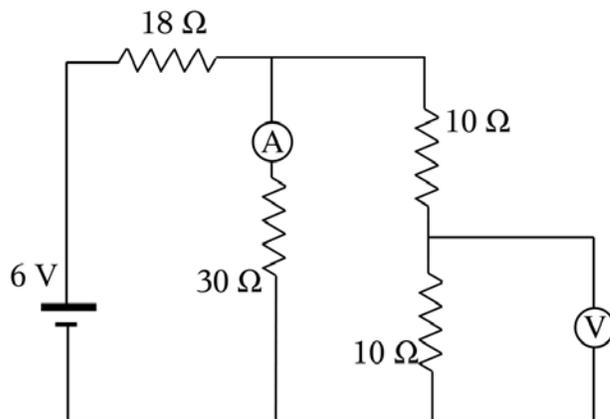


21. (PUCRS) Um circuito elétrico muito comum em residências é o de um interruptor popularmente conhecido como “chave-hotel”. Este tipo de interruptor é utilizado com o objetivo de ligar e desligar uma mesma lâmpada por meio de interruptores diferentes, A e B, normalmente instalados distantes um do outro, como, por exemplo, no pé e no topo de uma escada ou nas extremidades de um corredor longo. Qual das alternativas a seguir corresponde ao circuito “chave-hotel”?



22. (UFCSPA) Para responder à questão 22, considere ideais o voltímetro e o amperímetro no circuito elétrico representado na figura. No circuito representado na figura, os valores indicados pelo amperímetro A e pelo voltímetro V são, respectivamente,

- a) 0,08 A e 1,2 V.
- b) 0,16 A e 1,2 V.
- c) 0,16 A e 2,0 V.
- d) 0,16 A e 2,4 V.
- e) 0,08 A e 2,0 V.



23. (UFRGS) Observe o circuito esquematizado na figura abaixo. Se o ramo que contém a resistência R_4 fosse retirado, a resistência equivalente seria:

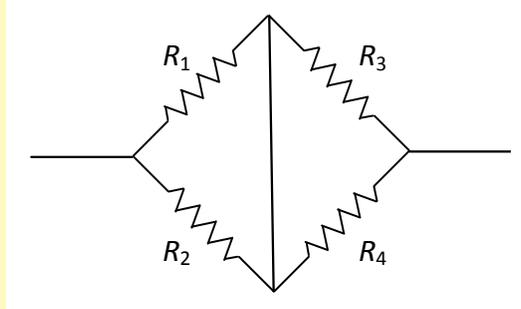
a) $R_1 + R_2 + R_3$

b) $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)^{-1} + R_3$

c) $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1}$

d) $\left(\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1}$

e) $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + R_3}\right)^{-1}$



24. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão 6 a partir da análise do circuito abaixo, em que R representa a resistência elétrica de um reostato que pode ser regulada para assumir valores entre 0 e um valor máximo de $20\text{ k}\Omega$.

Considerando uma variação da resistência R entre os seus limites, as intensidades máxima e mínima da corrente elétrica que passa no resistor de $10\text{ k}\Omega$ são, respectivamente,

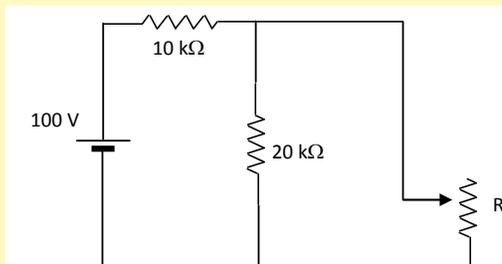
a) $8,0\text{ mA}$ e $2,0\text{ mA}$

b) $8,0\text{ mA}$ e $4,0\text{ mA}$

c) $8,0\text{ mA}$ e $5,0\text{ mA}$

d) 10 mA e $2,5\text{ mA}$

e) 10 mA e $5,0\text{ mA}$



25. (UFCSPA) A potência dissipada por dois resistores ôhmicos de resistências diferentes ligados em série é n vezes menor que a potência dissipada pelos mesmos resistores quando eles são ligados em paralelo (submetidos à mesma ddp). Sendo $R_1 = 20 \Omega$, quais os valores de R_2 , se $n = 6$? (Despreze a resistência interna da bateria)

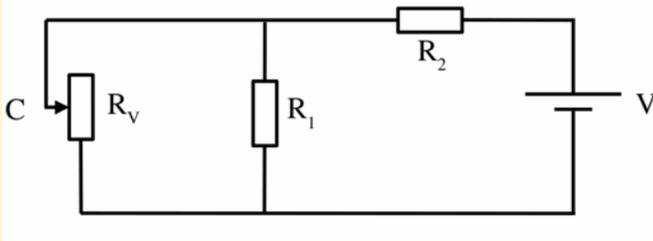
- a) $R_2 = 47,46 \Omega$ e $R_2 = 36,25 \Omega$.
- b) $R_2 = 74,64 \Omega$ e $R_2 = 5,36 \Omega$.
- c) $R_2 = 29,36 \Omega$ e $R_2 = 12,36 \Omega$.
- d) $R_2 = 85,32 \Omega$ e $R_2 = 18,45 \Omega$.
- e) $R_2 = 32,48 \Omega$ e $R_2 = 21,08 \Omega$.

26. (UFCSPA) Considere que você possui lâmpadas incandescentes que suportam uma tensão de até 110V. Se na sua residência a rede é de 220 V, de que forma você poderia ligar essas lâmpadas de modo a não romper o filamento e obter a potência máxima em cada uma?

- a) Duas lâmpadas em paralelo.
- b) Duas lâmpadas em paralelo e uma em série com este conjunto.
- c) Duas lâmpadas em série.
- d) Três lâmpadas em série.
- e) Independente da forma, a potência máxima obtida em cada lâmpada será a mesma.

27. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão com base nas informações e na figura a seguir.

No esquema de circuito elétrico abaixo, R_v representa a resistência de um reostato, cujo valor é variável desde zero até um valor máximo, dependendo da posição do cursor C. Esse tipo de dispositivo é utilizado, por exemplo, em interruptores conectados a uma lâmpada, para permitir alterações no seu brilho. Os valores das resistências R_1 e R_2 dos demais resistores são fixos. V é a tensão fornecida ao circuito, cujo valor é mantido constante.



- Considerando as informações anteriores, é correto afirmar que
- a intensidade de corrente elétrica no circuito é máxima se o valor da resistência do reostato for máxima.
 - a resistência equivalente do circuito é mínima se o valor da resistência do reostato é nulo.
 - para qualquer valor da resistência do reostato, as intensidades de corrente que passam por R_1 e R_v são iguais.
 - se o valor de R_2 é muito pequeno, a corrente que passa por R_1 e por R_v pode tender a zero.
 - independentemente do valor de R_v , a tensão sobre R_2 se mantém constante.

28. (PUCRS) A conta mensal enviada por uma companhia elétrica a uma residência informa um consumo de 176 kWh. Sobre essa informação, é correto afirmar:

- Esse consumo indica que uma potência elétrica total de 176 watts foi utilizada durante o mês.
- A corrente elétrica total no período do mês em questão foi de 76 ampères.
- Esse consumo corresponde à energia total consumida na residência durante o mês.
- Em cada hora de consumo, foram utilizados 176 quilowatts de potência elétrica.
- Se esse consumo se deu em uma rede elétrica de 110 V, a corrente média que circulou na residência foi de 1,6 ampères.

MAGNETISMO

CAPÍTULO 10

Quando estudamos os fenômenos elétricos, vimos que a palavra elétron possui uma origem muito antiga, que remonta à época dos grandes pensadores gregos. A palavra *magnetismo* também possui uma origem muito antiga. Platão de Atenas (427 a.C. - 399 a.C.) relata a existência de uma pedra que possui a capacidade de atrair elos de ferro de uma corrente. Além desta atração exercida pela pedra, ele comenta que este poder se propaga através dos elos da corrente de forma que o último elo possui a capacidade de atração similar a tal pedra que se encontre em contato com o primeiro elo. Platão nos conta que haviam dois nomes distintos para este tipo de pedra: *heracleia* e *magnética*. Uma possível origem destas duas palavras talvez sejam as cidades *Heracleia* e *Magnésia*, na Ásia Menor. Mas também é possível que o termo magnética provenha do descobridor do fenômeno cujo nome era Magnes. Por sua vez, o termo heracleia pode ter vindo do herói mitológico *Héracles*, chamado pelos latinos de Hércules, que possuía uma força extrema.

O fenômeno de atração do ferro por esta pedra, apesar de parecer uma simples curiosidade, despertava o interesse de pessoas curiosas. Descobriu-se que também era possível causar atração e repulsão entre pedras magnéticas ao aproximá-las. Um fenômeno notável que se descobriu é que, ao suspender uma rocha magnética por um fio de seda, ela sempre se orientaria na mesma direção. Foi esta propriedade que levou os chineses, por volta do século XI, a desenvolverem a bússola, que chegou à Europa por volta do século XIII e acabou sendo de fundamental importância na época das grandes navegações.

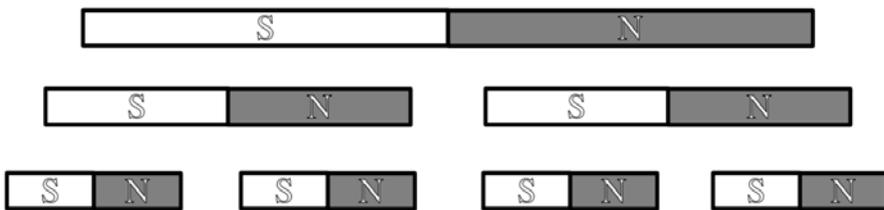
Hoje sabemos que o minério da rocha magnética é rico em óxido de ferro, Fe_2O_3 . Este minério é denominado atualmente de magnetita. Costumamos chamar, coloquialmente, de **ímã** todo objeto, seja natural ou artificial, que apresenta propriedades magnéticas. O primeiro livro a descrever de forma separada os fenômenos elétricos dos magnéticos foi escrito em francês por William Gilbert (1544-1603) sob o título *De Magnete*, em 1600. A origem da palavra ímã vem do verbo amar

em francês (*aimer*), significando atração entre corpos que se *amam*. Gilbert, que era contemporâneo de Galileu, propôs a hipótese de que o campo magnético terrestre fosse originado por um grande ímã no interior do planeta alinhado com os polos geográficos.

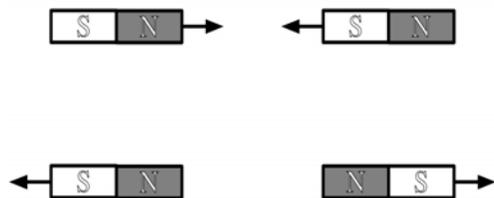
Gilbert e outros estudiosos conheciam várias propriedades dos ímãs que podemos verificar facilmente em casa.

Se suspendermos um magneto de forma que ele possa girar livremente num plano horizontal, vemos que o **ímã se movimenta de forma a se orientar na direção dos polos geográficos norte e sul**. Então batizamos de norte e sul os polos magnéticos do ímã suspenso conforme a direção em que apontam. O magnetismo é mais intenso justamente nos polos. Se colocarmos uma folha de papel sobre um ímã e espalharms limalha de ferro sobre a folha, vemos que ela tende a se acumular justamente nos polos.

Se quebrarmos o ímã ao meio, vemos que cada uma das metades passa a ter seus próprios polos norte e sul. Podemos continuar quebrando em pedaços cada vez menores, e observamos sempre a existência de dois polos magnéticos inseparáveis em cada uma das partículas. Como nunca podemos separar os dois polos magnéticos, chamamos estes ímãs elementares de *dipolos magnéticos*.



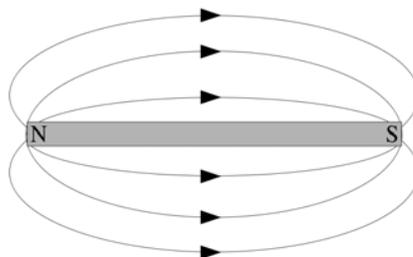
De forma similar ao caso elétrico, se aproximarmos dois polos norte, um contra o outro, observamos uma repulsão entre os ímãs. O mesmo ocorre se aproximarmos dois polos sul, um



contra o outro. No entanto, se aproximarmos um polo norte de um polo sul, ocorre atração. Dizemos, então, que **polos de mesmo nome se repelem e polos de nomes opostos se atraem**.

CAMPO MAGNÉTICO

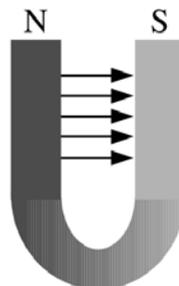
Existe um jeito muito simples de se observar a forma do campo magnético de um ímã: coloca-se uma folha de papel sobre o magneto e derrama-se limalha de ferro sobre o papel. A experiência mostra que os grãos de ferro tendem a se orientar, formando linhas curvas conectando os polos. Enquanto nos polos observamos uma



alta densidade destas linhas, em regiões mais distantes dos polos essas linhas rareiam. Chamamos estas linhas de *linhas de indução magnética*. Uma bússola próxima de um ímã se orienta paralelamente a estas linhas, apontando para o norte do ímã. Por convenção, dizemos que as linhas de indução nascem no polo norte e morrem no polo sul.

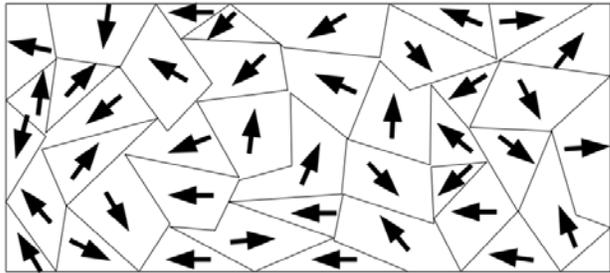
Chamamos formalmente esta região em torno do ímã de *campo magnético*. A reta tangente de uma das linhas de indução indica para onde aponta a força magnética em determinado ponto. Chamamos esta reta de **vetor indução magnética** ou **vetor campo magnético** \vec{B} . Por se tratar de uma entidade vetorial, quando somamos ou subtraímos o vetor campo magnético, devemos utilizar as regras de operações entre vetores. Nas regiões do espaço onde as linhas encontram-se mais próximas, o campo magnético é mais intenso, enquanto que nas regiões de linhas mais esparsas o campo é mais fraco. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de campo magnético é o tesla (T), em homenagem ao físico e engenheiro elétrico croata Nikola Tesla (1856-1943). O campo magnético terrestre tem uma intensidade típica em torno de 10^{-4} T. Ímãs domésticos, como os utilizados em portas de geladeira, têm campos da ordem de 10^{-2} T.

Um ímã em ferradura tem a interessante propriedade de gerar um campo magnético uniforme. As linhas de campo nascem na ponta norte e apontam paralelamente para a ponta sul. Na representação da figura, as linhas estão uniformemente espaçadas para indicar que o valor do campo é o mesmo em qualquer ponto daquela região.



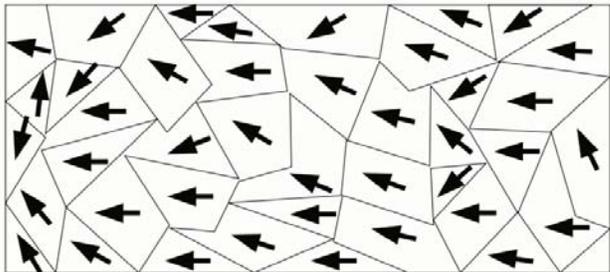
Quando estudamos a eletrostática, aprendemos que, para carregar eletricamente determinado corpo, poderíamos usar qualquer um dos três processos: atrito, contato ou indução elétrica. No caso do magnetismo, para tornar um corpo magnetizado, é necessária a existência de um campo magnético prévio para provocar a *indução eletromagnética*.

Dividindo um material em pedaços muito pequenos, podemos chegar ao limite em que cada pedacinho contém apenas o que chamamos de *ímã elementar*. Se os ímãs elementares de um corpo estiverem todos apontando em direções aleatórias, esse corpo não poderá atrair outros corpos feitos de ferro.



Baixo alinhamento magnético.

No entanto, se os ímãs elementares possuírem algum tipo de alinhamento, é possível causar a atração de outros corpos de ferro. Para induzir o alinhamento dos ímãs elementares é necessária a presença de um campo magnético externo.



Alto alinhamento magnético.

Dependendo da resposta que um corpo sofre devido à presença do campo externo, podemos classificar as substâncias do ponto de vista magnético em três categorias principais:

Ferromagnéticas: são substâncias cujos ímãs elementares tendem a se alinhar na direção do campo e exibem intensas propriedades magnéticas. Exemplos: ferro, cobalto, níquel e suas ligas; mais raros, porém, existem ainda o gadolínio e o disprosio.

Paramagnéticas: são as substâncias que permanecem indiferentes à presença de campo magnético. Exemplos: alumínio, cromo, estanho, paládio, platina, sódio, potássio. Podemos transformar um corpo ferromagnético em paramagnético. Basta esquentá-lo acima de certa temperatura, que chamamos de ponto de Curie (para o ferro, 770 °C). Nesta temperatura, a agitação térmica das partículas que compõem o corpo é tão grande que se acaba perdendo qualquer forma de orientação magnética. É por isso que devemos evitar o aquecimento de fitas cassete, disquetes, cartões de banco, ou qualquer objeto que armazena informação de forma magnética, para que não percam as informações.

Diamagnéticas: em 1845, Faraday descobriu que algumas substâncias apresentavam uma fraca repulsão a qualquer campo magnético que fosse aproximado. Neste caso, os elétrons movimentam-se de forma a gerar um campo contrário ao campo externo. Exemplos: água, antimônio, bismuto, cobre, chumbo, mercúrio, ouro, prata.

Em 1820 o professor dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) realizou uma experiência que unificou a eletricidade e o magnetismo. Ele aproximou uma bússola de um fio conduzindo uma corrente elétrica e observou que a agulha sofria uma deflexão. A corrente elétrica cria um campo magnético e a bússola tende a se alinhar conforme as linhas de indução geradas pela corrente. Em outras palavras, **cargas elétricas em movimento criam campo magnético**. Esta simples experiência, que foi feita com apenas uma bússola, um fio condutor e uma pilha, chamou muito a atenção, pois apresentou uma força que podia realizar movimento circular.

No caso de correntes elétricas, o campo magnético gerado é devido ao movimento de elétrons ao longo do condutor. No caso dos ímãs permanentes, é o movimento do elétron no interior do átomo que produz o campo magnético.

Exercícios:

1. (UFRGS) Analise cada uma das afirmações e indique se é verdadeira (V) ou falsa (F).

I. Nas regiões próximas aos polos de um ímã permanente, a concentração de linhas de indução é maior do que em qualquer outra região ao seu redor.

II. Qualquer pedaço de metal colocado nas proximidades de um ímã permanente torna-se magnetizado e passa a ser atraído por ele.

III. Tomando-se um ímã permanente em forma de barra e partindo-o ao meio em seu comprimento, obtêm-se dois polos magnéticos isolados, um polo norte em uma das metades e um polo sul na outra.

Quais são, pela ordem, as indicações corretas?

a) V, F, F

b) V, F, V

c) V, V, F

d) F, F, V

e) F, V, V

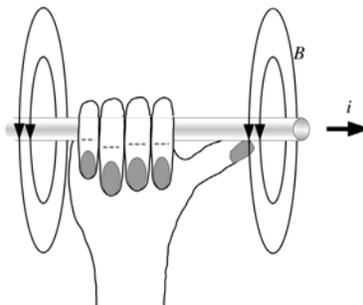
CAMPO MAGNÉTICO CRIADO POR CORRENTES

Para gerar campo elétrico é apenas necessária a existência de cargas elétricas, não importando se elas estão em movimento ou em repouso. Para gerar um campo magnético é necessário que as cargas elétricas estejam em movimento, ou seja, é preciso a existência de corrente elétrica.

A. Campo magnético criado por um condutor retilíneo

Vimos na experiência de Oersted que, se colocarmos a agulha de uma bússola próxima a uma corrente elétrica, a agulha se orientará na direção do campo. Para determinarmos, sem o uso da bússola, a orientação do campo magnético produzido por um condutor retilíneo, usamos a **regra da mão direita**:

“Segurando o condutor com a mão direita e o polegar apontando no sentido da corrente, os outros dedos formam círculos concêntricos indicando a direção do vetor campo magnético.”

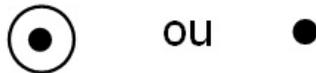


Desenhar no plano objetos tridimensionais sempre foi um problema. Para facilitar a compreensão de tais desenhos, convencionou-se que vetores perpendiculares ao plano da página podem ser representados por determinados símbolos.

Se o vetor estiver entrando na página, usa-se os sinais:



Se o vetor estiver saindo da página, usa-se os sinais:



Lei de Ampère

É de se esperar que, quanto maior for a corrente que atravessa o fio, maior seja o campo magnético. Por outro lado, quanto mais afastado do fio estivermos, menos intenso será o campo. Podemos traduzir isto na forma matemática:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d}$$

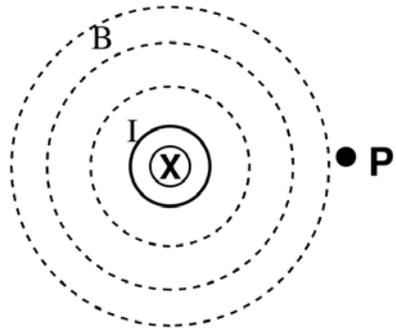
A letra grega μ (μ_0) representa uma constante para que as unidades da fórmula estejam corretas. Denominamo-la *permeabilidade magnética* do meio. Ela representa o quão fácil o campo magnético consegue permear a substância. Se o campo B for dado em teslas, a corrente i em ampères e se a distância do fio d for dada em metros, esta constante apresenta o seguinte valor para o vácuo:

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

Compare a definição de campo magnético com a definição de potencial elétrico. Onde tínhamos carga temos agora corrente, e trocamos as constantes.

Exemplos:

1. (IPA) No diagrama abaixo, representa-se um campo magnético circular B (mostrado pelas linhas circulares pontilhadas), em torno de um fio metálico condutor perpendicular ao plano desta página. Este fio metálico está sendo percorrido por uma corrente elétrica, I , cujo sentido é penetrante a esta página, de cima para baixo, como mostra a figura.



Se se colocar sobre o ponto P uma bússola, pode-se afirmar que naquele ponto sua agulha terá uma das seguintes orientações (a extremidade escura é o polo NORTE da bússola):



I

a) I



II

b) II



III

c) III



IV

d) IV

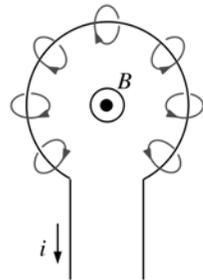
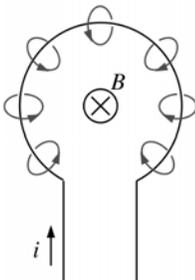


V

e) V

2. Um longo fio retilíneo alimenta uma lâmpada incandescente com uma corrente de 100 mA. Qual é o campo magnético criado pela corrente a uma distância de 20 cm do fio?

B. Campo magnético criado por uma espira circular



Em muitas aplicações práticas utiliza-se um fio condutor na forma de anel para produzir um campo magnético. Na região central da espira, a soma das contribuições ao campo magnético de cada pedacinho da espira acaba intensificando o campo em comparação com um fio retilíneo. Na figura acima, temos um anel que pode ser percorrido por uma corrente no sentido horário ou anti-horário.

Se agarrarmos o fio com a mão direita e o polegar apontando no sentido da corrente, podemos determinar a direção das linhas de indução. No lado esquerdo da figura vemos que as linhas de indução penetram na região central da espira numa direção perpendicular e entrando no plano da página. Do lado direito, as linhas também são perpendiculares ao plano da página, mas na região central da espira elas apontam para fora da página. Em ambos os casos temos um polo magnético acima da espira e outro abaixo dela.

C. Campo magnético criado por um solenoide

Já vimos que o solenoide consiste em várias espiras justapostas. Ora, se uma espira produz um certo campo magnético, então n espiras vão produzir um campo magnético n vezes mais intenso. Em 1820, Ampère construiu o primeiro solenoide e mostrou que ele se comportava como um ímã. As aplicações são várias.

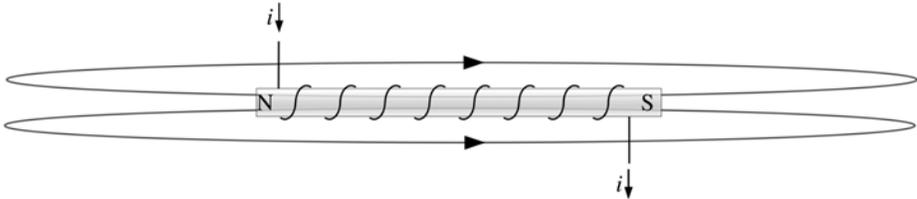
Uma das vantagens deste artefato é que se torna um ímã temporário, ou seja, que pode ser ligado e desligado conforme a nossa necessidade. Outra vantagem é a possibilidade de se produzir campos extremamente intensos. Vimos, pela lei de Ampère, que o campo magnético criado pela corrente elétrica depende de uma constante chamada de permeabilidade magnética μ . Esta constante depende apenas da substância em que o campo magnético está imerso. Se colocarmos no interior do solenoide um material com alto valor de μ , como, por exemplo, o ferro, podemos intensificar o campo. Um fio condutor enrolado em uma barra de ferro também recebe o nome de *eletroímã*. Campanhas domésticas costumam possuir eletroímãs que movimentam o badalo na direção do sino. Separação de lixo urbano se vale muito de eletroímãs para separar materiais magnéticos do resto dos detritos.

No interior do solenoide, o campo magnético tem a propriedade de ser uniforme. Então, se colocarmos uma agulha de bússola no interior

do solenoide ligado, ela adquirirá a orientação magnética ao longo de seu comprimento. Se, ao invés de uma agulha magnetizada, for colocado um pedaço de ferro desmagnetizado, seus ímãs elementares tenderão a se alinhar conforme a orientação do campo criado pelo solenoide. Este é um método de fabricação de agulhas de bússola.

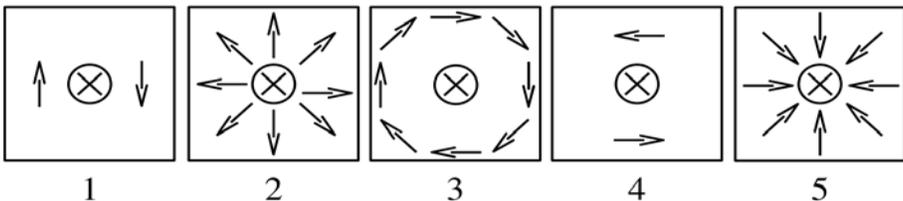
Os *cabeçotes magnéticos* de gravação de disquetes e de fitas magnéticas possuem, em seu interior, pequenos solenoides. Próximo à superfície do cabeçote de gravação, o campo magnético possui uma orientação que depende da corrente que passa pelo enrolamento. A mídia possui uma fina camada de pequenos grãos de óxido de ferro ou óxido de cromo que, ao passarem junto do cabeçote, alinham seus dipolos magnéticos paralelamente ao campo ali presente e a informação fica, assim, gravada.

A seguir, representamos um cilindro sobre o qual é enrolado um fio condutor por onde passa uma corrente elétrica. Aplicando a regra da mão direita a uma espira qualquer do solenoide, determinamos a direção das linhas de campo magnético que passam pelo solenoide e os respectivos polos norte e sul.



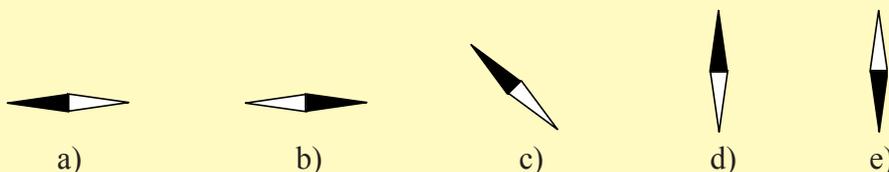
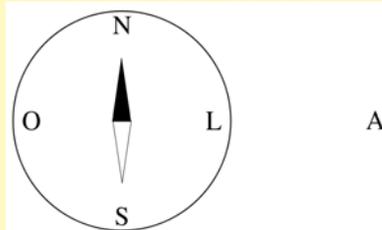
Exercícios:

2. (UNISC) Um condutor retilíneo, quando percorrido por uma corrente i , produz um campo magnético. O condutor foi colocado perpendicularmente ao plano da folha, e a corrente i o atravessa de cima para baixo (perpendicular ao plano da folha). O vetor campo magnético em qualquer ponto da folha é mais bem representado por



- a) 1 e 4. b) somente 2. c) 2 e 5. d) somente 3. e) 1 e 3.

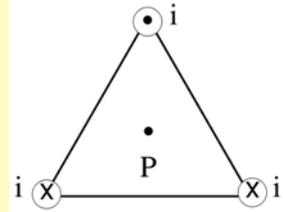
3. (UFSM) Uma bússola sobre uma mesa apresenta a orientação indicada na figura a seguir. Se, em A, for colocado um ímã com o polo norte voltado para a bússola, ter-se-á a seguinte orientação:



4. (UCS) Quando se trata de transporte de cargas metálicas pesadas, como *containers* de metal ou automóveis, é comum a utilização de um tipo de guindaste que, ao tocar na carga metálica, gruda nela, erguendo-a e conduzindo-a até seu destino, quando, então, libera-a como se não exercesse mais nenhuma atração. Este guindaste possui tal capacidade, porque funciona:

- a) com um ímã permanente que pode ser ligado ou desligado quando necessário.
- b) com um ímã permanente que, ao exercer muita força sobre um objeto, vai perdendo intensidade.
- c) utilizando campos magnéticos armazenados por carga elétrica estática em capacitores gigantes, liberando esses campos, para suspender o objeto, e retendo-os, para largá-lo.
- d) utilizando campos magnéticos que eletrizam positivamente a carga metálica para suspendê-la e, depois, eletrizam-na negativamente para soltá-la.
- e) através de uma corrente elétrica que, ao ser estabelecida dentro de uma bobina, cria o campo magnético que atrai o objeto, podendo ser desligada quando conveniente.

5. (FURG) Uma corrente constante i passa em cada um dos três fios retilíneos longos, situados nos vértices de um triângulo equilátero. Os fios são normais em relação ao plano que contém o triângulo, conforme mostra a figura.



Desconsiderando o campo magnético terrestre, a orientação de uma bússola colocada no ponto P é:



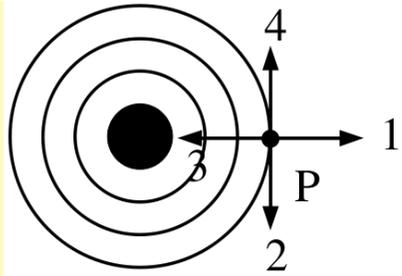
6. (UFSM) Considere as seguintes afirmações:

- I. Um pedaço de ferro comum se transforma em um ímã pela orientação de seus ímãs elementares, constituídos pelos seus átomos.
- II. O campo magnético de um solenoide pode ficar mais intenso com a introdução de uma substância ferromagnética no seu interior.
- III. Nas substâncias ferromagnéticas, por efeito de um campo magnético externo, ocorre um alto grau de alinhamento dos ímãs elementares.

Está(ão) correta(s):

- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas III.
- d) apenas II e III.
- e) I, II e III.

7. (UCS) Um fio reto e longo, representado pela área escura da figura, é colocado perpendicularmente a esta folha de papel. Esse fio é percorrido por uma corrente elétrica cujo sentido é o da folha para o leitor. Essa corrente elétrica gera um campo magnético ao redor do fio. Para melhor visualização, foram construídas três linhas de campo ao redor do fio, sendo que uma delas contém o ponto P. É correto afirmar que o campo magnético gerado pela corrente elétrica, no ponto P, tem o sentido:



- a) indicado pela seta de número 1.
- b) indicado pela seta de número 3.
- c) indicado pela seta de número 2.
- d) indicado pela seta de número 4.
- e) da folha de papel para o leitor.

8. (UFMS) Considere as afirmações a seguir, a respeito de ímãs.

I - Convencionou-se que o polo norte de um ímã é aquela extremidade que, quando o ímã pode girar livremente, aponta para o norte geográfico da Terra.

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

III - Quando se quebra, ao meio, um ímã em forma de barra, obtém-se dois novos ímãs, cada um com apenas um polo magnético.

Está(ão) correta(s)

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

9. (IPA) Seja um condutor metálico no qual é aplicado uma corrente elétrica de valor I . A Lei de Ampère garante que o valor do campo magnético, B , a uma determinada distância ao redor do condutor, num determinado meio homogêneo:

- a) é diretamente proporcional ao valor da corrente elétrica e inversamente proporcional à distância ao condutor;
- b) é inversamente proporcional ao valor da corrente elétrica e diretamente proporcional à distância ao condutor;
- c) é diretamente proporcional ao produto entre o valor da corrente elétrica e a distância ao condutor;
- d) é inversamente proporcional ao produto entre o valor da corrente elétrica e a distância ao condutor;
- e) não depende dos valores da corrente elétrica e da distância ao condutor.

10. (UFSM) O campo magnético é uniforme em uma determinada região, quando as linhas de campo:

- a) são paralelas e equidistantes.
- b) direcionam-se para o polo norte.
- c) direcionam-se para o polo sul, aproximando-se por diferentes direções.
- d) afastam-se do polo norte em todas as direções e aproximam-se do polo sul.
- e) afastam-se do polo sul e direcionam-se para o polo norte.

11. (UFRGS) Analise cada uma das seguintes afirmações, sobre gravitação, eletricidade e magnetismo, e indique se é verdadeira (V) ou falsa (F).

() Sabe-se que existem dois tipos de carga elétrica e dois tipos de polos magnéticos, mas não se conhece a existência de dois tipos de massa gravitacional.

() Um ímã pode ser magnetizado pelo atrito com um pano, como se faz para eletrizar um corpo.

() Um ímã permanente pode ser “descarregado” de seu magnetismo por um leve toque com a mão, assim como se descarrega um corpo eletrizado de sua carga elétrica.

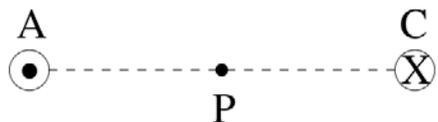
Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta de indicações, de cima para baixo.

- a) V - V - V
- b) V - V - F
- c) V - F - F
- d) F - F - V
- e) F - F - F

12. (UFRGS) Em certa localidade, a componente horizontal do campo magnético terrestre tem módulo B_H . Uma agulha de bússola, que só pode se mover no plano horizontal, encontra-se alinhada com essa componente. Submetendo a bússola à ação de um campo magnético adicional, dirigido horizontalmente na direção perpendicular a \vec{B}_H , a agulha assume nova posição de equilíbrio, ficando orientada a 45° em relação à direção original. Pode-se concluir que o módulo do campo adicional é:

- a) $B_H / \sqrt{2}$
- b) $B_H / 2$
- c) B_H
- d) $\sqrt{2}B_H$
- e) $2B_H$

13. (UFRGS) Dois longos fios retilíneos e paralelos, A e C, que atravessam perpendicularmente o plano da página, são percorridos por correntes elétricas de mesma intensidade e de sentidos contrários, conforme representa, em corte transversal, a figura abaixo. Como é convencional, o ponto no fio A indica que a corrente



desse fio está saindo da página, e o “X” indica que a corrente do fio C está entrando na página.

No ponto P da figura, o vetor campo magnético:

- a) é nulo
- b) aponta para o alto da página.
- c) aponta para o pé da página.
- d) aponta para a esquerda.
- e) aponta para a direita.

14. (UFRGS) A histórica experiência de Oersted, que unificou a eletricidade e o magnetismo, pode ser realizada por qualquer pessoa, bastando para tal que ela disponha de uma pilha comum de lanterna, de um fio elétrico e de

- a) um reostato.
- b) um eletroscópio.
- c) um capacitor.
- d) uma lâmpada.
- e) uma bússola.

15. (ULBRA) Um fio condutor retilíneo e muito longo é percorrido por uma corrente elétrica constante, que cria um campo magnético em torno do fio. Esse campo magnético, criado:

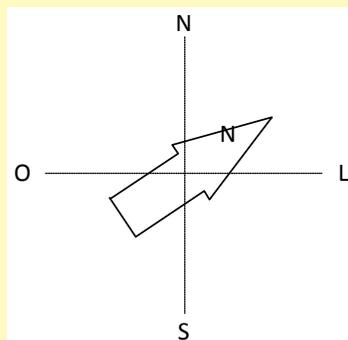
- a) tem o mesmo sentido da corrente elétrica;
- b) é uniforme;
- c) diminui à medida que a distância em relação ao condutor aumenta;
- d) é paralelo ao fio;
- e) aponta para o fio.

16. (UNIPAMPA) Um dos acessórios usado pelo gaúcho ao encilhar o cavalo é o pelego, que também pode ser utilizado em aulas de física quando são abordados processos de eletrização.

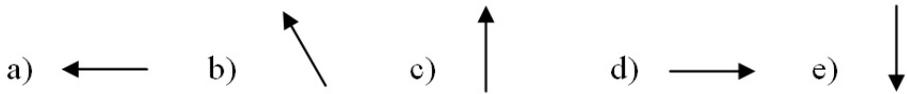
De acordo com seus conhecimentos sobre eletricidade e magnetismo, assinale a alternativa correta.

- a) A eletrização de uma esfera condutora, eletricamente neutra, pode ser obtida pelo contato com um ímã permanente eletricamente neutro.
- b) A eletrização por atrito é obtida, friccionando-se, por exemplo, um bastão de vidro e um pedaço de pelego, enquanto que a imantação de um prego pode ser obtida pela passagem de uma corrente elétrica através de um fio condutor isolado nele enrolado.
- c) A eletrização dos condutores ocorre por atrito, contato e indução, mas sua imantação só poderá ocorrer pela passagem de uma corrente elétrica através dos mesmos.
- d) Atrito, contato e indução são processos de eletrização, nos quais se criam cargas elétricas, enquanto atrito, contato e influência magnética são meios de imantação permanente.
- e) Durante a eletrização por indução, o indutor é aterrado, e o induzido se eletriza com cargas elétricas de mesmo sinal daquelas do indutor.

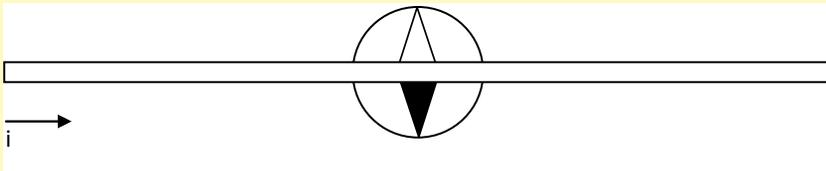
17. (PUCRS) Num determinado local, observa-se que uma bússola está desviada de sua orientação habitual, conforme representa a figura abaixo:



Conclui-se que, no local, além do campo magnético da Terra, atua outro campo, cuja orientação está representada em:



18. (UFRGS) A figura abaixo representa uma vista superior de um fio retilíneo, horizontal, conduzindo corrente elétrica i no sentido indicado. Uma bússola, que foi colocada abaixo do fio, orientou-se na direção perpendicular a ele, conforme também indica a figura.



Imagine, agora, que se deseje, sem mover a bússola, fazer sua agulha inverter a orientação indicada na figura. Para obter esse efeito, considere os seguintes procedimentos.

I - Inverter o sentido da corrente elétrica i , mantendo o fio na posição em que se encontra na figura.

II - Efetuar a translação do fio para uma posição abaixo da bússola, mantendo a corrente elétrica i no sentido indicado na figura.

III - Efetuar a translação do fio para uma posição abaixo da bússola e, ao mesmo tempo, inverter o sentido da corrente elétrica i .

Desconsiderando-se a ação do campo magnético terrestre, quais desses procedimentos conduzem ao efeito desejado?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas III.
- d) Apenas I e II.
- e) I, II e III.

19. (UFSM) Considere as seguintes afirmações:

I - A passagem de uma corrente elétrica por um fio cria, ao seu redor, um campo magnético apenas se a corrente varia no tempo.

II - Uma partícula carregada que se propaga no vácuo cria, ao seu redor, um campo magnético.

III - As linhas de indução associadas ao campo magnético criado por uma corrente elétrica num condutor retilíneo são circunferências concêntricas.

Está(ão) correta(s)

- a) apenas I.
- b) apenas I e II.
- c) apenas II e III.
- d) apenas III.
- e) I, II e III.

LEI DE LORENTZ

CAPÍTULO 11

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE CARGAS ELÉTRICAS

Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) foi um físico holandês que passou vários anos de sua vida estudando o eletromagnetismo. Para homenageá-lo, foi-lhe concedido o Prêmio Nobel da Física de 1902. E mais ainda, a força magnética que atua sobre uma carga em movimento recebeu o seu nome: **força de Lorentz**. Seus estudos e conclusões formaram a base para que Einstein formulasse a Teoria da Relatividade.

Experimentalmente, verificou-se que, quando uma carga elétrica está sob a ação de um campo magnético, ela pode sofrer uma força. As características dessa força são as seguintes:

I. Sobre uma carga elétrica em repouso, não há existência de força magnética. E à medida que a velocidade v aumenta, a força F aumenta. Daí,

$$F \propto v$$

II. Quanto maior a carga q , maior a força magnética. Logo,

$$F \propto qv$$

III. Quanto maior o campo magnético B , maior a força. Portanto,

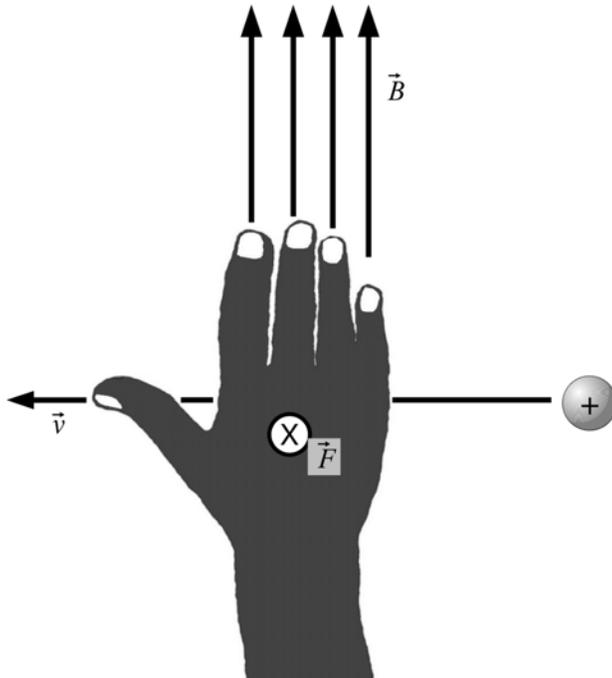
$$F \propto qvB$$

IV. Quando o ângulo θ (*theta*) entre v e B é zero a força é nula, e quando $\theta = 90^\circ$ a força magnética é máxima. Uma função matemática que possui a

propriedade $f(x=0) = 0$ e $f(x=90^\circ) = \text{máx}$, é o seno. Chegamos, finalmente, à fórmula da força magnética:

$$F = qvB \text{sen}\theta$$

V. A força magnética possui a peculiaridade de ser tridimensional. Ela é sempre **perpendicular à velocidade da carga e ao campo magnético**. Para determinar a direção da força, utilizamos a *regra do tapa*. Nesta regra, o polegar da mão direita indica a velocidade da carga, enquanto que os outros dedos apontam nas linhas de campo magnético. O sentido da força é o mesmo que o da mão, como se estivesse a dar um tapa. Observe a figura a seguir.



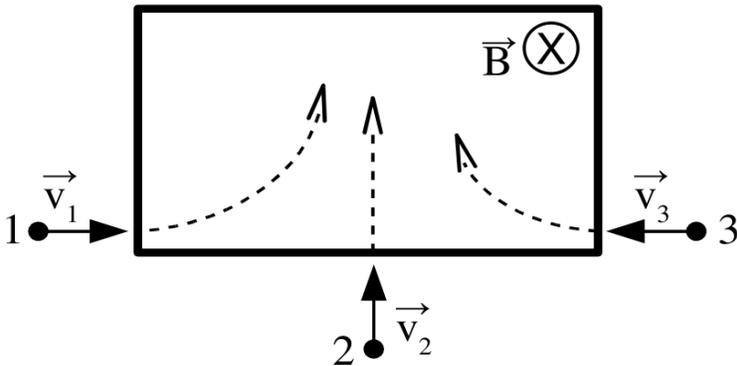
Essa regra é válida para o caso em que a carga é positiva. Quando a carga for negativa, o sentido da força é oposto.

Vimos, então, que a força é sempre perpendicular à velocidade. Este fato é similar ao da força centrípeta em um movimento circular uniforme. Portanto, se, por exemplo, um próton penetrar de forma perpendicular à orientação do campo magnético, ele passará a exibir um movimento circular em torno da linha de campo magnético.

O Sol, que fornece ao nosso planeta toda a energia que é tão necessária à geração e manutenção da vida, também emite uma grande quantidade de partículas carregadas eletricamente, extremamente nocivas aos seres vivos. O campo magnético terrestre constitui uma barreira a estas partículas (algo que pode lembrar os famosos *campos de força* dos filmes de ficção científica.). As partículas carregadas emitidas pelo sol, que atingem o campo magnético terrestre, entram em movimento espiral em torno das linhas de campo e são levadas em direção aos polos. O movimento em espiral é formado por uma trajetória circular que se propaga ao longo de uma linha. Sabemos que o movimento circular possui uma aceleração centrípeta. Verificou-se que **toda vez que uma partícula carregada eletricamente entra em movimento acelerado, ela emite radiações eletromagnéticas**. Assim, as partículas provenientes do Sol, ao atingirem o campo magnético terrestre, emitem luz justamente na faixa do visível, o que produz um espetáculo de cores. As populações de latitudes extremas agradecem o belo efeito da **aurora** boreal (no hemisfério norte) ou austral (no hemisfério sul).

Exemplo:

1. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão a partir da análise da situação descrita abaixo. A figura mostra uma região onde existe um campo magnético uniforme perpendicular à página e orientado para dentro da mesma. As linhas indicadas correspondem às trajetórias de três partículas – um elétron, um próton e um nêutron – lançadas a partir dos pontos 1, 2 e 3 para dentro dessa região.

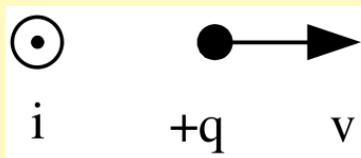


Considerando apenas a ação do campo magnético, pode-se afirmar que:

- a) O nêutron foi lançado do ponto 1 e o próton foi lançado do ponto 2.
- b) O elétron foi lançado do ponto 2 e o nêutron foi lançado do ponto 3.
- c) O próton foi lançado do ponto 3 e o elétron foi lançado do ponto 2.
- d) O nêutron foi lançado do ponto 2 e o elétron foi lançado do ponto 3.
- e) O elétron foi lançado do ponto 3 e o nêutron foi lançado do ponto 1.

Exercícios:

1. (PUCRS) A figura abaixo representa um fio metálico longo e retilíneo, conduzindo corrente elétrica i , perpendicularmente e para fora do plano da figura. Um próton move-se com velocidade v , no plano da figura, conforme indicado.



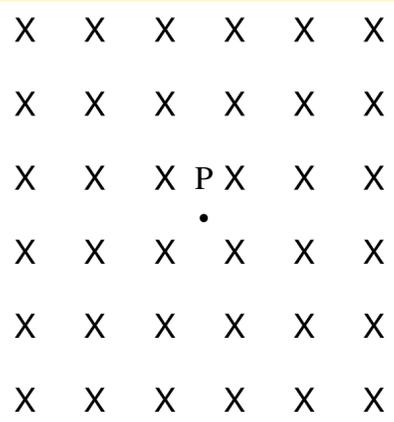
- A força magnética que age sobre o próton é
- a) paralela ao plano da figura e para a direita.
 - b) paralela ao plano da figura e para a esquerda.
 - c) perpendicular ao plano da figura e para dentro.
 - d) perpendicular ao plano da figura e para fora.
 - e) nula.

2. (PUCRS) A respeito da força magnética que pode atuar sobre um próton que se encontra nas proximidades de um longo condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica, é correto afirmar que,

- a) a força magnética é máxima quando o próton se desloca obliquamente em relação ao condutor.
- b) a intensidade da força magnética decresce com o quadrado da distância do próton ao condutor.
- c) a força magnética é de atração quando o próton se desloca paralelamente ao fio e contrário ao sentido (convencional) da corrente.
- d) a força magnética é de atração quando o próton se desloca paralelamente ao fio e no sentido (convencional) da corrente.
- e) a intensidade da força magnética é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade da corrente no condutor.

3. (UFRGS) A figura abaixo 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.

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 abaixo, 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.
- b) F - F - V.
- c) F - V - F.
- d) V - F - V.
- e) V - V - V.

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE CORRENTES ELÉTRICAS

Vimos que, se uma única partícula carregada eletricamente penetrar em uma região do espaço onde existe um campo magnético, ela sofrerá uma força enquanto estiver em movimento. E se tivermos um número maior de partículas?

Cada uma das partículas sofrerá uma força magnética. Como corrente elétrica consiste no movimento ordenado de cargas elétricas, ela também sofre uma força quando submetida a um campo magnético.

Vamos buscar uma fórmula que permita determinar a intensidade da força sofrida por um longo fio conduzindo corrente, imerso em um campo magnético uniforme. Lembremos inicialmente da definição matemática de corrente elétrica: $i = \frac{q}{t}$, de onde temos que

$$q = i t$$

Uma carga trafegando ao longo do fio de comprimento L , que leva um tempo t para chegar de uma extremidade a outra, tem uma velocidade média dada por:

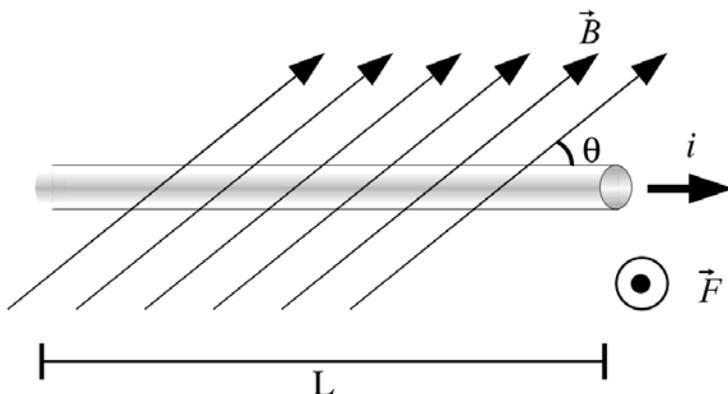
$$v = \frac{L}{t}$$

Assim, substituindo q e v na fórmula da força magnética, temos:

$$F = qvB\text{sen}\theta = (it)\left(\frac{L}{t}\right)B\text{sen}\theta$$

$$F = iLB\text{sen}\theta$$

A força magnética que atua em um fio é diretamente proporcional à corrente e ao campo magnético no qual ele está imerso. θ é o ângulo entre o vetor campo magnético e a direção da corrente. A orientação da força que o fio sofre é dada pela regra da mão direita, conforme a figura a seguir.



A fórmula acima nos dá uma noção do significado da unidade Tesla. Vejamos: se isolarmos o campo magnético, temos

$$B = \frac{F}{iL \sin \theta}$$

e vemos que $1 \text{ T} = 1 \text{ N/Am}$

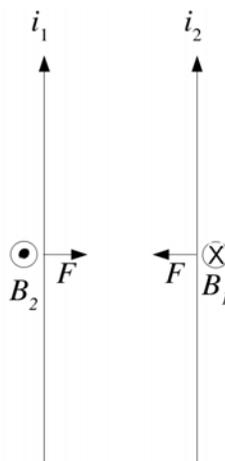
Como normalmente consideramos a situação em que o comprimento do fio é muito grande em comparação com seu diâmetro, usamos a definição de *força por unidade de comprimento*, cuja unidade é o N/m:

$$\frac{F}{L} = iB \sin \theta$$

Um fio imerso num campo de 1 T e que transporta uma corrente de 1 A sofre uma força devida ao campo de 1 N/m.

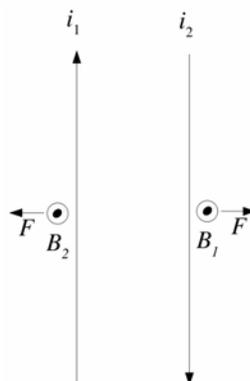
O campo magnético em que o fio encontra-se imerso pode ser criado por um ímã permanente ou por outro fio conduzindo uma corrente nas proximidades. Os fios que transportam a energia elétrica que alimenta nossas casas costumam dispor-se de forma paralela. Como seria a força magnética entre dois fios condutores, um ao lado do outro, transportando correntes na mesma direção?

Vamos analisar o caso em que ambas as correntes têm o mesmo sentido, conforme ilustrado na figura ao lado. Cada uma das correntes produz seu próprio campo magnético que vai atuar no outro fio. Utilizando a regra da mão direita vemos que a corrente i_1 cria na região do fio 2 um campo B_1 apontando perpendicularmente ao plano da página e para fora. Agora, usando a regra do tapa, com o polegar no sentido de i_2 e os outros dedos na direção do campo B_1 que aponta para dentro da página nessa região, temos que dar o tapa para a esquerda, como apontado pela seta. Do outro lado, o fio 1 está imerso em um campo B_2 que aponta para fora do plano da página. Com isso, a força que ele sofre é para a direita. Desta forma, vemos que **correntes no mesmo sentido sofrem força de atração**.



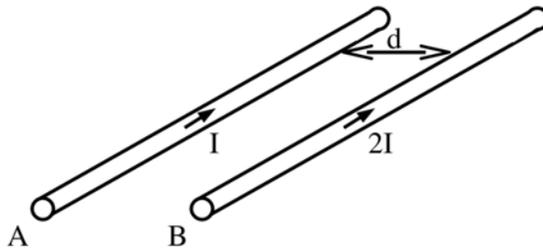
O mesmo raciocínio que fizemos no parágrafo acima pode ser usado de forma similar na situação em que os fios paralelos transportam correntes elétricas em sentidos opostos. Neste caso, **correntes em sentidos opostos sofrem força de repulsão**.

Agora podemos entender por que vemos espaçadores entre fios que conduzem correntes elevadas. É para evitar que possam ser atraídos e possam causar um curto-circuito.



Exemplo:

2. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que elas aparecem. A figura abaixo representa dois fios metálicos paralelos, A e B, próximos um do outro, que são percorridos por correntes elétricas de mesmo sentido e de intensidades iguais a I e $2I$, respectivamente. A força que o fio A exerce sobre o fio B é , e sua intensidade é intensidade da força exercida pelo fio B sobre o fio A.



- a) repulsiva - duas vezes maior do que a
- b) repulsiva - igual à
- c) atrativa - duas vezes menor do que a
- d) atrativa - duas vezes maior do que a
- e) atrativa - igual à

Exercícios:

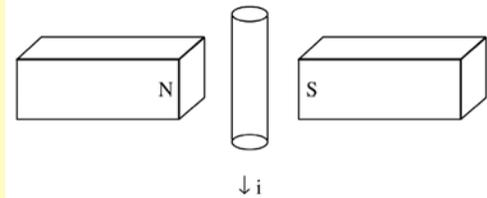
4. (IPA) Quando um condutor, imerso em um campo magnético uniforme de intensidade B , é percorrido por uma corrente elétrica I , sobre esse condutor aparece uma força magnética F que o empurra em uma determinada direção. Na “regra do tapa”, com a mão direita, para o eletromagnetismo, o dedo polegar, os outros quatro dedos e a palma da mão representam, respectivamente:

- a) o sentido do vetor indução eletromagnética, o sentido da corrente elétrica e o sentido da força elétrica.
- b) o sentido do vetor indução eletromagnética, o sentido da força e o sentido da corrente elétrica;
- c) o sentido da corrente elétrica, o sentido do vetor indução eletromagnética e o sentido da força magnética;
- d) o sentido da força, o sentido da corrente elétrica e o sentido do vetor indução eletromagnética;
- e) sentido da força, o sentido do vetor indução magnética e o sentido da corrente elétrica.

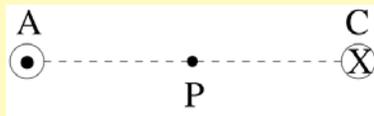
5. (FEEVALE) Um condutor retilíneo, atravessado por uma corrente elétrica, é colocado entre os polos de um ímã, conforme indica a figura abaixo.

A força magnética que atua no condutor aponta:

- a) no sentido do polo norte.
- b) no sentido do polo sul.
- c) para dentro desta página.
- d) no sentido da corrente "i".
- e) para fora desta página.



6. (UFRGS) Dois longos fios retílineos e paralelos, A e C, que atravessam perpendicularmente o plano da página, são percorridos por correntes elétricas de mesma intensidade e de sentidos contrários, conforme representa, em corte transversal, a figura abaixo. Como é convencional, o ponto no fio A indica que a corrente desse fio está saindo da página, e o "X" indica que a corrente do fio C está entrando na página.

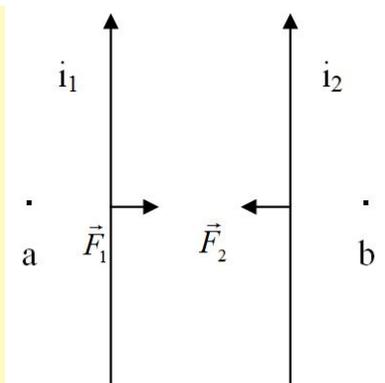


A força magnética, por metro, exercida pelo fio A sobre o fio C

- a) é nula
- b) aponta para o alto da página.
- c) aponta para o pé da página.
- d) aponta para a esquerda.
- e) aponta para a direita.

(UFRGS) As questões 7, 8 e 9 referem-se ao enunciado e à figura abaixo.

Dois fios condutores, longos, retos e paralelos, são representados pela figura abaixo. Ao serem percorridos por correntes elétricas contínuas, de mesmo sentido e de intensidades i_1 e i_2 , os fios interagem através das forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 , conforme indica a figura.



7. Sendo $i_1 = 2i_2$, os módulos F_1 e F_2 das forças são tais que

- a) $F_1 = 4F_2$.
- b) $F_1 = 2F_2$.
- c) $F_1 = F_2$.
- d) $F_1 = F_2/2$.
- e) $F_1 = F_2/4$.

8. Os vetores campo magnético resultantes nos pontos a e b indicados na figura, devidos às correntes i_1 e i_2 ,

- a) são paralelos aos vetores \vec{F}_1 e \vec{F}_2 e apontam em sentidos opostos.
- b) são paralelos aos fios e têm o mesmo sentido das correntes elétricas.
- c) são paralelos aos fios e têm sentidos opostos aos das correntes elétricas.
- d) têm direção perpendicular ao plano que contém os fios (plano da página) e apontam no mesmo sentido.
- e) têm direção perpendicular ao plano que contém os fios (plano da página) e apontam em sentidos opostos.

9. Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo abaixo.

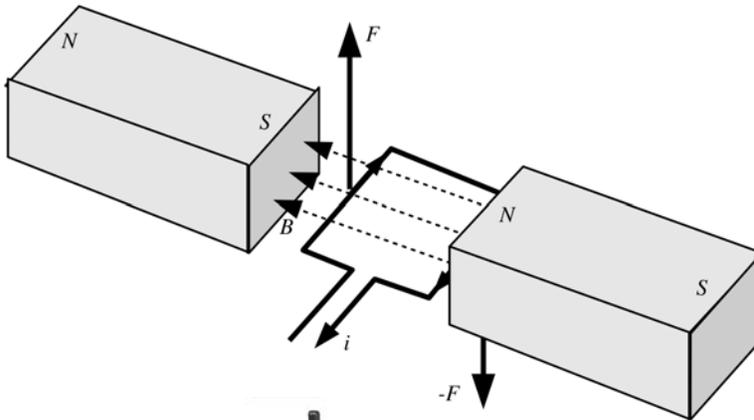
Invertendo-se os sentidos das correntes elétricas i_1 e i_2 , as forças de interação \vec{F}_1 e \vec{F}_2 e os vetores campo magnético nos pontos a e b

- a) permanecem inalteradas - permanecem inalterados
- b) permanecem inalteradas - invertem seus sentidos
- c) invertem seus sentidos - permanecem inalterados
- d) invertem seus sentidos - invertem seus sentidos
- e) permanecem inalteradas - sofrem rotação de 90°

APLICAÇÕES DA FORÇA MAGNÉTICA

Motor elétrico

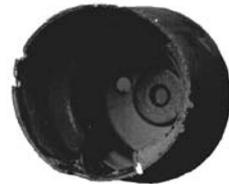
É graças à existência da força magnética que foi possível desenvolver o motor elétrico. O trabalho do motor elétrico é a conversão da energia elétrica em energia mecânica de rotação de uma espira. Na figura abaixo, mostramos uma representação simplificada de um motor. Uma espira metálica conduzindo uma corrente i é colocada no interior de um campo magnético uniforme B . Do lado esquerdo da espira surge uma força magnética que aponta para cima, conforme a regra do tapa. Do lado direito da espira também surge uma força magnética que aponta para baixo. Estas duas forças fazem com que a espira gire em torno do seu eixo. Os segmentos da espira que estão alinhados paralelamente ao campo magnético, obviamente não sofrem ação da força magnética. Se quisermos aumentar a força do motor, podemos aumentar o número de espiras. Outra possibilidade é substituir os ímãs permanentes por eletroímãs, pois estes podem gerar campos magnéticos muito mais intensos. Nos mancais da espira é necessário adaptar um sistema que inverta o sentido da corrente a cada meia-volta. Isto porque ao girar a espira de 180° , a força magnética vai inverter sua direção (verifique!). Este sistema é composto de escovas comumente constituídas de bastões de grafite. O grafite, além de ser bom condutor, também é lubrificante.



escovas



bobina

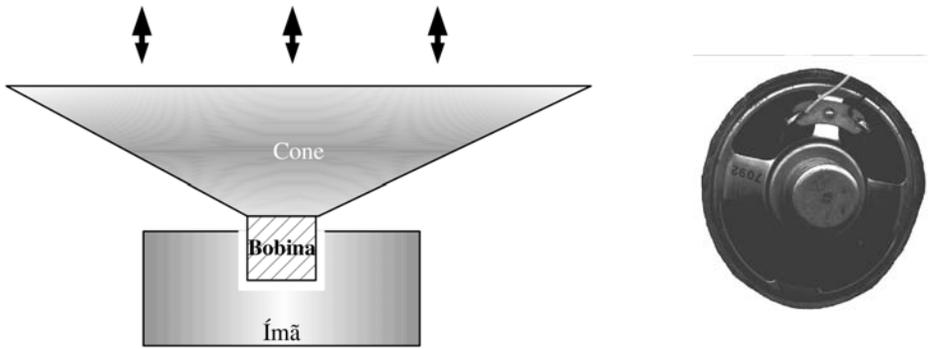


ímãs

Alto-falante

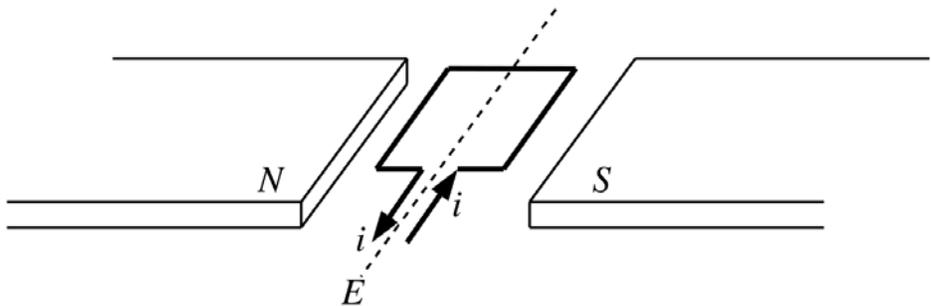
O som que ouvimos de um alto-falante provém da vibração de seu cone de papelão. Mas, atrás de um alto-falante sempre tem um ímã. O que este ímã tem a ver com o som? É graças à força magnética que o papelão vibra.

Impulsos elétricos, ou seja, variações de corrente elétrica, são emitidos na saída de um amplificador. Esta corrente pulsante é levada por um fio condutor até uma bobina que está imersa em um campo magnético produzido por um ímã permanente. Temos, então, uma corrente elétrica passando por um campo magnético. Isto gera uma força que é responsável pelo movimento de vaivém do cone de papelão. Correntes mais intensas provocam amplitudes maiores de movimento do cone e, portanto, maior sensação de intensidade sonora. Alto-falantes de grande potência costumam ter ímãs maiores para gerarem campos magnéticos mais intensos.



Exercícios:

10. (ULBRA) A figura abaixo identifica o princípio de funcionamento de um motor elétrico, onde aparecem um campo magnético, uma espira retangular e uma fonte de energia E , que faz circular corrente elétrica na espira. A circulação desta corrente determina o aparecimento de um par de forças nas partes da espira perpendiculares ao vetor campo magnético. Com respeito a este fenômeno físico podemos afirmar que:



- a) a espira não gira;
- b) a espira gira no sentido horário;
- c) a espira gira no sentido anti-horário;
- d) a espira apenas oscila de um lado para outro;
- e) o vetor campo magnético vai do polo S para o polo N.

11 e 12. (UFRGS) O enunciado abaixo refere-se às questões de números 11 e 12.

Um segmento retilíneo de fio conduz uma corrente elétrica i , em uma região onde existe um campo magnético uniforme \vec{B} . Devido a este campo magnético, o fio fica sob o efeito de uma força de módulo F , cuja direção é perpendicular ao fio e à direção de \vec{B} .

11. Se duplicarmos as intensidades do campo magnético e da corrente elétrica, mantendo inalterados todos os demais fatores, a força exercida sobre o fio passará a ter módulo:

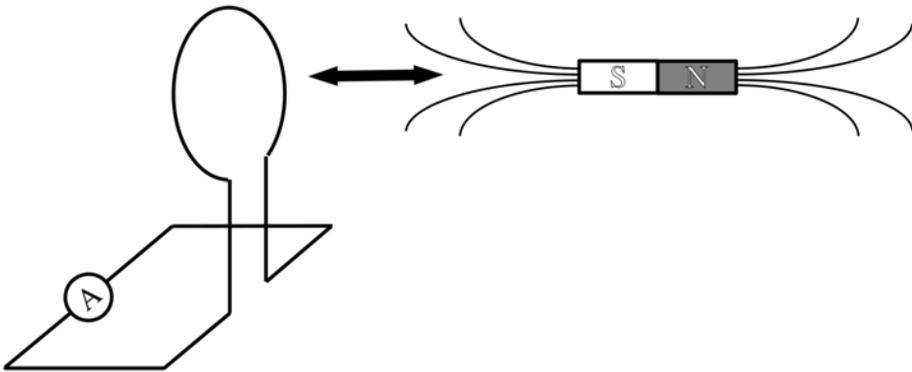
- a) $8 F$
- b) $4 F$
- c) F
- d) $F/4$
- e) $F/8$

12. O efeito ao qual se refere o enunciado constitui o princípio de funcionamento de:

- a) motores elétricos.
- b) aquecedores elétricos.
- c) capacitores.
- d) reostatos.
- e) eletroscópios.

INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Até a descoberta do fenômeno da indução elétrica, a energia elétrica costumava ser produzida apenas em pequenas quantidades através de pilhas químicas. Em 1831, o inglês Michael Faraday (1791-1867) mostrou que um campo magnético podia produzir uma corrente elétrica. Esta descoberta levou à invenção do *dinamo* que é um aparelho capaz de produzir energia elétrica em larga escala. Este gerador substituiu a máquina a vapor e levou à Segunda Revolução Industrial na segunda metade do século XIX.



O que Faraday fez foi aproximar e afastar um ímã de uma espira ligada a um galvanômetro. Toda vez que ele movimentava o ímã, a agulha do galvanômetro acusava a passagem de corrente elétrica. Quando não há movimento relativo entre a espira e o ímã, não ocorre geração de corrente.

Indo mais além, Faraday substituiu o ímã por uma espira ligada a uma pilha que fornecia corrente constante. Ao fluir pela espira indutora, a corrente produz um campo magnético que não varia no tempo, como num ímã. Enquanto as espiras estivessem em repouso uma em relação à outra e fosse mantida corrente constante numa delas, não era induzida nenhuma corrente na outra espira. No entanto, ao movimentar-se uma espira em relação à outra, surge uma corrente induzida de forma similar ao caso do ímã em movimento.

Ele também podia observar pulsos de corrente induzida na espira ligada ao galvanômetro, se, na outra, a corrente fosse ligada e desligada repetidamente por meio de uma chave.

Nos três casos acima, estamos variando na espira induzida uma quantidade que chamamos de *fluxo de campo magnético* (ou, simplesmente, fluxo magnético) representado pela letra grega ϕ . O fluxo magnético está diretamente relacionado à densidade de linhas de campo magnético em uma determinada região do espaço. Próximo dos polos dos ímãs, ou das espiras de indução, temos mais linhas de campo e, portanto, o fluxo magnético é mais intenso. No Sistema Internacional, a unidade de fluxo magnético é o weber, Wb. Esta é uma homenagem ao físico alemão Wilhelm Weber (1804-1891).

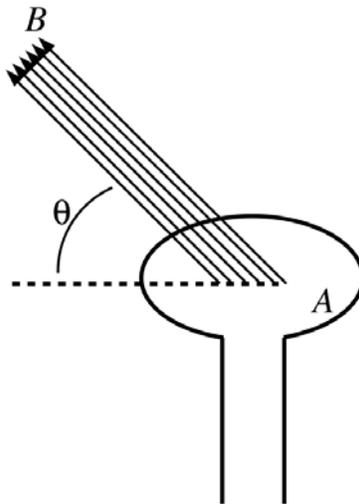
Uma pessoa que gosta de se bronzear ao sol sabe muito bem o sentido da palavra fluxo. Neste caso, de radiação solar. Ela costuma deitar-se de forma a aumentar a exposição solar, ou seja, aumentar o fluxo de radiação sobre seu corpo. A geometria da pessoa, sua área e ângulo em relação ao sol, bem como a intensidade do sol, que depende de condições atmosféricas, definem o fluxo de radiação sobre sua pele.

Ao aproximar e afastar o ímã da espira induzida variamos o fluxo magnético em seu interior e induzimos uma *força eletromotriz* e que empurra as cargas ao longo do condutor. Podemos também dizer que surge um campo elétrico que faz as cargas se movimentarem. Quando o ímã fica em repouso com relação à espira não ocorre variação de fluxo e, portanto, não é induzida força eletromotriz.

O ligar e desligar da chave da espira indutora varia bruscamente a corrente, desde zero até um valor máximo. Com isto, o campo magnético também varia de um valor nulo até um máximo, e volta a ser nulo quando a chave é desligada. Estas variações de corrente produzem um campo que varia com o passar do tempo e, portanto, induz uma fem na outra espira.

Podemos, então, enunciar a Lei de Faraday: **variações de campo magnético produzem campo elétrico.**

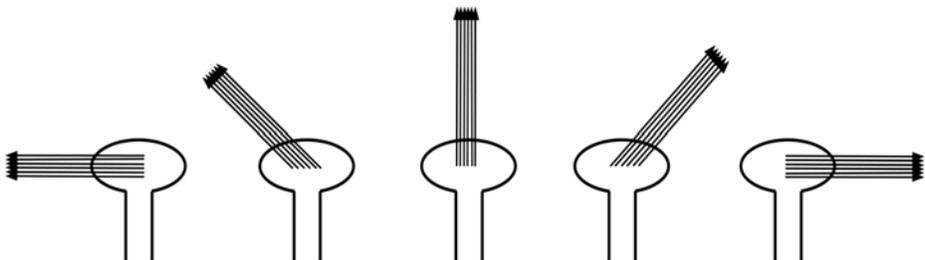
O fenômeno da indução pode ser utilizado de uma forma bem engenhosa para produzir corrente elétrica. Vamos considerar uma espira circular, cuja área é A , imersa em um campo magnético uniforme B , conforme a figura a seguir. Supomos, também, que o campo faça um ângulo θ com relação à superfície.



Neste caso, definimos matematicamente o fluxo magnético da seguinte forma:

$$\varphi = BA \sin \theta$$

Vemos que quanto maior forem o campo e a área da espira, maior será o fluxo magnético sobre sua superfície. Quando as linhas de campo estiverem alinhadas com a superfície, ou seja, $\theta = 0^\circ$, o fluxo é nulo, pois $\sin 0^\circ = 0$. Por outro lado, quando o campo for perpendicular à superfície, o fluxo através da superfície é máximo, pois $\sin 90^\circ = 1$. Se fizermos o campo girar em torno da espira, variamos o ângulo e, portanto, variamos o fluxo magnético na espira e, por conseguinte, induzimos uma corrente elétrica.



Numa situação prática, o que se faz é girar a espira dentro de um campo magnético. Para aumentar o desempenho do motor, acrescentamos várias espiras. Em um gerador com N espiras, podemos definir, finalmente, a Lei de Faraday do ponto de vista matemático:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Quanto maior o número de espiras, maior é a força eletromotriz ε gerada. A quantidade $\Delta\Phi/\Delta t$ representa a variação do fluxo magnético no tempo.

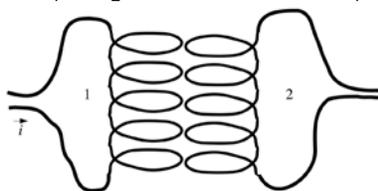
O mesmo aparato que forma um motor elétrico, que havíamos visto anteriormente, pode ser usado como gerador se invertermos seu funcionamento. Neste caso, o que se faz é forçar a espira a rodar dentro do campo magnético externo. Este movimento, por sua vez, produz uma corrente induzida na espira condutora. A energia que faz a espira girar pode ter várias origens: queima de combustível fóssil para acionar um motor à explosão; movimento de uma hélice, devido à passagem de vento ou de vapor proveniente do aquecimento de água por uma fonte nuclear; pela queda de uma quantidade muito grande de água através de uma turbina, como na usina de Itaipu. Estes tipos de geradores normalmente fornecem uma corrente alternada. Portanto, muitas vezes eles são chamados de *alternadores*. Automóveis e bicicletas costumam utilizar-se de pequenos alternadores para gerar corrente elétrica que alimenta os faróis.

Por questões de engenharia, um motor tem sua maior eficiência quando usado nesta função, enquanto um gerador tem sua maior eficiência quando usado para gerar corrente elétrica. Mas é possível inverter a situação e usar um motor como gerador e vice-versa. De forma similar, um alto-falante pode funcionar como um microfone. Basta que uma onda de alguma outra fonte sonora atinja o alto-falante de forma que seu cone vibre. Assim, a bobina em seu interior se deslocará dentro do campo magnético do ímã e sofrerá variação de fluxo magnético. Isto gera uma corrente elétrica no fio condutor que pode ser levada a um amplificador.

Para complementar a ideia de fluxo magnético, vamos fazer uma análise dimensional. A quantidade 1 weber é o fluxo necessário para que um segmento de fio de 1 metro, transportando uma corrente de 1 ampère, sofra uma força de 1 newton. Vejamos: $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T m}^2$ e como $1 \text{ T} = 1 \text{ N/A m}$, então $1 \text{ Wb} = 1 \text{ N m/A}$.

O transformador é outro exemplo de aplicação da indução eletromagnética. Ele é composto basicamente de duas bobinas justapostas. No enrolamento primário fazemos circular uma corrente alternada. A variação de intensidade da corrente causa uma variação do fluxo do campo magnético por ela criado. O enrolamento secundário sofre, então, uma variação de fluxo de campo magnético e acaba produzindo uma corrente induzida, também alternada. Existe uma fórmula simples que relaciona o número de voltas de cada enrolamento N_1 e N_2 , e suas tensões U_1 e U_2 :

$$\frac{U_1}{N_2} = \frac{U_2}{N_1}$$



Dependendo da razão entre o número de voltas de cada lado, temos uma diferente razão entre as tensões de entrada e de saída. Num transformador ideal, a potência no primário é igual à potência no secundário. Mas nos transformadores reais sempre há perdas, logo, a potência no secundário acaba sendo menor que no primário.

Instrumentos musicais de cordas de aço costumam utilizar o que chamamos de *captador* para “escutar” as vibrações das cordas. O captador é composto de um pequeno ímã que produz um campo magnético sobre uma bobina localizada à sua volta. As vibrações das cordas metálicas produzem variações de campo magnético que são sentidas pela bobina. Estas alterações geram, então, uma corrente induzida que é levada ao amplificador.

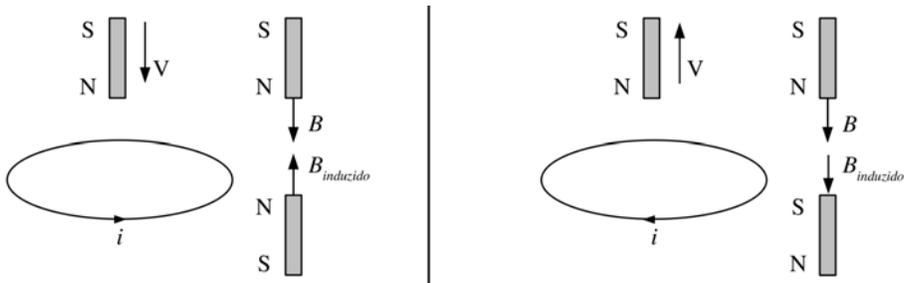
Outra utilidade do fenômeno da indução magnética é a gravação e reprodução de informações em mídias magnéticas. Tomemos como exemplo uma fita cassete. A fita é recoberta por um pó muito fino de grãos de óxido de ferro ou óxido de cromo, ambos compostos magnéticos. Esta fita é deslizada muito próxima de um cabeçote de gravação e/ou reprodução, que possui uma bobina em seu interior. No processo de gravação, o cabeçote produz um campo magnético a sua volta. Os grãos magnéticos da fita, ao passarem por este campo, acabam por se alinhar segundo a sua direção. Com isto, a informação fica gravada na fita. Para reproduzir a informação gravada, desliga-se a corrente que alimentava o cabeçote durante a gravação e move-se a fita junto ao cabeçote para leitura. Agora, a passagem dos grãos com seus pequenos

campos magnéticos perto da bobina induz uma corrente elétrica que será amplificada por um circuito subsequente. Cartões magnéticos de bancos também usam o mesmo processo.

LEI DE LENZ

Podemos chamar esta lei de “A lei do contra”. Já vimos que podemos criar corrente induzida. Para saber qual a direção desta corrente temos que usar a lei proposta pelo físico estoniano Heinrich Friedrich Lenz (1804-1865): **“A corrente induzida vai no sentido de criar um campo magnético que se oponha à variação do campo magnético externo”**.

Assim, se estivermos aumentando o fluxo de campo magnético, a corrente induzida é gerada de tal forma que seu campo tente evitar que o fluxo aumente. No caso de uma diminuição de fluxo, a corrente induzida será tal que tenda a aumentar o fluxo.



Exercícios:

13. (PUCRS) O fenômeno da indução eletromagnética é usado para gerar praticamente toda a energia elétrica que empregamos. Supondo-se um condutor em forma de espira retangular contido num plano, uma corrente elétrica é induzida através dele quando ele é submetido a um campo

- magnético variável e paralelo ao plano do condutor.
- magnético constante e perpendicular ao plano do condutor.
- magnético variável e não-paralelo ao plano do condutor.
- elétrico constante e paralelo ao plano do condutor.
- elétrico constante e perpendicular ao plano do condutor.

14. (PUCRS) O dispositivo do automóvel que transforma energia mecânica em energia elétrica denomina-se

- a) bateria.
- b) bobina.
- c) motor de partida.
- d) regulador de voltagem.
- e) alternador.

15. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão 15 com base nas afirmativas a seguir.

I. O campo magnético terrestre induz correntes elétricas na fuselagem de alumínio de um avião que esteja voando.

II. Um ímã colocado dentro de um solenoide induz uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades deste solenoide, quer esteja parado, quer em movimento em relação ao mesmo.

III. O fluxo magnético através de uma superfície é diretamente proporcional ao número de linhas de indução que a atravessam.

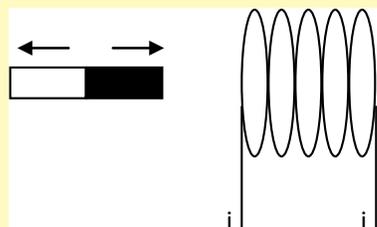
IV. Um dínamo e um transformador são equipamentos projetados para empregar a indução eletromagnética e por isso geram energia elétrica.

Analisando as afirmativas, conclui-se que somente estão corretas:

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

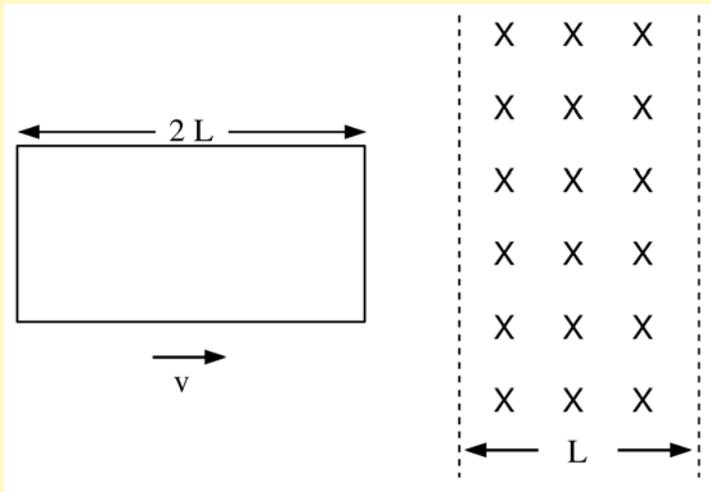
16. (ULBRA) A variação do fluxo magnético, ou fluxo de indução, através da área de uma espira induz nela uma fem (força eletromotriz), isto é, provoca o aparecimento de uma corrente elétrica. Este enunciado constitui a lei de indução magnética conhecida como:

- a) Lei de Lenz;
- b) Lei de Newton;

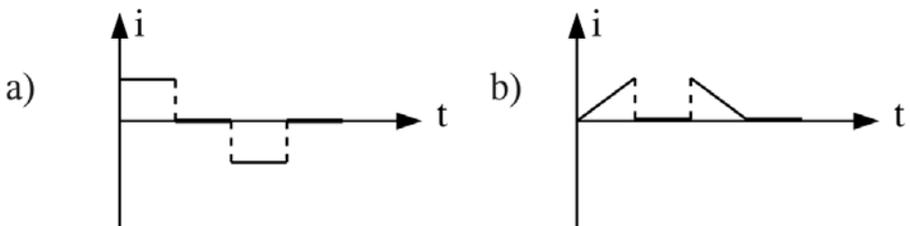


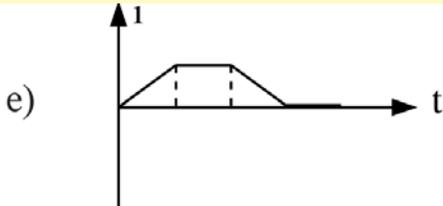
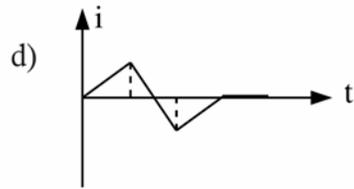
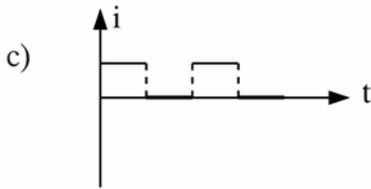
- c) Lei de Faraday;
- d) Lei de Coulomb;
- e) Lei de Maxwell.

17. (UFRGS) Uma espira condutora retangular, de comprimento $2L$, desloca-se para a direita, no plano da página, com velocidade v constante. Em seu movimento, a espira atravessa completamente uma região do espaço, de largura L , onde está confinado um campo magnético constante, uniforme e perpendicular ao plano da página, conforme indica a figura abaixo.

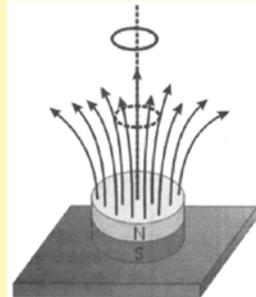


Sendo $t = 0$ o instante em que a espira começa a ingressar na região onde existe o campo magnético, assinale a alternativa que melhor representa o gráfico da corrente elétrica induzida i na espira, durante sua passagem pelo campo magnético, em função do tempo t .





18. (UFRGS) Um ímã, em formato de pastilha, está apoiado sobre a superfície horizontal de uma mesa. Uma espira circular, feita de determinado material sólido, é mantida em repouso, horizontalmente, a uma certa altura acima de um dos polos do ímã, como indica a figura abaixo, onde estão representadas as linhas do campo magnético do ímã. Ao ser solta, a espira cai devido à ação da gravidade, em movimento de translação, indo ocupar, num instante posterior, a posição representada pelo círculo tracejado.



Examine as afirmações abaixo, relativas à força magnética F exercida pelo ímã sobre a espira durante sua queda.

- I - Se a espira for de cobre, a força F será orientada de baixo para cima.
 - II - Se a espira for de alumínio, a força F será orientada de cima para baixo.
 - III - Se a espira for de plástico, a força F será orientada de cima para baixo.
- Quais estão corretas?

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

19. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas no texto abaixo.

Materiais com propriedades magnéticas especiais têm papel muito importante na tecnologia moderna. Entre inúmeras aplicações, podemos mencionar a gravação e a leitura magnéticas, usadas em fitas magnéticas e discos de computadores. A ideia básica na qual se fundamenta a leitura magnética é a seguinte: variações nas intensidades de campos, produzidos pela fita ou pelo disco em movimento, induzem em uma bobina existente no cabeçote de leitura, dando origem a sinais que são depois amplificados.

- a) magnéticos - magnetização
- b) magnéticos - correntes elétricas
- c) elétricos - correntes elétricas
- d) elétricos - magnetização
- e) elétricos - cargas elétricas

20. (UFRGS) Considere o enunciado abaixo e as quatro propostas para completá-lo.

Do ponto de vista de um observador em repouso com relação a um sistema de referência S, um campo magnético pode ser gerado

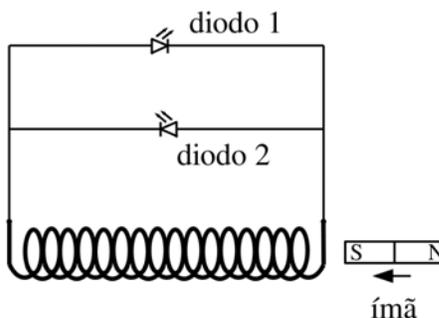
1. pela força de interação entre duas cargas elétricas em repouso com relação a S.
2. pelo alinhamento de dipolos magnéticos moleculares.
3. por uma corrente elétrica percorrendo um fio condutor.
4. por um campo elétrico cujo módulo varia em função do tempo.

Quais propostas estão corretas?

- a) Apenas 1 e 3.
- b) Apenas 1 e 4.
- c) Apenas 2 e 3.
- d) Apenas 1, 2 e 4.
- e) Apenas 2, 3 e 4.

21. (UFRGS) A figura abaixo representa dois diodos emissores de luz, ligados em paralelo a um solenoide.

Os diodos foram ligados em oposição um ao outro, de modo que, quando a corrente elétrica passa por um deles, não passa pelo outro. Um ímã em forma de barra é movimentado rapidamente para dentro ou para fora do solenoide, sempre pelo lado direito do mesmo, como também está indicado na figura.



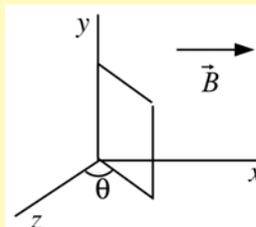
Ao se introduzir o ímã no solenoide, com a orientação indicada na figura (S-N), observa-se que o diodo 1 se acende, indicando a indução de uma força eletromotriz, enquanto o diodo 2 se mantém apagado. A respeito dessa situação, considere as seguintes afirmações.

- I - Ao se retirar o ímã do solenoide, com a orientação indicada (S-N), o diodo 2 se acenderá e o diodo 1 se manterá apagado.
 - II - Ao se introduzir o ímã no solenoide, com a orientação invertida (N-S), o diodo 1 se acenderá e o diodo 2 se manterá apagado.
 - III - Ao se retirar o ímã do solenoide, com a orientação invertida (N-S), o diodo 2 se acenderá e o diodo 1 se manterá apagado.
- Quais estão corretas?

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

(UFRGS) **Instrução:** O enunciado e a figura abaixo referem-se às questões de números 22 e 23.

A figura representa uma espira condutora retangular num campo magnético uniforme \vec{B} que tem a direção do eixo x . A espira pode girar em torno do eixo y . Designamos por θ o ângulo de giro formado pelo plano da espira com o eixo z .



22 . Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo.

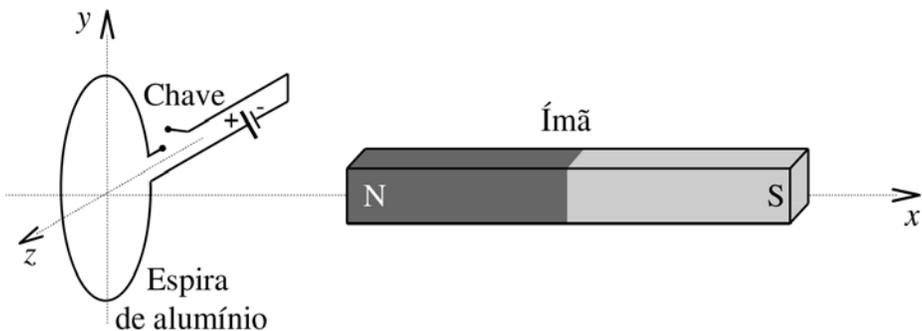
O fluxo magnético através da espira é máximo quando θ é igual a e nulo quando θ é igual a

- a) zero – 45°
- b) zero – 90°
- c) zero – 180°
- d) 90° – zero
- e) 90° - 180°

23. A cada ciclo completo descrito pela espira em torno do eixo y , a partir da posição em que ela se encontra na figura, o sentido da corrente elétrica induzida na espira se inverte:

- a) uma vez.
- b) duas vezes.
- c) três vezes.
- d) quatro vezes.
- e) cinco vezes.

24. (UFCSPA) A figura representa uma espira condutora de alumínio na qual pode existir uma corrente elétrica quando a chave do circuito é fechada. Um ímã, com o seu polo Norte mais próximo da espira do que o seu polo Sul, determina que haja um fluxo magnético na espira.



Quando a chave é fechada,

- a) o fluxo magnético na espira aumenta e ela é atraída pelo ímã.
- b) o fluxo magnético na espira aumenta e ela é repelida pelo ímã.
- c) o fluxo magnético na espira diminui e ela é atraída pelo ímã.
- d) o fluxo magnético na espira diminui e ela é repelida pelo ímã.
- e) o fluxo magnético na espira permanece constante e ela é repelida pelo ímã.

25. (UFRGS) Num transformador, a razão entre o número de espiras no primário (N_1) e o número de espiras no secundário (N_2) é $N_1/N_2 = 10$. Aplicando-se uma diferença de potencial alternada V_1 no primário, a diferença de potencial induzida no secundário é V_2 . Supondo tratar-se de um transformador ideal, qual é a relação entre V_2 e V_1 ?

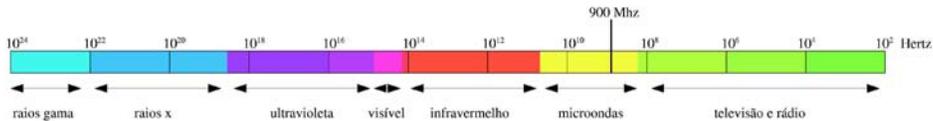
- a) $V_2 = V_1/100$
- b) $V_2 = V_1/10$
- c) $V_2 = V_1$
- d) $V_2 = 10V_1$
- e) $V_2 = 100V_1$

RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Vimos neste capítulo que uma corrente, que está associada a um campo elétrico, gera um campo magnético, e que um campo magnético variável produz campo elétrico. Podemos usar estes dois fenômenos em conjunto, de forma que *variação de campo elétrico gera campo magnético, e variação de campo magnético gera campo elétrico*. O resultado é um campo eletromagnético oscilante que constitui as ondas eletromagnéticas. Quando se aplica um campo elétrico oscilante a uma antena metálica, seus elétrons movimentam-se de acordo. O movimento das cargas, por sua vez, produz um campo magnético variável. Como vimos, a variação do campo magnético gera um campo elétrico oscilante. Assim, a variação de um campo produz o outro e o resultado é uma oscilação ou onda eletromagnética que se propaga no espaço. Os campos elétrico e magnético são perpendiculares entre si,

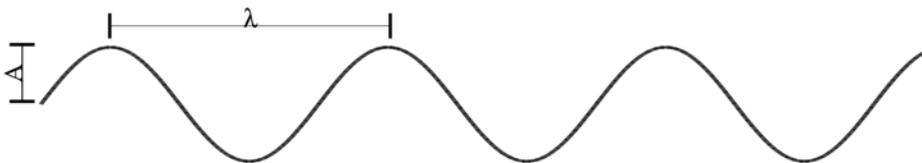
e a velocidade de propagação da onda aponta em uma direção perpendicular aos vetores \vec{E} e \vec{B} . Portanto, ondas eletromagnéticas são oscilações transversais. Toda onda eletromagnética, não importando a frequência, viaja com a mesma velocidade que a luz.

A radiação eletromagnética é classificada segundo a frequência de sua oscilação, conforme a figura abaixo. Baixas frequências são utilizadas pelas emissoras de rádio e TV. Do outro lado do espectro temos as radiações de altíssima frequência que são os raios γ e raios X.



Numa pequena faixa no centro do espectro de radiação eletromagnética temos a luz visível. Na região de frequência mais baixa da luz visível temos a luz vermelha e na região de frequência mais alta o azul.

Uma onda costuma ser descrita por uma série de características. A *amplitude* da onda indica o quão intensa ela é; o quanto de energia ela transporta. O *período* da onda eletromagnética é o tempo que leva para o campo em determinado ponto do espaço aumentar, diminuir e voltar ao valor inicial. A *frequência* f da onda é o número de oscilações que ela executa na unidade de tempo. O *comprimento de onda* é definido como a distância entre dois valores máximos consecutivos.



Existe uma relação simples entre o comprimento de onda e a frequência:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

onde, $c = 3 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo. Vemos, desta definição, que quanto maior a frequência da radiação, menor seu comprimento de onda. Vamos fazer umas comparações. As emissões de rádio

AM (Amplitude Modulada) possuem frequência em torno de 1000 kHz. Portanto seu comprimento de onda é:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{1000 \times 10^3} = 300m$$

Já as rádios FM (Frequência Modulada) transmitem em torno de 100 MHz. Daí,

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{100 \times 10^6} = 3m$$

Do mesmo modo, a radiação emitida por um aparelho de telefonia com frequência de 900 MHz tem um comprimento de onda de 0,33 m.

Exercícios:

26. (PUCRS) Sobre a natureza e comportamentos de ondas são feitas quatro afirmativas:

- I. Ondas eletromagnéticas propagam-se também no vácuo.
- II. Ondas sonoras não podem ser polarizadas.
- III. Ondas de mesma frequência têm sempre a mesma amplitude.
- IV. O raio X é uma onda eletromagnética.

Considerando as afirmativas acima, é correto concluir que:

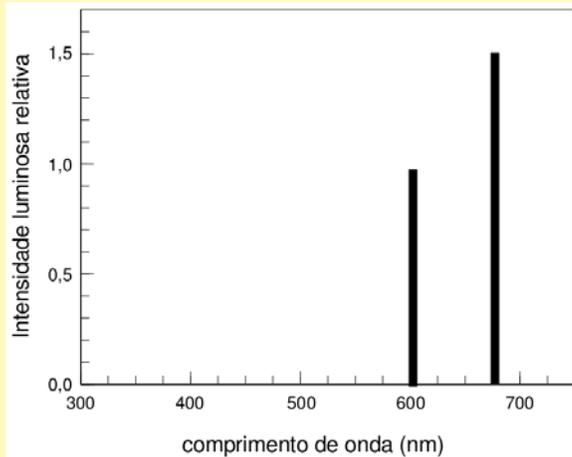
- a) somente I é correta.
- b) somente II é correta.
- c) somente I, II e III são corretas.
- d) somente I, II e IV são corretas.
- e) todas são corretas.

27. (UFCSPA) Os raios X e os raios gama são exemplos de radiações eletromagnéticas que, no vácuo, têm necessariamente em comum:

- a) a amplitude.
- b) a velocidade.
- c) a frequência.
- d) a intensidade.
- e) o comprimento de onda.

28. (UFRGS) O gráfico abaixo representa as intensidades luminosas relativas de duas linhas do espectro visível emitido por um hipotético elemento químico.

Nesse gráfico, a coluna menor corresponde a um comprimento de onda próprio da luz laranja. A outra coluna do gráfico corresponde a um comprimento de onda próprio da luz



- a) violeta.
- b) vermelha.
- c) verde.
- d) azul.
- e) amarela.

29. (UFRGS) Considere as seguintes afirmações sobre emissão de ondas eletromagnéticas.

I - Ela ocorre na transmissão de sinais pelas antenas das estações de rádio, de televisão e de telefonia.

II - Ela ocorre em corpos cuja temperatura é muito alta, como o sol, o ferro em estado líquido e os filamentos de lâmpadas incandescentes.

III - Ele ocorre nos corpos que se encontram à temperatura ambiente.

Quais estão corretas:

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e II.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

30. (UFRGS) São exemplos de ondas os raios X, os raios gama, as ondas de rádio, as ondas sonoras e as ondas de luz. Cada um desses cinco tipos de onda difere, de algum modo, dos demais. Qual das alternativas apresenta uma afirmação que diferencia corretamente o tipo de onda referido das demais ondas acima citadas?

- a) Raios X são as únicas ondas que não são visíveis.
- b) Raios gama são as únicas ondas transversais.
- c) Ondas de rádio são as únicas ondas que transportam energia.
- d) Ondas sonoras são as únicas ondas longitudinais.
- e) Ondas de luz são as únicas ondas que se propagam no vácuo com velocidade de 300.000 km/s.

31. (UFCSPA) Sobre os raios infravermelhos, considere as assertivas abaixo.

I - Eles têm natureza eletromagnética idêntica à dos raios X e dos raios ultravioletas.

II - Eles podem se propagar no vácuo.

III - Eles têm frequência muito maior do que a dos raios gama e muito menor do que a das ondas de rádio.

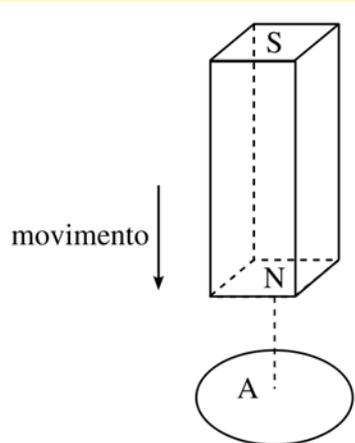
Quais são corretas?

- a) Apenas I
- b) Apenas II
- c) Apenas III
- d) Apenas I e II
- e) I, II e III

32. (PUCRS) Chama-se de espectro eletromagnético o conjunto de todas as ondas eletromagnéticas conhecidas, distribuídas em termos de seus comprimentos de onda, frequências ou energias. Todas essas ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com uma velocidade cuja ordem de grandeza é 10^8 m/s. No que se refere ao sentido da visão, a retina do olho humano é sensível à radiação eletromagnética em apenas uma pequena faixa de comprimentos de onda em torno de $1 \mu\text{m}$ (10^{-6} m), razão pela qual essa faixa de radiação é chamada de luz visível. A ordem de grandeza da frequência, em hertz, da luz visível é de

- a) 10^{-14}
- b) 10^{-6}
- c) 10^2
- d) 10^8
- e) 10^{14}

33. (UFPEL) Considere uma espira circular fixa e um ímã em forma de barra, cujo eixo longitudinal é perpendicular ao plano da espira e passa pelo seu centro, conforme indica a figura abaixo. Ao se aproximar o ímã da espira, observa-se a formação de um polo na parte superior da espira (A), uma entre o ímã e a espira e uma corrente elétrica induzida no sentido, determinada pela lei de

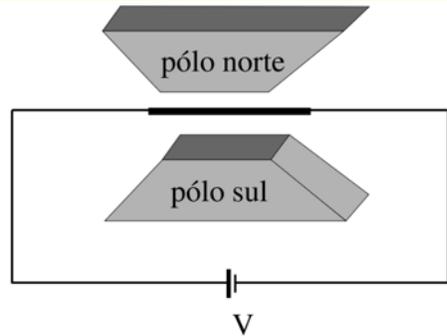


A alternativa que preenche respectiva e corretamente as lacunas da afirmação é:

- a) sul, atração, anti-horário, Lenz.
- b) norte, repulsão, horário, Faraday.
- c) sul, atração, horário, Faraday.
- d) norte, repulsão, anti-horário, Lenz.
- e) sul, atração, anti-horário, Faraday.
- f) I.R.

34. (PUCRS) Um fio metálico retilíneo é colocado entre os polos de um ímã e ligado, simultaneamente, a uma fonte de tensão V , como indica a figura a seguir. Nessas circunstâncias, é correto afirmar que a força magnética que atua sobre o fio:

- a) é nula, pois a corrente no fio gera um campo magnético que anula o efeito do ímã sobre ele.
- b) é nula, pois o campo elétrico no fio é perpendicular às linhas de indução do ímã.
- c) tem direção paralela às linhas de indução magnética, e o mesmo sentido dessas linhas.
- d) tem direção perpendicular à superfície desta página, e sentido voltado para dentro dela.
- e) tem a direção e o sentido da corrente no fio.



35. (UFCSPA) Em relação à interação eletromagnética, considere as seguintes afirmações.

- I – Um corpo carregado eletricamente, que se encontra num campo magnético, sempre é submetido a uma força devido a esse campo.
- II – Um corpo carregado eletricamente, que se encontra num campo elétrico, sempre é submetido a uma força devido a esse campo.
- III – Um nêutron em movimento no interior de um campo magnético pode estar sujeito a uma força magnética.

Quais estão corretas?

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

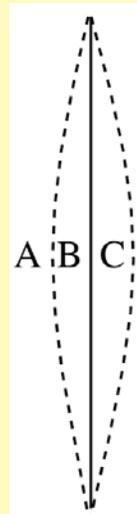
36. (UFCSPA) Um transformador é usado para reduzir uma tensão alternada de 60 V para 12 V. Supondo que o transformador é ideal com 400 espiras no primário, e que a intensidade da corrente no secundário é 0,5 A, o número de espiras do secundário e a intensidade de corrente no primário, são, respectivamente:

- a) 40 espiras e 0,10 A.
- b) 80 espiras e 0,10 A.
- c) 40 espiras e 2,5 A.
- d) 80 espiras e 0,25 A.
- e) 200 espiras e 0,25 A.

37. (UFRGS) Na figura abaixo, 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.

Para que o fio assumira 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.



38. (UFCSPA) O princípio fundamental envolvido na transformação de energia mecânica em energia elétrica (usinas hidroelétricas, alternadores, etc) é:

- a) Efeito Joule.
- b) Lei de Ohm.
- c) Efeito fotoelétrico.
- d) Indução eletrostática.
- e) Força eletromotriz induzida.

39. (UFCSPA) As ondas podem ser classificadas em mecânicas e em eletromagnéticas. A onda que NÃO se propaga no vácuo é:

- a) a onda de rádio.
- b) a radiação gama.
- c) o ultrassom.
- d) a onda luminosa.
- e) o infravermelho.

40. (PUCRS) Ondas eletromagnéticas são caracterizadas por suas frequências e seus comprimentos de onda. A alternativa que apresenta as ondas em ordem crescente de comprimento de onda é:

- a) raios gama – luz visível – microondas.
- b) infravermelho – luz visível – ultravioleta.
- c) luz visível – infravermelho – ultravioleta.
- d) ondas de rádio – luz visível – raios X.
- e) luz visível – ultravioleta – raios gama.

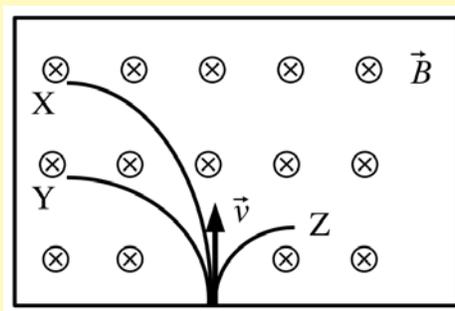
41. (PUCRS) Sabe-se que uma forma de propagação de energia em diferentes meios ocorre através de ondas. A partir dessa afirmação, é correto dizer que:

- a) a onda eletromagnética emitida por um telefone celular viaja à velocidade da luz.
- b) o alto-falante de uma caixa de som emite uma onda eletromagnética transversal que é detectada pelo ouvido humano e interpretada como música pelo cérebro.
- c) as ondas do mar propagam-se com a mesma velocidade com que as ondas sonoras se propagam no ar.
- d) ondas sonoras nunca sofrem o fenômeno da difração, pois isso é uma característica apenas da luz visível.
- e) no vácuo, as ondas sonoras se propagam com uma velocidade maior do que se propagam na água.

42. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão 42 com base nas informações e na figura.

Há poucos meses, a mídia internacional comentou um experimento utilizando um superacelerador de partículas, o LHC (em português, Grande Colisor de Hádrons), que pretende promover uma colisão entre prótons para testar um modelo que interpreta as partículas elementares e suas interações. Basicamente, um acelerador de partículas utiliza campos elétricos e magnéticos para acelerar e provocar as colisões entre partículas. Entre outras teorias, o eletromagnetismo contribui para a descrição dos efeitos desses campos sobre partículas, de acordo com suas propriedades.

A figura representa partes das trajetórias assumidas por três tipos de partículas X, Y e Z, lançadas verticalmente com a mesma velocidade \vec{v} em uma região onde existe um campo magnético \vec{B} constante. A direção desse campo é perpendicular ao plano da página, no sentido para dentro, como informa a representação \otimes .



Nesse caso, é correto concluir que:

- a partícula Z não sofre o efeito do campo magnético.
- todas as partículas têm o mesmo sinal de carga elétrica.
- se todas as partículas tiverem a mesma massa, as partículas X têm mais carga.
- a força magnética sobre as partículas é anulada pelo desvio destas.
- se as cargas das partículas Y e Z têm a mesma intensidade, a massa de Y será maior do que a de Z.

FÍSICA MODERNA

CAPÍTULO 12

Chamamos de física moderna o conjunto de descobertas revolucionárias que aconteceram nos primeiros anos do século XX. Estas novas ideias vieram a complementar a física vigente na época, que era baseada nas Leis de Newton, do século XVII, e no eletromagnetismo do século XIX, que estudamos até agora. As leis da mecânica newtoniana continuam valendo para o mundo macroscópico onde vivemos. Mas quando queremos entender o mundo microscópico dos átomos e das moléculas, temos que usar os fundamentos da mecânica quântica.

FÍSICA QUÂNTICA

No final do século XIX, o conhecimento relacionado ao eletromagnetismo era considerado como uma teoria completa, sem mais nada a acrescentar. Em outras palavras, todos os fenômenos relacionados com o eletromagnetismo deveriam ser explicados pela teoria vigente na época. Sabia-se, por exemplo, que a luz era uma radiação eletromagnética e que poderia ter qualquer valor de frequência, ou seja, qualquer tonalidade. Mesmo se olharmos o espectro do arco-íris, em que temos 7 faixas principais, entre cada uma das faixas existe um número infinito de tonalidades intermediárias. Em termos físicos, dizemos que o espectro da luz solar é contínuo. Podemos ver em qualquer tonalidade. Para ver um espectro contínuo de cores, aproxime um CD de áudio ou de dados de uma lâmpada incandescente. Conforme a inclinação do disco, será possível ver uma gama de cores desde o vermelho até o violeta, de forma contínua. No entanto, se fizermos essa mesma experiência com uma lâmpada fluorescente branca veremos outro espectro. Para intensificar o efeito, é interessante deixar passar a luz proveniente da lâmpada por uma pequena fresta formada por dois livros ou pedaços de papelão afastados 0,5 cm um do outro.

O que vemos no caso da lâmpada fluorescente são três faixas muito intensas com as cores violeta, verde e laranja. Vamos ver um exemplo mais drástico. É comum vermos um anúncio de pizzaria brilhando num vermelho intenso no meio da noite. Porque todas as pizzarias usam a mesma cor vermelha? A explicação está relacionada com o gás neônio no interior da lâmpada submetido a uma ddp.

Os físicos do final do século XIX já conheciam este efeito. Quando um gás é submetido a uma diferença de potencial, ele emite luz num *espectro discreto*. Em física, o termo discreto tem um sentido diferente daquele que normalmente usamos na linguagem coloquial. Vamos entender esta definição através de exemplos.

Quando subimos uma rampa, podemos dar passos do tamanho que queiramos. Desde passos bem largos, até passos extremamente curtos. Não existe limitação para o menor passo que possamos dar. Dizemos, então, que a rampa é contínua. Já numa escadaria, a situação é diferente. Existe uma limitação do menor passo possível. Podemos dar passos de 1, 2, 3... degraus, mas não podemos dar um passo menor que a altura de um único degrau. Dizemos, então, que a escada é discreta. Vejamos outros exemplos. Podemos deslizar a mão continuamente por uma corda, enquanto que, ao passarmos a mão por uma corrente, observamos elos distintos. A corda se apresenta contínua e a corrente discreta. Uma bola que rola, toca continuamente o solo, enquanto que uma pessoa ao caminhar dá passos discretos.

A lâmpada fluorescente que mencionamos acima possui no seu bulbo o gás mercúrio a baixa pressão. Evite quebrar uma lâmpada dessas, pois o gás Hg é extremamente tóxico e prejudicial ao meio ambiente! Este gás, quando submetido a uma ddp, emite um espectro discreto de luz, ou seja, certo número de cores bem definidas. Os anúncios luminosos possuem o gás nobre neônio, que é completamente inofensivo, mas somente emite luz na cor vermelha.

Não só os gases podem emitir luz. Sabe-se que algumas substâncias sólidas apresentam a propriedade chamada de fosforescência. Os ponteiros dos relógios analógicos são exemplo de aplicação deste fenômeno. Enquanto os ponteiros são iluminados, a tinta fosforescente está a absorver fótons da luz incidente. Quando a luz incidente é removida, a substância brilha no escuro por várias horas.

Para explicar este fenômeno, precisamos lançar mão das ideias que foram propostas no início do século XX por Planck e Einstein, aliadas ao modelo de Bohr para o átomo.

Naquela época, o alemão Max Karl Planck (1858-1947) estudava o que chamamos de *corpo negro*. Definimos em física, um corpo negro como aquele que é capaz de absorver toda luz que incide sobre ele. Um punhado de pó de carvão é um bom exemplo.

Assim como um corpo negro é um excelente absorvedor de radiação, ele também emite radiação com extrema facilidade. Basta colocar fogo no carvão, que podemos observar com nossos olhos a luz emitida. Um bom observador verá que, quanto mais quente estiver o carvão em brasa, mais a sua cor tende ao branco. Se um espeto ou atizador de fogo for colocado por certo tempo junto ao carvão em brasa adquirirá a mesma temperatura do carvão e, além disso, brilhará na mesma cor do carvão. Por outro lado, após o apagar do fogo, ao remexer as cinzas podemos encontrar alguns pedaços de carvão na cor vermelha. Entre esses dois extremos de temperatura, o carvão adquire colorações que vão do vermelho ao amarelo. Em outras palavras, *a cor da luz emitida por um corpo depende de sua temperatura*. Na verdade, todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação. Entretanto, à temperatura ambiente, esta radiação situa-se na faixa do infravermelho, que os olhos humanos não são capazes de enxergar. Mas alguns animais sim! Óculos de visão noturna podem fazer a conversão do infravermelho para o espectro visível ao qual o olho humano é sensível.

Planck buscava interpretar a relação entre a cor e a temperatura de um corpo, associando um espectro contínuo de energia à radiação eletromagnética emitida. Após várias e várias tentativas infrutíferas, resolveu tentar, como última solução, um espectro discreto de energia. Foi a sua sorte, pois a teoria explicou perfeitamente as observações. No entanto, Planck era uma pessoa extremamente introvertida e relutou até o último momento em publicar ideia tão revolucionária. Finalmente, em 1900, após chegar à conclusão que a discretização era o único artefato matemático que poderia explicar os fenômenos que estudava, fez a seguinte proposição:

A energia somente pode ser trocada entre diferentes corpos através de um múltiplo inteiro de uma quantidade de energia ao qual chamamos de *quantum*.

Muitos anos antes, em 1887, Heinrich Hertz fez um experimento que mudaria a história da ciência, mas que ele próprio não conseguira explicar. Colocou uma placa metálica no interior de um tubo de vidro evacuado e, ligando-a a terra, observou que, ao ser iluminada com luz ultravioleta, a placa emitia faíscas. No ano seguinte, Wilhelm Hallwachs, observou que a placa ficava carregada positivamente após emitir faíscas. Em outras palavras, o metal emite elétrons sob a incidência de determinado tipo de luz.

Coube ao físico alemão Albert Einstein (1879-1955) explicar o que acontecia neste efeito, o que lhe rendeu mais tarde o prêmio Nobel. Na verdade, a explicação de Einstein acabou por dar um apoio fundamental às novas ideias da mecânica quântica que surgiram no final do século XIX. Einstein propôs que:

A luz incidente é formada por pacotes de energia individuais, cada um possuindo uma energia dada por:

$$E = nhf \quad , \quad n = 1, 2, 3, 4 \dots$$

onde f é a frequência da luz e h é uma constante (de Planck) que vale $6,63 \times 10^{-34}$ J s. O valor desta constante é extremamente pequeno. Isso implica que a discretização entre os níveis de energia de um sistema quântico é normalmente observada em situações em que as energias envolvidas são muito pequenas, como no caso de partículas atômicas ou moleculares.

Cada um destes *quanta* de luz é chamado de *fóton*. Obs: o plural de *quantum* em latim é *quanta*.

Os elétrons emitidos na faísca são chamados de **fotoelétrons**. Vamos analisar em mais detalhes a explicação de Einstein para o fenômeno.

Vemos, da fórmula acima, que quanto maior a frequência da luz, maior a energia de seus fótons. Quando um fóton atinge a superfície metálica, um elétron pode absorver a energia do fóton. Nesta absorção toda energia do fóton é entregue ao elétron de uma só vez, como se fosse um pequeno pacote. Se essa energia for suficientemente alta, o elétron pode ser ejetado da superfície. O mínimo de energia que o elétron precisa adquirir para ser arrancado do metal chama-se de **função trabalho** w , que depende do tipo de metal que é feita a superfície. Por exemplo, no caso do cobre, a função trabalho vale $w_{\text{Cu}} = 7,5 \times 10^{-19}$ J. Se o elétron absorver

uma energia maior do que w , ele é liberado e passa a movimentar-se fora do metal. Sua velocidade vai depender da quantidade de energia que ele teve que usar para vencer a função trabalho. Então, podemos fazer um balanço de energia para determinar a energia cinética que o fotoelétron apresenta no vácuo. Se chamarmos esta energia de K_{max} , temos:

$$K_{max} = hf - w$$

As consequências desta equação podem ser reunidas em quatro características:

1. A energia cinética dos elétrons não depende da intensidade da luz e sim de sua frequência. Duas fontes luminosas com intensidades diferentes, mas que emitam a mesma cor, produzem elétrons com a mesma energia cinética.
2. A emissão de elétrons ocorre instantaneamente após iniciar-se a iluminação. A transferência de energia do fóton incidente para o elétron é instantânea. A absorção não se dá aos poucos.
3. Para que o elétron seja emitido é necessário que $hf > w$, ou seja, é necessário que a luz incidente tenha uma frequência maior que certo limiar. É por isso que infravermelho não causa efeito fotoelétrico, enquanto que luz ultravioleta causa.
4. Quanto maior for a frequência da luz incidente, mais energia terão os fotoelétrons.

Quando o elétron é arrancado da superfície metálica, ele deixa para trás um íon positivo. Radiações com frequência igual ou superior à do ultravioleta são chamadas de ionizantes, pois podem causar a ionização de átomos e moléculas. Para células vivas, essas radiações podem ser extremamente perigosas, pois ao ionizar um átomo da célula certas reações químicas podem ser potencializadas, o que pode comprometer seu correto funcionamento. Tanto é que a luz ultravioleta é utilizada para esterilização em laboratórios de biologia e na indústria de alimentos. A luz ultravioleta proveniente do sol costumava ser filtrada pela camada de ozônio em nossa atmosfera. Entretanto, devido à poluição causada pelo ser humano, a camada de ozônio vem sendo constantemente degradada, em especial nas regiões de latitudes distantes da linha do equador, como é o caso do estado do Rio Grande do Sul. As consequências ao

meio ambiente podem ser terríveis, pois causa a morte de seres microscópicos. Nas pessoas que gostam de tomar sol em excesso já se observa um aumento de problemas de pele que vão desde um simples envelhecimento precoce, até casos graves de câncer de pele.

Vamos, agora, finalmente, passar para o modelo que Niels Bohr propôs para o átomo em 1913, para explicar a emissão de luz pelas substâncias. Seu modelo se baseia em apenas duas afirmações:

1 - *Os elétrons comportam-se como ondas estacionárias, localizando-se em órbitas bem definidas em torno do núcleo.*

Este modelo muitas vezes é chamado de modelo planetário, pois, assim como os planetas giram em torno do Sol, os elétrons giram em torno do núcleo atômico. Entretanto, no modelo de Bohr, os elétrons não podem estar a qualquer distância no núcleo atômico. O raio de suas órbitas deve ser tal que sua energia seja um múltiplo inteiro da constante h :

$$E = n h f \qquad n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

2 - *É permitido que um elétron salte para outro orbital, desde que haja a absorção ou emissão de um fóton.*

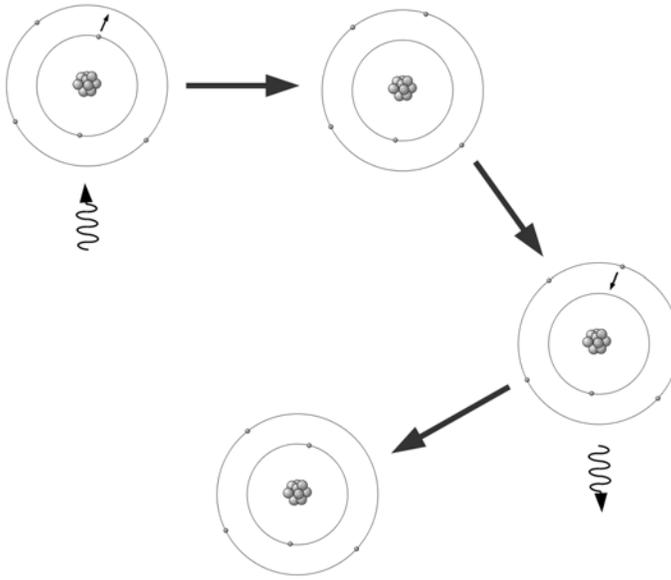
Ou seja, o elétron sofre um acréscimo ou perda de energia que é um múltiplo de h dado pela diferença entre os níveis 1 e 2:

$$E_1 - E_2 = h f$$

Como as órbitas são quantizadas, é necessário absorver um pacote exato de energia para que um elétron salte de um orbital interno para um externo.

Agora podemos entender o fenômeno da emissão de luz que acontece em substâncias fosforescentes. Inicialmente, um fóton externo incide sobre o átomo. Um elétron daquele átomo absorve a quantidade de energia do fóton e salta para um nível de energia mais alto. Dizemos, então, que o elétron encontra-se no estado metaestável: a qualquer momento ele pode decair para o nível de energia mais baixo, o *nível fundamental*. Após certo tempo, o elétron retorna ao nível mais baixo de energia e emite um quantum de energia na forma de um fóton. Devido

ao princípio de conservação da quantidade de movimento, se o fóton é emitido numa certa direção, o átomo sofre um recuo na direção oposta.



Associado às explicações que vimos acima, chegamos a um dos maiores paradoxos da física moderna: a *dualidade onda-partícula*. Dependendo do fenômeno que estivermos estudando, a luz pode se apresentar como onda e obedecer às leis da ótica, ou pode apresentar um comportamento corpuscular como no caso da emissão de luz pelas substâncias.

Mas a coisa não para por aí. Que tal se as partículas materiais também apresentassem essa dualidade?

Como se não bastasse esta novidade surpreendente, que é a dualidade da luz, o duque Louis Victor de Broglie postulou, em 1924, que, da mesma forma que a luz se comporta ora como partícula, ora como onda, as partículas em geral também podem se comportar como onda. Na sua concepção, uma partícula de massa m , que possui um *momentum* dado por $p = m v$ comporta-se de forma ondulatória, apresentando um comprimento de onda dado por:

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

É graças a isto que existe o microscópio eletrônico, que nos permite enxergar objetos tão pequenos quanto uma fileira de átomos. No microscópio comum, um feixe de luz é emitido através do corpo que se quer observar. Esta luz é focalizada através de um sistema ótico de lentes que, ao seguir as leis da ótica, propicia um aumento da imagem. No microscópio eletrônico, um feixe de elétrons atravessa a amostra que queremos enxergar. O feixe de elétrons, após atravessar a amostra, é tratado por um sistema de lentes magnéticas, seguindo as leis da ótica, e é ampliado milhares de vezes.

Exemplos:

1. (UFRGS) Um átomo de hidrogênio tem sua energia quantizada em níveis de energia (E_n), cujo valor genérico é dado pela expressão $E_n = -E_0/n^2$, sendo n igual a 1, 2, 3, ... e E_0 igual à energia do estado fundamental (que corresponde a $n = 1$).

Supondo-se que o átomo passe do estado fundamental para o terceiro nível excitado ($n = 4$), a energia do fóton necessário para provocar essa transição é:

a) $\frac{1}{16} E_0$.

b) $\frac{1}{4} E_0$.

c) $\frac{1}{2} E_0$.

d) $\frac{15}{16} E_0$.

e) $\frac{17}{16} E_0$.

2. (UFRGS) Em 1887, quando pesquisava sobre a geração e a detecção de ondas eletromagnéticas, o físico Heinrich Hertz (1857-1894) descobriu o que hoje conhecemos por efeito fotoelétrico. Após a morte de Hertz, seu principal auxiliar, Philip Lenard (1862-1947), prosseguiu a pesquisa sistemática sobre o efeito descoberto por Hertz. Entre as várias constatações experimentais daí decorrentes, Lenard observou que a energia cinética máxima, K_{\max} , dos elétrons emitidos pelo metal era dada por uma expressão matemática bastante simples:

$$K_{\max} = B f - C,$$

onde B e C são duas constantes cujos valores podem ser determinados experimentalmente. A respeito da referida expressão matemática, considere as seguintes afirmações.

- I. A letra f representa a frequência das oscilações de uma força eletromotriz alternada que deve ser aplicada ao metal.
- II. A letra B representa a conhecida Constante de Planck, cuja unidade no Sistema Internacional é J.s.
- III. A letra C representa uma constante, cuja unidade no Sistema Internacional é J, que corresponde à energia mínima que a luz incidente deve fornecer a um elétron do metal para removê-lo do mesmo.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

3. (UFRGS) O espectro de radiação emitido por um corpo negro ideal depende basicamente de

- a) seu volume.
- b) sua condutividade térmica.
- c) sua massa.
- d) seu calor específico.
- e) sua temperatura.

Exercícios:

1. (UFCSPA) Assinale a alternativa que preenche correta e respectivamente as lacunas do texto abaixo.

Em 2005, Ano Mundial da Física, comemorou-se um século do *annus mirabilis* de Albert Einstein: há cem anos Einstein publicou três trabalhos que vieram a revolucionar a física. Em um deles lançou as bases do que depois veio a se chamar a Teoria da Relatividade Restrita. Em outro trabalho, pelo qual lhe foi outorgado, em 1921, o Prêmio Nobel, desenvolveu uma explicação para o efeito fotoelétrico, isto é, para o fato de que, quando uma superfície metálica absorve luz, com _____ acima de um valor mínimo, ocorre a emissão de _____, sendo o número destas partículas emitidas dependente da _____ da luz absorvida pelo metal.

- a) frequência – fótons – intensidade
- b) frequência – elétrons – intensidade
- c) intensidade– fótons – frequência
- d) intensidade– elétrons – frequência
- e) intensidade– fótons – intensidade

2. (PUCRS) A escolha do ano de 2005 como o Ano Mundial da Física teve como um de seus objetivos a comemoração do centenário da publicação dos primeiros trabalhos de Albert Einstein. No entanto, é importante salientar que muitos outros cientistas contribuíram para o excepcional desenvolvimento da física no século passado. Entre eles cabe destacar Max Planck, o qual, em 1900, propôs a teoria da quantização da energia. Segundo esta teoria, um corpo negro irradia energia de forma _____, em porções que são chamadas de _____, cuja energia é proporcional à _____ da radiação eletromagnética envolvida nessa troca de energia.

A sequência de termos que preenche corretamente as lacunas do texto é:

- a) descontínua – prótons – frequência
- b) contínua – prótons – amplitude

- c) descontínua – fótons – frequência
- d) contínua – fótons – amplitude
- e) descontínua – elétrons – frequência

3. (La Salle) O efeito fotoelétrico usado em sensores elétricos de luz, como as células fotoelétricas, rendeu a Albert Einstein o Nobel de Física de 1921. O efeito fotoelétrico

- a) é a capacidade de o material irradiar energia no espectro visível.
- b) refere-se à capacidade da luz de fixar elétrons em uma superfície de metal.
- c) refere-se ao curvamento da luz quando próxima de corpos de massa muito grande.
- d) refere-se às radiações que, atingindo uma superfície metálica, cedem energia aos elétrons do metal, “arrancando-os” do mesmo.
- e) refere-se ao funcionamento de uma central termelétrica.

4. (PUCRS) A quantização da energia eletromagnética é evidenciada no efeito

- a) Doppler.
- b) Oersted.
- c) paramagnético.
- d) fotoelétrico.
- e) Joule.

5. (PUCRS) 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 propague 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.

6. (IPA) Normalmente, quando se faz um desenho, costuma-se representar ambientes frios com cores de tons azulados. Para os ambientes quentes, buscam-se cores de tons avermelhados. No estudo da arte, diz-se, até, que as cores azuis são frias e as vermelhas são quentes. Porém quando se estudam as radiações, principalmente as luminosas, verifica-se o contrário: que o vermelho é a cor mais fria e o azul é a cor mais quente. Isto é, no espectro das cores (que a física costuma chamar de “radiações”), se se deslocar do azul para o vermelho, tem-se um decréscimo do valor da energia das radiações. O estudo das radiações garante que a energia liberada por uma radiação é diretamente proporcional ao valor de sua frequência. Isto pode ser escrito na forma

$$E = h f,$$

onde h é uma constante de proporcionalidade denominada de “constante de Planck”.

Comparando-se entre si as “cores” *laranja, amarelo e verde* do espectro luminoso, pode-se avaliar que a ordem de valores das respectivas frequências corresponde, respectivamente a:

- a) maior, médio e menor;
- b) médio, menor e maior;
- c) menor, maior e médio;
- d) médio, maior e menor;
- e) menor, médio e maior.

7. (PUCRS) O dualismo onda-partícula refere-se a características corpusculares presentes nas ondas luminosas e a características ondulatórias presentes no comportamento de partículas, tais como elétrons. A Natureza nos mostra que características corpusculares e ondulatórias não são antagônicas mas, sim, complementares. Dentre os fenômenos listados, o único que não está relacionado com o dualismo onda-partícula é:

- a) o efeito fotoelétrico.
- b) a ionização de átomos pela incidência de luz.
- c) a difração de elétrons.
- d) o rompimento de ligações entre átomos pela incidência de luz.
- e) a propagação, no vácuo, de ondas de rádio de frequência média.

8. (UFRGS) Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo:

O ano de 1900 pode ser considerado o marco inicial de uma revolução ocorrida na física do século XX. Naquele ano, Max Planck apresentou um artigo à Sociedade Alemã de Física, introduzindo a ideia da da energia, da qual Einstein se valeu para, em 1905, desenvolver sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.

- a) conservação
- b) quantização
- c) transformação
- d) conversão
- e) propagação

9. (UFRGS) No início do século XX, as teorias clássicas da física - como o eletromagnetismo de Maxwell e a mecânica de Newton - não conduziam a uma explicação satisfatória para a dinâmica do átomo. Nessa época, duas descobertas históricas tiveram lugar: o experimento de Rutherford demonstrou a existência do núcleo atômico, e a interpretação de Einstein para o efeito fotoelétrico revelou a natureza corpuscular da interação da luz com a matéria. Em 1913, incorporando o resultado dessas descobertas, Bohr propôs um modelo atômico que obteve grande sucesso, embora não respeitasse as leis da física clássica.

Considere as seguintes afirmações sobre a dinâmica do átomo.

I - No átomo, os raios das órbitas dos elétrons podem assumir um conjunto contínuo de valores, tal como os raios das órbitas dos planetas em torno do Sol.

II - O átomo pode existir, sem emitir radiação, em estados estacionários cujas energias só podem assumir um conjunto discreto de valores.

III - O átomo absorve ou emite radiação somente ao passar de um estado estacionário para outro.

Quais dessas afirmações foram adotadas por Bohr como postulados para o seu modelo atômico?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

10. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Uma lâmpada de iluminação pública contém vapor de mercúrio a baixa pressão. Quando ela está em funcionamento, dois eletrodos no interior da lâmpada submetem o gás a uma tensão, acelerando os íons e os elétrons. Em consequência das colisões provocadas por essas partículas, os átomos são levados a estados estacionários de energia mais alta (estados excitados). Quando esses átomos decaem para estados menos excitados, ocorre emissão de luz. A luz emitida pela lâmpada

apresenta, então, um espectro , que se origina nas de elétrons entre os diferentes níveis de energia.

- a) discreto - transições - atômicos
- b) discreto - transições - nucleares
- c) contínuo - colisões - atômicos
- d) contínuo - colisões - nucleares
- e) contínuo - transições - atômicos

11. (UFRGS) A intensidade luminosa é a quantidade de energia que a luz transporta por unidade de área transversal à sua direção de propagação e por unidade de tempo. De acordo com Einstein, a luz é constituída por partículas, denominadas fótons, cuja energia é proporcional à sua frequência.

Luz monocromática com frequência de 6×10^{14} Hz e intensidade de $0,2 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}$ incide perpendicularmente sobre uma superfície de área igual a 1 cm^2 . Qual o número aproximado de fótons que atinge a superfície em um intervalo de tempo de 1 segundo?

(Constante de Planck: $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)

- a) 3×10^{11} .
- b) 8×10^{12} .
- c) 5×10^{13} .
- d) 4×10^{14} .
- e) 6×10^{15} .

RELATIVIDADE

Quando Einstein tinha 17 anos, ele se perguntava: “como deve parecer um raio de luz se alguém que estiver à velocidade da luz o observar?” Aos 26 anos, ele publicou um artigo na revista alemã *Annalen der Physik* que fornecia as pistas para a resposta a esta pergunta.

As elucubrações de Einstein eram completamente produto de seu raciocínio, ou seja, ele nunca foi ao laboratório comprovar suas ideias. Isso coube a outros cientistas, que por sinal sempre acabaram

ratificando suas hipóteses. Einstein chamava seus raciocínios de *experiências mentais*. Para facilitar nosso aprendizado da relatividade de Einstein, vamos também desenvolver uma experiência mental.

Vamos fazer uma experiência mental em dois momentos: o primeiro momento corresponde ao princípio da relatividade de Galileu e o segundo corresponde ao princípio da relatividade de Einstein. Nesta experiência mental que iniciamos, Filomena será nossa personagem principal.

Filomena tirou umas férias e foi curtir esse tempo em um cruzeiro a bordo de um imenso transatlântico. A viagem até o Caribe demora vários dias, mesmo que os motores do navio estejam a pleno vapor. O navio viaja com velocidade constante e em linha reta. Devido ao seu grande tamanho, as ondas não conseguem balançar o barco. Para passar o tempo, Filomena passeia entre os vários andares do navio, e repara várias coisas. Quando passa no restaurante, fica a olhar um aquário repleto de peixes coloridos. Ainda que o barco esteja se deslocando com velocidade constante, os peixes distribuem-se uniformemente pelo volume do aquário e não se acumulam em uma das paredes de vidro, como poderia se pensar. Ao passar no salão de jogos, Filomena vê dois sujeitos se defrontando numa partida de sinuca. Mesmo com o barco em movimento, as bolas não correm todas para um canto da mesa. Os jogadores de pingue-pongue também continuam jogando normalmente, sem sentir o movimento do barco. No salão de baile, Filomena olha para os lustres e vê que estão todos pendentes na vertical e não com algum ângulo em relação à vertical, como alguém poderia supor devido ao movimento do barco. Para Filomena, tudo acontece como se o barco estivesse completamente parado.

Todos estes efeitos estão sujeitos às leis da mecânica. Filomena, sem olhar para fora do barco, não consegue dizer se o mesmo encontra-se ancorado ou navegando, apenas observando os fenômenos que acontecem em seu interior. Podemos então enunciar o princípio da relatividade de Galileu: *as leis da mecânica são as mesmas para todos os corpos que estiverem em um referencial inercial*. Einstein estendeu este princípio para toda a física que, além de conter a mecânica, engloba a termodinâmica, o eletromagnetismo, a ótica e a quântica.

1 – *As leis da física valem para todos os sistemas inerciais, independentemente do referencial em que se encontrem.*

As leis da mecânica de Newton são baseadas no princípio da relatividade de Galileu. Elas continuam sendo válidas para fenômenos que acontecem a baixas velocidades, que é o cotidiano da maioria das pessoas. No entanto, quando vamos a velocidades mais altas, aquelas leis perdem a validade e temos que usar a relatividade de Einstein. Para que os efeitos relativísticos sejam notados é necessário que os corpos se movimentem a uma velocidade de pelo menos 10% da velocidade da luz, que é de 300.000 km/s.

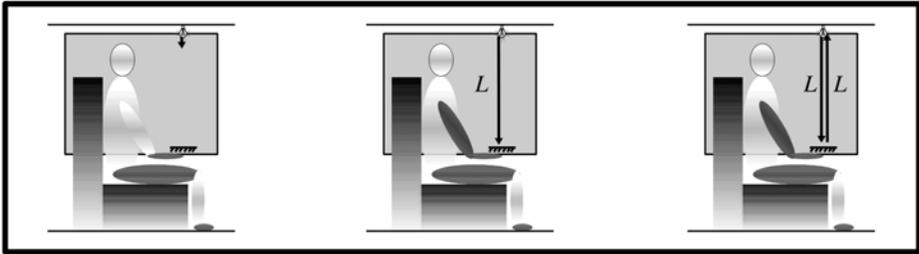
Cabe agora, enunciar o segundo postulado da relatividade de Einstein.

2- A velocidade da luz no vácuo c é a máxima velocidade que pode ser atingida no universo e é sempre a mesma para qualquer referencial.

Para analisar as consequências destes dois postulados, vamos continuar a nossa experiência mental.

Após as merecidas férias, Filomena desembarca no porto e toma um trem de levitação magnética para ir para casa. Este trem atinge uma velocidade de cerca de 500 km/h e não faz nenhuma escala entre a primeira e a última parada de sua linha. Meia hora antes de chegar ao destino final do trem, Filomena resolve retocar a maquiagem. Com a mão esquerda tira da bolsa um pequeno espelho. Como é noite, Filomena precisa ligar a luz que fica no teto do trem acima de sua poltrona. Com o braço direito, Filomena aciona o botão da luz no braço da poltrona. Casualmente, no exato instante que Filomena ligou a luz, ela passava por uma pequena estação ferroviária onde algumas pessoas esperavam a chegada do próximo trem. Uma pessoa na estação observa o exato instante em que a luz interna do trem foi ligada por Filomena e marca no seu relógio o tempo em que isso ocorreu. O feixe de luz é então emitido da lâmpada e atinge o espelho na mão esquerda de Filomena, que casualmente está na posição horizontal. Assim, o feixe acaba sendo refletido de volta ao ponto inicial. Uma segunda pessoa que estava mais adiante na estação ferroviária, marca em seu relógio o instante exato em que o feixe retorna à lâmpada. Filomena também cronometra em seu relógio o tempo Δt que a luz levou para ser emitida, refletir no espelho e chegar novamente ao ponto de partida. Denominaremos este tempo de *tempo*

próprio. As duas pessoas que estavam na estação conversam entre si, comparam seus relógios e observam que estão perfeitamente sincronizados. Então elas calculam o tempo da luz ir e voltar e encontram o valor $\Delta t'$. Enquanto Filomena continua a viagem no trem, vai deixando para trás aquela pequena estação, mas se faz a pergunta: “Será que o tempo que eu medi tem o mesmo valor que o tempo que aquelas duas pessoas mediram?” Ou, em termos matemáticos, será que $\Delta t = \Delta t'$?



Lembrando da cinemática, sabemos que a velocidade é dada por:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

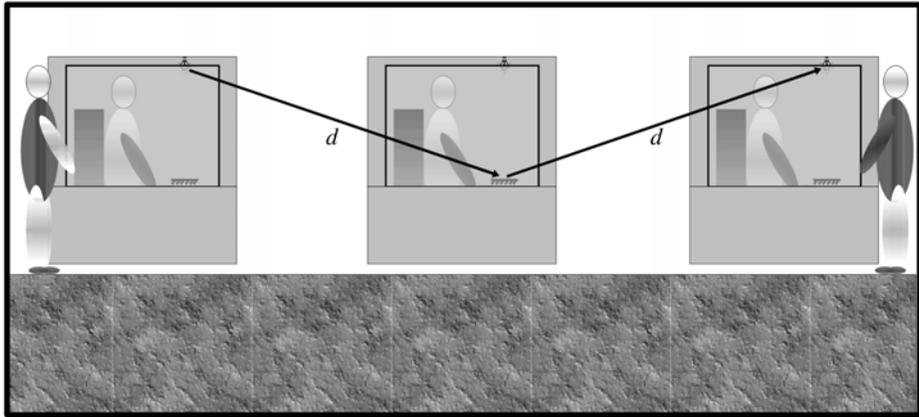
Assim sendo, Filomena mede o tempo Δt que o raio leva para percorrer o caminho de ida e volta $2L$ e é dado em termos da velocidade da luz c :

$$c = \frac{2L}{\Delta t}$$

O primeiro postulando de Einstein nos diz que as leis da ótica devem ser respeitadas em qualquer sistema de referência que não esteja acelerado, ou seja, o raio de luz deve ser refletido no espelho. Então, se Filomena observa a reflexão do raio no espelho, as pessoas na estação também enxergarão esta reflexão, mas de uma forma um pouco diferente, pois o trem encontra-se em movimento em relação a eles.

A velocidade do raio de luz observado da plataforma é:

$$c = \frac{2d}{\Delta t'}$$



Pelo segundo postulado, a velocidade da luz deve ser constante em qualquer referencial. Então, podemos igualar as duas expressões acima para c :

$$\frac{2d}{\Delta t'} = \frac{2L}{\Delta t}$$

Relacionando d e L pelo teorema de Pitágoras e lembrando novamente da definição de velocidade, chega-se finalmente a:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Num trem de levitação a 500 km/h, os efeitos relativísticos são imperceptíveis, pois a razão v/c é muito pequena, e ficamos com $\Delta t \approx \Delta t'$. Para velocidades baixas em relação à luz, os fenômenos relativísticos são desprezíveis e a velha mecânica de Newton continua valendo. Mas e se em vez de trem, estivéssemos numa plataforma espacial observando o mesmo fenômeno, mas com uma nave passando com a metade da velocidade da luz?

Neste caso, o tempo medido na plataforma seria 15% maior que o tempo medido por Filomena dentro da nave. Ou seja, o tempo para Filomena passou mais devagar do que para os observadores na plataforma!

Esta dilatação temporal nos leva ao seguinte paradoxo. Se Filomena embarcasse num cruzeiro espacial que passasse vários anos viajando numa velocidade muito próxima da luz e sua irmã gêmea, Filirmina,

ficasse na Terra, o que aconteceria? No final do cruzeiro espacial, ao retornar à Terra, Filomena estaria muito mais jovem que Filirmina, pois o tempo na nave teria passado muito mais lentamente do que na Terra.

Assim como o tempo passa mais devagar, o comprimento dos corpos na direção do movimento diminui. Se em repouso um corpo possui um *comprimento próprio* L , quando em movimento ele diminui seu comprimento para L' :

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

Quando um corpo está com uma velocidade comparável à da luz, sua massa aumenta da seguinte quantidade:

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

Assim sendo, se tentarmos acelerar um corpo até a velocidade da luz, sua massa vai ficando cada vez maior, e será necessário cada vez mais energia para aumentar a velocidade do corpo. É por isso que até hoje nunca ninguém conseguiu chegar à velocidade da luz. Nem mesmo elétrons, que são extremamente leves, atingiram este objetivo. Somente corpos sem massa podem viajar a velocidade da luz. No ano de 2008, foi inaugurado na fronteira da França com a Suíça, o Grande Acelerador de Hádrons (LHC, na sigla em inglês), que foi projetado para acelerar partículas atômicas a mais alta velocidade já atingida em algum experimento desenvolvido pelo ser humano: 99,999% da velocidade da luz.

Outro resultado da teoria da relatividade é que podemos transformar massa em energia pura. Assim, um corpo que no repouso tiver massa m pode ser convertido em energia E pela famosa fórmula.

$$E = mc^2$$

Esta fórmula será estudada em mais detalhes na próxima seção, que abrange a física nuclear.

O que vimos até agora, é chamado de relatividade restrita (ou especial), porque se restringe a apenas referenciais inerciais. Quando generalizamos para sistemas que sofrem aceleração temos a relatividade geral. Uma das consequências da relatividade geral é a de que o espaço é curvo. Esse fenômeno foi confirmado pela primeira vez em 1919, numa expedição para o interior do nordeste brasileiro para assistir um eclipse total do Sol. Devido à sua grande massa, o Sol encurva o espaço à sua volta. A luz, ao passar numa região em que o espaço é curvo, segue a sua curvatura. Assim, durante aquele eclipse, enquanto o Sol estava tapado pela Lua e o céu ficou escuro, estrelas que deveriam estar atrás do sol foram vistas ao seu lado, conforme previra a teoria de Einstein.

Exemplo:

4. (La Salle) De acordo com a Teoria da Relatividade Restrita, a expressão para a massa relativística de um corpo em que m_0 é a massa de repouso do corpo (medida em um referencial em relação ao qual o corpo está em repouso), c é a velocidade da luz no vácuo e v é a velocidade do corpo.

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

Uma extraterrestre faz amizade com um professor de física. Ao partir, ela deixa sua poderosa arma laser para o professor, e a única coisa que o professor possui para retribuir o presente é o pequeno *bóton* com a foto de Albert Einstein, cuja massa vale aproximadamente 10 g. Na volta ao seu planeta natal, a nave da extraterrestre viaja a uma velocidade tal que $v^2/c^2 = 0,9999$. A massa do bóton medida nestas condições registrará aproximadamente:

- a) 0,10 kg.
- b) 1,0 kg.
- c) 10 kg.
- d) 100 kg.
- e) 1000 kg.

Exercícios:

12. (UCS) Num futuro em que as viagens para o espaço serão frequentes, uma senhora caminha na rua e encontra um homem de uns quarenta anos cuidando carinhosamente de um senhor aparentando ter o dobro da idade dele. Comovida, a senhora pergunta ao mais moço se o idoso é seu avô. O jovem responde que não, é seu irmão gêmeo. Ambos eram produtores de vinho e vendiam o produto para restaurantes espalhados por todo o sistema solar. Um gêmeo cuidava da produção na Terra e o outro, numa espaçonave, fazia as entregas pessoalmente. O fato de o transporte ser feito com velocidades de até noventa e cinco por cento da velocidade da luz ocasionou tal diferença de idade. Essa pequena crônica mostra como os efeitos da relatividade restrita podem se tornar significativos quando atingimos velocidades próximas à velocidade da luz. Que conclusão podemos tirar sobre o que ocorreu?

- a) O gêmeo que ficava na Terra envelheceu menos, porque a dilatação dos comprimentos para ele era compensada pela contração do tempo.
- b) O ritmo de tempo foi mais lento para o gêmeo que ficava na Terra, por isso ele envelheceu menos.
- c) As distâncias entre os lugares aumentavam para o gêmeo na espaçonave, logo, ele precisava de mais tempo para percorrê-las e, por isso, envelheceu mais.
- d) O ritmo de tempo foi mais lento para o gêmeo que viajava, por isso ele envelheceu menos.
- e) O gêmeo que viajava envelheceu mais, porque a contração dos comprimentos para ele era compensada pela dilatação do tempo.

13. (PUCRS) A relação massa-energia ($E = \Delta mc^2$, com $c^2 = 9,0 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$) atualmente é vista como um emblema da Teoria da Relatividade Restrita, de 1905. Porém, já no início da década de 1890, a física necessária para obter essa relação estava disponível, e implícita na equação do eletromagnetismo clássico, que põe em correspondência a quantidade de movimento e a energia de uma onda eletromagnética. No entanto, cabe inegavelmente a Einstein o mérito de tê-la generalizado. Essa relação

permite concluir que, se aquecermos um corpo, fazendo com que ele absorva 90kJ, sua massa irá aumentar:

- a) um décimo de grama.
- b) um centésimo de grama.
- c) um milésimo de grama.
- d) um milionésimo de grama.
- e) um bilionésimo de grama.

FÍSICA NUCLEAR

Quando um átomo se parte espontaneamente em átomos menores, dizemos que ele sofreu um *decaimento*. Na reação de decaimento sempre há a emissão de partículas que denominamos de radiação. Foi o físico francês, Antoine Henri Becquerel, o primeiro a observar a existência da radioatividade. Em 1896, ele trabalhava com emulsões fotográficas. Certa vez, guardou em uma gaveta algumas chapas fotográficas virgens. Mais tarde, quando foi revelá-las, descobriu que todas possuíam sinais de exposição à luz, apesar de terem permanecido sempre embrulhadas em papel negro. Revirando a gaveta, encontrou um pedaço de minério ao qual associou a sensibilização das chapas. Em 1898, o casal Pierre (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934) conseguiram, a partir de uma tonelada de minério, isolar quimicamente um grama de material radioativo. Em homenagem ao país de origem de Madame Curie, o novo elemento foi batizado de **polônio**. Por essa descoberta o casal recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1903. Mais tarde, Madame Curie conseguiu obter outro elemento radioativo que recebeu o nome de **rádio**. Por mais esta descoberta ela emplacou o Prêmio Nobel de Química de 1911.

No entanto, radiação não provém necessariamente de minérios contendo certos elementos da tabela periódica. Em 1895, Wilhelm Conrad Roentgen fez uma observação com um equipamento parecido com uma televisão. O equipamento era constituído de um tubo evacuado com apenas dois eletrodos de polaridades opostas. O eletrodo negativo emitia elétrons que eram rapidamente acelerados em direção ao eletrodo positivo. No momento em que os elétrons atingem a superfície metálica

do eletrodo, uma forma de radiação eletromagnética é emitida. Apesar de o olho humano não ser capaz de detectar este tipo de radiação, ela é capaz de sensibilizar chapas fotográficas, mesmo com a interposição de algum corpo no caminho. Sem saber do que se tratava, Roentgen chamou aquela radiação de **raios X**, denominação que é empregada até hoje. Na época desconhecia-se a existência de prótons, elétrons e fótons. Portanto, outros tipos de radiação descobertos naqueles tempos foram simplesmente chamados de *alfa*, *beta* e *gama*, as primeiras letras do alfabeto grego. Estas três formas de radiação apresentam diferentes respostas a campos eletromagnéticos, pois têm valores diferentes de carga elétrica. São elas:

- **alfa** - possui carga elétrica positiva, em módulo o dobro da carga elementar, e a massa do átomo de hélio. Portanto, dizemos que a partícula alfa equivale a um núcleo de hélio, ou um átomo de hélio duplamente ionizado. Ela é representada pelo símbolo ${}^4_2\alpha$. Seu poder de penetração é extremamente baixo: uma folha de papel é suficiente para blindagem. Portanto, oferece pequeno risco no contato com a pele. Mas se ingerida torna-se perigosa, pois nossos tecidos internos são mais sensíveis que a pele.
- **beta** - possui carga elétrica negativa e igual à carga elementar. Sua pequena massa é igual à do elétron. Na verdade, a partícula beta é o elétron. Seu símbolo é β . Seu poder de penetração também é pequeno, sendo suficiente uma folha de plástico ou alumínio para blindagem. Então, em contato com a pele os riscos são pequenos, mas quando ingerida torna-se perigosa.
- **gama** - não possui carga elétrica nem massa, portanto seu poder de penetração é altíssimo. Esta forma de radiação, que na verdade é composta de fótons, pode causar mutações genéticas em células atingidas. Por outro lado, pode ser usada para destruir células cancerosas. Para bloquear esta forma de radiação, cujo símbolo é γ , é necessária uma parede de chumbo.

Além dos três tipos de radiação mencionados acima, existe uma miríade de outras partículas que foram descobertas a partir da década de 1940. Um dos principais cientistas a contribuir nas descobertas de novas partículas foi brasileiro; seu nome era César Lattes. Foi ele

quem descobriu a partícula que chamamos de méson π . A estas novas partículas damos o nome de *partículas elementares*.

Outro tipo de partícula que existe na natureza é o que chamamos de **antimatéria**. Uma partícula de matéria sempre tem sua correspondente *antipartícula*. A antipartícula possui exatamente as mesmas propriedades físicas que a partícula de matéria, exceto a carga elétrica, cujo sinal é oposto. Por exemplo, a antipartícula correspondente ao elétron possui as mesmas características que o elétron como massa e módulo da carga elétrica, mas sua carga é positiva. Chamamos o antielétron de *pósitron*. Já o *antipróton*, da mesma forma, possui a mesma massa e módulo de carga elétrica que o próton, mas tem carga negativa. Juntando antipartículas elementares, podemos construir sistemas de antimatéria maiores. Por exemplo, o *déuteron* é a antipartícula do núcleo do átomo de deutério. A antimatéria pode ser encontrada no espaço sideral ou produzida em laboratório. Quando a antimatéria entra em contato com a matéria, ocorre a conversão imediata de suas massas em energia pura.

Todos os cientistas que estudaram os fenômenos da radiação em seus primórdios morreram de alguma doença relacionada com a radiação, em geral câncer. Naquela época desconheciam-se os efeitos nocivos da radiação. Alguns exemplos absurdos. Vendia-se depilação instantânea: bastava alguns minutos de exposição para caírem todos os pelos do corpo. Sapateiros iluminavam com raios X os pés de seus clientes enquanto experimentavam o sapato para ver onde ficava apertado. Relógios que brilhavam à noite eram pintados com substâncias radioativas. Detalhe é que a pintura era feita manualmente e costumava-se lamber as cerdas do pincel para tornar sua ponta mais fina.

As pessoas que tiveram contato com tais situações acabaram tendo graves problemas de saúde, devido à ignorância dos efeitos biológicos da radiação na época. E hoje tem gente que passa o dia pendurado num telefone celular...

Por outro lado, as radiações quando bem empregadas, são altamente benéficas. A física médica aprimorou técnicas fantásticas de diagnóstico e de tratamento de doenças utilizando-se de radiações. Mas para que essa tecnologia fosse desenvolvida, levou quase um século!

Vimos que o modelo de Bohr supõe a existência de um núcleo atômico onde se encontram as cargas positivas que são os prótons.

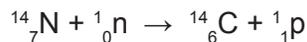
Além destes, existem no núcleo os nêutrons, que são eletricamente neutros. Chamamos estes constituintes do núcleo (prótons e nêutrons) de *nucleons*. Se todos os prótons possuem cargas positivas, como eles se mantêm coesos no centro do átomo? Por que eles não se repelem mutuamente a ponto de destruir o núcleo?

Existe uma força que chamamos de **força nuclear**, que atua entre os nucleons e que é muito mais forte que a eletrostática. Desta forma, os prótons podem ficar agrupados no núcleo, sem se dispersarem devido à repulsão coulombiana. Em algumas situações, no entanto, esta força não é capaz de manter o núcleo coeso, o que resulta na sua quebra. Isto é o que chamamos de **decaimento radioativo** ou **transmutação**. Vamos tomar o exemplo do decaimento espontâneo do urânio:



Nesta reação, um núcleo de urânio emite uma partícula alfa e se torna um isótopo do tório, que também é radioativo. Observe que a soma dos números de massa dos produtos da reação tem que ser igual ao número de massa antes da reação ($238 = 234 + 4$). Isto vale também para o número de carga ($92 = 90 + 2$). O decaimento acima ocorre espontaneamente.

Outra reação nuclear poderia ser a seguinte:



Neste caso, um núcleo de nitrogênio recebe um nêutron, que possui carga nula, e emite um próton para se transformar em um isótopo do carbono. Observe a conservação dos números de massa e de carga. Este decaimento foi induzido pelo nêutron que incidiu no nitrogênio.

O decaimento espontâneo é um processo estatístico baseado em probabilidades. Se tivermos apenas um átomo radioativo em nosso poder, ele pode decair neste exato instante, ou levar milhares de anos para decair. Quando temos uma quantidade muito grande destes átomos, temos alguns que decaem logo, enquanto outros demoram muito tempo para decair. Podemos definir então a **meia-vida** de um isótopo. Por definição, a meia-vida é o tempo necessário para que, tendo-se um número inicial de átomos radioativos N_0 , após um

tempo $t_{1/2}$, metade dos átomos ($N_0/2$) já terão decaído, restando metade em possibilidade de decair. Após um intervalo de tempo $2 t_{1/2}$, restarão apenas metade da metade dos átomos iniciais, ou seja $N_0/4$, e assim por diante...

Alguns isótopos possuem uma meia-vida curta, como por exemplo, o ^{18}F que possui uma meia-vida de 110 min. Isto quer dizer, que se neste instante tivermos certa quantidade de ^{18}F radioativo, daqui 110 min, apenas metade daquela quantidade será radioativa. A outra metade já terá decaído.

Já o isótopo ^{14}C tem uma meia-vida de 5730 anos. Um ser vivo, que hoje respira em nosso planeta, está absorvendo e eliminando átomos de carbono constantemente. Existe uma proporção conhecida com precisão entre a quantidade de ^{12}C (que é o isótopo mais abundante do carbono) e de ^{14}C em animais e plantas. Se o ser vivo morrer em uma região extremamente seca, é possível que ele perca toda água e acabe fossilizando. Assim, ele não trocará mais átomos de carbono com o ambiente. O ^{12}C continua estável, mas o ^{14}C , por ser radioativo, decai e diminui sua quantidade. Depois de milhares de anos, será possível dizer com uma precisão de 95% de certeza em que época o animal viveu, bastando comparar as quantidades relativas dos dois isótopos radioativos.

O ^{235}U , que é o isótopo comumente usado em usinas nucleares, possui uma meia-vida de 704 milhões de anos! Ou seja, as próximas gerações que nos seguirem vão ter que aprender a conviver com os rejeitos radioativos que deixarmos.

Exemplos:

5. (UFRGS) Em um processo de transmutação natural, um núcleo radioativo de U-238, isótopo instável do urânio, se transforma em um núcleo de Th-234, isótopo do tório, através da reação nuclear



Por sua vez, o núcleo filho Th-234, que também é radioativo, transmuta-se em um núcleo do elemento protactínio, através da reação nuclear



O X da primeira reação nuclear e o Y da segunda reação nuclear são, respectivamente

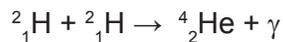
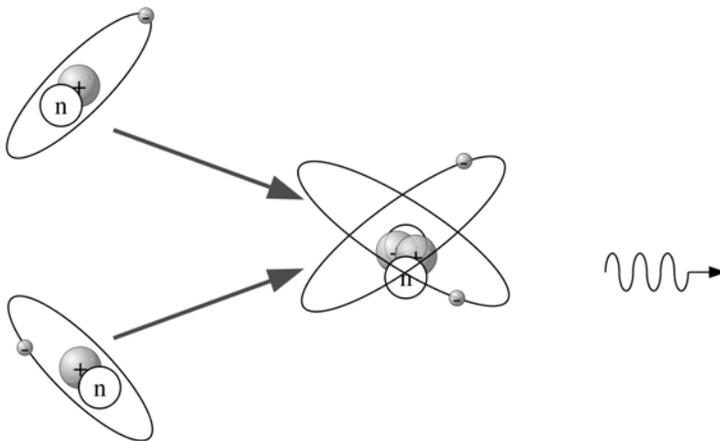
- a) uma partícula alfa e um fóton de raio gama.
- b) uma partícula beta e um fóton de raio gama.
- c) um fóton de raio gama e uma partícula alfa.
- d) uma partícula beta e uma partícula beta.
- e) uma partícula alfa e uma partícula beta.

6. (UFRGS) Um contador Geiger indica que a intensidade da radiação beta emitida por uma amostra de determinado elemento radioativo cai pela metade em cerca de 20 horas. A fração aproximada do número inicial de átomos radioativos dessa amostra que se terão desintegrado em 40 horas é

- a) 1/8.
- b) 1/4.
- c) 1/3.
- d) 1/2.
- e) 3/4.

Todos os átomos do nosso corpo já fizeram parte de uma estrela! Vamos ver como. O universo sideral está repleto de átomos de hidrogênio, que é o elemento mais simples da tabela periódica. Devido à força gravitacional, alguns átomos no espaço podem se unir e formar um pequeno aglomerado. Outros átomos que por ali passarem também sofrerão atração gravitacional, unindo-se aos primeiros e fazendo o aglomerado crescer. À medida que o aglomerado cresce como uma bola de neve, camadas mais externas começam a exercer peso sobre as partículas que estão no centro. Quando o aglomerado de átomos de hidrogênio for muito grande, a pressão sobre as camadas internas será tão grande que dois átomos de hidrogênio podem ser esmagados um

contra o outro e acabar formando um átomo de hélio que é o número 2 da tabela periódica de elementos. A este processo chamamos de **fusão nuclear**, pois fundimos dois átomos em apenas um. Mas como o átomo de hélio possui dois nêutrons, precisamos tirar estes nêutrons de algum lugar. Para formar o átomo de hélio a reação deve acontecer com os isótopos do hidrogênio: *deutério* (^2H) ou *trítio* (^3H), que possuem respectivamente um e dois nêutrons no núcleo, além do próton. A figura a seguir mostra o momento da fusão de dois átomos de deutério para formar um de hélio:



No momento da reação nuclear, um fóton γ de energia $E = h f$ é liberado na forma de luz. Sua energia é uma fração muito pequena do joule. Portanto, costuma-se usar uma unidade de energia chamada elétron-volt, que é definida como a energia que um elétron absorve ao ser acelerado por uma ddp de 1 volt. Lembrando a definição de potencial elétrico que vimos no capítulo 5, $U = \frac{E_{PE}}{q}$, podemos escrever para a carga elementar e , $E_{PE} = eU$, o que nos dá,

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

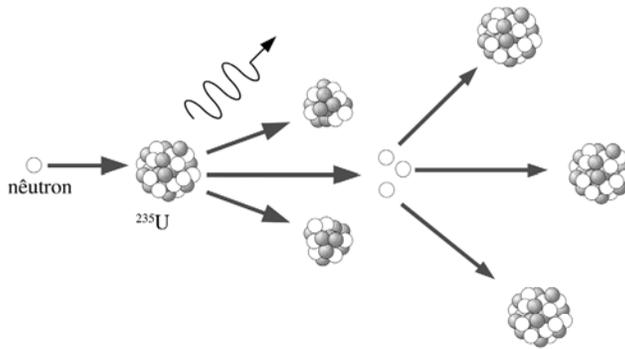
É comum vermos os múltiplos desta unidade como o quiloelétron-volt (keV) e o megaelétron-volt (MeV).

A fusão nuclear é o combustível que mantém as estrelas acesas. O ser humano tem buscado reproduzir este processo de geração de energia em nosso planeta. Entretanto, até o momento não se obteve um processo controlado, mas apenas uma liberação muito intensa de energia num intervalo de tempo muito curto em reator de teste ou numa explosão. Esta explosão é a arma mais mortífera inventada pelo homem: a bomba de hidrogênio.

Voltemos ao processo de gênese das estrelas. A partir do momento que a *protoestrela* começa a queimar hidrogênio e emitir luz, é formada uma quantidade muito grande de hélio. Com o crescimento desta pequena estrela, a temperatura e a pressão interna aumentam de tal forma que átomos de H e He podem fundir-se para, aos poucos, formarem os outros átomos mais pesados da tabela periódica.

Com o envelhecimento da estrela, átomos cada vez mais pesados são gerados passando por todos os metais até chegar-se ao número 92, o urânio. Elementos mais pesados que o urânio somente podem ser produzidos artificialmente em laboratório e são chamados de *transurânicos*, por exemplo, o plutônio. O urânio, por sua vez, possui um núcleo instável. Facilmente pode se decompor em núcleos menores. Este processo é chamado de **fissão nuclear**.

Cada vez que um núcleo de urânio fissiona em núcleos menores, há a liberação de 2 ou 3 nêutrons, além de fótons energéticos. Estes nêutrons liberados podem atingir núcleos de átomos vizinhos e causar a sua subsequente fissão. Estas reações, por sua vez, também liberam nêutrons que podem causar novos fissionamentos. A este processo chamamos de **reação em cadeia**. Se o processo não for controlado, ocorre a liberação muito rápida de energia, que é o que acontece na bomba atômica. Para controlar o processo e mantê-lo estável, a ponto de retirar energia de forma lenta para aplicações comerciais, utiliza-se o que chamamos de moderador. O moderador, que pode ser feito de grafite, absorve parte dos nêutrons emitidos, limitando a quantidade de fissões que ocorrem.



Quando ocorre a fusão nuclear, a massa dos reagentes não é exatamente igual à massa dos produtos da reação. Parte da massa inicial é convertida em energia conforme a equação de Einstein:

$$E = m c^2,$$

onde m é a diferença de massa entre os reagentes e os resultados da reação nuclear. É possível escrever para a reação nuclear uma fórmula de maneira similar às reações químicas:



Como c é a velocidade da luz no vácuo, que vale 3×10^8 m/s, o valor de E é muito elevado, resultando na liberação de uma quantidade muito grande de energia. Uma bomba nuclear contendo apenas 13 kg de ^{235}U pode causar a destruição por inteiro de um grande centro urbano. Mas, se a energia nuclear for usada para fins pacíficos, ela pode ser muito benéfica. Uma usina nuclear pode gerar, a partir de algumas dezenas de kg de massa, vários MWh de energia. Atualmente, vivemos uma época de incertezas com respeito às fontes de energia que restarão no futuro próximo. Depois de passarmos séculos queimando combustíveis fósseis e exaurindo suas reservas no planeta, nos deparamos com a necessidade de passar para novas fontes de energia. A energia nuclear tem sido, dentre outras, uma das formas escolhidas. Vários países produzem uma parte considerável da energia que consomem a partir de usinas nucleares. No Brasil, as usinas de Angra I e II produzem cerca de 75% da energia elétrica consumida pelo Rio de Janeiro.

Entretanto, existe o risco de haver algum acidente com liberação de radiação. As consequências foram nefastas nos piores acidentes que ocorreram na história: Three Mile Island em 1979 nos EUA, Chernobyl em 1986 na União Soviética e Fukushima em 2011 no Japão.

Exercícios:

14. (UFRGS) Quando um nêutron é capturado por um núcleo de grande número de massa, como o do U-235, este se divide em dois fragmentos, cada um com cerca da metade da massa original. Além disso, nesse evento, há emissão de dois ou três nêutrons e liberação de energia da ordem de 200 MeV, que, isoladamente, pode ser considerada desprezível (trata-se de uma quantidade de energia cerca de 10^{13} vezes menor do que aquela liberada quando se acende um palito de fósforo!). Entretanto, o total de energia liberada que se pode obter com esse tipo de processo acaba se tornando extraordinariamente grande graças ao seguinte efeito: cada um dos nêutrons liberados fissiona outro núcleo, que libera outros nêutrons, os quais, por sua vez, fissionarão outros núcleos, e assim por diante. O processo inteiro ocorre em um intervalo de tempo muito curto e é chamado de:

- a) reação em cadeia.
- b) fusão nuclear.
- c) interação forte.
- d) decaimento alfa.
- e) decaimento beta.

15. (UFRGS) Em 1905, como consequência da sua Teoria da Relatividade Especial, Albert Einstein (1879-1955) mostrou que a massa pode ser considerada como mais uma forma de energia. Em particular, a massa m de uma partícula em repouso é equivalente a um valor de energia E dado pela famosa fórmula de Einstein:

$$E = mc^2,$$

onde c é a velocidade de propagação da luz no vácuo, que vale aproximadamente 300.000 km/s.

Considere as seguintes afirmações referentes a aplicações da fórmula de Einstein.

I - Na reação nuclear de fissão do U-235, a soma das massas das partículas reagentes é maior do que a soma das massas das partículas resultantes.

II - Na reação nuclear de fusão de um próton e um nêutron para formar um dêuteron, a soma das massas das partículas reagentes é menor do que a massa da partícula resultante.

III - A irradiação contínua de energia eletromagnética pelo Sol provoca uma diminuição gradual da massa solar.

Quais estão corretas?

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

16. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Entre os diversos isótopos de elementos químicos encontrados na natureza, alguns possuem núcleos atômicos instáveis e, por isso, são radioativos. A radiação emitida por esses isótopos instáveis pode ser de três classes. A classe conhecida como radiação alfa consiste de núcleos de Outra classe de radiação é constituída de elétrons, e é denominada radiação Uma terceira classe de radiação, denominada radiação , é formada de partículas eletricamente neutras chamadas de Dentre essas três radiações, a que possui maior poder de penetração nos materiais é a radiação

- a) hidrogênio - gama - beta - nêutrons - beta.
- b) hidrogênio- beta - gama - nêutrons - alfa.
- c) hélio - beta - gama - fótons - gama.

- d) deutério - gama - beta - neutrinos - gama.
- e) hélio - beta - gama - fótons – beta.

17. (UERGS) A radioatividade é um dos assuntos mais discutidos na física moderna. São elementos radioativos o

- a) chumbo, o tório e o urânio.
- b) polônio, o chumbo e o urânio.
- c) polônio, o tório e o urânio.
- d) polônio, o ouro e o urânio.
- e) polônio, o ouro e o tório.

18. (UFRGS) Os raios X são produzidos em tubos de vácuo, nos quais elétrons são submetidos a uma rápida desaceleração ao colidir contra um alvo metálico. Os raios X consistem de um feixe de

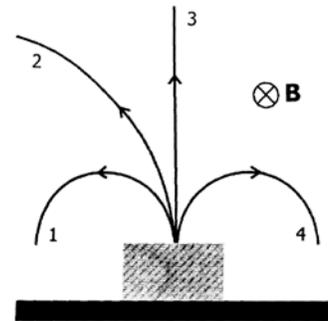
- a) elétrons
- b) fótons
- c) prótons
- d) nêutrons
- e) pósitrons

19. (UFRGS) O alcance de partículas α de 4 MeV no ar é 2,4 cm (massa específica do ar: $1,25 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$). Admitindo-se que o alcance seja inversamente proporcional à massa específica do meio, o alcance das partículas α de 4 MeV na água (massa específica da água: $1,00 \text{ g/cm}^3$) é

- a) $1,92 \times 10^3 \text{ cm}$
- b) 3 cm
- c) 1,92 cm
- d) $3 \times 10^{-1} \text{ cm}$
- e) $3 \times 10^{-3} \text{ cm}$

20. (UFRGS) A radioatividade é um fenômeno em que átomos com núcleos instáveis emitem partículas ou radiação eletromagnética para se estabilizar em uma configuração de menor energia.

O esquema abaixo ilustra as trajetórias das emissões radioativas α , β^+ , β^- e γ quando penetram em uma região do espaço onde existe um campo magnético uniforme \mathbf{B} que aponta perpendicularmente para dentro da página. Essas trajetórias se acham numeradas de 1 a 4 na figura.



Sendo α um núcleo de hélio, β^+ um elétron de carga positiva (pósitron), β^- um elétron e γ um fóton de alta energia, assinale a alternativa que identifica corretamente os números correspondentes às trajetórias das referidas emissões, na ordem em que foram citadas.

- a) 1-2-4-3
- b) 2-1-4-3
- c) 3-4-1-2
- d) 4-3-2-1
- e) 1-2-3-4

21. (UFRGS) O PET (*Positron Emission Tomography* ou tomografia por emissão de pósitron) é uma técnica de diagnóstico por imagens que permite mapear a atividade cerebral por meio de radiações eletromagnéticas emitidas pelo cérebro. Para a realização do exame, o paciente ingere uma solução de glicose contendo o isótopo radioativo flúor-18, que tem meia-vida de 110 minutos e decai por emissão de pósitron. Essa solução é absorvida rapidamente pelas áreas cerebrais em maior atividade. Os pósitrons emitidos pelos núcleos de flúor-18, ao encontrar elétrons das vizinhanças, provocam, por aniquilação de par, a emissão de fótons de alta energia. Esses fótons são empregados para produzir uma imagem do cérebro em funcionamento.

Supondo-se que não haja eliminação da solução pelo organismo, que porcentagem da quantidade de flúor-18 ingerido ainda permanece presente no paciente 5 horas e 30 minutos após a ingestão?

- a) 0,00%.
- b) 12,50%.
- c) 33,33%
- d) 66,66%.
- e) 87,50%.

22. (UFRGS) Quando se faz incidir luz de certa frequência sobre uma placa metálica, qual é o fator que determina se haverá ou não emissão de fotoelétrons?

- a) A área da placa.
- b) O tempo de exposição da placa à luz.
- c) O material da placa.
- d) O ângulo de incidência da luz.
- e) A intensidade da luz.

23. (UFRGS) Em 1999, um artigo de pesquisadores de Viena (M. Arndt e outros) publicado na revista *Nature* mostrou os resultados de uma experiência de interferência realizada com moléculas de fulereno – até então os maiores objetos a exibir dualidade onda-partícula. Nessa experiência, as moléculas de fulereno, que consistem em um arranjo de 60 átomos de carbono, eram ejetadas de um forno e passavam por um sistema de fendas antes de serem detectadas sobre um anteparo. Após a detecção de muitas dessas moléculas, foi observado sobre o anteparo um padrão de interferência similar ao do elétron, a partir do qual o comprimento de onda de *de Broglie* associado à molécula foi medido. Os pesquisadores verificaram que o comprimento de onda de *de Broglie* associado a uma molécula de fulereno com velocidade de 220 m/s é de $2,50 \times 10^{-12}$ m, em concordância com o valor teoricamente previsto.

Qual seria o comprimento de onda de *de Broglie* associado a uma molécula de fulereno com velocidade de 110 m/s?

- a) $1,00 \times 10^{-11}$ m.
- b) $5,00 \times 10^{-12}$ m.
- c) $1,25 \times 10^{-12}$ m.

d) $6,25 \times 10^{-13}$ m.

e) $3,12 \times 10^{-13}$ m.

24. (UNIPAMPA) Nas noites frias de inverno, o fogo de chão é motivo para aproximar os gaúchos. Entre um chimarrão e outro, animada pelos acordes de uma velha gaita, a conversa corre frouxa, fazendo desse encontro não só o aquecimento dos corpos, mas dos próprios corações. De acordo com seus conhecimentos sobre física moderna, é correto afirmar que a energia dos fótons

a) é maior, na região do visível, do que na região do raio X.

b) independe da frequência da radiação .

c) é menor, na região do infravermelho, do que na região do ultravioleta.

d) depende de sua massa de repouso.

e) depende da sua velocidade.

f) I.R.

25. (UNISC) O efeito fotoelétrico, conhecido desde o fim do século XIX, consiste na incidência de um feixe de luz sobre a superfície de determinados metais, arrancando fotoelétrons desses materiais. Sobre o efeito fotoelétrico, são feitas três afirmativas:

I- Existe uma frequência limite da luz que incide no metal, abaixo da qual os fotoelétrons não são ejetados.

II- Frequências limites diferentes estão associadas a metais diferentes.

III- Abaixo da frequência limite também pode ocorrer o efeito fotoelétrico, bastando, para isso, aumentar a intensidade da luz que incide sobre a superfície do metal.

Assinale a alternativa correta.

a) Somente a afirmativa I está correta.

b) Somente a afirmativa II está correta.

c) Somente a afirmativa III está correta.

d) Somente as afirmativas I e II estão corretas.

e) Todas as alternativas estão incorretas.

26. (UFCSPA) O isótopo de ${}^4\text{Be}$ é instável e decai em duas partículas alfa (núcleos de hélio de massa $m = 6,68 \times 10^{-27}\text{kg}$) liberando uma energia de $1,5 \times 10^{-14}$ J. O módulo das velocidades das duas partículas alfa, supondo que o núcleo de ${}^4\text{Be}$ se encontra inicialmente em repouso é

- a) $V_\alpha = 4,5 \times 10^{-6}$ m/s.
- b) $V_\alpha = 3,0 \times 10^{-6}$ m/s.
- c) $V_\alpha = 1,5 \times 10^6$ m/s.
- d) $V_\alpha = 6,5 \times 10^6$ m/s.
- e) $V_\alpha = 2,5 \times 10^6$ m/s.

27. (PUCRS) Dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas convertem energia solar em energia elétrica e funcionam baseados no chamado efeito fotoelétrico, cuja explicação foi apresentada pela primeira vez, por Albert Einstein, em 1905. Sobre as células fotovoltaicas, é correto afirmar:

- a) A exposição à luz causa o aquecimento dessas células, fornecendo energia térmica suficiente para movimentar cargas elétricas.
- b) A luz solar causa a decomposição química dos átomos da célula, enviando prótons para um lado e elétrons para outro.
- c) A carga elétrica é atraída pelo campo eletromagnético da luz, produzindo corrente elétrica.
- d) Pacotes de energia luminosa incidem sobre uma placa metálica, liberando elétrons.
- e) A radiação solar produz o decaimento dos núcleos da célula fotovoltaica, liberando energia.

PROBLEMAS EXTRAS

CAPÍTULO 13

1. (UNISC) Suponha que tenha sido descoberto um pequeno planeta, 4 vezes mais afastado do sol do que a Terra. Lembrando-se da Terceira Lei de Kepler, pode-se concluir que esse planeta, para dar uma volta completa ao redor do Sol, levará:

- a) 4 anos.
- b) 2 anos.
- c) 6 anos.
- d) 8 anos.
- e) 6 meses.

2. (UFSC) Assinale as proposições que apresentam as conclusões corretas das três leis de Kepler.

(01) A velocidade média de translação de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao raio médio de sua órbita.

(02) O período de translação dos planetas em torno do Sol depende da massa dos mesmos.

(04) Quanto maior o raio médio da órbita de um planeta em torno do Sol, maior será o período de seu movimento.

(08) A segunda lei de Kepler assegura que o módulo da velocidade de

translação de um planeta em torno do Sol é constante.

(16) A velocidade de translação da Terra em sua órbita aumenta à medida que ela se aproxima do Sol e diminui à medida que se afasta.

(32) Os planetas situados a mesma distância do Sol devem ter a mesma massa.

Dê, como resposta, a soma dos números dos itens corretos.

3. (UFSC) Durante aproximados 20 anos, o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe realizou rigorosas observações dos movimentos planetários, reunindo dados que serviram de base para o trabalho desenvolvido, após sua morte, por seu discípulo, o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630). Kepler, possuidor de grande habilidade matemática, analisou cuidadosamente os dados coletados por Tycho Brahe, ao longo de vários anos, tendo descoberto três leis para o movimento dos planetas. Apresentamos, a seguir, o enunciado das três leis de Kepler.

<p>1ª lei de Kepler: Cada planeta descreve uma órbita elíptica em torno do Sol, da qual o Sol ocupa um dos focos.</p>	<p>32. Os planetas situados à mesma distância do Sol devem ter a mesma massa.</p>
<p>2ª lei de Kepler: O raio-vetor (segmento de reta imaginário que liga o Sol ao planeta) “varre” áreas iguais, em intervalos de tempo iguais.</p>	<p>64. A razão entre os quadrados dos períodos de translação dos planetas em torno do Sol e os cubos dos raios médios de suas órbitas apresenta um valor constante.</p>
<p>3ª lei de Kepler: Os quadrados dos períodos de translação dos planetas em torno do Sol são proporcionais aos cubos dos raios médios de suas órbitas.</p>	<p>4. (PUCRS) De acordo com a Lei da Gravitação Universal, a força gravitacional entre dois corpos</p>
<p>Assinale a(s) proposição(ões) que apresenta(m) conclusão(ões) CORRETA(S) das leis de Kepler:</p>	<p>a) duplica quando as massas dos dois corpos são duplicadas. b) duplica quando a distância entre os dois corpos é duplicada c) quadruplica quando a distância entre os dois corpos é reduzida à metade. d) quadruplica quando a distância entre os dois corpos é duplicada. e) quadruplica quando a distância entre os dois corpos é quadruplicada.</p>
<p>01. A velocidade média de translação de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao raio médio de sua órbita.</p>	
<p>02. O período de translação dos planetas em torno do Sol não depende da massa dos mesmos.</p>	
<p>04. Quanto maior o raio médio da órbita de um planeta em torno do Sol, maior será o período de seu movimento.</p>	
<p>08. A 2ª lei de Kepler assegura que o módulo da velocidade de translação de um planeta em torno do Sol é constante.</p>	
<p>16. A velocidade de translação da Terra em sua órbita aumenta à medida que ela se aproxima do Sol e diminui à medida que ela se afasta.</p>	<p>5. (ULBRA) Durante o mês de agosto, do ano em curso, o planeta Marte ocupou a posição mais próxima do Sol (periélio), que, conjugada ao seu alinhamento com a Terra, permitiu ser visto em tamanho maior do que o observado normalmente. Quanto à velocidade desenvolvida pelo planeta Marte, nesta posição, podemos afirmar:</p>

a) é igual a do ponto mais afastado da órbita (afélio);
b) é maior do que a sua velocidade no ponto mais afastado da órbita;
c) é igual à velocidade apresentada em qualquer ponto orbital;
d) é igual à velocidade que a Terra apresenta quando se encontra no periélio;
e) é igual à velocidade orbital dos outros planetas.

6. (UCS) Os satélites de comunicação são colocados em órbita de modo a acompanhar, a cada dia, o movimento de rotação da Terra. O período de rotação desses satélites é, portanto, igual ao da Terra. Dessa forma, eles permanecem estacionários em relação ao solo terrestre. Para que um satélite de comunicação se mantenha em órbita num movimento circular uniforme,

a) deverão existir duas forças atuando nele, uma em sentido oposto ao da outra.
b) o vetor velocidade deverá ser constante.
c) a intensidade do vetor velocidade deverá ser constante, porém a direção deverá ser variável.
d) deverá existir uma força atuando nele, tangencial à sua órbita.
e) não será necessária a existência de uma força atuando nele.

7. (UERGS) A força gravitacional entre dois corpos é de $4,0 \times 10^{-10}$ N. Duplicando-se a distância entre esses corpos, a força gravitacional passará para

- a) $1,0 \times 10^{-10}$ N.
- b) $2,0 \times 10^{-10}$ N.
- c) $2,0 \times 10^{-20}$ N.
- d) $4,0 \times 10^{-20}$ N.
- e) $4,0 \times 10^{-40}$ N.

8. (Unisinos) Durante o primeiro semestre deste ano, foi possível observar o planeta Vênus bem brilhante, ao anoitecer. Sabe-se que Vênus está mais próximo do Sol que a Terra. Comparados com a Terra, o período de revolução de Vênus em torno do Sol é e sua velocidade orbital é As lacunas são corretamente preenchidas, respectivamente, por:

- a) menor; menor.
- b) menor; igual.
- c) maior; menor.
- d) maior; maior.
- e) menor; maior.

9. (UPF) A 1600 km da superfície terrestre, cujo raio é de 6400 km, um satélite artificial descreve uma revolução a cada 2 h. Pode-se afirmar

que a velocidade do satélite, em km/h, será, aproximadamente, de:

- a) $6,4 \cdot 10^3$
- b) $9,8 \cdot 10^3$
- c) $12 \cdot 10^3$
- d) $15 \cdot 10^3$
- e) $25 \cdot 10^3$

10. (UFRGS) O módulo da força de atração gravitacional entre duas pequenas esferas de massa m , iguais, cujos centros estão separados por uma distância d , é F . Substituindo-se uma das esferas por outra de massa $2m$ e reduzindo-se a separação entre os centros das esferas para $d/2$, resulta uma força gravitacional de módulo:

- a) F
- b) $2 F$
- c) $4 F$
- d) $8 F$
- e) $16 F$

11. (UFRGS) Um planeta imaginário, Terra Mirim, tem a metade da massa da Terra e move-se em torno do Sol em uma órbita igual à da Terra. A intensidade da força gravitacional entre o Sol e Terra Mirim é, em comparação à intensidade dessa força entre o Sol e a Terra,

- a) o quádruplo.
- b) o dobro.
- c) a metade.
- d) um quarto.
- e) a mesma.

12. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas nas afirmações abaixo, na ordem em que elas aparecem.

- descreveu movimentos acelerados sobre um plano inclinado e estudou os efeitos da gravidade terrestre local sobre tais movimentos.

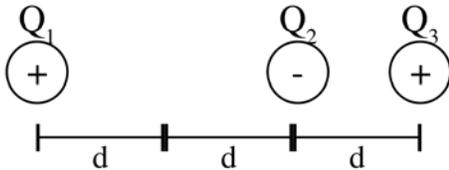
-, usando dados coletados por Tycho Brahe, elaborou enunciados concisos para descrever os movimentos dos planetas em suas órbitas em torno do Sol.

- propôs uma teoria que explica o movimento dos corpos celestes, segundo a qual a gravidade terrestre atinge a Lua, assim como a gravidade solar se estende à Terra e aos demais planetas.

- a) Newton - Kepler - Galileu
- b) Galileu - Kepler - Newton
- c) Galileu - Newton - Kepler
- d) Kepler - Newton - Galileu
- e) Kepler - Galileu - Newton

13. (UNISC) As três cargas da figura são fixas e têm o mesmo valor. A direção e o sentido da força de

interação coulombiana resultante que atua em cada uma são melhor representados por



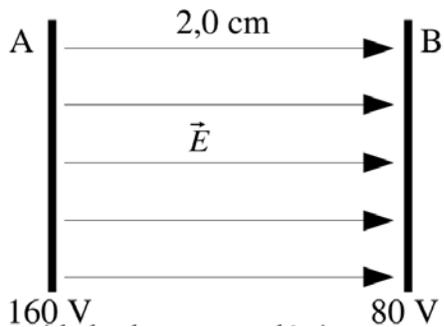
- a) 1 ← 2 ← 3 ←
- b) 1 → 2 → 3 →
- c) 1 ← 2 ← 3 →
- d) 1 → 2 → 3 ←
- e) 1 ← 2 ↑ 3 →

14. (UFRGS) Entre 1909 e 1916, o físico norteamericano Robert Millikan (1868-1953) realizou inúmeras repetições de seu famoso experimento da “gota de óleo”, a fim de determinar o valor da carga do elétron. O experimento, levado a efeito no interior de uma câmara a vácuo, consiste em contrabalançar o peso de uma gotícula eletrizada de óleo pela aplicação de um campo elétrico uniforme, de modo que a gotícula se movimenta com velocidade constante. O valor obtido por Millikan para a carga eletrônica foi de aproximadamente $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$. Suponha que, numa repetição desse experimento, uma determinada gotícula de óleo tenha um excesso de cinco elétrons, e que seu peso seja de $4,0 \times 10^{-15} \text{ N}$. Nessas

circunstâncias, para que a referida gotícula se movimenta com velocidade constante, a intensidade do campo elétrico aplicado deve ser de aproximadamente

- a) $5,0 \times 10^2 \text{ V/m}$.
- b) $2,5 \times 10^3 \text{ V/m}$.
- c) $5,0 \times 10^3 \text{ V/m}$.
- d) $2,5 \times 10^4 \text{ V/m}$.
- e) $5,0 \times 10^4 \text{ V/m}$.

15. (PUCRS) Na figura abaixo estão representadas as linhas de força de um campo elétrico \vec{E} . As placas paralelas A e B, de potenciais indicados, estão distanciadas de 2,0 cm.



A intensidade do campo elétrico entre as placas é de:

- a) $2,0 \times 10^2 \text{ V/m}$
- b) $4,0 \times 10^2 \text{ V/m}$
- c) $4,0 \times 10^3 \text{ V/m}$
- d) $2,0 \times 10^4 \text{ V/m}$
- e) $4,0 \times 10^4 \text{ V/m}$

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>16. (UEM) Levando em conta as propriedades de condutores e isolantes, assinale o que for correto.</p> <p>01. Um isolante pode ser carregado tanto por indução quanto por atrito.</p> <p>02. Um condutor só pode ser carregado por indução.</p> <p>04. O campo elétrico dentro de um condutor isolado e carregado é sempre nulo.</p> <p>08. O potencial elétrico dentro de um condutor isolado e carregado é sempre nulo.</p> <p>16. Um isolante poderá tornar-se condutor.</p> <p>32. Estando descalços sobre a Terra, não conseguimos eletrizar uma barra metálica segurando-a com as mãos porque tanto a barra metálica quanto o corpo humano são bons condutores.</p> <p>Dê como resposta a soma dos números associados às afirmações corretas.</p> <p>17. (UFMS) Considere duas esferas carregadas, ambas em equilíbrio eletrostático. As esferas possuem raios r e R, com $r < R$, e cargas iguais. Inicialmente isoladas, as esferas são conectadas por um fio condutor de resistência nula. É correto afirmar que:</p> | <p>01. Antes de serem conectadas, o potencial elétrico criado pelas duas esferas a uma distância d dos respectivos centros ($d > r$ e $d > R$) é o mesmo.</p> <p>02. Antes de serem conectadas, todas as cargas livres se encontram na superfície das esferas.</p> <p>04. Antes de serem conectadas, o potencial na superfície das duas esferas é o mesmo.</p> <p>08. Após serem conectadas, haverá fluxo de carga da esfera de raio R em direção à esfera de raio r.</p> <p>16. Não haverá fluxo de carga entre as duas esferas após elas terem sido conectadas.</p> <p>Dê como resposta a soma dos números associados às afirmações corretas.</p> <p>18. (UEM) Uma esfera metálica de raio R, isolada, está carregada com uma carga elétrica Q. Seja r a distância do centro da esfera a qualquer ponto dentro ($r < R$) ou fora ($r > R$) da esfera. Nessas condições, assinale o que for correto.</p> <p>01. A carga elétrica se distribui uniformemente em toda a massa da esfera.</p> <p>02. O campo elétrico e o potencial elétrico são constantes no interior da esfera.</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

04. Para $r > R$, o campo elétrico é inversamente proporcional ao quadrado da distância e tem direção perpendicular à superfície da esfera.

08. As equipotenciais associadas ao campo elétrico da esfera, para $r > R$, são superfícies esféricas concêntricas com a esfera e igualmente espaçadas.

16. O potencial elétrico é uma grandeza escalar, enquanto o campo elétrico é uma grandeza vetorial.

Dê como resposta a soma dos números associados às afirmações corretas.

19. (IPA) Quando uma corrente elétrica passa por um resistor, os elétrons perdem uma parte de sua energia. Quando esta energia é convertida em calor, dizemos que houve:

- a) Efeito Joule.
- b) Efeito Doppler.
- c) Efeito Bernoulli.
- d) Efeito estufa.
- e) Conversão fotoelétrica.

20. (PUCMG) Em um relâmpago, a carga elétrica envolvida na descarga atmosférica é da ordem de 10 coulombs. Se o relâmpago dura cerca de 10^{-3} segundos, a corrente elétrica média, vale em ampères:

- a) 10.
- b) 100.
- c) 1000.
- d) 10000.

21. (FMTM-MG) Através de dois eletrodos de cobre, mergulhados em sulfato de cobre e ligados por um fio exterior, faz-se passar uma corrente de 4,0 A durante 30 minutos. Os íons de cobre, duplamente carregados da solução, Cu^{2+} , vão sendo neutralizados em um dos eletrodos pelos elétrons que chegam, depositando-se cobre ($\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}^0$). Nesse intervalo de tempo, o número de elétrons transportados é igual a:

- a) $1,6 \times 10^{19}$.
- b) $3,2 \times 10^{19}$.
- c) $4,5 \times 10^{22}$.
- d) $7,6 \times 10^{22}$.
- e) $9,0 \times 10^{22}$.

22. (PUCRJ) Considere os seguintes materiais elétricos:

I. Lâmpada incandescente, com filamento de tungstênio;

II. Fio de cobre encapado com borracha;

III. Bocal (receptáculo) de cerâmica para lâmpadas incandescentes;

IV. Solda elétrica de estanho.

Qual das afirmações abaixo é correta?

- a) O tungstênio e o cobre são condutores e o estanho é isolante.
 b) A cerâmica e o estanho são isolantes e o tungstênio é condutor.
 c) A cerâmica e o estanho são condutores e a borracha é isolante.
 d) O cobre e o tungstênio são condutores e a cerâmica é isolante.
 e) O cobre é condutor e o tungstênio e a borracha são isolantes.

23. (UFRGS) A potência dissipada em 20 cm de um fio condutor é de 80 W quando seus extremos estão conectados a uma bateria ideal de 12 V. Qual a potência dissipada em 50 cm desse mesmo fio quando ligado nessa bateria?

- a) 16 W
 b) 32 W
 c) 40 W
 d) 200 W
 e) 400 W

24. (UFRGS) Um chuveiro elétrico, ligado em 120 V, é percorrido por uma corrente de 10 A durante 10 min. Quantas horas levaria uma lâmpada de 40 W, ligada nessa rede, para consumir a mesma energia elétrica que foi consumida pelo chuveiro?

- a) 1
 b) 2
 c) 3
 d) 4
 e) 5

25. (UFRGS) Coloque os termos que suprem as omissões nas frases seguintes:

- I. Corrente elétrica é o resultado do movimento ordenado de de um lugar para outro;
 II. Quanto maior o comprimento de um resistor, tanto a sua resistência elétrica;
 III. De acordo com a 1ª Lei de Ohm, a corrente elétrica que flui em um resistor é diretamente proporcional à aplicada e inversamente proporcional à do resistor.

26. (UFRGS) Quantos quilowatts-hora de energia elétrica consome uma lâmpada de 60W quando ela é ligada 3,0h por dia durante 30 dias?

27. (ULBRA) Em determinado laboratório, um estudante dispõe de duas lâmpadas, uma de 60 W e outra de 100 W, ambas especificadas para funcionarem sob ddp de 110 V. O estudante realiza medidas para determinar

a **resistência e a intensidade da corrente elétrica**, em cada uma delas, isoladamente. Concluídas as medidas, verifica que os valores encontrados são

- a) iguais nas duas lâmpadas;
- b) maiores na lâmpada de 60 W;
- c) maiores na lâmpada de 100 W;
- d) a resistência é maior na lâmpada de 100 W e a corrente menor na de 60 W;
- e) a resistência é maior na lâmpada de 60 W e a corrente maior na de 100 W.

28. (ULBRA) Um aquecedor elétrico de potência nominal 1.500 W, uma torradeira de 750 W e uma grelha elétrica de 1.000 W estão corretamente ligados num mesmo circuito de 120 V. Neste caso, a corrente elétrica total que passa no circuito é, aproximadamente, igual a:

- a) 15 A
- b) 18 A
- c) 20 A
- d) 27 A
- e) 30 A

29. (UFCSPA) Uma sala com equipamentos hospitalares deve ser mantida em determinada temperatura e, para isso, foi solicitada

a instalação de um condicionador de ar com potência de 10.000 Btu/h. Sabendo-se que 1 Btu corresponde a 1.055 J, a potência desse aparelho é de, aproximadamente,

- a) 1,8 kW.
- b) 2,9 kW.
- c) 6,8 kW.
- d) 9,5 kW.
- e) 10,6 kW.

30. (UNISINOS) Num escritório são instaladas 10 lâmpadas de 100 W, que funcionarão, em média, 5 horas por dia. A final do mês, à razão de R\$ 0,12 por kWh, o valor da conta será:

- a) R\$ 28,00
- b) R\$ 25,00
- c) R\$ 18,00
- d) R\$ 8,00
- e) n. d. a

31. (UFSC) A potência de um aparelho elétrico que consome a energia de 2,5 kWh em 10 min é:

- a) 15 kW
- b) 0,41 kW
- c) 25 kW
- d) 15 kW
- e) 25 kW

32. (PUCRS) Um chuveiro elétrico tem 3.200 watts e uma lâmpada tem 100 watts de potência. A energia gasta pelo chuveiro durante 15 minutos é igual à energia gasta pela lâmpada durante:

- a) 1 hora
- b) 2 horas
- c) 4 horas
- d) 8 horas
- e) 16 horas

33. (UCS) Um ferro de passar de 220V – 1.200W funcionando durante 1 hora, consome a energia equivalente à de uma lâmpada de 220V – 75W, ligada durante:

- a) 2,9 h
- b) 5 h
- c) 7,9 h
- d) 12 h
- e) 16 h

34. (PUCRS) A iluminação domiciliar à partir da eletricidade é feita com lâmpadas incandescentes ou fluorescentes. A maior vantagem da lâmpada fluorescente está no fato de:

- a) ter maior rendimento ao converter energia elétrica em luminosa.
- b) funcionar em corrente contínua ou alternada.

c) funcionar somente em corrente alternada.

d) prejudicar menos a saúde das pessoas.

e) emitir pouca radiação ultravioleta e muita infravermelha.

35. (UNISC) O consumo de energia elétrica em uma residência é medido em kWh, que é igual a $3,6 \times 10^6$ J. Num certo dia, o consumo total de energia elétrica em uma casa foi de 6 kWh. Sabendo que, nesse dia, o chuveiro elétrico operou, durante 10 minutos, na potência de 3600W, qual foi a contribuição percentual do consumo do chuveiro em relação ao consumo total?

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

36. (UNISC) Uma lâmpada de 60 W fica ligada três horas por dia durante 30 dias, consumindo 5,4 quilowatts-hora. Considerando os atuais tempos de racionamento de energia, se essa lâmpada fosse substituída por uma de 40W, quantos quilowatts-hora seriam poupados nessa substituição? (considere o mesmo período de uso)

- a) 1,5 kWh;
- b) 1,8 kWh;
- c) 3,6 kWh;
- d) 2,2 kWh;
- e) 1,2 kWh.

37. (Ritter) Quantos quilowatts-hora de energia térmica consome um chuveiro elétrico de 5400 watts, quando é ligado uma hora por dia, durante 30 dias?

- a) 27.
- b) 81.
- c) 162.
- d) 810.
- e) 1620.

38. (UFRGS) O watt-hora é uma unidade de

- a) trabalho.
- b) potência.
- c) força.
- d) potência por unidade de tempo.
- e) força por unidade de tempo.

39. (La Salle) Um forno de microondas é ligado por um minuto para aquecer um copo de água. Um aluno do curso de física quer conferir a potência elétrica utilizada pelo forno durante o processo. Para isto conecta um voltímetro

(em paralelo) e um amperímetro (em série) ao microondas e o liga. O aluno verifica que o voltímetro registra 220 volts e o amperímetro 5 ampères. Qual é a potência de consumo do microondas obtida neste caso?

- a) 220 watts.
- b) 440 watts.
- c) 880 watts.
- d) 1100 watts.
- e) 1320 watts.

40. (LaSalle) Para evitar os APAGÕES em nosso país as autoridades envolvidas na distribuição de energia elétrica estão pedindo para a população economizar energia. As quatro situações abaixo, quando ordenadas decrescentemente quanto à utilização de energia em kWh, resultam na ordem descrita na alternativa:

I - Um chuveiro de potência 2400 W que é utilizado quatro horas numa semana.

II - Uma lâmpada de 100 W esquecida ligada por 5 dias inteiros numa semana.

III - Um ventilador de 60 W que nunca é desligado numa semana.

IV - Um aquecedor de ar de 1200 W que fica ligado duas horas por dia durante uma semana.

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

41. (La Salle) Sabe-se que é importante usar racionalmente a energia elétrica e a água no nosso dia a dia. Um aparelho elétrico que utiliza muita energia em nossas residências é o chuveiro elétrico. Portanto, recomendam-se banhos mais rápidos, pois economizam água e energia elétrica.

Quantos kWh de energia elétrica consome, em um mês (30 dias), um chuveiro elétrico de 4.000 W, usado 40 minutos por dia?

- a) 4000
- b) 50
- c) 4
- d) 120
- e) 80

42. (UFPEL) Grande parte dos aparelhos elétricos que usamos têm a função de produzir movimento, a partir da eletricidade. Entre eles, estão: batedeira, liquidificador, ventilador, aspirador de pó... além de inúmeros brinquedos movidos à pilha, como robôs, carrinhos... Outros são igualmente utilizados para o conforto

humano, como os aquecedores de ambiente e de água. O alto consumo da energia elétrica, porém, aliada à pouca quantidade de chuvas, levou algumas regiões do país, em 2001, ao famoso “acionamento de energia”, que trouxe, como lição, a indispensabilidade do consumo racional e consciente da energia elétrica. (GREF, Eletricidade. Vol 3. [adapt.])

Um aquecedor elétrico é construído para funcionar em 220 V e fornecer uma potência de 4400 W. Se o comprimento da resistência elétrica for reduzido à metade, com relação à potência fornecida pelo aquecedor, considerando a corrente elétrica que nele circulará, é correto afirmar que

- a) a potência diminui e a corrente aumenta.
- b) tanto a potência quanto a corrente aumentam.
- c) tanto a potência quanto a corrente diminuem.
- d) a corrente aumenta, e a potência permanece a mesma.
- e) a corrente diminui, e a potência aumenta.
- f) I.R.

43. (PUCRS) Um chuveiro dissipa 4000 J de energia elétrica em 1,0 s. Assim, num banho de 30 min, o

consumo de energia elétrica em quilowatts-hora é

- a) 4,0kWh
- b) 3,5kWh
- c) 3,0kWh
- d) 2,5kWh
- e) 2,0kWh

44. (UFRGS) O rótulo de uma lâmpada contém a seguinte inscrição: “120 V, 60 W”. Quando submetida à tensão indicada de 120 V, a resistência elétrica dessa lâmpada é

- a) 2 Ω
- b) 60 Ω
- c) 120 Ω
- d) 240 Ω
- e) 7200 Ω

45. (IPA) Das cinco lâmpadas, cujas características nominais são mostradas no quadro abaixo, qual delas consumirá mais energia, quando todas ficarem ligadas durante o mesmo intervalo de tempo?

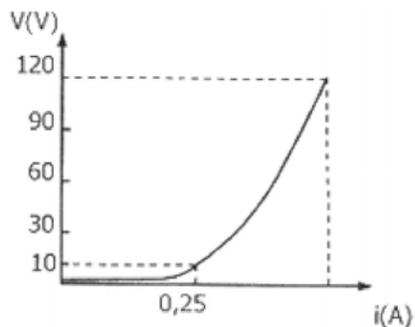
Lâmpada	ddp (volts)	P (Watts)
I	110	60
II	115	150
III	127	60
IV	150	40
V	220	100

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

46. (UFRGS) O rótulo de um chuveiro elétrico indica 4500 W e 127 V. Isso significa que, ligado a uma rede elétrica de 127 V, o chuveiro consome

- a) 4500 joules por segundo.
- b) 4500 joules por hora.
- c) 571500 joules por segundo
- d) 4500 calorias por segundo.
- e) 4500 calorias por hora.

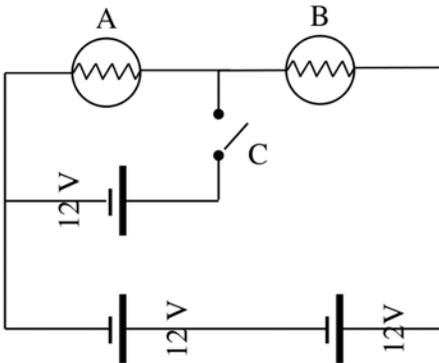
47. (UFRGS) O gráfico abaixo mostra a curva volt-ampère de uma lâmpada incandescente comum. A lâmpada consiste basicamente de um filamento de tungstênio que, dentro de um bulbo de vidro, está imerso em um gás inerte. A lâmpada dissipa 60 W de potência, quando opera sob tensão nominal de 120 V.



Com base no gráfico e nas características da lâmpada, é correto afirmar que

- a) a resistência elétrica do filamento, no intervalo de tensão mostrado pelo gráfico, é constante e igual a 40Ω .
- b) a potência dissipada pela lâmpada, quando submetida a uma tensão de 10 V , é de 5 W .
- c) a resistência elétrica do filamento, quando a lâmpada opera na tensão de 120 V , é seis vezes maior do que quando ela está submetida à tensão de apenas 10 V .
- d) a corrente elétrica na lâmpada, quando ela está submetida à tensão de 120 V , é de 1 A .
- e) a resistência elétrica do filamento, quando a lâmpada opera na tensão de 120 V , é de 300Ω .

48. (UFRGS) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que aparecem. No circuito esquematizado na figura que segue, as lâmpadas A e B são iguais e as fontes de tensão são ideais.



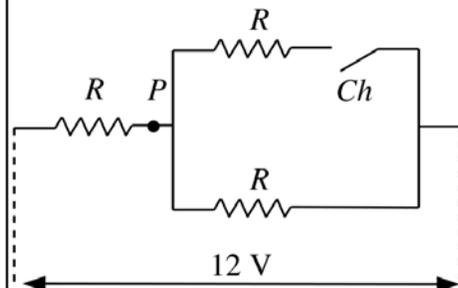
Quando a chave C é fechada, o brilho da lâmpada A e o brilho da lâmpada B

- a) aumenta - diminui
 b) aumenta - não se altera
 c) diminui - aumenta
 d) não se altera - diminui
 e) não se altera - não se altera

49. (UFRGS) Dispõe-se de três resistores, um de 10Ω , um de 20Ω e um de 30Ω . Ligando esses resistores em paralelo e aplicando uma diferença de potencial de 12 V aos extremos dessa associação, qual a corrente elétrica total que percorre o circuito?

- a) $0,2 \text{ A}$
 b) $0,4 \text{ A}$
 c) $2,2 \text{ A}$
 d) $2,5 \text{ A}$
 e) $5,0 \text{ A}$

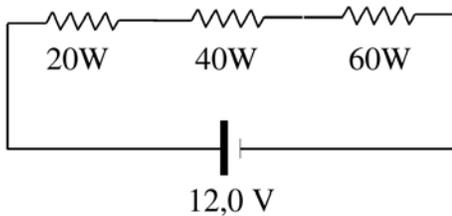
50. (ULBRA) No circuito elétrico abaixo, todos os resistores R são iguais e, com a chave Ch aberta,



passa no ponto P uma corrente elétrica i . Com a chave Ch fechada, a corrente elétrica no ponto P é igual a:

- a) $3 i$
- b) $2 i$
- c) $4 i/3$
- d) i
- e) $i/2$

51. (PUCRS) A figura representa três resistências elétricas ligadas em série, que dissipam as potências de 20 W, 40 W e 60 W, respectivamente, quando a ddp aplicada nas extremidades da ligação é de 12,0 V.



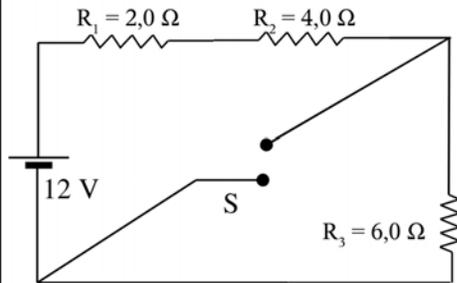
Partindo da resistência que dissipa a menor potência para a que dissipa a maior potência, a intensidade de corrente, em cada resistência, é:

- a) 2,0 A, 4,0 A e 6,0 A.
- b) 6,0 A, 4,0 A e 2,0 A.
- c) 6,0 A, 6,0 A e 6,0 A.
- d) 10,0 A, 10,0 A e 10,0 A.
- e) 12,0 A, 12,0 A e 12,0 A.

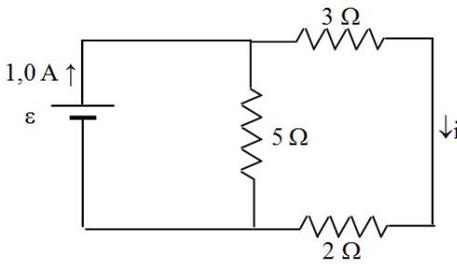
52. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão 52 com base na figura a seguir, que representa um circuito elétrico com gerador de corrente contínua.

As diferenças de potencial elétrico, em volts, em cada um dos resistores R_1 , R_2 e R_3 com a chave S aberta, e depois fechada, serão, respectivamente, de

- a) 2,0 ; 4,0 ; 6,0 e 2,0 ; 4,0 ; zero
- b) 2,0 ; 4,0 ; 6,0 e 4,0 ; 8,0 ; zero
- c) 2,0 ; 4,0 ; 6,0 e 6,0 ; 4,0 ; 2,0
- d) 6,0 ; 4,0 ; 2,0 e 4,0 ; 6,0 ; 2,0
- e) 6,0 ; 4,0 ; 2,0 e 8,0 ; 4,0 ; zero



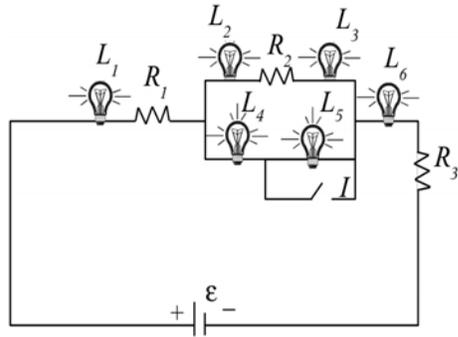
53. (UFRGS) No circuito elétrico representado na figura abaixo, a fonte de tensão é uma fonte ideal que está sendo percorrida por uma corrente elétrica contínua de 1,0 A.



Quanto valem, respectivamente, a força eletromotriz ε da fonte e a corrente elétrica i indicadas na figura?

- a) 2,0 V e 0,2 A.
- b) 2,0V e 0,5 A.
- c) 2,5 V e 0,3 A.
- d) 2,5 V e 0,5 A.
- e) 10,0 V e 0,2 A.

54. (UFSC) No circuito mostrado, todas as lâmpadas são iguais. R_1 , R_2 e R_3 são três resistores. A bateria representada tem resistência elétrica desprezível. Suponha que o interruptor I esteja aberto.



Sabendo que o brilho de uma lâmpada depende da intensidade da corrente elétrica que passa por ela, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

- 01. Ao fechar o interruptor I , o brilho de L_4 não permanece o mesmo.
- 02. L_2 e L_3 têm o mesmo brilho.
- 04. L_1 tem o mesmo brilho de L_6 .
- 08. L_1 brilha mais do que L_2 e esta, mais do que L_3 .

55. (UFSC) Para que os alunos observassem a conservação da corrente elétrica em um circuito elementar, o professor solicitou aos seus alunos que montassem o circuito abaixo (Fig. 1), onde L_1 , L_2 , L_3 e L_4 são lâmpadas incandescentes comuns de lanterna – todas iguais –, e P_1 e P_2 são pilhas de 1,5 V. Ao fechar o circuito (Fig. 2), os alunos observaram que somente as lâmpadas L_1 e L_4 brilhavam acesas e que as lâmpadas L_2 e L_3 não emitiam luz.

Fig. 1

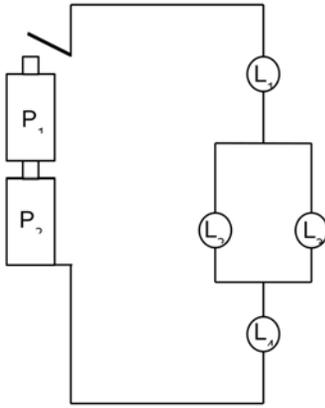
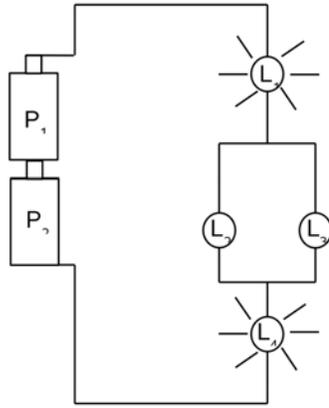


Fig. 2



Assinale a(s) proposiçã(o)es **CORRETA(S)**.

01. As lâmpadas L_2 e L_3 estão submetidas a uma diferença de potencial menor do que as lâmpadas L_1 e L_4 .

02. A corrente elétrica que passa através da lâmpada L_2 tem a mesma intensidade da corrente que passa através da lâmpada L_3 .

04. As lâmpadas L_2 e L_3 não emitem luz porque estão submetidas a uma diferença de potencial maior do que as lâmpadas L_1 e L_4 .

08. A única causa possível para as lâmpadas L_2 e L_3 não emitirem luz é porque seus filamentos estão queimados, interrompendo a passagem da corrente elétrica.

16. As lâmpadas L_2 e L_3 não emitem luz porque a corrente elétrica não passa por elas.

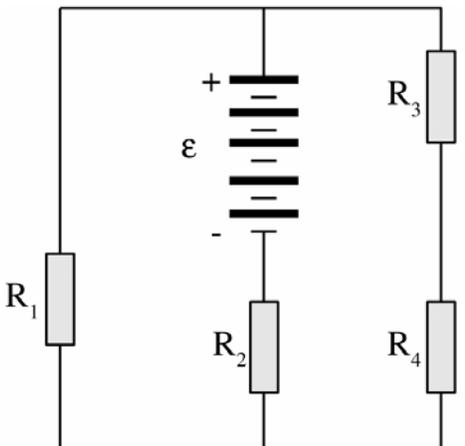
32. Uma causa possível para as lâmpadas L_2 e L_3 não apresentarem brilho é porque as correntes elétricas que passam por elas não têm intensidade suficiente para aquecer seus filamentos a ponto de emitirem luz.

64. A intensidade da corrente elétrica que passa através das lâmpadas L_1 e L_4 é igual ao dobro da intensidade da corrente elétrica que passa através das lâmpadas L_2 e L_3 .

56. A força eletromotriz de uma bateria é:

- a) a “força” elétrica que acelera os elétrons.
- b) igual à tensão elétrica entre os polos da bateria quando a eles está ligado um resistor de resistência elétrica igual à resistência interna da bateria.
- c) a força dos motores elétricos ligados à bateria.
- d) igual à tensão elétrica entre os bornes da bateria enquanto eles estão em aberto.
- e) igual ao produto da resistência interna pela corrente elétrica.

57. (La Salle) No circuito representado a seguir o gerador de força eletromotriz $\varepsilon = 15,0 \text{ V}$ é ideal e os valores das resistências elétricas dos resistores são $R_1 = 120 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 20 \Omega$, e $R_4 = 40 \Omega$.



Com relação a este circuito afirma-se que:

I - A resistência elétrica do circuito é igual a $50,0 \Omega$.

II - A intensidade da corrente elétrica que percorre o resistor de 120Ω é menor do que aquela no resistor de 40Ω .

III - A potência elétrica dissipada no circuito é igual a $2,0 \text{ W}$.

IV - A ddp aplicada em R_2 é igual a 15 V .

Podemos concluir que as afirmações verdadeiras são, apenas,

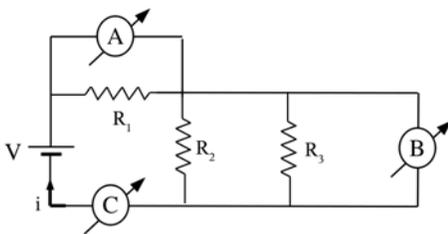
- a) I, II e III.
- b) I, II e IV.
- c) I, III e IV.
- d) II, III e IV.
- e) I e II.

58. (La Salle) Atualmente, utilizam-se disjuntores (dispositivos que desligam caso a corrente elétrica ultrapasse um certo valor predeterminado) nas instalações elétricas. Numa certa residência, em uma rede elétrica de 110 V , deseja-se instalar uma potência total de 9.900 W em aparelhos elétricos que possam ser utilizados ao mesmo tempo. Para isto, é necessário instalar um disjuntor (e uma rede elétrica) que suporte uma corrente de:

- a) 90 A.
- b) 60 A.
- c) 45 A.
- d) 30 A.
- e) 20 A.

59. (La Salle) No circuito da figura a seguir,

- $V = 3 \text{ volts}$
- $R_1 = 2 \Omega$
- $R_2 = 5 \Omega$
- $R_3 = 20 \Omega$

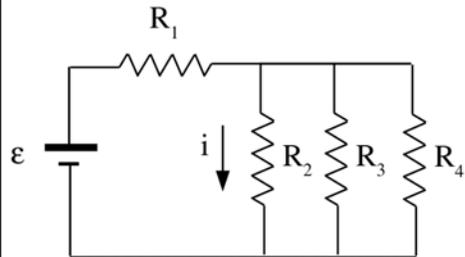


os elementos A, B, C e a corrente i indicada são, respectivamente,

- a) amperímetro, amperímetro, voltmímetro e 1 A.
- b) amperímetro, amperímetro, voltmímetro e 0,5 A.
- c) voltmímetro, voltmímetro, amperímetro e 1,5 A.
- d) voltmímetro, voltmímetro, amperímetro e 1,0 A.
- e) voltmímetro, voltmímetro, amperímetro e 0,5 A.

60. (UFRGS) No circuito abaixo, todos os resistores têm resistências

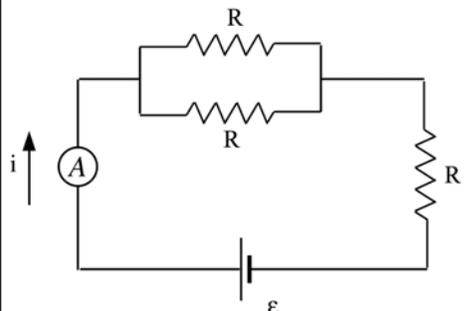
idênticas, de valor 10Ω . A corrente elétrica i , através de R_2 , é de 500 mA. A fonte, os fios e os resistores são todos ideais.



Selecione a alternativa que indica o valor correto da diferença de potencial a que está submetido o resistor R_1 .

- a) 5 V
- b) 7,5 V
- c) 10 V
- d) 15 V
- e) 20 V

61. (UFRGS) No circuito da figura abaixo, o amperímetro A registra uma corrente $i = 0,2 \text{ A}$. Cada um dos três resistores representados na figura tem resistência $R = 40 \Omega$.

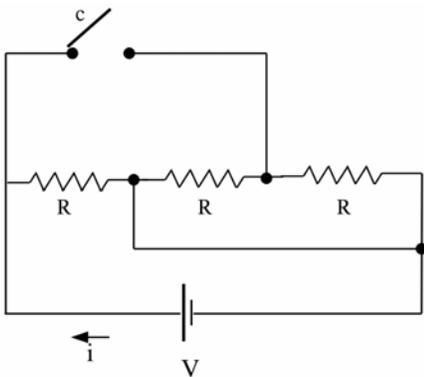


Qual é a potência dissipada pelo par de resistores associados em paralelo?

- a) 0,8 W
- b) 1,6 W
- c) 3,2 W
- d) 8,0 W
- e) 16,0 W

(UFRGS) Instrução: As questões 62 e 63 referem-se ao enunciado que segue.

A figura abaixo representa um circuito elétrico com três resistores idênticos, de resistência R , ligados a uma fonte ideal de força eletromotriz V .



(Considere desprezível a resistência elétrica dos fios de ligação.)

62. Quanto vale a corrente elétrica i , indicada no circuito, quando a chave C está aberta?

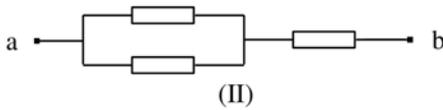
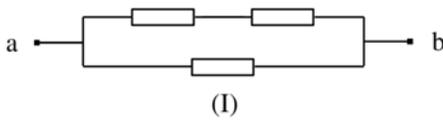
- a) $V/(3R)$.
- b) $V/(2R)$.
- c) V/R .
- d) $2V/R$.
- e) $3V/R$.

63. Quanto vale a corrente elétrica i , indicada no circuito, quando a chave C está fechada?

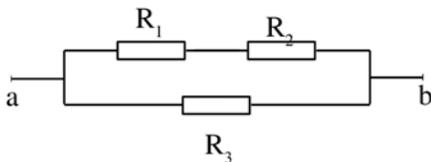
- a) $V/(3R)$.
- b) $V/(2R)$.
- c) V/R .
- d) $2V/R$.
- e) $3V/R$.

64. (UNISC) Os dois circuitos elétricos (I) e (II) são formados cada um por três resistências elétricas. Todas as resistências R são iguais. O circuito (I), quando ligado a uma bateria de 4V, sua resistência equivalente é atravessada por uma corrente i_1 , e o circuito (II), quando ligado a uma bateria de 9V, sua resistência equivalente é atravessada por uma corrente i_2 . Afirma-se que a razão entre as correntes i_1 e i_2 , ou seja, i_1/i_2 é igual a

- a) 1.
- b) 2,5.
- c) 4.
- d) 6,5.
- e) 9.



65. (UNISC) A resistência equivalente entre os pontos a e b do circuito elétrico da figura vale $R_{eq} = 10 \Omega$. Sabendo que $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 20 \Omega$, podemos concluir que R_1 vale



- a) 1Ω .
- b) 5Ω .
- c) 10Ω .
- d) 20Ω .
- e) 30Ω .

66. (UCS) Numa residência, cuja rede tem voltagem de 220 V , estão ligados simultaneamente um computador, uma geladeira e uma lâmpada. O computador tem uma resistência interna de 2.000Ω e por ele passa uma corrente de $0,11 \text{ A}$. A geladeira tem uma resistência interna de 2.500Ω e por ela passa uma corrente de $0,088 \text{ A}$. E, finalmente, a lâmpada tem uma resistência de 400Ω e por ela

passa uma corrente de $0,55 \text{ A}$. Com base nesses dados, constata-se que

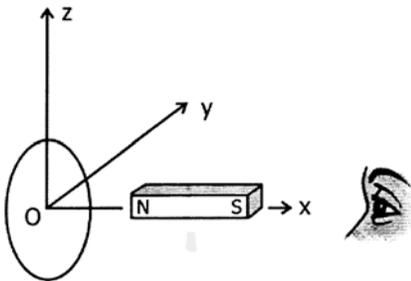
- a) o computador e a geladeira estão ligados em série entre si e em paralelo com a lâmpada.
- b) o computador, a geladeira e a lâmpada estão ligados, em série, à rede.
- c) a lâmpada e o computador estão ligados em série entre si e em paralelo com a geladeira.
- d) o computador, a geladeira e a lâmpada estão ligados, em paralelo, à rede.
- e) a geladeira e a lâmpada estão ligados em série entre si e em paralelo com o computador.

67. (UPF) Para construir um circuito elétrico têm-se três resistências elétricas de 10Ω , 15Ω e 20Ω , respectivamente. Quando se aplica uma diferença de potencial de 220 volts em cada uma das situações abaixo, consome mais potência a da alternativa

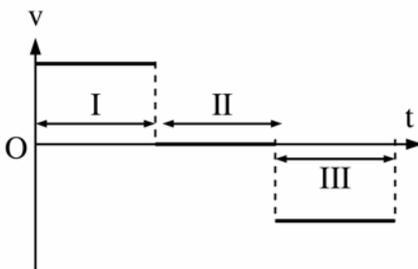
- a) circuito com a resistências de 15Ω .
- b) circuito com a resistências de 20Ω .
- c) circuito com as resistências de 10 e 15Ω em série.
- d) circuito com as resistências de 15 e 20Ω em série.
- e) circuito com as resistências de 15 e 20Ω em paralelo.

68. (UFRGS) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que aparecem.

A figura que segue representa um anel condutor, em repouso, sobre o plano yz de um sistema de coordenadas, com seu centro coincidindo com a origem O do sistema, e um ímã em forma de barra que é movimentado sobre o eixo dos x, entre o anel e o observador.



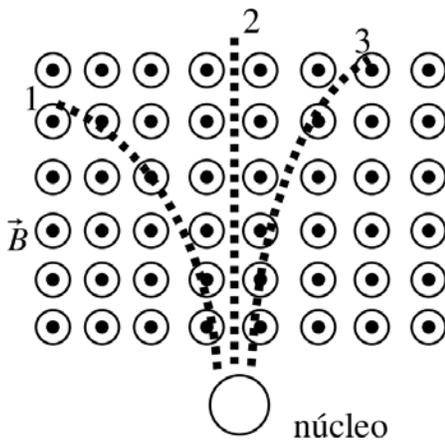
O gráfico a seguir representa a velocidade v desse ímã em função do tempo t , em três intervalos consecutivos, designados por I, II e III. (Nesse gráfico, $v > 0$ significa movimento no sentido $+x$ e $v < 0$ significa movimento no sentido de $-x$.)



Com base nas informações apresentadas acima, é correto afirmar que, durante o intervalo , o campo magnético induzido em O tem o sentido e a corrente elétrica induzida no anel tem, para o observador, o sentido

- a) I - $-x$ -horário
- b) I - $+x$ -anti-horário
- c) II - $-x$ -anti-horário
- d) III - $+x$ -horário
- e) III - $-x$ -anti-horário

69. (UNISC) Um núcleo atômico, ao se desintegrar, pode emitir 3 tipos de radiações: radiação α (um grupo de partículas α e a energia associada a elas), radiação β (um grupo de partículas β e a energia associada a elas) e radiação γ (onda eletromagnética e sua energia). A partícula α é constituída de dois prótons e dois nêutrons, tendo carga total $+2e$ ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$). A partícula β constituída de um elétron, tendo carga total $-1e$. A radiação γ possui carga total nula. Se, em uma desintegração nuclear, essas três radiações fossem emitidas com as velocidades perpendiculares a um campo magnético (orientado perpendicularmente a página no sentido de baixo para cima, conforme a indicação da figura abaixo).



Neste caso, poderíamos afirmar que as trajetórias das radiações α , β e γ , respectivamente, são melhor representadas por

- a) 1, 2 e 3 .
- b) 1, 3 e 2 .
- c) 2, 1 e 3 .
- d) 2, 3 e 1 .
- e) 3, 1 e 2 .

70. (UPF) Assinale a afirmação que explica corretamente o fenômeno eletromagnético em questão:

- a) A corrente elétrica induzida é provocada quando uma carga elétrica corta as linhas de força de um campo magnético.
- b) Quando várias cargas elétricas percorrem um condutor com a mesma velocidade, não se produz ao redor delas o campo eletromagnético.

- c) Dois fios condutores que conduzem cargas elétricas no mesmo sentido se repelem.
- d) As linhas de força do campo magnético ao redor de um fio que conduz cargas elétricas são radiais.
- e) Só é possível induzir força eletromotriz quando existe um circuito fechado, imerso num campo magnético constante.

71. (UCPEL) Dadas as afirmativas:

- I. Um fio condutor percorrido por uma determinada corrente, ao ser colocado em um campo magnético uniforme, sempre sofre uma força magnética pela ação do campo.
 - II. Uma espira circular percorrida por uma corrente elétrica apresenta, no seu centro, um campo magnético ortogonal ao plano da espira.
 - III. Uma força eletromotriz induzida em um circuito surge apenas quando há variação temporal do campo magnético que o envolve.
- Concluimos que

- a) a I e a II estão corretas.
- b) a I e a III estão corretas.
- c) a II e a III estão corretas.
- d) apenas a II está correta.
- e) apenas a III está correta.

72. (UCS) Um cartão de crédito consiste de uma peça plástica na qual há uma faixa contendo milhões de minúsculos domínios magnéticos mantidos juntos por uma resina. Cada um desses domínios atua como se fosse um minúsculo ímã com sentido de polarização norte-sul bem definido. Um código contendo informações particulares de uma pessoa (como nome, número do cartão, data de validade do cartão) pode ser gravado na faixa através de um campo magnético externo que altera o sentido de polarização dos domínios em alguns locais selecionados. Quando o cartão desliza através de uma fenda de um caixa eletrônico ou equipamento similar, os domínios magnéticos passam por um cabeçote de leitura, e pulsos de voltagem e corrente são induzidos segundo o código contido na faixa. Esse processo de leitura do cartão por indução magnética tem seus fundamentos nas
- a) Lei de Coulomb e Lei de Lenz.
 b) Lei de Faraday e Lei de Lenz.
 c) Lei de Biot-Savart e Lei de Gauss.
 d) Lei de Faraday e Lei de Coulomb.
 e) Lei de Coulomb e Lei de Ampère.
73. (UCS) Se, de todo o espectro eletromagnético, selecionarmos apenas as radiações: ondas de TV, infravermelho, ultravioleta e raios X, é correto afirmar que
- a) a frequência do infravermelho é maior do que a dos raios X.
 b) a frequência das ondas de TV é maior do que a dos raios X.
 c) o comprimento de onda do infravermelho é igual ao do ultravioleta.
 d) o comprimento de onda do ultravioleta é menor do que o do infravermelho.
 e) o comprimento de onda dos raios X é maior do que o das ondas de TV.
74. (FURG) Praticamente toda a energia elétrica que consumimos é gerada pela utilização do fenômeno da indução eletromagnética. Este fenômeno consiste no aparecimento de uma força eletromotriz entre os extremos de um fio condutor submetido a um
- a) campo elétrico.
 b) campo eletromagnético constante.
 c) campo magnético variável.
 d) fluxo magnético constante.
 e) fluxo magnético variável.
75. (UCS) Muito tem se falado a respeito da busca de fontes alternativas de energia elétrica. Uma das mais fortes candidatas

é a energia eólica. Localidades brasileiras, como o litoral do Ceará, têm presenciado um aumento acentuado de fazendas com cata-ventos ligados a geradores de eletricidade. O litoral gaúcho também apresenta grande potencial eólico devido à intensidade e frequência de seus ventos. O fenômeno físico que garante a conversão da energia dos ventos em energia elétrica denomina-se

- a) capacitância elétrica.
- b) efeito Joule.
- c) criação de monopolo magnético.
- d) indução magnética.
- e) criação de carga elétrica.

76. (UCS) Entre as utilizações do magnetismo, uma das que mais influenciam nossa vida, sem dúvida, é o motor elétrico. Imagine quantos motores elétricos você liga e desliga todos os dias. Analise, quanto à veracidade (V) ou falsidade (F), as proposições abaixo sobre o funcionamento de um motor elétrico e as grandezas físicas envolvidas nesse funcionamento.

() O princípio básico de funcionamento dos motores elétricos é a existência de um torque aplicado a uma espira por onde passa uma corrente elétrica imersa em um campo magnético.

() O funcionamento do motor elétrico baseia-se no fato de que o torque de um campo magnético sobre uma espira não depende da orientação da espira em relação ao campo.

() Quando ligado à tomada, o motor de um eletrodoméstico transforma energia mecânica em elétrica.

Assinale a alternativa que preenche corretamente os parênteses, de cima para baixo.

- a) V – F – F
- b) F – V – F
- c) V – V – F
- d) F – V – V
- e) V – F – V

77. (UCS) Recentemente novos artefatos espaciais como o veículo explorador Opportunity da NASA pousaram no planeta Marte, possibilitando a execução de experiências em solo marciano e, principalmente, o envio de imagens para a Terra que não chegam instantaneamente devido ao tempo que a onda eletromagnética, viajando na velocidade da luz, leva para chegar de Marte à Terra. Essa transmissão de imagens só é possível, por que

- a) o campo elétrico, embora diminua de intensidade com o quadrado da distância, tem alcance infinito.

- b) a intensidade do campo magnético não depende da distância e sim do número de linhas de campo magnético entre a Terra e Marte.
- c) o campo magnético gera linhas que saem do polo sul e entram no polo norte da Terra.
- d) ao contrário do campo magnético, o campo elétrico atua em todas as partículas de uma antena, mesmo nas que não têm carga elétrica.
- e) o campo elétrico variando no tempo induz o campo magnético variando no espaço e vice-versa.
78. (UFSM) Para obter uma voltagem de 120V, um leigo em eletromagnetismo ligou aos terminais de uma bateria de 12V o primário de 400 espiras de um transformador cujo secundário tinha 4000 espiras. A voltagem desejada não apareceu no secundário, por que
- a) o número de espiras do secundário deveria ser 120.
- b) o número de espiras do primário deveria ser de 120 e do secundário, 12.
- c) os papéis do primário e do secundário foram trocados.
- d) a bateria não tem energia suficiente para a transformação.
- e) o transformador não funciona com corrente contínua.
79. (PUCRS) Um transformador apresenta no secundário o dobro de espiras do que no primário. Se tivermos no primário os valores eficazes para a tensão e corrente de 110V e 2,00A, respectivamente, é correto afirmar que, no secundário, os valores máximos possíveis para a tensão, corrente e potência serão, respectivamente,
- a) 110 V, 4,00 A e 440 W.
- b) 110 V, 2,00 A e 220 W.
- c) 220 V, 2,00 A e 440 W.
- d) 220 V, 1,00 A e 220 W.
- e) 220 V, 1,00 A e 440 W.
80. (PUCRS) Com relação a um transformador, é correto afirmar:
- a) As correntes no primário e no secundário são iguais.
- b) Se a tensão no secundário for menor que no primário, a corrente no secundário também o será.
- c) Se o secundário tiver mais espiras do que o primário, a potência elétrica no secundário será maior do que no primário.
- d) Para que a tensão no secundário seja maior do que no primário, o número de espiras no secundário deve ser maior do que no primário.
- e) Se o secundário tiver menos espiras do que o primário, a tensão e a corrente no secundário serão menores do que no primário.

81. (PUCRS) Num transformador de perdas de energia desprezíveis, os valores eficazes da corrente e da tensão, no primário, são respectivamente 2,00 A e 80,0 V, e no secundário, o valor eficaz da corrente é de 40,0 A. Portanto, o quociente entre o número de espiras no primário e o número de espiras no secundário, e a tensão no secundário são, respectivamente,

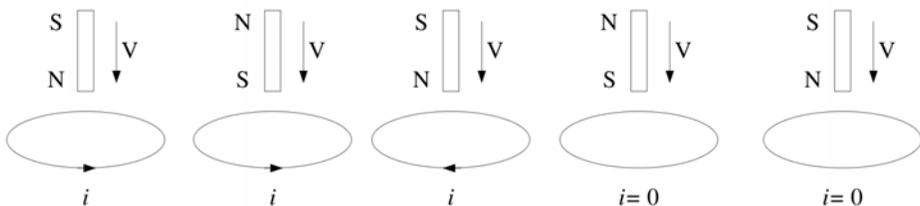
- a) 40 e 40,0 V
- b) 40 e 20,0 V
- c) 20 e 20,0 V
- d) 20 e 4,0 V
- e) 10 e 2,0 V

82. (UFRGS) Um aparelho de rádio portátil pode funcionar tanto ligado a um conjunto de pilhas que fornece uma diferença de potencial de 6 V quanto a uma tomada elétrica de 120 V e 60 Hz. Isso se deve ao fato de a diferença de potencial de 120 V ser aplicada ao primário de um transformador existente no aparelho, que reduz essa diferença de potencial para 6V.

Para esse transformador, pode-se afirmar que a razão N_1/N_2 , entre o número N_1 de espiras no primário e o número N_2 de espiras no secundário, é, aproximadamente,

- a) 1/20.
- b) 1/10.
- c) 1.
- d) 10.
- e) 20.

83. (IPA) Um ímã cilíndrico, com os polos norte (N) e sul (S) situados nas duas extremidades, cai de determinada altura, passando verticalmente, com uma velocidade de valor V , pelo centro do anel metálico. Conhecendo-se a lei de Lenz para o eletromagnetismo, pode-se afirmar que a figura que representa esta situação corretamente é a:



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

84. (PUCRS) Quando aproximamos um ímã em forma de barra perpendicularmente ao plano das espiras circulares de um solenoide, o valor absoluto da diferença de potencial induzida nas extremidades do fio que forma as espiras cresce com o aumento

- I. do número de espiras.
 - II. da variação no tempo do fluxo magnético na região das espiras.
 - III. da velocidade de aproximação.
 - IV. da condutividade elétrica do metal que constitui o fio.
- Estão corretas somente

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

85. (PUCRS) Um próton descreve movimento circunferencial uniforme sob a ação de um campo magnético uniforme.

Nessas condições,

- a) as linhas do campo magnético uniforme aplicado ao próton são paralelas ao plano do movimento.
- b) as linhas do campo magnético uniforme aplicado ao próton são perpendiculares ao plano do movimento.
- c) a força magnética sobre o próton é paralela à sua velocidade.

d) a força magnética sobre o próton é perpendicular à sua velocidade e paralela ao campo aplicado.

e) o trabalho realizado pela força magnética sobre o próton não é nulo.

86. (PUCRS) Todos os fenômenos eletromagnéticos têm sua origem nas propriedades da carga elétrica. São feitas quatro afirmativas a respeito dessas propriedades:

I - Qualquer quantidade de carga é sempre um múltiplo inteiro da carga elementar.

II - Em repouso, a carga interage apenas com outra carga.

III - Em movimento com velocidade constante, interage com outra carga e com campo magnético.

IV - Em movimento acelerado, apresenta ondas eletromagnéticas no seu campo.

Pela análise das afirmativas, está correta a alternativa

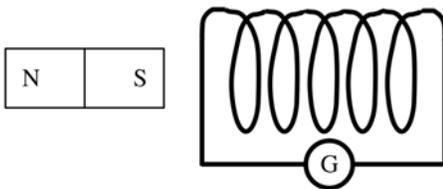
- a) I.
- b) I e II.
- c) I, II, III e IV.
- d) II.

87. (PUCRS) Dois longos fios condutores retilíneos e paralelos, percorridos por correntes de mesma intensidade, atraem-se magneticamente com força **F**.

Duplicando a intensidade da corrente em cada um deles e a distância de separação dos condutores, a intensidade da força magnética que atua entre eles ficará

- a) $4F$
- b) $3F$
- c) $2F$
- d) $F/2$
- e) $F/4$

88. (PUCRS) INSTRUÇÃO: Responder à questão com base na figura a seguir, que mostra uma bobina ligada a um galvanômetro e, próximo à bobina, um ímã. Tanto o ímã como a bobina podem-se movimentar.



É correto afirmar que **não** haverá indicação de corrente elétrica no galvanômetro quando,

- a) o ímã afastar-se para a esquerda da bobina e esta permanecer em repouso.
- b) o ímã permanecer em repouso e a bobina aproximar-se do ímã.
- c) o ímã deslocar-se para a esquerda e a bobina para a direita.

- d) o ímã deslocar-se para cima e a bobina para baixo.
- e) o ímã e a bobina deslocarem-se para a direita com velocidades iguais e constantes.

89. (UFRGS) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo abaixo.

Quando um ímã é aproximado de uma espira condutora mantida em repouso, de modo a induzir nessa espira uma corrente contínua, o agente que movimenta o ímã sofre o efeito de uma força que ao avanço do ímã, sendo a realização de trabalho para efetuar o deslocamento do ímã.

- a) se opõe - necessária
- b) se opõe - desnecessária
- c) é favorável - necessária
- d) é favorável - desnecessária
- e) é indiferente - desnecessária

90. (PUCRS) No vácuo, todas as ondas eletromagnéticas,

- a) têm a mesma frequência.
- b) têm a mesma intensidade.
- c) se propagam com a mesma velocidade.
- d) se propagam com velocidades menores que a da luz.
- e) são polarizadas.

91. (UNISC) O próton e o nêutron não são partículas elementares. Tanto o próton quanto o nêutron são compostos por quarks do tipo “u”(up) e do tipo “d”(down). Um elétron possui a carga elementar “-e” ($e = 1,6 \times 10^{-19}$ C), um quark “u” possui carga $+2/3 e$ e um quark “d” possui uma carga $-1/3 e$. Podemos escrever, esquematicamente, a composição de um próton e de um nêutron, respectivamente, por

- a) uud e ddu.
- b) ddu e uud.
- c) uu e du.
- d) ud e ud.
- e) uuu e ddd.

92. (UCS) As lâmpadas domésticas fluorescentes são compostas de um tubo de vidro pintado com tinta fluorescente e preenchido com gases de mercúrio e argônio. Os elétrons dos átomos dos gases são excitados por descargas elétricas geradas pela alta tensão provinda de um reator. Quando os elétrons desexcitam, os átomos emitem radiação que é capturada pelos átomos da substância fluorescente no vidro, os quais repetem os processos de excitação e desexcitação eletrônica, e, por fim, emitem radiação visível. Apoiando-se nos conceitos da física quântica, entende-se a excitação e

desexcitação eletrônica dos átomos, respectivamente, como

- a) quebra e recomposição do núcleo atômico.
- b) fusão de dois átomos após absorverem radiação, produzindo um átomo mais pesado, que rapidamente se desmembra emitindo radiação.
- c) absorção de radiação por dois ou mais elétrons do átomo e a fusão destes produzindo um elétron mais pesado, que depois se divide nos elétrons originais, emitindo radiação.
- d) absorção de radiação por um elétron e a decorrente divisão deste em dois elétrons mais leves, que depois se unem para recompor o mesmo elétron, emitindo a radiação.
- e) recepção da radiação por elétrons em órbitas em torno do núcleo, decorrente destes saltos para órbitas mais afastadas e posterior retorno para as órbitas iniciais com emissão de radiação.

93. (UCS) Uma das comprovações da natureza quântica da energia foi a explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico. Elétrons são arrancados de um condutor pela energia que recebem através da colisão com as partículas de luz, os fótons. Esse efeito é importantíssimo, pois permite, por exemplo, utilizar luz para

gerar corrente elétrica. Mas, paradoxalmente, para conhecermos a energia do fóton, precisamos conhecer uma característica dele que é puramente ondulatória, a frequência. Se, para arrancar um elétron do cobre, é necessário que ele colida com um fóton cuja energia seja de aproximadamente 5 eV, qual a frequência associada a esse fóton? (Considere a constante de Planck como $h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV s.}$)

- a) $1,25 \times 10^{15} \text{ Hz.}$
- b) $20 \times 10^{15} \text{ Hz.}$
- c) $2,0 \times 10^{15} \text{ Hz.}$
- d) $2,25 \times 10^{15} \text{ Hz.}$
- e) $1,5 \times 10^{15} \text{ Hz.}$

94. (UCS) Um jovem, estudando conceitos básicos de física moderna, vai a um jogo de futebol no ginásio de esportes da Universidade. Quando da cobrança de uma falta, o jovem grita para o goleiro do seu time tomar cuidado, porque a bola poderá se comportar como uma onda e não como uma partícula, o que tornaria a defesa quase impossível, pois a trajetória da bola seria probabilística. O goleiro, que também estudara noções de física quântica, não se preocupou, pois sabia que o comportamento ondulatório

- a) é uma propriedade apenas de elétrons.
- b) é uma propriedade apenas de prótons e nêutrons no núcleo atômico.
- c) é uma propriedade que não existe para bolas de futebol.
- d) é uma propriedade que existe também para as bolas de futebol, mas é desprezível.
- e) não ocorre em nenhum tipo de partícula com massa.

95. (PUCRS) Substâncias radioativas emitem radiações alfa, beta, gama e nêutrons. Na pesquisa sobre a natureza e propagação dessas radiações, usam-se campos magnéticos, entre outros recursos. O campo magnético pode influir na trajetória das radiações

- a) alfa e beta.
- b) alfa e nêutron.
- c) alfa e gama.
- d) nêutron e gama.
- e) beta e gama.

96. (PUCRS) Em 1895, o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X, que são usados principalmente na área médica e industrial. Esses raios são

- a) radiações formadas por partículas alfa com grande poder de penetração.

- b) radiações formadas por elétrons dotados de grandes velocidades.
 c) ondas eletromagnéticas de frequências maiores que as das ondas ultravioletas.
 d) ondas eletromagnéticas de frequências menores do que as das ondas luminosas.
 e) ondas eletromagnéticas de frequências iguais às das ondas infravermelhas.

97. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do parágrafo abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Na partícula alfa - que é simplesmente um núcleo de Hélio - existem dois, que exercem um sobre o outro uma força de origem eletromagnética e que são mantidos unidos pela ação de forças

- a) nêutrons - atrativa - elétricas
 b) elétrons - repulsiva - nucleares
 c) prótons - repulsiva - nucleares
 d) prótons - repulsiva - gravitacionais
 e) nêutrons - atrativa - gravitacionais

98. (UFRGS) Considere as seguintes afirmações sobre efeito fotoelétrico.

I - O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma

superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.

II - O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

III - Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
 b) Apenas II.
 c) Apenas I e II.
 d) Apenas I e III.
 e) I, II e III.

99. (UFRGS) Supondo que a meia-vida de um isótopo radiativo seja um dia, após 48 horas a quantidade restante deste isótopo será

- a) 1/2 da quantidade inicial.
 b) 1/4 da quantidade inicial.
 c) 1/24 da quantidade inicial.
 d) 1/48 da quantidade inicial.
 e) zero.

100. (PUCRS) Responder à questão com base nas afirmativas a seguir.

I. A força que mantém os prótons no núcleo de um átomo é de natureza eletrostática.

II. No Sol, como em outras estrelas, ocorrem reações de fusão nuclear.

III. Na fusão nuclear, núcleos fundem-se com grande absorção de energia.

IV. Na fissão nuclear, núcleos são divididos, liberando energia.

Estão corretas somente

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

101. (UFPEL) De acordo com a física moderna e seus conhecimentos, é correto afirmar que

- a) a luz, composta por fótons, é constituída de ondas longitudinais, propagando-se, também, no vácuo.
- b) o fóton apresenta um caráter dual, comportando-se ora como onda, ora como partícula.
- c) a luz é constituída por fótons de diferentes tamanhos conforme a cor.
- d) a luz é um fluido contínuo e com velocidade infinita no vácuo.
- e) as partículas propagam-se, com velocidade infinita, num meio extremamente elástico, sem peso,

chamado éter.

f) I.R.

102. (PUCRS) Em 1905, Einstein propôs que a luz poderia se comportar como partículas, os fótons, cuja energia E seria dada por $E = hf$, onde h é a constante de Planck e f é a frequência da luz. Já em 1923, inspirado nas ideias de Einstein, Luis de Broglie propôs que qualquer partícula em movimento poderia exibir propriedades ondulatórias. Assim sendo, uma partícula em movimento apresentaria uma onda associada cujo comprimento de

onda λ seria dado por $\lambda = \frac{h}{p}$ onde

h é a constante de Planck e p é o momento linear da partícula. Estas relações participam da descrição do comportamento dualístico (partícula-onda) da matéria.

Supondo que um elétron, um próton e uma bola de futebol se movam com a mesma velocidade escalar, a sequência das partículas, em ordem crescente de seus comprimentos de onda associados, é:

- a) elétron – bola de futebol – próton
- b) elétron – próton – bola de futebol
- c) próton – bola de futebol – elétron
- d) bola de futebol – elétron – próton
- e) bola de futebol – próton – elétron

103. (PUCRS) A energia que as estrelas e o Sol irradiam por bilhões de anos nasce da reação nuclear conhecida como fusão. Essa acontece no interior das estrelas sob altíssimas temperaturas. De uma forma simplificada, podemos dizer que dois dêuterons (núcleos do deutério, ou hidrogênio pesado, formado por um próton e um nêutron) se unem (fundem) dando origem a um núcleo de hélio.

A relação $\Delta E = \Delta m c^2$, que expressa a relação entre massa e energia, pode ser lida como: “a cada variação ΔE de energia corresponde uma variação Δm de massa e vice-versa”. Por outro lado, c representa o valor da velocidade da luz no vácuo.

Considerando a massa de cada dêuteron como m , e a massa do núcleo de hélio como $1,99m$, é correto afirmar que, no processo de fusão de dois dêuterons em um núcleo de hélio,

- a) houve ganho de massa.
- b) a diferença de massa foi $0,99m$.
- c) a energia liberada na fusão aumenta a massa total do Sol.
- d) a energia liberada na fusão não altera a massa total do Sol.
- e) a energia liberada na fusão diminui a massa total do Sol.

104. (UFCSPA) O físico francês Louis de Broglie teve grande participação no estudo da física moderna sobre o comportamento ondulatório da matéria. Conforme sua teoria, a quantidade de movimento linear de um fóton, no vácuo, é tanto menor, quanto maior for

- a) sua energia.
- b) sua frequência.
- c) seu comprimento de onda.
- d) sua massa.
- e) sua aceleração.

105. (UFCSPA) Sobre efeito fotoelétrico, considere as seguintes afirmações.

I – No efeito fotoelétrico o número de elétrons arrancados aumenta com o aumento da intensidade da radiação incidente.

II – O efeito fotoelétrico só é obtido quando a frequência da radiação é igual ou superior a um valor mínimo chamado frequência de corte.

III – A energia cinética dos elétrons arrancados no efeito fotoelétrico depende da intensidade da radiação incidente e não depende da frequência dessa radiação.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e II.

d) Apenas II e III.

e) I, II e III.

106. (UFRGS) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que aparecem.

De acordo com a relatividade restrita, é atravessarmos o diâmetro da Via Láctea, uma distância de aproximadamente 100 anos-luz (equivalente a 10^{18} m), em um intervalo de tempo bem menor que 100 anos. Isso pode ser explicado pelo fenômeno de do comprimento, como visto pelo viajante, ou ainda pelo fenômeno de temporal, como observado por quem está em repouso em relação à galáxia.

- a) impossível – contração – dilatação
- b) possível – dilatação – contração
- c) possível – contração – dilatação
- d) impossível – dilatação – contração
- e) impossível – contração – contração

107. (UFRGS) Um átomo em seu estado fundamental absorve a energia de um fóton e passa para um estado excitado. Sabe-se que, ao decair para outro estado intermediário (exceto o fundamental), o átomo emite um fóton. Considere as seguintes afirmações a esse respeito.

I – O estado intermediário tem energia maior que o estado fundamental.

II – O fóton emitido tem frequência menor que o fóton absorvido.

III – Ao emitir o fóton, o átomo não recua.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

108. (UFRGS) Considere as afirmações abaixo, acerca de processos radioativos.

I – O isótopo radioativo do urânio ($A = 235$, $Z = 92$) pode decair para um isótopo do tório ($A = 231$, $Z = 90$) através da emissão de uma partícula α .

II – Radioatividade é o fenômeno no qual um núcleo pode transformar-se espontaneamente em outro sem que nenhuma energia externa seja fornecida a ele.

III – As partículas α e β emitidas em certos processos radioativos são carregadas eletricamente.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS SELECIONADOS

Capítulo 1

1. $7,8 \times 10^8$ km
2. 29,13 anos
3. 26 N/kg
4. $1,3 \times 10^{-4}$ N
5. $9,5 \times 10^{-5}$ N
6. b
7. e
8. e
9. d
10. d
11. d
12. d
13. e
14. d
15. a
16. a
17. e
18. a
19. c
20. d

Capítulo 2

1. e
2. a
3. d
4. d
5. a
6. c
7. a
8. e
9. e
10. a
11. d
12. a

Capítulo 3

1. a
2. c
3. b
4. c
5. d
6. a
7. c
8. c
9. 92
10. d
11. d
12. c
13. b
14. e
15. c
16. b

Capítulo 4

2. c
4. a
5. b
7. e
10. c
11. a
12. a
13. e
14. b
15. b
16. d
17. b
18. a

Capítulo 5

1. d

2. d

3. d

4. d

5. e

6. c

7. d

8. a

9. b

10. c

11. d

12. b

13. d

14. a

Capítulo 6

1. c

2. d

3. a

4. d

5. e

6. d

7. e

8. 45

9. d

10. a

11. d

12. b

Capítulo 7

2. d

3. a

4. e

5. d

6. a

7. c

8. d

Capítulo 8

1. d

2. d

3. a

4. a

5. e

6. c

7. a

8. R\$ 0,47

9. c

10. b

11. b

12. a

13. c

14. c

15. c

16. e

Capítulo 9

1. a

2. d

3. a

4. a

5. a

6. b

7. d

8. b

9. d

10. c

11. c

12. a

13. a

14. d

15. e	13. b	19. b	2. c
16. c	14. e	20. e	3. d
17. d	15. c	21. a	4. d
18. e	16. b	22. b	5. c
19. e	17. d	23. d	6. e
20. f	18. d	24. b	7. e
21. c	19. c	25. b	8. b
22. a		26. d	9. d
23. b	Capítulo 11	27. b	10. a
24. e	1. d	28. b	11. d
26. c	2. d	29. e	12. d
27. b	3. a	30. d	13. e
28. c	4. c	31. d	14. a
	5. e	32. e	15. e
Capítulo 10	6. e	33. d	16. c
1. a	7. c	34. d	17. c
2. d	8. e	35. b	18. b
3. c	9. b	36. b	19. e
4. e	10. d	37. b	20. b
5. c	11. b	38. e	21. b
6. e	12. a	39. c	22. c
7. d	13. a	40. a	23. b
8. d	14. e	41. a	24. c
9. a	15. d	42. e	25. d
10. a	16. c		26. c
11. c	17. a	Capítulo 12	27. d
12. c	18. a	1. b	

BIBLIOGRAFIA

1. Foto da capa: www.nasa.gov .
2. VALENTE, PE. Milton. **Ludus Tertius**. Ed. Livraria Selbach, Porto Alegre, 1950.
3. GONÇALVES FILHO, Aurélio; TOSCANO, Carlos. **Física para o ensino médio**. Ed. Scipione, São Paulo, 2002.
4. CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Oswaldo. **Física**. Ed. Moderna, São Paulo, 2003.
5. CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Oswaldo. **As faces da Física**. Ed. Moderna, São Paulo, 2002.
6. GASPAR, Alberto. **Física**. Ed. Ática, São Paulo, 2004.
7. NUSSENZVEIG, Moysés H. **Curso de Física Básica**. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2002.
8. RAMALHO JR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio Toledo. **Os fundamentos da Física**. Ed. Moderna, São Paulo, 2003.
9. MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Física**. Ed. Scipione, São Paulo, 2004.
10. MASON, Stephen F. **Historia de las ciencias**. Alianza Editorial, Madrid, 1996.
11. SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Princípios de Física**. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2004.
12. YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física Sears e Zemanski**. Pearson, São Paulo, 2004.
13. PLATÃO. **Íon – Sobre a inspiração poética**. L&PM, Porto Alegre, 2007.
14. Grupo de Eletricidade Atmosférica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>

