

Física Geral Eletromagnetismo



Problemas Seleccionados Manual de Laboratório

Prof^a. Raquel Giulian

Porto Alegre, 2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Setor de Processamento Técnico da Biblioteca Professora Ruth de Souza Schneider - Instituto de Física/UFRGS

G537f Giulian, Raquel

Física Geral eletromagnetismo : problemas seleccionados : manual de laboratório. [recurso eletrônico] / Raquel Giulian. – Porto Alegre: UFRGS - Instituto de Física, 2015.

Modo de acesso:
<http://www.ufrgs.br/eletromagnetismo/files/2015/01/Livro-JANEIRO2015_sequencia.pdf>.
ISBN 978-85-64948-13-6

1. Ensino de Física 2. Eletromagnetismo I. Título

PACS: 03.50.d



Física Geral eletromagnetismo...: problemas seleccionados : manual de laboratório de [Raquel Giulian](#) está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-CompartilhaIgual 4.0 Internacional](#).

Sumário

Introdução	4
Notação Vetorial	5
Conteúdo Programático	6
Problemas Seleccionados	8
(A) Carga elétrica	9
(B) Campo elétrico	10
(C) Lei de Gauss	13
(D) Potencial elétrico	14
(E) Capacitância	16
(F) Corrente e resistência	18
(G) Campo magnético	19
(H) Lei de Faraday	27
(I) Indutância	29
(J) Corrente Alternada	31
Manual de Laboratório	34
Instrumentos de medida em eletricidade	35

Configurações de campo elétrico	39
Resistores lineares e não lineares	45
Campo magnético da Terra	50
Força eletromotriz induzida	53
Circuito RC – série	58
Circuito RLC série – Impedância X Frequência	64
Atividades de laboratório BETA - 1	69
Atividades de laboratório BETA - 2	75
Respostas	82
Bibliografia	86

Introdução

Este livro é uma ferramenta de apoio às aulas de FÍSICA GERAL – ELETROMAGNETISMO do Instituto de Física - UFRGS. A primeira parte traz uma seleção de exercícios e problemas que podem ser utilizados para melhor compreensão dos conteúdos vistos em aula. Os exercícios sugeridos aqui devem servir apenas como um guia, são exemplos do nível de dificuldade que pode ser exigido nas avaliações durante o curso. O aluno que sentir dificuldade em resolver os exercícios aqui sugeridos deve procurar apoio em outros materiais didáticos que trazem um número muito maior de exercícios com variados graus de dificuldade.

A segunda parte consiste num MANUAL DE LABORATÓRIO: um conjunto de sete experimentos mais duas atividades BETA que serão realizados nas aulas experimentais. O método de avaliação das atividades experimentais deve ser discutido com o professor.

Este material está em fase de desenvolvimento. Os exercícios e problemas são adaptações dos exercícios sugeridos em livros de Física Geral. As atividades experimentais foram adaptadas do livro *Fis01182 – Física Geral Eletromagnetismo, Roteiros de Estudo e Atividades de Laboratório* de autoria do Prof. Gilberto L. Thomas (que se baseia no antigo método Keller de ensino individualizado, utilizado a partir de 1973 no IF – UFRGS).

Sugestões são bem vindas e podem ser enviadas para a autora no e-mail raquelgiulian@if.ufrgs.br.

Notação Vetorial

A notação vetorial é ferramenta fundamental para o estudo do eletromagnetismo. Neste livreto, vetores estão escritos no seguinte formato:

$$\vec{B} = \langle a; -b; c \rangle \text{ Tesla}$$

que é equivalente a $\vec{B} = a\hat{i} - b\hat{j} + c\hat{k} (T)$ ou ainda a $\mathbf{B} = a\hat{i} - b\hat{j} + c\hat{k} (T)$. Quando o vetor tiver apenas uma componente não nula, por exemplo na direção z (ou \hat{k}), então o vetor em questão deve ser escrito da seguinte forma:

$$\vec{B} = \langle 0; 0; c \rangle T.$$

Essa disciplina é ministrada por diversos professores, cada um com suas preferências quanto à notação vetorial, entre outros fatores. Você, como aluno, tem o direito de escolher a notação que lhe for mais conveniente, desde que mantidas a coerência e a exatidão. A notação utilizada neste livreto não é necessariamente a mesma do que a utilizada nas aulas e avaliações. Converse com seu professor para qualquer esclarecimento.

Conteúdo Programático

O conteúdo será dividido em quatro áreas. Ao final de cada área, será realizada uma prova que pode abranger todo o conteúdo visto até então.

Prova I (problemas A, B e C)

Carga elétrica (condutores, isolantes, carga induzida e força elétrica).

Campo elétrico (lei de Coulomb, dipolo elétrico, momento de dipolo elétrico, energia potencial elétrica, distribuições contínuas de carga).

Lei de Gauss (fluxo elétrico, campo elétrico próximo a objetos simétricos carregados, cargas em condutores).

Prova II (problemas D, E e F)

Potencial elétrico (potencial, diferença de potencial, diferença de energia potencial, superfície equipotencial, potencial próximo a objetos carregados).

Capacitância (capacitor de placas paralelas, diferença de potencial num capacitor, capacitores cilíndricos e esféricos, capacitores em série e em paralelo, capacitores com dielétricos, energia armazenada num capacitor).

Corrente e resistência (conservação de carga, corrente convencional e corrente de elétrons, densidade de corrente, velocidade de deriva, resistores, resistividade e resistência, lei de Ohm, efeito Joule, baterias, força eletromotriz, resistores em série e paralelo).

Prova III (problemas G)

Campo magnético (lei de Biot-Savart, campo magnético produzido por corrente, campo magnético da Terra, espira de corrente, momento de dipolo magnético, dipolo magnético, lei de Gauss do magnetismo, força eletromagnética, força magnética num fio com corrente, torque, energia potencial magnética, efeito Hall, lei de Ampère, propriedades magnéticas da matéria, diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo).

Prova IV (problemas H, I e J)

Lei de Faraday (força eletromotriz induzida, fluxo magnético variável no tempo, transformadores, corrente induzida, equações de Maxwell, corrente de deslocamento, força eletromotriz de movimento).

Indutância (indutores, solenoide, toroide)

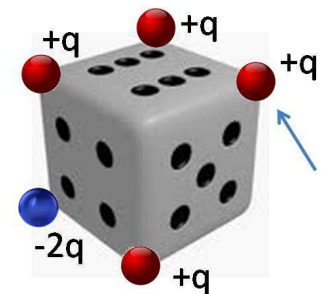
Corrente Alternada (circuito RC, RL e LC, densidade de energia, conservação de energia, circuito RLC, ressonância, circuito resistivo, capacitivo e indutivo, circuito RLC forçado, impedância, fator de potência, constante de fase, diagrama de fasores).

(A) Carga Elétrica

A1 – Se você grudar um pedaço de fita adesiva na mesa e desgrudá-lo puxando rapidamente uma das pontas, a fita ficará carregada eletricamente. Supondo que a fita adesiva tenha 20 cm de comprimento e 1 cm de largura, e que ao fazer isso você consiga arrancar 1 elétron de cada átomo da superfície da fita, qual será a carga elétrica total da fita? (por simplicidade, considere o raio atômico $= 1\text{ \AA}$).

A2 – Repetindo o mesmo procedimento com outro pedaço idêntico de fita adesiva, e aproximando os dois pedaços a uma distância de 5 cm , qual será a força elétrica entre eles?

A3 – O dado mostrado na figura ao lado possui lado $l = 1,5\text{ cm}$. Qual o módulo, direção e sentido da força exercida sobre a partícula indicada pela seta devido à presença das demais cargas? Use notação vetorial para indicar sua resposta. (Dica: defina a origem dos eixos cartesianos numa das partículas e a posição das demais relativa a esta.



Calcule as componentes da força nas direções \hat{i} , \hat{j} e \hat{k} separadamente, e só então calcule o módulo)

A4 – Três partículas carregadas estão dispostas num plano XY: a partícula 1 na posição $\vec{P}_1 = \langle 0; 15; 0 \rangle\text{ cm}$, a partícula 2 na posição $\vec{P}_2 = \langle 0; -15; 0 \rangle\text{ cm}$ e a partícula 3 na posição $\vec{P}_3 = \langle x; 0; 0 \rangle\text{ cm}$, com liberdade para se mover no eixo x . $q_1 = q_2 = 3,2 \times 10^{-19}\text{ C}$, $q_3 = -6,4 \times 10^{-19}\text{ C}$. x pode variar de 0 a 5 m . Qual o valor de x para que a força exercida sobre a partícula 3 (pelas demais cargas) seja (a) mínima e (b) máxima? Quais são os valores (c) mínimo e (d) máximo do módulo da força?

Problemas Seleccionados

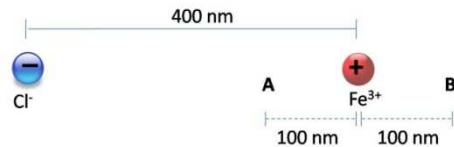
A5 – A figura ao lado mostra duas esferas condutoras de mesma massa m e mesma carga q suspensas por fios isolantes de comprimento L . Mostre que, para $L \gg x$, as esferas estarão em equilíbrio quando a distância x entre elas for igual a:

$$x = \left(\frac{q^2 L}{2\pi\epsilon_0 m g} \right)^{1/3}$$

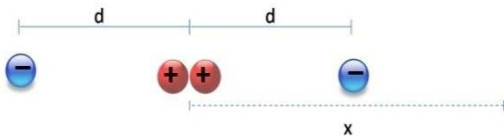


(B) Campo Elétrico

B1 – Um íon de Fe^{3+} está localizado a 400 nm de um íon de Cl^- , como mostra a figura ao lado. (a) Qual a magnitude, direção e sentido do campo elétrico \vec{E} na posição A? (b) E na posição B? (c) Se um elétron estiver na posição A, qual será a magnitude e direção da força sobre o elétron?

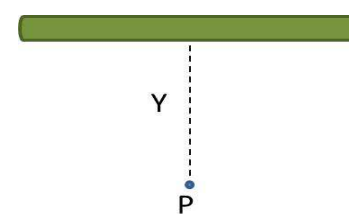


B2 – Um quadrupolo elétrico é formado por um conjunto de dois dipolos, como mostra a figura ao lado. Mostre que, para $x \gg d$, a magnitude do campo \vec{E} num ponto ao longo do eixo dos quadrupolos é dado por



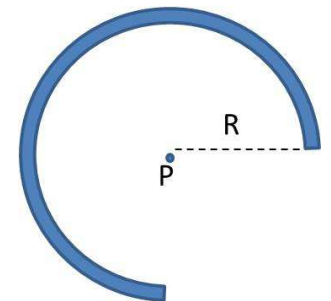
$$E = \frac{6qd^2}{4\pi\epsilon_0 x^4}$$

B3 – Uma barra muito longa com densidade de carga λ está disposta conforme a figura ao lado. (Alguns autores chamam esse tipo de barra de semi-infinita, pois o ponto P está próximo a uma das extremidades da barra enquanto a outra extremidade está muito distante). Mostre que o campo elétrico \vec{E} no ponto P faz um ângulo de 45° com a barra independente da distância Y.

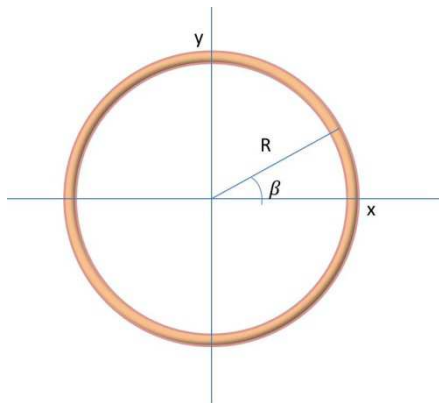


B4 – Calcule o campo \vec{E} próximo a uma barra carregada com carga total Q e comprimento x . As cargas estão distribuídas de forma uniforme ao longo da barra: $x = 0,15 \text{ m}$, $Q = 8 \text{ nC}$ e $Y = 5 \text{ cm}$.

B5 – A figura ao lado mostra um anel incompleto de raio R , carregado com carga total Q . Qual a força (módulo, direção e sentido) exercida sobre um elétron que por ventura esteja localizado no ponto P?

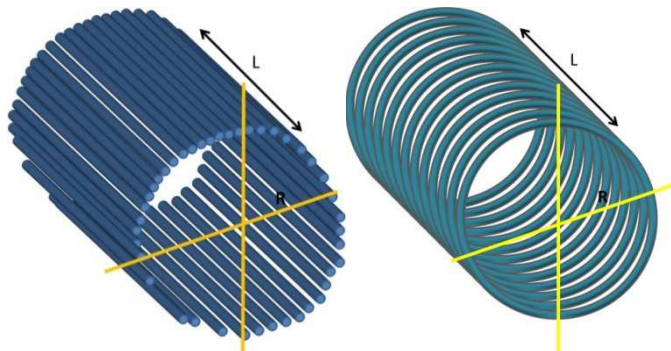


B6 – Um dipolo cujo momento dipolar é $\vec{p} = \langle 3,7; 5,0; 0 \rangle \text{ Cm}$ encontra-se numa região onde o campo $\vec{E} = \langle 3000; 0; 0 \rangle \text{ N/C}$. Qual a energia potencial do dipolo? Qual o torque que age sobre o dipolo? Qual é o trabalho que um agente externo deve realizar para girar o dipolo até que seu momento dipolar seja $\vec{p} = \langle -5,0; 3,7; 0 \rangle \text{ Cm}$?



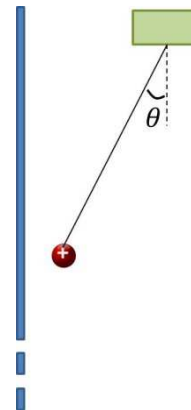
B7 – Calcule a magnitude, direção e sentido do campo \vec{E} no centro de um anel de raio R carregado, sendo que a distribuição de cargas no anel varia como $\lambda(\beta) = \lambda_0 \text{sen } \beta$.

B8 – Considere um cilindro de comprimento L e raio R , oco, carregado com carga total Q . Você está interessado em saber qual é o campo elétrico \vec{E} ao longo do eixo do cilindro, numa de suas extremidades. Para isso, utilize dois caminhos distintos: (a) considerando que o cilindro é formado por uma infinidade de barras de espessura infinitesimal, todas com comprimento L , dispostas num círculo de raio R e (b) considerando que o cilindro é formado por uma infinidade de anéis de raio R cujos eixos estão alinhados e juntos formam um cilindro de comprimento L . (c) Conhecendo o campo \vec{E} no ponto determinado em (a) e (b) para um cilindro de tamanho finito, qualquer, qual seria o campo no interior de um cilindro muito longo (quando o comprimento tende a infinito)?



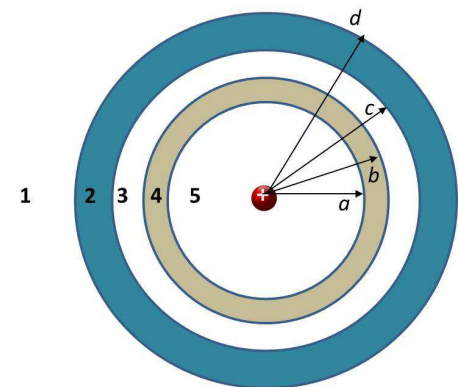
(C) Lei de Gauss

C1 – Uma fábrica de bolinhas de gude foi atingida por um raio durante uma tempestade. O prédio foi protegido por um pára-raios, mas algumas descargas atingiram os equipamentos que fabricavam as bolinhas. Resultado é que a bolinha que estava na máquina ao cair o raio recebeu uma descarga elétrica e as cargas ficaram armazenadas no interior da bolinha de forma que a densidade de carga $\rho(r) = \rho_0 \frac{1}{r^2}$. Qual o campo \vec{E} na superfície da bolinha, que tem raio $r = 2\text{cm}$? E no interior da bolinha, 1cm abaixo da superfície? Qual o campo \vec{E} a 5cm da superfície da bolinha?



C2 – A figura ao lado mostra uma bolinha com massa $0,004\text{ g}$ e carga $8 \times 10^{-8}\text{ C}$ suspensa por um fio nas proximidades de uma grande placa condutora carregada, sendo que a densidade de carga da placa é $-2 \times 10^{-9}\text{ C/m}^2$. Encontre um valor para o ângulo θ .

C3 – Uma carga Q positiva está no centro de um conjunto de calotas concêntricas como mostra a figura ao lado. O raio das calotas está indicado na figura. A mais externa é condutora e está carregada com carga Q negativa, e a calota intermediária é isolante e possui carga líquida q positiva distribuída de forma uniforme por todo seu volume. Calcule o campo \vec{E} resultante em cada uma das 5 regiões

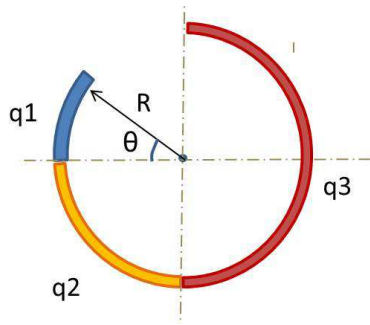


indicadas na figura. Indique a localização aproximada das cargas induzidas, e/ou em excesso, em cada região e indique a direção e sentido dos campos elétricos.

C4 – Usando a Lei de Gauss, determine o campo elétrico próximo a uma placa muito grande com densidade superficial de carga σ .

C5 – Usando a Lei de Gauss, determine o campo elétrico próximo a uma barra muito longa com densidade linear de carga λ .

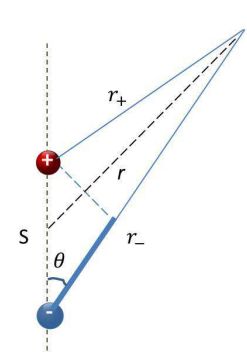
(D) Potencial Elétrico



D1 – A figura ao lado mostra um anel incompleto, formado por três segmentos de arco com densidade linear de carga constantes, λ_1 , λ_2 e λ_3 . A menor delas tem carga total q_1 e comprimento de arco $\pi/4$. As demais estão indicadas na figura. Qual o potencial elétrico no centro do anel? Qual deve ser a relação entre

as cargas para que o potencial elétrico no centro do anel seja igual a zero?

D2 – Uma partícula de carga q está na posição $x = -R$, e outra partícula de carga $-2q$ está na posição $x = 0$. Demonstre que a superfície cujo potencial é zero é uma esfera centrada em $x = -4R/3$ com um raio igual a $r = 2R/3$.

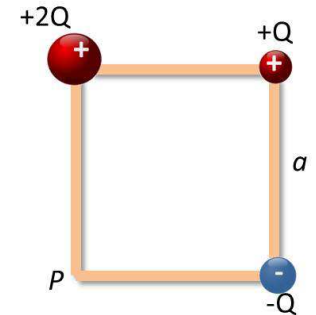


D3 – A figura ao lado mostra um dipolo elétrico de momento dipolar $|\vec{p}| = Sq$. Mostre que para $r \gg S$, o potencial elétrico no ponto P é dado por :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos\theta}{r^2}$$

Dica: quando $r \gg S$, é razoável considerar que $r_+r_- \cong r^2$ e $r_- - r_+ \cong S \cos\theta$.

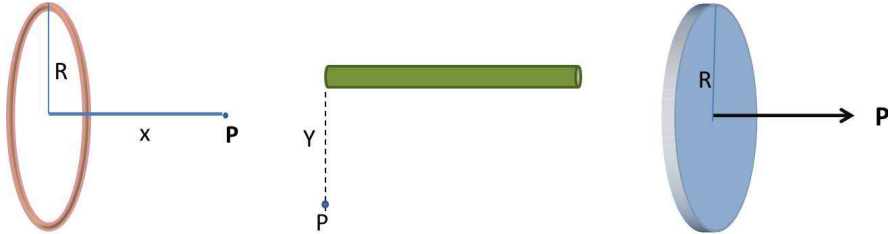
D4 – Sobre uma mesa de bilhar estão dispostas três bolinhas. Uma com carga $+Q$, outra com carga $-Q$ e uma terceira com carga $+2Q$, conforme mostra a figura ao lado. Qual o potencial no ponto P? Existe algum ponto nas proximidades do conjunto onde o potencial elétrico seja nulo? Se uma quarta bolinha for colocada no centro do quadrado, qual deve ser a carga da bolinha para que o potencial no ponto P seja nulo?



D5 – Uma esfera oca, isolante, de raio R_1 e carga Q_1 é colocada nas proximidades de uma placa muito grande cuja densidade superficial de carga é σ (uniforme). A distância entre a placa e a superfície da esfera é d . Qual a diferença de potencial entre o centro da esfera e a placa?

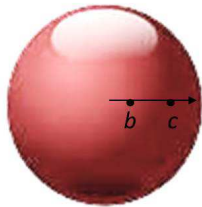
D6 – A partir do campo elétrico já calculado para diversas distribuições de carga uniformes, encontre uma expressão para o potencial elétrico ao longo do eixo de um anel carregado, próximo a

uma barra finita e ao longo do eixo de um disco carregado.



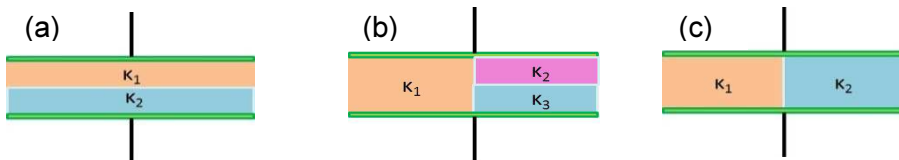
D7 – Uma esfera isolante, maciça, possui densidade de carga

$\rho(r) = \rho_0 r^2$, onde ρ_0 é uma constante. (a) Qual a diferença de potencial entre os pontos b e c? Se a densidade de carga fosse uniforme, qual seria a diferença de potencial entre os pontos b e c?

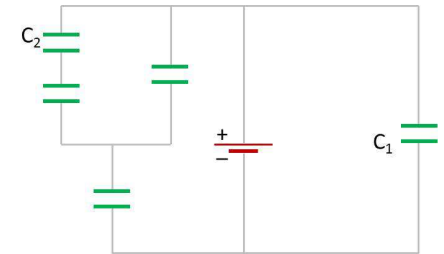


(E) Capacitância

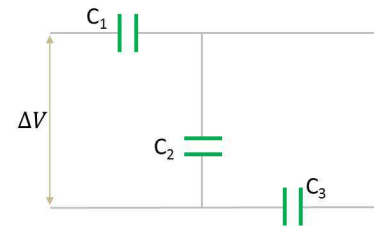
E1 – Encontre uma expressão para a capacitância dos capacitores abaixo sabendo que a distância entre as placas é d , a área das placas é $10 d$, o espaço entre as placas está preenchido por dois ou mais materiais de constantes dielétricas distintas conforme mostra a figura abaixo. Analisando cada capacitor separadamente, é possível obter a mesma capacitância com uma associação de capacitores simples (preenchidos por um único material)? Explique.



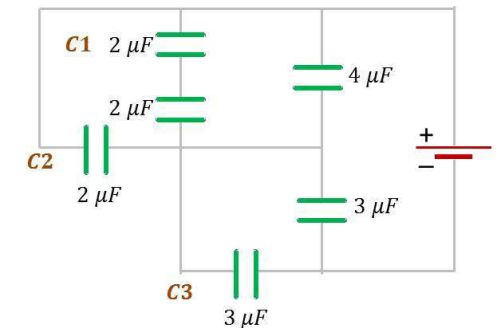
E2 – Sabendo que cada um dos capacitores no circuito ao lado tem capacitância $C = 10 \mu F$ e a diferença de potencial na bateria é $\Delta V = 10 V$, qual é a carga do capacitor 1? E do capacitor 2?



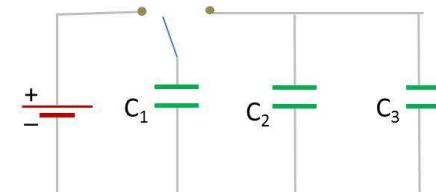
E3 – Uma diferença de potencial de $100 V$ é aplicada ao circuito ao lado onde $C_1 = 10 \mu F$, $C_2 = 5 \mu F$ e $C_3 = 4 \mu F$. Se o capacitor 3 é substituído por um fio condutor, qual é o aumento na carga do capacitor 1? Qual é o aumento na diferença de potencial entre as placas do capacitor 1?



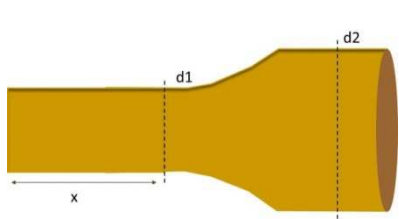
E4 – No circuito ao lado, a diferença de potencial fornecida pela bateria é de $20 V$. Qual a capacitância equivalente do circuito? Qual a carga armazenada por essa capacitância equivalente? Qual a carga e ddp para os capacitores 1, 2 e 3?



E5 – Na figura ao lado, a ddp da bateria é $10 V$, $C_1 = 10 \mu F$, $C_2 = C_3 = 2 C_1$. A chave é movida para a esquerda e somente depois que o capacitor 1 atingiu o equilíbrio a chave é movida para a direita. Quando o equilíbrio é novamente atingido, qual é a carga do capacitor 1?

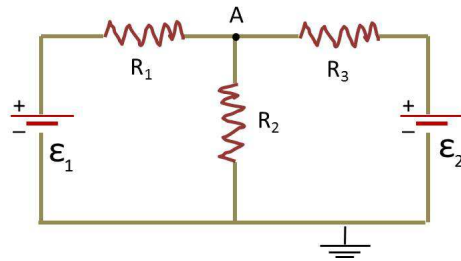


(F) Corrente e Resistência

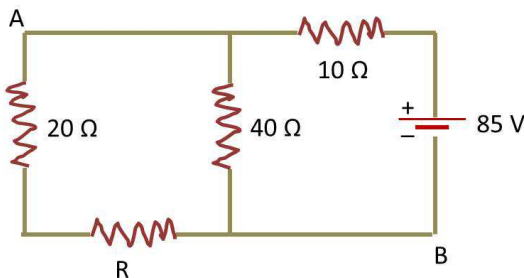


F1 – A figura ao lado mostra parte de um fio de cobre com diâmetros $d_1 = 4R$ e $d_2 = 8R$ por onde passa uma corrente uniforme. $x = 4\text{ m}$ e a diferença de potencial ao longo desse comprimento é $20\ \mu\text{V}$. O número de portadores de carga por unidade de volume é $8,49 \times 10^{28}\text{ m}^{-3}$. Qual é a velocidade de deriva dos elétrons de condução na porção do fio com diâmetro d_2 ?

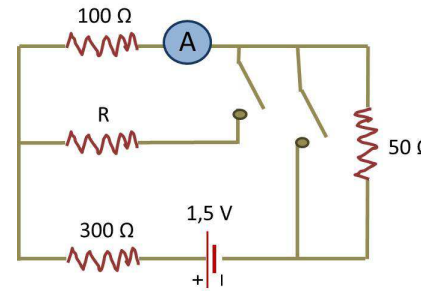
F2 – No circuito ao lado, qual a magnitude e direção das correntes nos resistores R_1 , R_2 e R_3 ? Para isso considere que $\varepsilon_1 = 6\text{ V}$, $\varepsilon_2 = 12\text{ V}$, $R_1 = 100\ \Omega$, $R_2 = 200\ \Omega$, $R_3 = 300\ \Omega$. O circuito está aterrado e nesse ponto $V = 0$. Qual é o potencial elétrico no ponto A?



F3 – Se dois fios de mesmo comprimento, um de cobre e outro de alumínio, apresentam a mesma resistência, qual deve ser a razão entre seus raios?

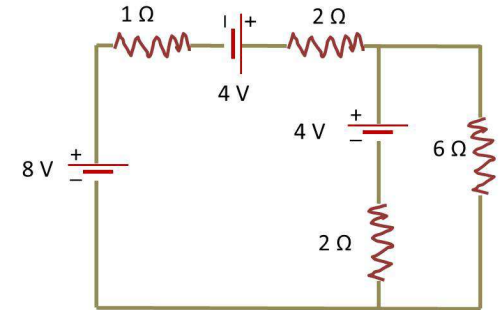


F4 – No circuito ao lado, a potência dissipada no resistor R é 20 W . Qual o valor de R ? Qual a ddp entre os pontos A e B?



F5 – A corrente medida por um amperímetro A no circuito ao lado é a mesma quando ambas as chaves estão abertas ou fechadas. Qual o valor da resistência R ?

F6 – Determine o valor da corrente que passa por cada um dos resistores, a potência fornecida por cada uma das fontes de tensão e a potência dissipada por cada um dos resistores. Faça o balanço energético do circuito.



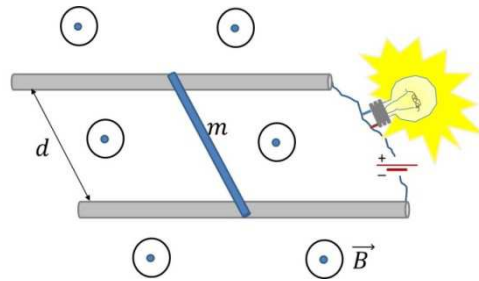
(G) Campo Magnético

G1 – Um próton atravessa uma região de campo magnético uniforme $\vec{B} = \langle 10; 20; 30 \rangle\text{ mT}$. No tempo t_1 , o próton tem uma velocidade $\vec{v} = \langle v_x; v_y; 2 \rangle\text{ km/s}$ e a força magnética sobre o próton é $\vec{F}_B = \langle 4 \times 10^{-17}; -2 \times 10^{-17}; 0 \rangle\text{ N}$. Nesse instante, qual o valor de v_x e v_y ?

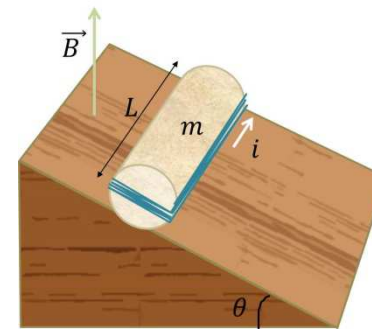
G2 – Um próton viaja através de uma região de campo elétrico e magnético uniformes, onde $\vec{B} = \langle -2,5; 0; 0 \rangle\text{ mT}$. Num certo instante a velocidade do próton é $\vec{v} = \langle 0; 2000; 0 \rangle\text{ m/s}$. Qual a força resultante que age sobre o próton se o campo elétrico for (a) $\vec{E} = \langle 0; 0; 4 \rangle\text{ V/m}$, (b) $\vec{E} = \langle 0; 0; -4 \rangle\text{ V/m}$ ou (c) $\vec{E} = \langle 4; 0; 0 \rangle\text{ V/m}$?

G3 – Um elétron percorre um caminho helicoidal numa região de campo magnético $\vec{B} = \langle 20; -50; -30 \rangle mT$. Em $t = 0$, a velocidade do elétron é $\vec{v} = \langle 20; -30; 50 \rangle m/s$. Qual o ângulo φ entre os vetores \vec{v} e \vec{B} ? Com o tempo, a velocidade do elétron muda. Isso implica uma mudança no módulo da velocidade? E no ângulo φ ? Qual o raio da trajetória do elétron?

G4 – Dois trilhos de metal separados por uma distância $d = 2,56 cm$ estão ligados a uma bateria. No momento em que uma barra de metal de massa $m = 24,1 g$ é colocada sobre os trilhos ($t = 0$), ela fecha o circuito e por ela passa uma corrente $i = 9,13 mA$. O conjunto está numa região onde existe um campo magnético uniforme $B = 56,3 mT$. Qual a velocidade da barra $61,1 ms$ depois? Em que direção ela se move?



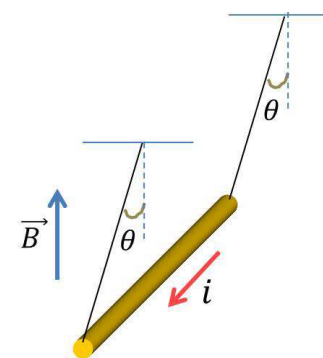
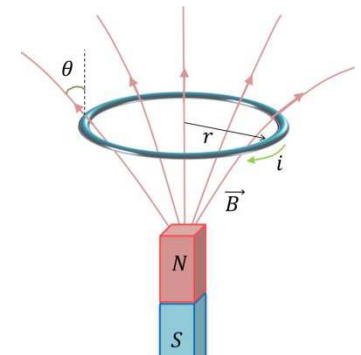
G5 – Um próton, um deutério e uma partícula alfa são acelerados do repouso através de uma mesma diferença de potencial ΔV . Todas as partículas entram numa região de campo magnético uniforme \vec{B} com velocidade perpendicular a \vec{B} . A trajetória do próton é um círculo de raio r_p . Qual é o raio da trajetória do deutério? E da partícula alfa?



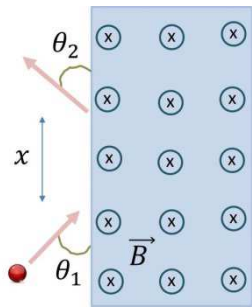
G6 – A figura ao lado mostra um cilindro de madeira de massa $m = 250 g$ e comprimento $L = 10 cm$ onde foi enrolado um fio formando uma espira de 10 voltas. O cilindro é posicionado de forma que o eixo da espira está perpendicular ao plano inclinado (paralelo à normal do plano

inclinado). Nessa região há um campo magnético $\vec{B} = \langle 0; 0,5; 0 \rangle T$. Qual deve ser o valor mínimo da corrente na espira capaz de manter o cilindro em sua posição, evitando que ele role para baixo?

G7 – A figura ao lado mostra um ímã e um anel condutor de raio r por onde passa uma corrente i . Se o campo magnético produzido pelo ímã faz um ângulo θ com a vertical na posição onde está o anel, qual é a magnitude e a direção da força resultante sobre o anel?



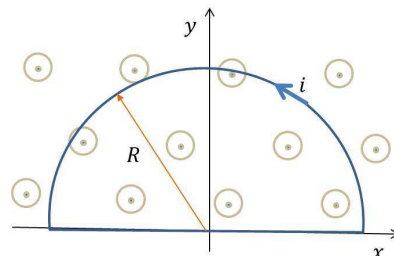
G8 – Uma barra de metal com densidade de massa λ (massa por unidade de comprimento) apresenta uma corrente i . A barra está suspensa por dois fios num campo magnético uniforme vertical como mostra a figura ao lado. No equilíbrio, os fios fazem um ângulo θ com a vertical. Qual a magnitude do campo magnético?



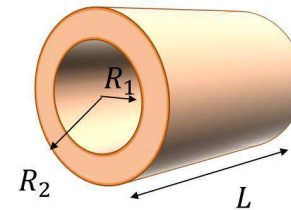
G9 – Um próton com energia cinética de 6 MeV se move no plano da página e entra numa região de campo magnético $B = 1 \text{ T}$ direcionado para dentro da página, como mostra a figura ao lado. O próton entra na região de campo \vec{B} com o vetor velocidade fazendo um ângulo $\theta_1 = 35^\circ$ com a borda da região. Qual é a distância entre o ponto de entrada e saída (x na figura)? Qual o valor de θ_2 ?

G10 – Considere um elétron orbitando um próton numa trajetória circular de raio $R = 5,29 \times 10^{-11} \text{ m}$ devido à atração Coulombiana. Considere o sistema como se fosse um anel por onde passa uma corrente. Qual será o torque resultante quando o sistema for colocado numa região de campo magnético $B = 0,4 \text{ T}$ perpendicular ao momento magnético do anel?

G11 – Um fio por onde passa uma corrente i foi moldado num formato semicircular de raio R como mostra a figura ao lado. Nessa mesma região há um campo magnético que aponta na direção $+z$ (representado pelos pontos azuis na figura ao lado). Mostre que a força resultante sobre o fio é zero.



G12 – Uma partícula de carga q , massa m , momentum linear com magnitude p e energia cinética K está em movimento numa órbita circular de raio R perpendicular a um campo magnético uniforme \vec{B} . Mostre que $p = BqR$ e $K = \frac{1}{2}B^2q^2R^2/m$.



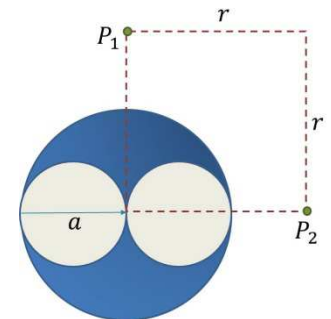
G13 – Uma casca cilíndrica isolante possui comprimento L , raio interno R_1 e externo R_2 , densidade de carga ρ e velocidade angular ω em torno do eixo. Encontre uma expressão para o momento magnético do cilindro.

G14 – Uma casca esférica de raio R possui densidade superficial de carga σ constante. A casca gira em torno do seu eixo (diâmetro) com velocidade angular ω . Determine a magnitude do momento magnético da esfera.

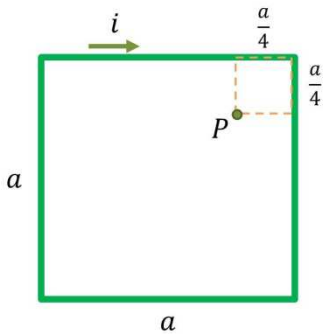
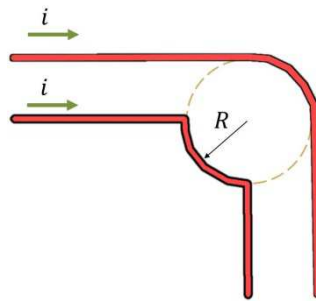
G15 – Uma esfera maciça de raio R , carregada de forma uniforme por todo o volume, possui densidade volumétrica de carga ρ . A esfera gira em torno do seu eixo (diâmetro) com velocidade angular ω . Determine a magnitude do momento magnético da esfera.

G16 – Um condutor cilíndrico longo de raio $a = 4 \text{ cm}$ contém uma cavidade também cilíndrica de raio $b = 1,5 \text{ cm}$. A distância entre o eixo central do cilindro e da cavidade é $d = 2 \text{ cm}$. Uma corrente $i = 5,25 \text{ A}$, uniforme, percorre a porção sólida do condutor. Qual é a magnitude do campo magnético no centro da cavidade? O que acontece quando $d = 0$? e $b = 0$?

G17 – Um condutor cilíndrico longo de raio a contém duas cavidades, cada uma com diâmetro a ao longo de todo o comprimento do fio. Uma visão da seção transversal do fio é mostrada na figura ao lado. Uma corrente i uniforme (considerando a porção sólida do material) passa através do fio e aponta para fora da página. Determine a magnitude e direção do campo magnético em função de μ_0 , i , r e a nos pontos P_1 e P_2 .

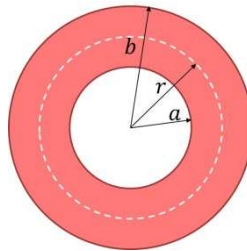


G18 – Dois fios muito longos por onde passa corrente i de mesma magnitude estão moldados conforme a figura ao lado. Mostre que o campo magnético \vec{B} no centro do círculo de raio R é o mesmo que o campo \vec{B} a uma distância R abaixo de um fio reto muito longo por onde passa uma corrente i .

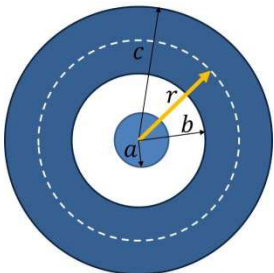


G19 – Encontre uma expressão para determinar a magnitude do campo magnético no ponto P da figura ao lado.

G20 – A figura ao lado mostra a seção transversal de um condutor oco de raio externo b e interno a , por onde passa uma corrente uniforme i . Demonstre que a magnitude do campo magnético $B(r)$ para uma distância $a < r < b$ é dada por:

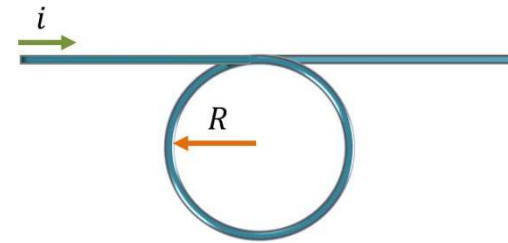


$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi(b^2 - a^2)} \frac{r^2 - a^2}{r}$$



G21 – A figura ao lado mostra um cabo coaxial de raios a , b e c . Correntes opostas de igual magnitude estão distribuídas nos dois condutores. Derive uma expressão para calcular o campo magnético $B(r)$ na região (a) $r < a$, (b) $a < r < b$, (c) $b < r < c$ e (d) $r > c$.

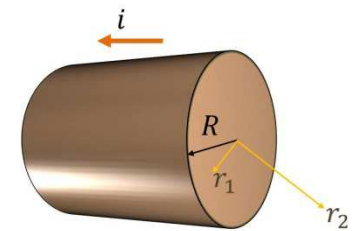
G22 – Mostre que, se a espessura de um toroide for muito menor que seu raio de curvatura, o campo magnético no interior do toroide se aproxima do campo magnético no interior de um solenoide. Explique. $B = \frac{\mu_0 i N}{2\pi r}$ $B = \mu_0 i n$



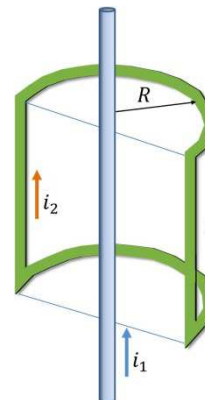
G23 – Um fio condutor por onde passa uma corrente i foi torcido para formar um loop de raio R (no plano da página), como mostra a figura abaixo. Qual a direção do campo

magnético no centro do loop? Determine uma expressão para calcular a magnitude do campo magnético no centro do loop.

G24 – Uma corrente i passa por um fio condutor cilíndrico de raio R , como mostra a figura ao lado. A densidade de corrente J não é uniforme através da seção transversal do fio, mas obedece à função $J = br$ onde b é uma constante. Determine uma expressão para calcular a magnitude do campo magnético B (a) a uma distância $r_1 < R$ e (b)



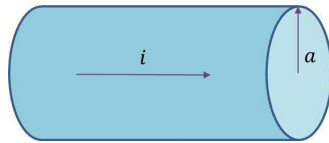
a uma distância $r_2 > R$ (em relação ao centro do condutor).



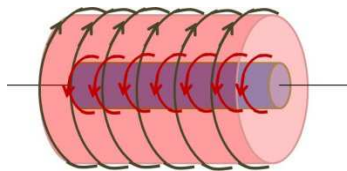
G25 – Um fio condutor muito longo por onde passa uma corrente i_1 está parcialmente envolto por um loop por onde passa uma corrente i_2 (figura ao lado). O loop fio foi moldado num formato semicilíndrico de raio R e o comprimento L . O fio condutor passa pelo eixo do loop. Calcule a força magnética exercida sobre o loop.

G26 – Considere um solenoide de comprimento L e raio a contendo N voltas de um fio por onde passa uma corrente I . (a) Determine uma expressão para o campo magnético num ponto ao longo do eixo do solenoide, como função da distância x até uma das pontas. (b) Mostre que para valores muito grandes de L , B se aproxima de $B = \mu_0 i N/2L$ em cada ponta do solenoide.

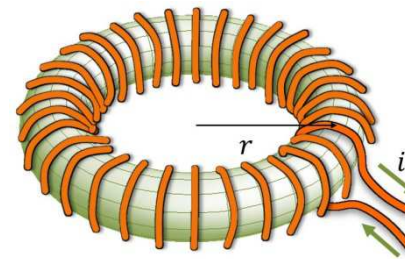
G27 – Um fio cilíndrico espesso de raio a é percorrido por uma corrente i . Determine uma expressão para o campo magnético \vec{B} , dentro e fora do fio, considerando que (a) a corrente está distribuída uniformemente sobre a superfície externa do fio, (b) a corrente está distribuída por todo o volume do fio com densidade de corrente J constante, (c) a corrente está distribuída por todo o volume do fio de forma que a densidade de corrente J é proporcional à distância até o eixo do fio.



G28 – Considere dois solenoides coaxiais, cada um conduzindo uma corrente i em direções opostas. O solenoide interno, de raio a , possui n_1 voltas por unidade de comprimento; o solenoide externo possui raio b e n_2 voltas por unidade de comprimento. Determine \vec{B} (a) no interior do conjunto, (b) entre eles e (c) fora deles.



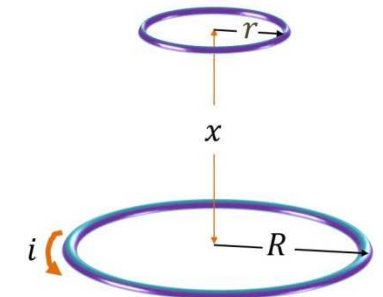
G29 – Um fio condutor longo e reto de raio R conduz uma corrente não uniforme cuja densidade de corrente é $J = J_0 r/R$, onde J_0 é uma constante. A corrente total é i . (a) Determine uma expressão para i em função de J_0 e R . (b) Determine uma expressão para o campo magnético no interior do fio para uma distância r .

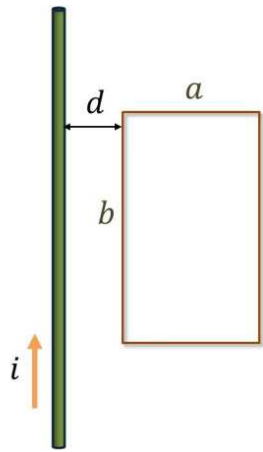


G30 – A figura ao lado mostra um toroide, que consiste num solenoide fechado em forma de anel. (a) Considerando a simetria, explique qual deve ser o formato do campo magnético no interior desse toroide. (b) Considere o toroide compacto (a separação entre cada volta do fio é pequena), com N voltas, conduzindo uma corrente i . Usando a lei de Ampère, determine a magnitude do campo magnético num ponto interno ao toroide, a uma distância r do eixo principal (ver figura ao lado). (c) O campo magnético no interior do toroide é um campo uniforme? Explique.

(H) Lei de Faraday

H1 – A figura ao lado mostra dois anéis cujos eixos estão alinhados, separados por uma distância x . O anel maior tem raio R , o anel menor tem raio r . Os anéis estão separados por uma distância $x \gg R$, e por isso o campo magnético devido à corrente no anel de raio R é praticamente uniforme no anel menor. Considere que a distância x está aumentando a uma taxa constante $dx/dt = v$. (a) Determine uma expressão para o fluxo de campo magnético através do anel menor como função de x . Encontre uma expressão para (b) a fem induzida e (c) a direção da corrente no anel menor.

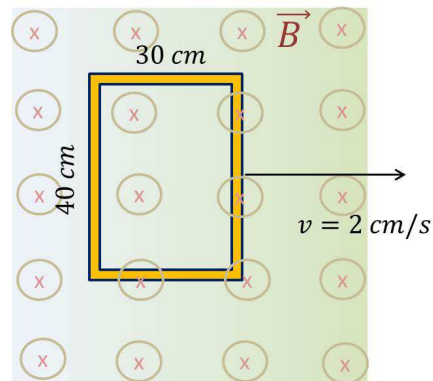




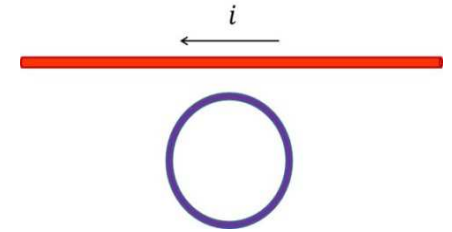
H2 – (a) Calcule o fluxo magnético através do retângulo mostrado na figura ao lado em função de a, b, d e i . (b) Avalie o resultado encontrado para $a = 5 \text{ cm}, b = 10 \text{ cm}, d = 2 \text{ cm}$ e $i = 20 \text{ A}$.

H3 – Uma espira plana e circular de raio $r = 75 \text{ cm}$ está em repouso numa região de campo magnético uniforme. A espira está orientada de tal forma que o campo magnético aponta para cima e faz um ângulo de 30° com a normal da espira. O campo varia com o tempo de acordo com $B(t) = 1,4e^{-(0,057t)} \text{ Tesla}$. (a) Determine a fem induzida na espira em função do tempo. (b) Para que valor de t a fem induzida é igual a um décimo do seu valor inicial? Determine o sentido da corrente induzida na espira, se observada por cima da espira.

H4 – Um retângulo que mede $30 \times 40 \text{ cm}$ está localizado no interior de um campo magnético uniforme de $1,25 \text{ T}$, com o campo perpendicular ao plano da bobina. A bobina se move perpendicular ao campo com velocidade constante $v = 2 \text{ cm/s}$, inclusive atingindo a região onde o campo \vec{B} termina abruptamente, como mostra a figura ao lado. Determine a fem induzida nessa bobina quando ela está (a) inteiramente no interior do campo, (b) parcialmente no interior do campo e (c) inteiramente fora do campo.

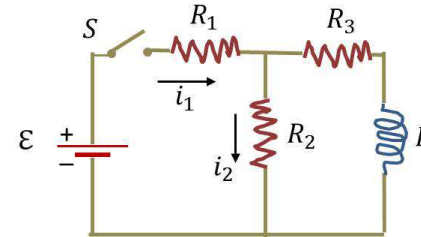


H5 – O fio na figura ao lado conduz uma corrente $i(t) = i_0 e^{-bt}$ onde $b > 0$. Determine o sentido da corrente induzida na bobina (horário ou anti-horário) para $t > 0$.



(I) Indutância

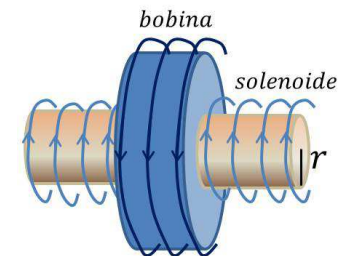
I1 – No circuito ao lado, $\mathcal{E} = 100 \text{ V}, R_1 = 10 \Omega, R_2 = 20 \Omega, R_3 = 30 \Omega$ e $L = 2 \text{ H}$. Ao fechar a chave S, quais os valores de i_1 e i_2 ? Considere positivo o sentido das correntes indicadas na figura.



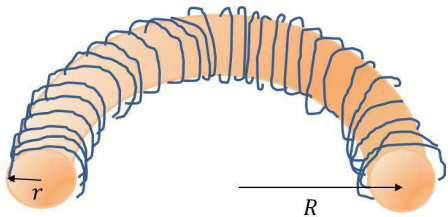
Muito tempo depois, quais são os valores de i_1 e i_2 ? A chave é então aberta. Nesse instante, quais são os valores de i_1 e i_2 ? E muito tempo depois, quais são os valores de i_1 e i_2 ?

I2 – Num circuito LC em série, a carga inicial do capacitor é Q e ele está sendo descarregado. Quando a carga no capacitor é igual a $Q/2$, qual é o fluxo magnético que atravessa cada uma das N espiras do indutor (como função de Q, N, L e C)?

I3 – Uma bobina possui N voltas e está envolvendo um solenoide, longo, de raio r , com n espiras por unidade de comprimento (figura ao lado). (a) Mostre que a indutância mútua do sistema é dada por $M = \mu_0 \pi R^2 n N$. (b) Explique por que M não depende do formato, tamanho ou possível falta de proximidade das espiras na bobina.



14 – A fem autoinduzida num solenoide de indutância L varia no tempo conforme $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 e^{-kt}$. Levando em consideração que a carga é finita, determine a carga total que passa pelo solenoide (que atravessa um determinado ponto no fio que compõe o solenoide).



15 – Um fio condutor foi enrolado num papelão formando um toroide com N espiras (voltas), raio menor r e maior R . A seção transversal do toroide é mostrada na figura ao lado.

Se $R \gg r$, o campo magnético no interior do toroide é essencialmente o mesmo que o campo no interior de um solenoide muito longo que tenha sido moldado no formato de um círculo de raio R . Modelando o campo como se fosse o campo uniforme de um solenoide longo, mostre que a indutância desse toroide é aproximadamente $L \approx \frac{1}{2} \mu_0 N^2 \frac{r^2}{R}$.

16 – Mostre que $i(t) = i_0 e^{-t/\tau}$ é a solução da equação diferencial $iR + L \frac{di}{dt} = 0$ onde i_0 é a corrente em $t = 0$ e $\tau = L/R$.

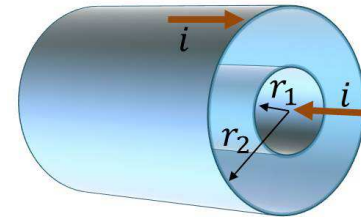
17 – Um fio condutor de raio R transporta uma corrente uniforme. A corrente total no fio é i . Mostre que a densidade de energia magnética (energia por unidade de comprimento) dentro do fio é dada por $\mu_0 i^2 / 16\pi$.

18 – Um cabo coaxial é formado por dois cilindros condutores de paredes finas, com raios r_1 e r_2 . As correntes nos dois cilindros são iguais em magnitude mas com sentidos opostos. (a) Use a lei de Ampère para determinar o campo magnético como função da distância r ao eixo do cabo nas regiões $(0 < r < r_1)$, $(r_1 < r < r_2)$ e $(r > r_2)$. (b) Mostre que a densidade de energia magnética na região entre os cilindros é dada por:

$$u_m = \frac{1}{2} \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 (\pi r^2)^{-1}$$

(c) Mostre que a energia magnética total num volume de cabo com comprimento ℓ é dada por

$$U_m = \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \ell \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$



(d) Mostre que a autoindutância por unidade de comprimento do cabo é dada por

$$\frac{L}{\ell} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

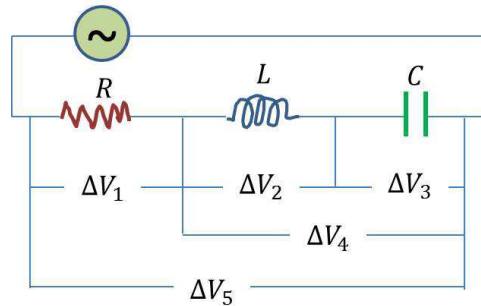
(J) Corrente Alternada

J1 – A tensão de uma fonte de corrente alternada é dada por $\Delta v = 120 \text{sen}(30 \pi t)$ onde a tensão é dada em volts e o tempo t em segundos. A fonte é conectada a um indutor de $0,5 H$. Determine: (a) a frequência da fonte, (b) a voltagem rms no indutor, (c) a reatância indutiva do circuito, (d) a corrente rms no indutor e (e) a corrente máxima no indutor.

J2 – Uma fonte de tensão alternada fornece uma tensão $\Delta v = 98 \text{sen}(80 \pi t)$ a um capacitor onde a tensão é dada em volts e o tempo t em segundos. A corrente máxima no circuito é $0,5 A$. Determine: (a) a tensão rms da fonte, (b) a frequência da fonte e (c) o valor da capacitância.

J3 – Um circuito AC é composto por um resistor de 250Ω , um indutor de 15 mH , um capacitor de $3,5 \mu\text{F}$ e uma fonte de tensão alternada com amplitude de 45 V , operando com frequência angular $\omega = 360 \text{ rad/s}$. (a) Qual é o fator de potência do circuito? (b) Determine a potência média fornecida ao circuito. (c) Qual é a potência média dissipada no resistor, no capacitor e no indutor?

J4 – Cinco voltmímetros com impedância muito grande, ajustados para ler valores rms, estão conectados conforme a figura ao lado. Sendo $R = 200 \Omega$, $L = 0,4 \text{ H}$, $C = 6 \mu\text{F}$ e $\Delta V = 30 \text{ V}$, qual é a leitura da tensão em cada voltmímetro se (a) $\omega = 200 \text{ rad/s}$ e (b) $\omega = 1000 \text{ rad/s}$?



J5 – Num circuito RLC, $L = 0,28 \text{ H}$ e $C = 4 \mu\text{F}$. A fonte fornece uma voltagem com amplitude de 120 V . Qual é a frequência angular de ressonância do circuito? (b) Quando a fonte opera na frequência angular de ressonância, a amplitude da corrente no circuito é $1,7 \text{ A}$. Qual a resistência do resistor? (c) Na frequência angular de ressonância, quais são as voltagens de pico no indutor, capacitor e resistor?

J6 – Um circuito RLC é alimentado por uma fonte de tensão cuja amplitude é constante ΔV e a frequência angular ω varia no tempo. (a) Demonstre que a amplitude da corrente é uma função de ω dada por:

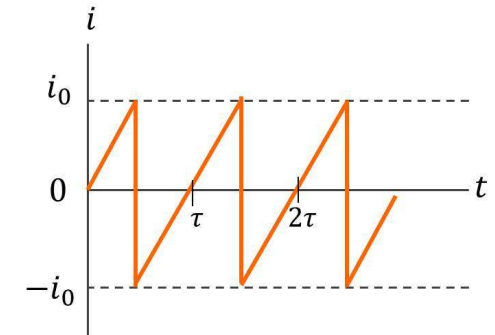
$$i = \frac{\Delta V}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}$$

(b) Mostre que a potência média dissipada no resistor é

$$P = \frac{V^2 R/2}{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$$

(c) Mostre que i e P são máximas quando $\omega = 1/\sqrt{LC}$ (frequência de ressonância do circuito).

J7 – A corrente num circuito varia conforme a figura ao lado. Para uma corrente desse tipo, qual deve ser o valor médio e o valor rms da corrente em função de i_0 ?



J8 – Um indutor, um capacitor e um resistor estão conectados em série a uma fonte de tensão alternada. Se os valores da resistência, capacitância e indutância forem duplicados, o que acontecerá com (a) a frequência angular de ressonância, (b) a reatância indutiva, (c) a reatância capacitiva e (d) a impedância?

Atividade de Laboratório I

Instrumentos de Medida em Eletricidade

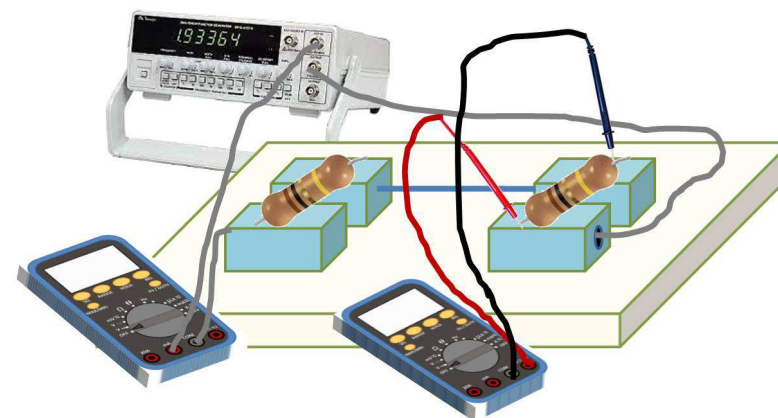


O MULTÍMETRO (ou multíteste) e o OSCILOSCÓPIO serão muito utilizados durante o semestre como instrumentos de medida. O objetivo desta aula é permitir que você se familiarize com tais equipamentos, além de esclarecer suas dúvidas sobre o funcionamento das aulas de laboratório.

Atividade 1a – Descreva cada uma das funções do multímetro, como deve ser posicionada a chave seletora e onde devem ser conectadas as ponteiros para medir corrente, resistência e tensão, quais os valores limites e como evitar danos ao aparelho.

Atividade 1b – Meça a resistência de alguns resistores fornecidos e compare com os valores nominais impressos no próprio resistor.

Manual de Laboratório



Atividade 1c – Monte um circuito simples com alguns resistores em série alimentados pela fonte de tensão (semelhante ao mostrado na figura abaixo). Coloque um dos multímetros no modo Amperímetro e o conecte em série com o circuito. Esse será utilizado para medir a corrente no circuito. O outro multímetro deve ser colocado no modo Voltímetro e conectado em paralelo com cada uma das resistências (ou com o circuito como um todo). Assim pode-se conhecer o valor da corrente e da tensão no circuito simultaneamente.

Atividade 1d – Modifique o circuito fazendo com que as mesmas resistências estejam agora em paralelo. Meça a ddp nos resistores.

O OSCILOSCÓPIO é um dos instrumentos de medida mais versáteis usados na eletrônica. O osciloscópio nos fornece, num modo gráfico, diferenças de potencial em função do tempo. A ordenada (eixo vertical) é a ddp entre dois pontos (ou a tensão de um ponto em relação à Terra) e a abscissa é o tempo. Ou seja, a tela de um osciloscópio é um gráfico de uma função da tensão contra o tempo: $V(t) \times t$. Ele é um instrumento próprio para observar variações rápidas de tensões ao longo do tempo, informação essa que não pode ser obtida por um multíteste comum.



Como ele é um instrumento para medir grandes e pequenas tensões, em intervalos de tempo que variam desde segundos até microsegundos, a calibração dos eixos é variável, a fim de poder adaptar o osciloscópio ao que queremos medir. Se por exemplo para o eixo vertical for atribuído o valor 2 Volts por divisão (2 Volts / div)

significa que cada divisão da tela vale 2 Volts. Da mesma forma pode-se calibrar o eixo horizontal em segundos ou fração de segundos. A maioria dos osciloscópios possuem dois canais, permitindo observar dois sinais ao mesmo tempo. Para tanto existem duas ponteiros de medidas. O osciloscópio, assim como o multíteste, sempre mede diferenças de potencial entre dois pontos, portanto, cada ponteira possui dois terminais.

Atenção: para determinar o valor absoluto de uma ddp, gire os botões “VARIABLE” no sentido horário até a posição “CAL” (calibrado). Algumas ponteiros possuem atenuadores de tensão (geralmente um fator 10). Não deixe de levar isso em conta quando estiver utilizando essas ponteiros.

Atividade 2 – O GERADOR DE FUNÇÕES é um equipamento que permite a aplicação de um sinal de tensão alternada de formas distintas (senoidal, quadrada, triangular, etc...), com frequências bem determinadas. Conecte diretamente o osciloscópio no gerador de funções. Coloque o gerador no modo função senoidal e observe com o osciloscópio o sinal de saída do gerador para diferentes frequências.

Valor RMS (ou eficaz) e valor de PICO

A tensão fornecida pelo gerador de funções é uma função senoidal cujo valor médio é zero. Essa não é uma informação muito útil. Por esse motivo, utilizamos o valor RMS (*root mean square*) ou valor médio quadrático para caracterizar sistemas de corrente alternada, não simplesmente o valor médio.

$$V_{RMS}^2 = \langle V^2 \rangle_{\text{médio}} = \langle V_0^2 \text{sen}^2(2\pi ft) \rangle_{\text{médio}}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\langle V_0^2 \text{sen}^2(2\pi ft) \rangle} = V_0 \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

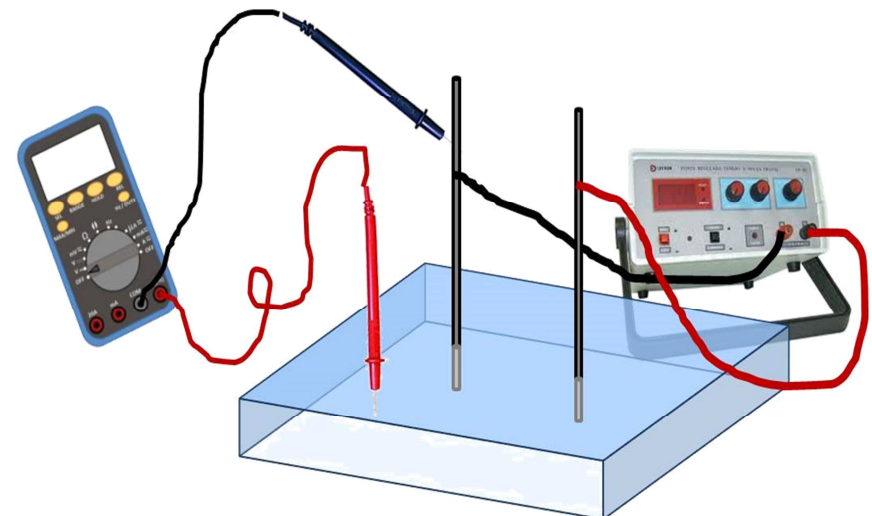
Verifique se isso é verdade utilizando os equipamentos à sua disposição na bancada.

Atividade de Laboratório II

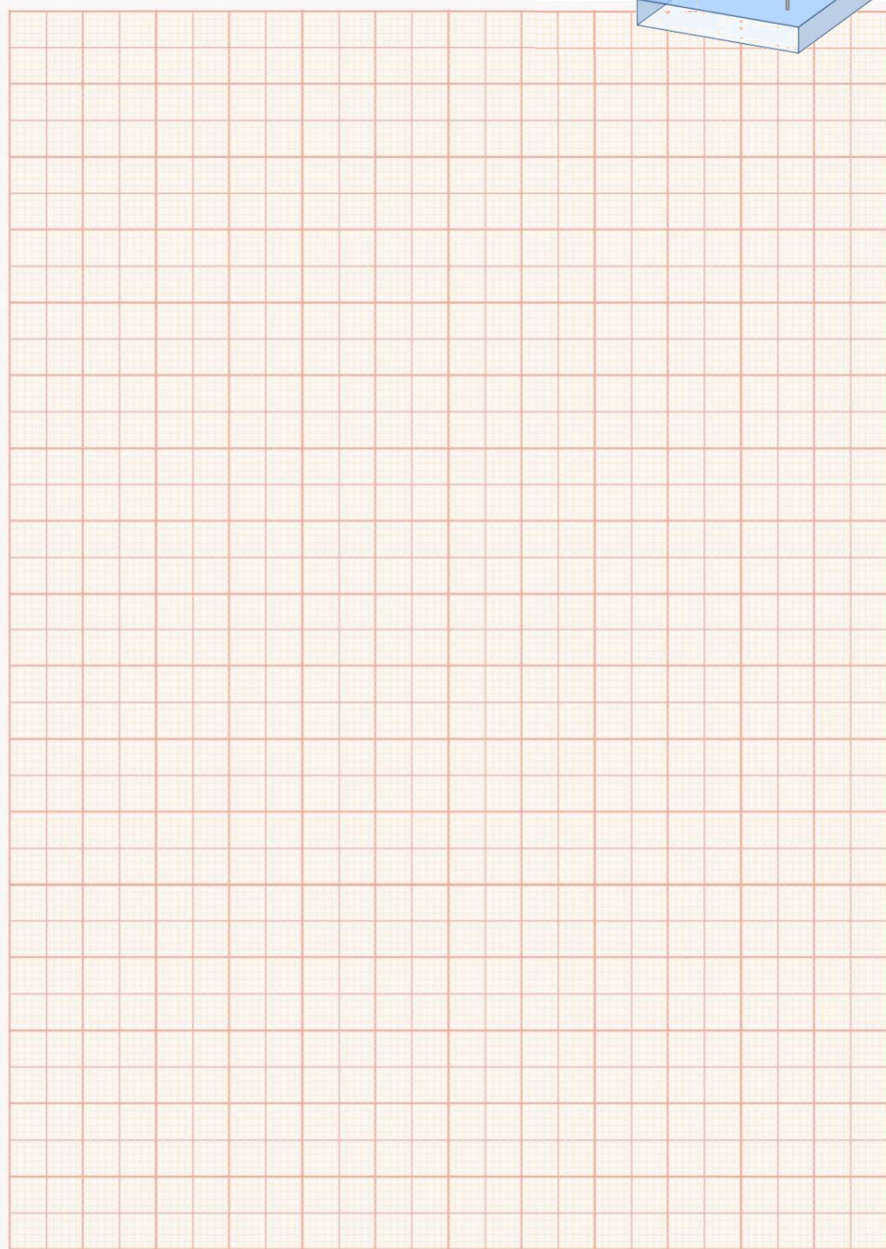
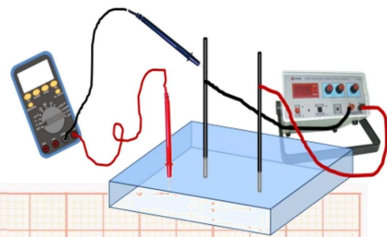
Configurações de Campo Elétrico

Essa atividade experimental tem por objetivo demonstrar o que são superfícies equipotenciais. Utilizando a cuba com água, a fonte de tensão contínua em 14 V e o voltímetro, verifique quais pontos (dentro da cuba) apresentam a mesma ddp. Siga o exemplo da figura abaixo:

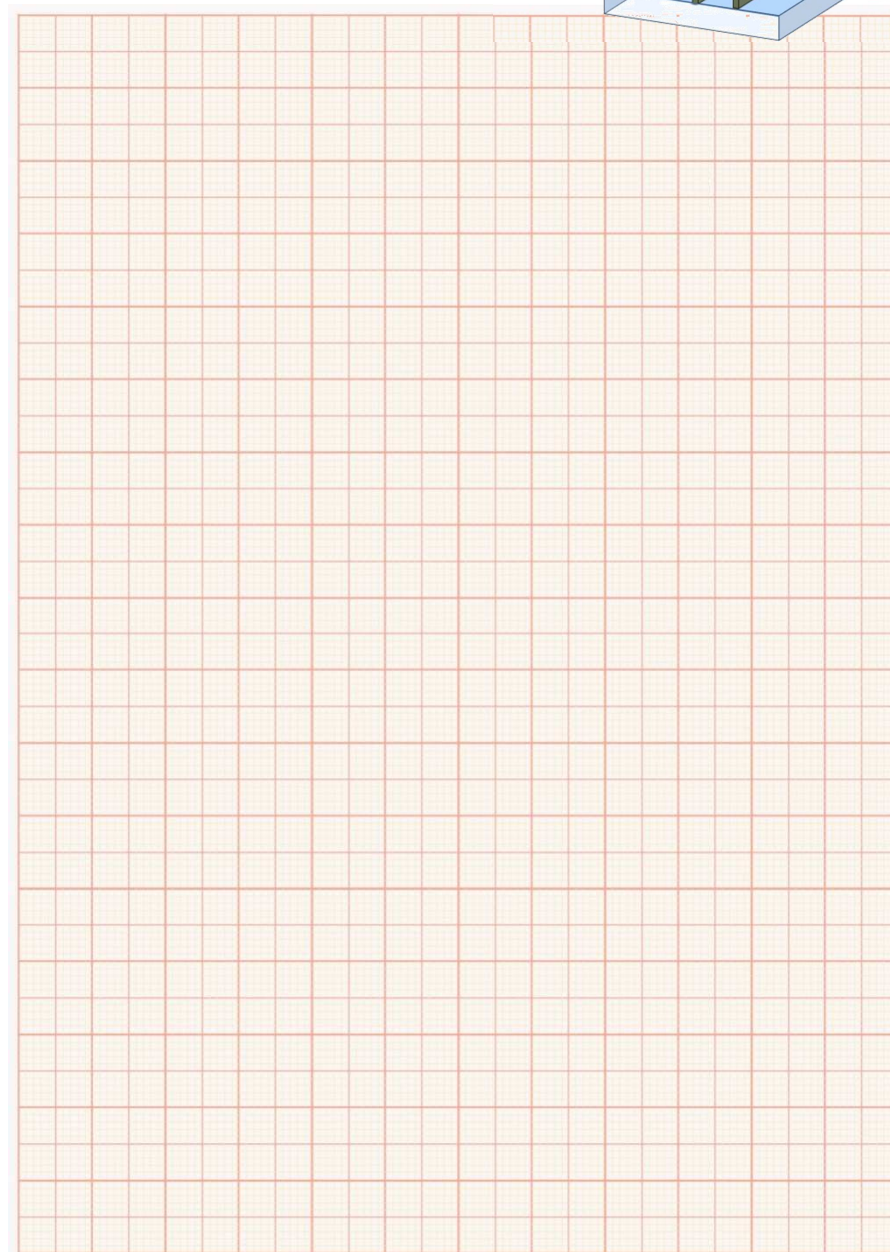
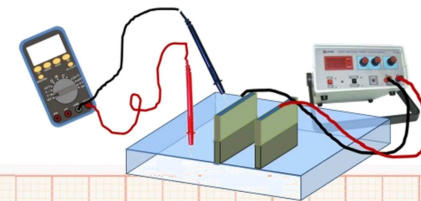
Fixe a ponteira negativa do voltímetro no eletrodo negativo e com a ponteira positiva localize na água pontos que tenham a mesma ddp. Faça suas anotações nos papéis milimetrados a seguir para as diferentes configurações. Construa 4 linhas equipotenciais para cada configuração de campo elétrico. Lembre-se de que para construir uma linha equipotencial você precisa identificar vários pontos, quanto mais pontos melhor.



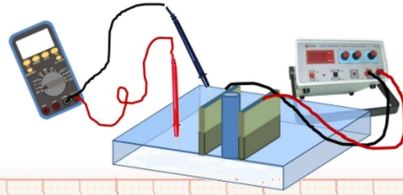
Dipolo



Placas Paralelas



Cilindro metálico entre placas paralelas



Responda às seguintes questões:

- (a) Cite possíveis fontes de erro durante as medidas e o que fazer para minimizá-los. É possível estimar um valor para a incerteza nos valores medidos?
- (b) Descreva V na superfície e no interior do cilindro.
- (c) Levando em consideração que o cilindro é condutor, explique o que acontece com suas cargas livres quando ele é submetido à ddp imposta pelas placas paralelas.

- (d) Explique como se comporta o campo elétrico no interior do cilindro em função do potencial e das cargas elétricas presentes na superfície do mesmo.

- (e) Prove, usando a lei de Gauss, o fenômeno observado no item b.

Atividade de Laboratório III

Resistores lineares e não lineares

Lei de Ohm

Utilizando o material fornecido (fonte de tensão contínua, 2 multímetros, resistores variados, suporte e fios conectores), monte um circuito que permita medir a corrente e a tensão no resistor simultaneamente. Faça um esquema do circuito.

O objetivo desta atividade experimental é que você identifique resistores lineares e não lineares. Para isso você deve analisar o comportamento da corrente que atravessa o resistor em função da tensão aplicada.

Faça medidas de corrente para diferentes valores de tensão nos resistores a seguir. **NUNCA ULTRAPASSE OS LIMITES DOS EQUIPAMENTOS!**

Resistor VDR

(Voltage Dependent Resistor)

0 V – 14 V



V (volts)	i (mA)

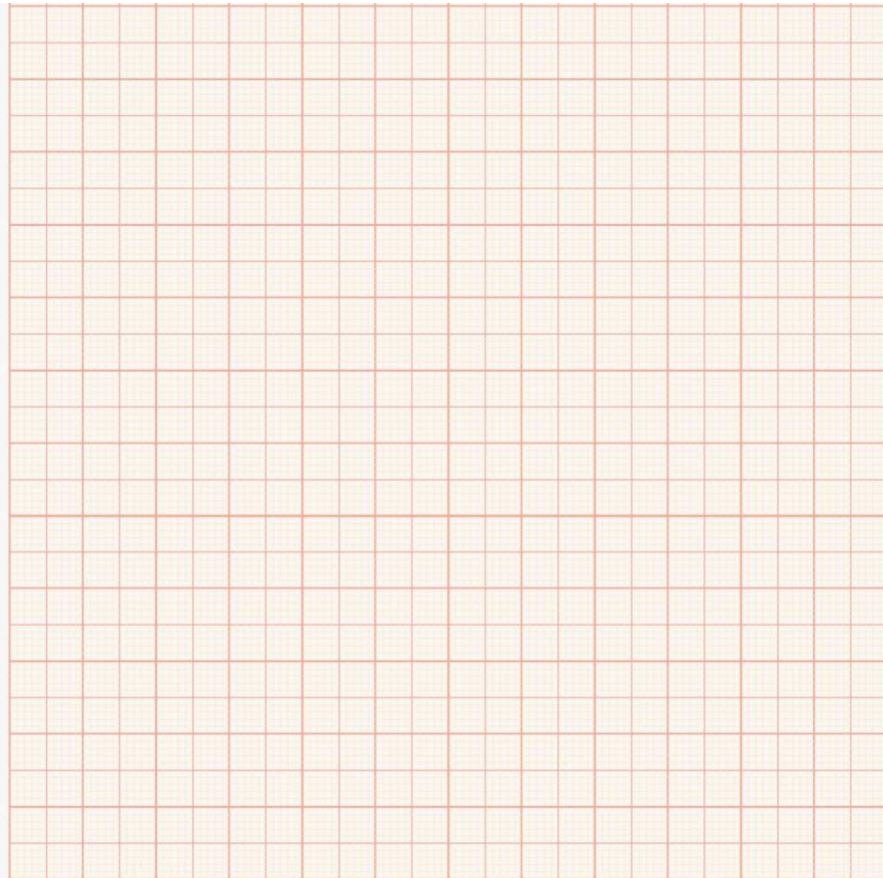
Os resistores NTC (*negative temperature coefficient*) e LDR (*light dependent resistor*) estão disponíveis para análise qualitativa. Ao ligar o resistor NTC, tenha especial cuidado para não danificar os instrumentos de medida, pois a partir de certa temperatura a corrente sobe bruscamente. Se isso ocorrer, desligue o multíteste.

Com base nas suas observações, responda às seguintes perguntas:

1 – Qual dos resistores obedece à Lei de Ohm? Explique.

2 – O valor nominal do resistor comum coincide com o valor medido diretamente no multímetro (conectando o resistor diretamente no multímetro e selecionando a opção *ohmímetro*)? Qual dos valores é mais confiável?

3 – Cite uma utilização prática para os resistores NTC e LDR.

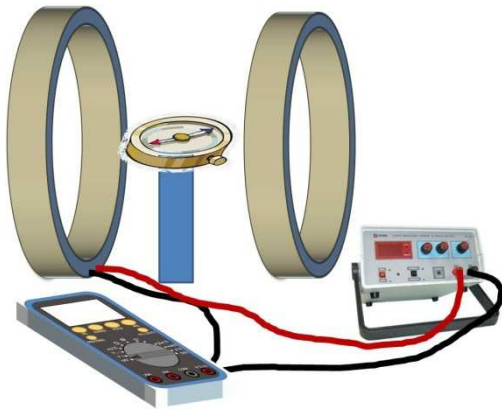


Atividade de Laboratório IV

Campo magnético da Terra

A bússola é um instrumento composto por uma agulha imantada que pode girar livremente sobre um eixo. Sua orientação varia conforme o campo magnético RESULTANTE num determinado local. Na ausência de qualquer outro campo magnético, a bússola indica a direção e o sentido da componente horizontal do campo magnético terrestre.

A figura abaixo mostra uma bobina de Helmholtz, que consiste num par de bobinas comuns de mesmo raio R , alinhadas paralelamente ao longo do eixo, afastadas entre si por uma distância igual a R . Com a bobina de Helmholtz é possível produzir um campo magnético com orientação bem determinada e módulo que pode ser ajustado variando-se a intensidade da corrente que passa pela bobina.



ATIVIDADE 1 – Mostre que o módulo do campo magnético \vec{B} ao longo do eixo de uma espira de raio \vec{R} é dado por:

$$B(x) = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 i R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

onde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Tm/A$, i é a corrente elétrica e x é a distância medida ao longo do eixo da espira.

ATIVIDADE 2 – Mostre que o módulo do campo magnético no centro geométrico do aparato mostrado na figura acima (entre as duas espiras que compõem a bobina de Helmholtz) é dado por:

$$B = \frac{8Ni\mu_0}{R5\sqrt{5}}$$

onde N é o número de espiras que compõem cada bobina.

A intensidade do campo magnético produzido pelas bobinas é função da corrente que circula nas espiras. Não havendo corrente, a bússola colocada no interior da bobina de Helmholtz indicará a direção Norte. Se houver corrente, a bússola indicará a direção do campo magnético resultante, que é a SOMA VETORIAL dos campos \vec{B} da Terra e da bobina de Helmholtz. Quando o eixo da bobina e a direção Norte fizerem um ângulo de 90° , fica muito fácil determinar a intensidade do campo \vec{B} da Terra. Por exemplo: quando o ângulo for 45° , isso indica que a componente horizontal do campo \vec{B} da Terra e o campo \vec{B} produzido pela bobina de Helmholtz têm a mesma intensidade.

É muito importante que a bobina de Helmholtz esteja devidamente alinhada. O eixo da bobina deve estar alinhado com a direção Leste-Oeste (quando não houver corrente). O sucesso desse experimento depende do bom alinhamento da bobina.

- Conecte a bobina de Helmholtz à fonte de tensão contínua, em série com um amperímetro e com uma resistência de 100Ω .
- Com a fonte de tensão DESLIGADA, alinhe o eixo da bobina com a direção Norte-Sul.
- Ligue a fonte fazendo passar pela bobina uma corrente de 100 mA . Se a agulha se mover, é porque o alinhamento ainda não está bom. Desligue a fonte, alinhe novamente. Repita esse procedimento até que o alinhamento esteja adequado.
- Com a bobina ligada, gire somente a bússola, até que a agulha indique 90° .
- Desligue a corrente e faça uma rotação de 90° em toda a bobina. A agulha passará a indicar 0° . Dessa forma, o eixo da bobina está alinhado com a direção Leste-Oeste.
- Faça oito medidas de valores da corrente na bobina para as quais a agulha assume ângulos entre 5° e 85° .

Calcule os valores para a componente horizontal do campo \vec{B} correspondente às oito medidas. A média destes valores deverá fornecer a melhor expressão do valor experimental da componente horizontal do campo magnético terrestre.

θ°	$i \text{ (mA)}$	$B_T \text{ (}\mu\text{T)}$

Atividade de Laboratório V

Força Eletromotriz Induzida

Essa atividade experimental tem a finalidade de ilustrar o fenômeno da indução eletromagnética. Primeiramente, você deve fazer uma análise QUALITATIVA, observando a corrente induzida numa bobina devido à variação do fluxo magnético através dela. Em seguida, você deve fazer medidas experimentais para avaliar como a força eletromotriz (fem) induzida por uma bobina em outra depende da distância entre elas.

Para a realização das atividades, você utilizará um GALVANÔMETRO, que é um instrumento de alta sensibilidade. Por essa razão você NÃO deve produzir correntes elétricas induzidas cujas intensidades poderão danificar o galvanômetro. Evite que o ponteiro colida com a parte final das escalas. Para isso, você deve evitar variações de fluxo magnético muito grandes, principalmente quando as bobinas estiverem com núcleo de ferro no seu interior.

PRIMEIRA PARTE

Você dispõe de uma fonte de tensão, um galvanômetro, duas bobinas, um ímã permanente, interruptor e um núcleo de ferro. Nessa primeira parte do experimento, faça uma análise qualitativa das diferentes situações propostas abaixo, respondendo às questões a seguir.

- (A) Conecte a bobina de 1000 espiras ao galvanômetro. Agora aproxime e afaste o ímã permanente. Identifique o sentido da corrente induzida baseando sua explicação na Lei de Faraday-Lenz. A rapidez com que você executa os movimentos influencia na intensidade da corrente induzida? Por quê? A convenção de cores para os polos do ímã é a seguinte: vermelho – polo norte

(linhas de campo saindo), azul – polo sul (linhas de campo entrando). A deflexão do ponteiro do galvanômetro dá-se para o lado do terminal em que entra a corrente elétrica.

- (B) Conecte agora a bobina de 500 espiras à bateria colocando o interruptor em série no circuito. Aproxime esta bobina da outra de 1000 espiras que permanece ligada ao galvanômetro. Abra e feche o circuito através do interruptor. Observe o sentido da corrente induzida e explique seu comportamento (conforme a Lei de Faraday-Lenz).
- (C) Coloque o secundário em diversas posições com relação ao primário (inclusive para uma mesma distância de separação, coloque as bobinas de tal forma que seus eixos não sejam colineares). O que você observa? Explique.
- (D) Repita o procedimento (B) colocando o núcleo de ferro no interior da bobina primária. Por que a intensidade da fem aumenta? Explique.

SEGUNDA PARTE

O objetivo desta segunda parte é estudar de que forma a fem induzida em uma bobina secundária varia com a distância que a separa de outra bobina (primária) alimentada com uma fonte de tensão alternada.

Você utilizará para realizar a experiência, duas bobinas, um multímetro, uma fonte de tensão alternada, um núcleo de ferro, uma trena e conectores. Uma bobina primária ligada na fonte de tensão alternada produzirá um campo magnético variável que irá induzir uma fem na bobina secundária. A figura ao lado mostra uma representação esquemática do sistema.

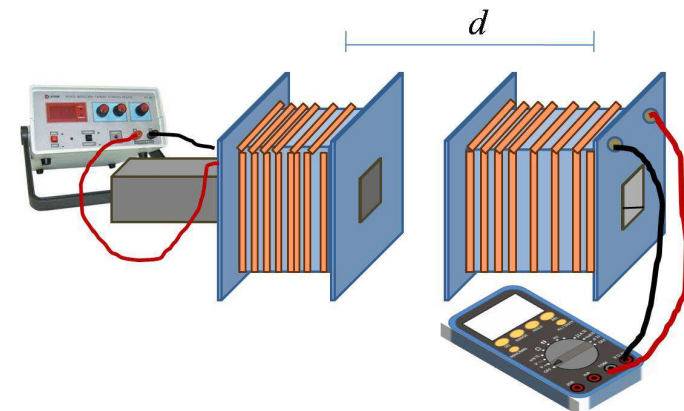
Não ligue o circuito primário sem o núcleo de ferro pois a corrente poderá ser muito grande e danificará o equipamento. A bobina de 500 espiras (primária) deverá ser alimentada com 6 V (no modo corrente alternada). É importante que o núcleo de ferro seja posicionado de tal forma que não sobressaia da bobina primária no

lado voltado para a bobina secundária. O multímetro deverá ser ajustado para a escala de 2V em *tensão alternada* e conectado com a bobina de 1000 espiras.

Encoste uma bobina na outra e então ligue a fonte. A tensão induzida na bobina secundária será aproximadamente 1.4 V. Nessa posição meça a distância entre o centro das duas bobinas (que deve ser aproximadamente 8,2 cm). Afaste as duas bobinas, determine a nova distância entre os seus centros e faça medidas da fem induzida na bobina secundária. Complete a tabela a seguir.

A fem induzida depende da distância entre as duas bobinas. Uma forma de analisar a situação é reescrever a equação como uma lei de potência do tipo $\varepsilon_{ind} = c \cdot d^n$ onde c é uma constante positiva, d é a distância entre os centros das bobinas e n é uma constante negativa. (Reescreva a equação na forma sugerida e veja por você mesmo. Isso vai lhe ajudar a compreender melhor o experimento). Se tomarmos o logaritmo em ambos os lados da equação, obtemos

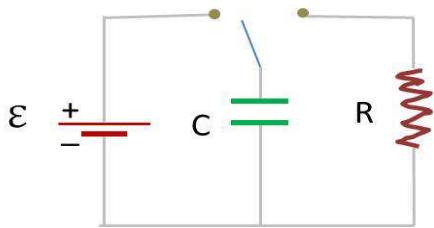
$$\ln(\varepsilon_{ind}) = n \cdot \ln(d) + \ln(c)$$



Atividade de Laboratório VI

Circuito RC - série

Um capacitor carregado apresenta uma ddp ΔV entre suas placas, o qual pode ser facilmente descarregado quando conectado em série com uma resistência R . Um circuito composto por um resistor de resistência R e um capacitor de capacitância C é a forma mais simples de circuito RC (figura abaixo). A energia elétrica armazenada no campo elétrico do capacitor é convertida em outras formas de energia geralmente calor, no resistor. Essa conversão de energia não é instantânea, mas leva um tempo característico em cada circuito, dependendo dos valores de R e C .



Ao conectar a resistência ao capacitor carregado (eliminando do circuito a fonte de tensão), num caminho fechado passando por R e C podemos dizer que

$$\Delta V(t) + i(t)R = 0$$

Corrente é definida como a quantidade de carga que atravessa o fio por unidade de tempo

$$i(t) = \frac{dQ(t)}{dt}$$

e a ddp no capacitor é dada por

$$\Delta V(t) = \frac{Q(t)}{C}$$

Dessa forma, podemos dizer que

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{1}{RC}Q(t)$$

Essa é uma equação diferencial de primeira ordem, pois nela estão presentes a função $Q(t)$ e também a derivada temporal dessa função, $\frac{dQ(t)}{dt}$. A solução dessa equação deve ser uma função cuja derivada primeira é igual à própria função, a menos de uma constante. A função que apresenta esse tipo de comportamento é a função exponencial, portanto pode-se escrever

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

A quantidade RC , chamada *constante de tempo*, é o que caracteriza o circuito e pode ser reescrita como τ . Num processo de descarga, por exemplo, após um tempo igual a τ a carga no capacitor é igual a e^{-1} (ou 0,37) vezes o seu valor inicial.

Métodos para resolver esse tipo de equação serão vistos em detalhe no curso de equações diferenciais. Por ora, você deve utilizar a solução dessas equações conforme a tabela a seguir.

Capacitor Carregando	Capacitor Descarregando
$\varepsilon = R \frac{dQ(t)}{dt} + \frac{Q(t)}{C}$	$R \frac{dQ(t)}{dt} + \frac{Q(t)}{C} = 0$
$Q(t) = \varepsilon C \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$	$Q(t) = \varepsilon C e^{-\frac{t}{RC}}$
$\Delta V(t) = \varepsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$	$\Delta V(t) = \varepsilon e^{-\frac{t}{RC}}$

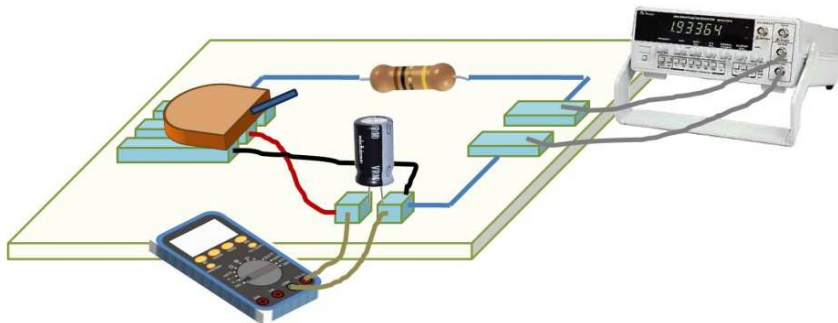
Quando $t = RC$, a tensão no capacitor atinge 63% do valor máximo quando este estiver carregando e 37% do valor máximo num processo de descarga.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Esse experimento tem por objetivo determinar a constante de tempo τ do circuito RC num processo de carga e descarga do capacitor. Para isso serão utilizados um capacitor ligado em série a um resistor e uma fonte de tensão contínua. Para facilitar o procedimento, uma chave seletora também será utilizada. Essa chave permite a passagem de corrente na direção para a qual a chave está direcionada. O capacitor tem polaridade e deve ser conectado de forma que a faixa mais clara esteja conectada ao negativo da fonte.

CAPACITOR CARREGANDO

Monte o circuito conforme mostra a figura abaixo. Utilizando dois cabos de conexão disponíveis, faça uma ligação entre a saída central da chave seletora e o positivo do capacitor e uma outra ligação entre a saída mais à esquerda da chave seletora e o negativo do capacitor. O capacitor deve também ser ligado em paralelo a um voltímetro para medir a ddp no capacitor durante os processos de

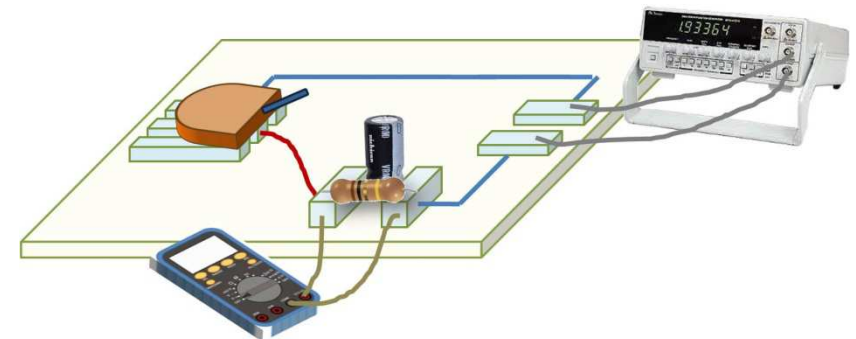


carga e descarga.

Utilizando um cronômetro, faça medidas do tempo necessário para que a ddp no capacitor atinja um determinado valor. Por exemplo: partindo do capacitor descarregado, acione o cronômetro e a chave seletora simultaneamente e verifique qual o tempo necessário para que a ddp no capacitor atinja $1V$. Em seguida, descarregue o capacitor mudando a posição da chave seletora para a esquerda e faça novamente a medição do tempo necessário para que a ddp atinja $2V$, e assim por diante até $12V$. Para os primeiros 5 pontos, é imprescindível descarregar o capacitor a cada medição, pois o tempo para atingir a ddp desejada é curto. Quanto maior a carga no capacitor, mais lento é o acréscimo de carga, por isso é recomendável não zerar o cronômetro para medidas de ddp próximas do valor máximo.

CAPACITOR DESCARREGANDO

Modifique o circuito fazendo com que o capacitor e o resistor estejam ligados em paralelo. Como a resistência no fio é desprezível, ao ligar a chave para a direita o capacitor é carregado quase



imediatamente. Quando a chave for posicionada para a esquerda, o capacitor vai descarregar diretamente no resistor. A chave seletora e o cronômetro devem ser acionados ao mesmo tempo (de preferência

pela mesma pessoa para minimizar erros de medida). Verifique quanto tempo é necessário para que a ddp no capacitor diminua 1 V (ou seja, para que a ddp no capacitor atinja 11 V). Em seguida carregue novamente o capacitor e verifique quanto tempo é necessário para que a ddp no capacitor diminua 2 V (ou seja, para que a ddp no capacitor atinja 10 V), e assim por diante até que a ddp no capacitor seja próxima de zero.

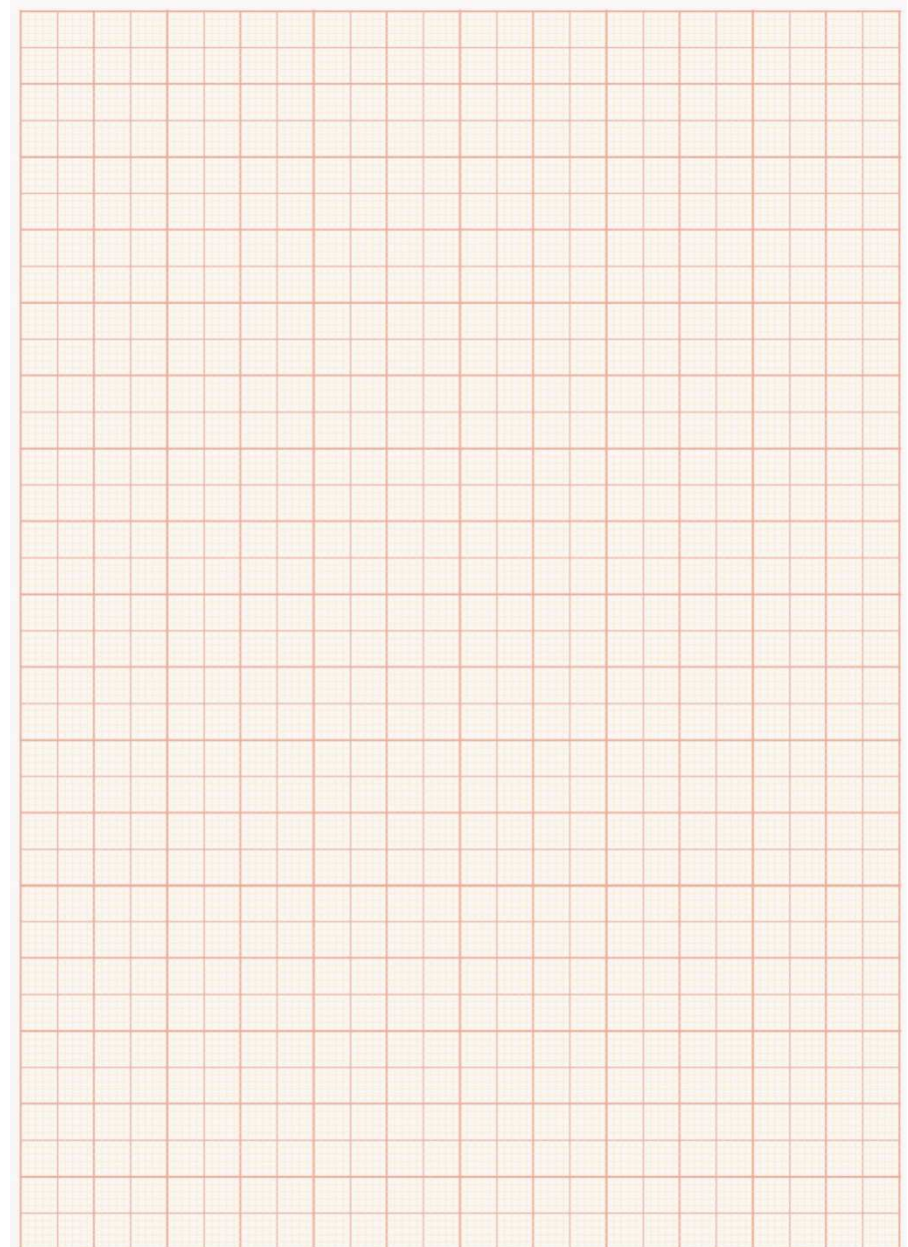
Preencha as tabelas abaixo e faça um gráfico de ΔV_{cap} versus t para os dois casos, de carga e descarga do capacitor. A partir do gráfico, determine os valores da constante de tempo dos circuitos. Do valor obtido para RC e do valor da resistência, calcule o valor experimental da capacitância e compare com o valor nominal indicado no próprio capacitor.

CARREGANDO

ΔV_{cap} (V)	t (s)

DESCARREGANDO

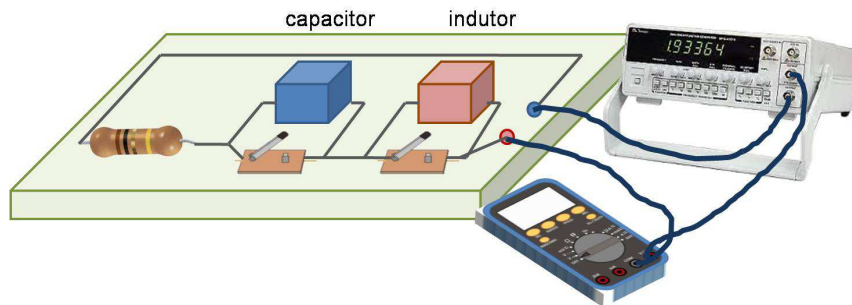
ΔV_{cap} (V)	t (s)



Atividade de Laboratório VII

Circuito RLC: IMPEDÂNCIA x FREQUÊNCIA

Essa atividade é uma pequena introdução prática a circuitos de corrente alternada. Tem por objetivo medir, em circuitos RLC-série, tensões, correntes, resistências, reatâncias, impedâncias, capacitâncias, indutâncias e relações de fase, além de estudar a condição de ressonância desse tipo de circuito.



O circuito mostrado na figura acima será utilizado para determinar como a impedância de uma associação em série de um resistor com um capacitor e um indutor varia com a frequência da fonte. A fonte deverá ser ajustada de forma a produzir uma onda de tensão senoidal com valor eficaz ou *rms* (V_e) de $5V$. Para tanto, utilize o voltímetro entre os terminais da fonte para fazer o ajuste. O Amperímetro deverá ser utilizado na escala de $2mA$. A impedância (Z) da associação em série é a razão entre a tensão eficaz de alimentação (V_e) pela intensidade da corrente eficaz (I_e).

PRIMEIRA PARTE – determinação da R , L , C , $f_{ressonância}$

Ajuste a fonte para a frequência de 200 Hz . Meça a intensidade da corrente eficaz, as tensões eficazes sobre o indutor, o capacitor e o resistor. Para esta frequência a ressonância elétrica do indutor é desprezível frente à sua reatância indutiva. Dessa forma, pode-se calcular a reatância indutiva pela razão da tensão eficaz no indutor pela intensidade da corrente eficaz. Calcule também a reatância capacitiva. A partir das reatâncias, calcule a indutância e a capacitância. Finalmente, calcule a frequência de ressonância e compare com o valor medido.

Valores medidos	Reatâncias e resistência
$V_{e,R} =$	$\chi_R = \frac{V_{e,R}}{I_e} =$
$V_{e,C} =$	$\chi_C = \frac{V_{e,C}}{I_e} =$
$V_{e,L} =$	$\chi_L = \frac{V_{e,L}}{I_e} =$

Calcule também a capacitância, a indutância e a frequência natural do sistema (f_N):

$$C = \frac{1}{2\pi f \chi_C} =$$

$$L = \frac{\chi L}{2\pi f} =$$

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} =$$

Construa o diagrama de fasores para os valores acima. Qual o ângulo de fase entre a corrente e tensão da fonte?

SEGUNDA PARTE – frequência de ressonância

Preencha a tabela abaixo medindo a corrente elétrica do circuito para diferentes valores de frequência.

f(Hz)	V_e (V)	I_e (mA)	$Z = \frac{V_e}{I_e}$ (K Ω)
10			
30			
60			
80			
100			
120			
150			
200			
300			
400			
500			
1000			

Calcule a impedância e faça um gráfico da impedância *versus* frequência. Determine no gráfico a frequência de ressonância (provavelmente não coincidirá com nenhum dos valores medidos). Varie a frequência na fonte até que a intensidade da corrente seja máxima. Compare com o valor obtido do gráfico.

Atividades de Laboratório BETA - I

Os experimentos sugeridos para a turma BETA têm por finalidade auxiliar na compreensão dos fenômenos eletromagnéticos vistos em aula, o que pode ser alcançado mesmo que se utilizem equipamentos muito simples.

Você terá à disposição uma série de materiais como fios, pregos, multímetros, pinos, bússola, arame, régua, etc, que você poderá utilizar da maneira que achar mais conveniente para demonstrar alguns dos fenômenos eletromagnéticos vistos em aula. Utilize as ideias a seguir como sugestão, adapte o experimento para a realidade da sala onde você está. Você pode fazer quantos experimentos quiser, mas lembre-se de que o mais importante não é a quantidade, mas a qualidade dos resultados. Ao final da aula, você deverá ter resultados suficientes para escrever um pequeno relatório do experimento que você desenvolveu, descrevendo em detalhes o que foi feito, como, com que materiais, quais os resultados obtidos e comparações com previsões teóricas. Faça anotações detalhadas durante o experimento (com desenhos e fotos) pois você vai precisar dessas informações para escrever seu relatório. Utilize a página em branco e o papel milimetrado a seguir para fazer anotações.

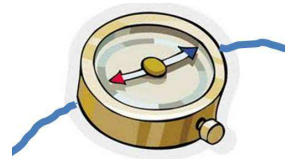
SUGESTÃO 1

CAMPO MAGNÉTICO DE UM FIO LONGO

Construa um circuito simples com um resistor, fonte de tensão e um fio longo ($\pm 2\text{ m}$). A lâmpada suporta uma tensão máxima de 5 V , o resistor comum suporta 14 V . Tome cuidado para não

ultrapassar esses limites. Estenda o fio na direção NORTE-SUL sobre a mesa ou no chão, deixe a fonte numa das extremidades o mais distante possível do ponto onde serão feitas as medidas.

Com a fonte desligada, posicione a bússola sobre o fio com a agulha alinhada na direção do fio e meça a deflexão da agulha quando a fonte é ligada. Faça várias medidas, em diferentes posições para ter certeza de não ter nenhuma interferência externa (evite as extremidades). Faça a corrente passar pelo fio na direção oposta e observe o que acontece.



Repita o experimento com a bússola a certa altura do fio, escolha uma altura que possibilite medir alguma deflexão na agulha. Meça a altura com a régua e anote a deflexão da agulha.

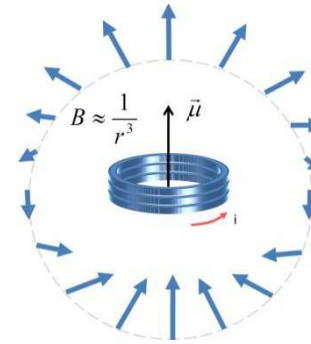
Análise dos dados – suas observações são consistentes com a previsão teórica de que o campo magnético ao redor de um fio longo por onde passa corrente é proporcional à $\sim \frac{1}{r}$ (onde r é a distância até o eixo do fio)? Determine a corrente no fio a partir dos valores medidos (deflexão na agulha da bússola) e compare com o valor ajustado na fonte.

SUGESTÃO 2

CAMPO MAGNÉTICO DE UMA BOBINA

Construa uma bobina com o fio longo, enrolando-a num pedaço de cano de PVC e prendendo com fita. Construa um circuito simples com a fonte, a bobina e uma resistência. Posicione a bobina de tal forma que o seu eixo coincida com a direção LESTE-OESTE.

Posicione o conjunto bússola-bobina o mais distante possível da fonte (para evitar interferências).



Faça um desenho esquemático mostrando a posição relativa da agulha da bússola para diferentes posições ao redor da bobina (enquanto passa corrente por ela). Posicione a bússola a diferentes distâncias ao longo do eixo da bobina e observe a deflexão da agulha. Compare os seus resultados com a previsão teórica.

Análise dos dados – suas observações são consistentes com a previsão teórica de que o campo magnético ao longo do eixo de uma bobina é proporcional à $\sim \frac{1}{r^3}$ (onde r é a distância até o centro)? Determine a corrente no fio a partir dos valores medidos (deflexão na agulha da bússola) e compare com o valor ajustado na fonte.

SUGESTÃO 3

BOBINA COM NÚCLEO DE FERRO

Para esse experimento você vai precisar de pregos não magnetizados. Verifique se os pregos que você tem disponíveis estão magnetizados aproximando da bússola (sem tocar) os dois lados do prego. Se o prego está desmagnetizado, ambos os lados afetarão a bússola da mesma forma. Caso os pregos estejam fortemente magnetizados, cada um dos lados do prego afetarão a bússola de forma diferente. Para reduzir o efeito da magnetização nos pregos, aproxime o ímã (sem tocar) fazendo com que o prego fique magnetizado na direção oposta. Repita essa operação quantas vezes

for necessário até que a magnetização do prego seja imperceptível com a bússola.

Construa uma bobina enrolando o fio longo num cano de PVC e prendendo com fita. Meça o diâmetro interno da bobina. Conecte a bobina ao resistor e à fonte (desligada). Oriente o eixo da bobina na direção LESTE-OESTE, ligue a fonte e posicione a bússola (ao longo do eixo da bobina) até que a agulha indique 5° . Desligue a fonte (a agulha da bússola deve então marcar 0°).

Insira um prego (desmagnetizado) na bobina, ligue a fonte e observe a deflexão da bússola. Repita essa operação adicionando outros pregos à bobina e anote os resultados. Explique por que a deflexão da agulha da bússola é afetada pela introdução dos pregos na bobina.

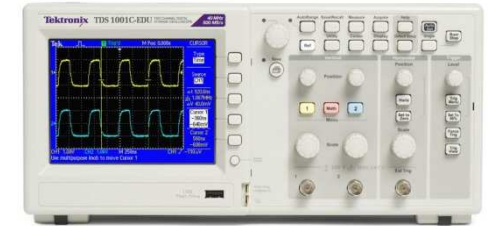
O que acontece quando você desliga a fonte? Explique os resultados observados. Ao terminar o experimento, desmagnetize os pregos utilizados.

RESULTADOS

Atividades de Laboratório BETA - II

A atividade experimental BETA II é relativa ao conteúdo de CORRENTE ALTERNADA. Nesse laboratório utiliza-se um gerador de funções pra fornecer uma tensão alternada ao circuito, que pode conter capacitores, resistores e indutores. A tensão pode ser monitorada em diversos pontos do circuito, utilizando um voltímetro ou um osciloscópio.

O OSCILOSCÓPIO é um dos instrumentos de medida mais versáteis usados na eletrônica. O osciloscópio nos fornece, num modo gráfico, diferenças de potencial em função do tempo. A ordenada (eixo vertical) é a ddp entre dois pontos (ou a tensão de um ponto em relação à Terra) e a abscissa é o tempo. Ou seja, a tela de um osciloscópio é um gráfico de uma função da tensão contra o tempo: $V(t) \times t$. Ele é um instrumento próprio para observar variações rápidas de tensões ao longo do tempo, informação essa que não pode ser obtida por um multíteste comum.



Como ele é um instrumento para medir grandes e pequenas tensões, em intervalos de tempo que variam desde segundos até microsegundos, a calibração dos eixos é variável, a fim de poder adaptar o osciloscópio ao que queremos medir. Se por exemplo para o eixo vertical for atribuído o valor 2 Volts por divisão (2 Volts / div) significa que cada divisão da tela vale 2 Volts. Da mesma forma pode-se calibrar o eixo horizontal em segundos ou fração de

segundos. A maioria dos osciloscópios possuem dois canais, permitindo observar dois sinais ao mesmo tempo. Para tanto existem duas ponteiros de medidas. O osciloscópio, assim como o multíteste, sempre mede diferenças de potencial entre dois pontos, portanto, cada ponteira possui dois terminais.

O GERADOR DE FUNÇÕES é um equipamento que permite a aplicação de um sinal de tensão alternada de formas distintas (senoidal, quadrada, triangular, etc...), com frequências bem determinadas. Conecte diretamente o osciloscópio no gerador de funções. Coloque o gerador no modo função senoidal e observe com o osciloscópio o sinal de saída do gerador para diferentes frequências. Verifique o que acontece quando é selecionada a função onda quadrada, e onda triangular.

Valor RMS (ou eficaz) e valor de PICO

A tensão fornecida pelo gerador de funções é uma função senoidal cujo valor médio é zero. Essa não é uma informação muito útil. Por esse motivo, utilizamos o valor RMS (*root mean square*) ou valor médio quadrático para caracterizar sistemas de corrente alternada, não simplesmente o valor médio.

$$V_{RMS}^2 = \langle V^2 \rangle_{\text{médio}} = \langle V_0^2 \text{sen}^2(2\pi ft) \rangle_{\text{médio}}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\langle V_0^2 \text{sen}^2(2\pi ft) \rangle} = V_0 \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

ATIVIDADE 1

CARGA E DESCARGA DO CAPACITOR

Construa um circuito simples com resistor, capacitor, e gerador de funções. Selecione uma onda quadrada no gerador de funções. O osciloscópio pode ser utilizado para visualizar a tensão tanto da fonte quanto no capacitor, e isso pode ser útil para comparações diretas. O osciloscópio tem dois canais, utilizando dois cabos é possível monitorar a tensão em dois pontos diferentes do circuito. É importante que o neutro da fonte seja conectado ao neutro do osciloscópio (ligue cabo preto com cabo preto nos cabos coaxiais).

O gráfico abaixo foi extraído do próprio osciloscópio quando um capacitor e um resistor são ligados em série ao gerador de funções. A curva quadrada mostra a tensão de saída da fonte e a curva com cantos arredondados mostra a tensão nos terminais do capacitor em função do tempo.



Determine a constante de tempo do circuito para três valores diferentes de resistência e / ou capacitância. Os resultados mostrados na tela do osciloscópio podem ser salvos numa USB para depois

serem analisados. Com base nas suas observações responda as perguntas à seguir:

- Por que a tensão no capacitor é diferente da tensão no resistor se ambos estão em série no mesmo circuito?

- O que muda na curva de carga e descarga do capacitor quando a resistência e / ou capacitância são alteradas?

- Se você medir a tensão no capacitor utilizando um multímetro (selecione a opção $V \sim$) o valor é diferente daquele mostrado na tela do osciloscópio (amplitude da onda quadrada). Por quê?

- Determine as constantes de tempo para os diferentes circuitos utilizados durante o experimento. Os dados do osciloscópio podem ser salvos numa USB (serão necessários na tarefa de leitura).

ATIVIDADE 2

VARIAÇÃO DA TENSÃO NUM INDUTOR

Conecte uma bobina e um resistor em série ao gerador de funções. Selecione a opção onda quadrada no gerador de funções. Conecte as pontes do osciloscópio em paralelo com a bobina para monitorar a tensão em função do tempo. Ajuste os parâmetros no osciloscópio para visualizar como varia a tensão na bobina em função do tempo (mude a escala de tempo e amplitude se necessário). Inverta a posição do indutor e do resistor no circuito para monitorar a corrente (a corrente é diretamente proporcional à ddp do resistor). Com base nas suas observações responda às seguintes perguntas:

- Por que a tensão no indutor é tão diferente da tensão no capacitor (em função do tempo)?

- De que forma se pode mudar a indutância da bobina? Altere a indutância da bobina e observe como isso afeta o gráfico de tensão em função do tempo.

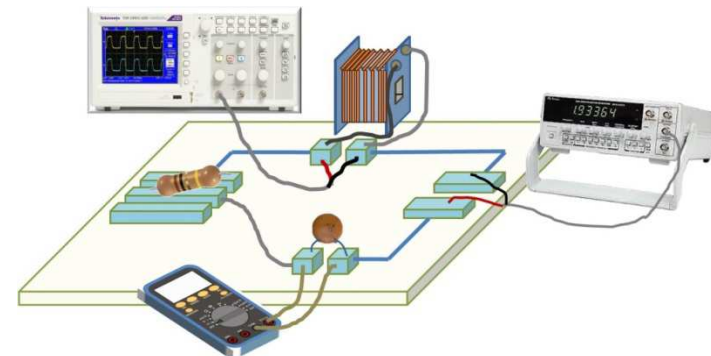
- Salve os gráficos de tensão obtidos no osciloscópio para uso posterior (serão necessários para a tarefa de leitura).

ATIVIDADE 3

CIRCUITO RLC - RESSONÂNCIA

Conecte um indutor, um resistor e um capacitor em série a um gerador de funções, com a opção onda quadrada. Após visualizar o formato do sinal, troque para ONDA SENOIDAL no gerador de funções.

O osciloscópio usa um cabo coaxial. Para o circuito funcionar bem é preciso que o neutro da fonte (cabo preto) esteja conectado ao neutro do osciloscópio. O dispositivo cuja tensão deseja-se monitorar deve ser colocado na posição onde agora está a bobina.



Ajuste a fonte para a frequência de ~500 Hz. Meça a intensidade da corrente eficaz, as tensões eficazes sobre o indutor, o capacitor e o resistor. Calcule a reatância indutiva (razão da tensão eficaz no indutor e da intensidade da corrente eficaz). Calcule também a reatância capacitiva. A partir das reatâncias, calcule a indutância e a capacitância.

Calcule também a capacitância, a indutância e a frequência natural do sistema (f_N):

Valores medidos	Reatâncias e resistência
$V_{e,R} =$	$\chi R = \frac{V_{e,R}}{I_e} =$
$V_{e,C} =$	$\chi C = \frac{V_{e,C}}{I_e} =$
$V_{e,L} =$	$\chi L = \frac{V_{e,L}}{I_e} =$

$$C = \frac{1}{2\pi f \chi C} =$$

$$L = \frac{\chi L}{2\pi f} =$$

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} =$$

Varie a frequência da fonte e observe o que acontece com a tensão da fonte e do capacitor. Repita o procedimento monitorando a tensão do indutor e da fonte. Encontre a frequência de ressonância e compare com o valor calculado.

Construa o diagrama de fasores para os valores acima. Qual o ângulo de fase entre a corrente e tensão da fonte?

Utilizando duas ponteiros do osciloscópio, uma delas monitorando os terminais do gerador de tensão, e a outra monitorando a tensão no resistor, observe o que acontece quando a frequência é alterada. Responda as seguintes perguntas:

- Para qual frequência a amplitude da tensão é maior no resistor? Nessa frequência, qual a tensão nos terminais do indutor e do capacitor?

- Determine a impedância do circuito.

- O que significa fator de potência? O que significa diferença de fase? Relacione esses termos aos resultados observados.

- Salve os gráficos do osciloscópio para diferentes valores de frequência, incluindo a frequência de ressonância.

Respostas*

*Este é um material em desenvolvimento. Sugestões são bem-vindas e podem ser enviadas para raquelgiulian@if.ufrgs.br.

- A1 $\sim 0,01C$
 A2 $\sim 3,6 \times 10^8 N$
 A3 $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q^2 4444 \langle -0,32; 0,97; -0,03 \rangle N$
 A4 $F_{\text{mínimo}} = 0$ quando $x = 0$;
 $F_{\text{máximo}} = 6,3 \times 10^{-26} N$ quando $x = 10,6 \text{ cm}$;
- B1 $\vec{E}_A = \langle -4,48 \times 10^5; 0; 0 \rangle N/C$
 $\vec{E}_B = \langle 4,26 \times 10^5; 0; 0 \rangle N/C$
 $\vec{F} = \langle 7,17 \times 10^{-14}; 0; 0 \rangle N$
 B3 $E_x = E_y = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 y}$
 B4 $\vec{E} = \langle 0; -16000; 0 \rangle N/C$
 B5 $\vec{F} = \frac{Q(-1,602 \times 10^{-19})}{6\pi^2 \epsilon_0 R^2} \langle 1; -1; 0 \rangle N$
 B6 $\Delta U = -11100 J$
 $\vec{\tau} = \langle 0; 0; -1500 \rangle Nm$
 $W = -26100 J$
 B7 $\vec{E} = \langle 0; -\frac{\lambda_0}{4\epsilon_0 R}; 0 \rangle$
 B8 $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 L} \left(\frac{1}{\sqrt{A^2 + L^2}} - \frac{1}{A} \right)$
- C1 $E_{\text{sup}} = \frac{\rho_0}{0,02 \epsilon_0}$, $E_{\text{int}} = \frac{\rho_0}{0,01 \epsilon_0}$, $E_{7cm} = \frac{\rho_0 R}{\epsilon_0 r^2} = 4,6 \times 10^{11} \rho_0$
 C2 $\theta = \sim 13^\circ$
 C3 $E_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, $E_2 = 0$, $E_3 = \frac{Q+q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, $E_4 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left(\frac{q(r^3 - a^3)}{(b^3 - a^3)} + Q \right)$,
 $E_5 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
 C4 $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$
 C5 $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$

- D1 $V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(q_1 + q_2 + q_3)}{R}$, para $V_{\text{total}} = 0$, uma das possibilidades é $q_1 + q_2 = -q_3$.
- D2 Comece considerando um ponto entre as duas cargas, a uma distância x de uma delas e $R - x$ da outra. Encontre x para o qual $V = 0$. Encontre o outro ponto para o qual $V = 0$, um deles é o centro, o outro o raio da esfera.
- D4 $V_P = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} \left[1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right]$
- D5 Considerando o ponto 2 na superfície da placa e o ponto 1 no centro da esfera $V_2 - V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} Q \left(\frac{1}{R+d} - \frac{1}{R} \right) - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (R + d)$
- D7 $V_c - V_b = \frac{\rho_0}{20\epsilon_0} (c^4 - b^4)$,
 $V_c - V_b = \frac{\rho_0}{6\epsilon_0} (c^2 - b^2)$ se a densidade fosse uniforme
- E1 (a) $\frac{20 \kappa_1 \kappa_2 \epsilon_0}{\kappa_1 + \kappa_2}$; (b) $5\epsilon_0 \left(\kappa_1 + \frac{2 \kappa_2 \kappa_3}{\kappa_2 + \kappa_3} \right)$; (c) $5\epsilon_0 (\kappa_1 + \kappa_2)$
- E2 $100 \mu C$ $20 \mu C$
 E3 $473,7 \mu C \rightarrow 1000 \mu C$; $47,4 V \rightarrow 100 V$
 E4 $3,2 \mu F$; $64,6 \mu C$; $V_3 = 10,8 V$; $Q_3 = 32,3 \mu C$; $V_2 = 9,2 V$;
 $Q_2 = 18,5 \mu C$; $V_1 = 4,6 V$; $Q_1 = 9,2 \mu C$;
 E5 $20 \mu C$
- F1 $5,44 \times 10^{-9} m/s$
 F2 $i_1 = 0,00545 A$ (horário); $i_2 = 0,02725 A$ (para baixo); $i_3 = 0,0218 A$ (anti-horário); $V_A = 5,45 V$
 F3 $0,78 \text{ Cu/Al}$
 F4 $4,62 \Omega$ ou 168Ω
 F5 595Ω
 F6 fontes: $16 W$, $8 W$, $-4 W$; resistores: $4 W$, $8 W$, $2 W$, $6 W$
- G1 $v_x = 4,82 \text{ km/s}$; $v_y = 9,65 \text{ km/s}$
 G2 (a) $\vec{F} = \langle 0; 0; 1,44 \times 10^{-18} \rangle N$
 (b) $\vec{F} = \langle 0; 0; 1,60 \times 10^{-19} \rangle N$
 (a) $\vec{F} = \langle 6,41 \times 10^{-19}; 0; 8,01 \times 10^{-19} \rangle N$
 G3 $5,7 \text{ nm}$
 G4 $3,34 \times 10^{-5} m/s$
 G5 $r_d = r_\alpha = r_p \sqrt{2}$

- G6 $i = \frac{mg}{2NLB} = 2,45 \text{ A}$
- G7 $F_{res} = iB2\pi r \text{ sen}\theta$ na direção y
- G8 $B = \frac{\lambda g \tan \theta}{i}$
- G9 $x = 0,4 \text{ m}$ $\theta_2 = \theta_1$
- G10 $3,7 \times 10^{-24} \text{ Nm}$
- G13 $\frac{L\omega\rho\pi}{4}(R_e^4 - R_i^4)$
- G14 $\frac{QR^2\omega}{3}$
- G15 $\frac{QR^2\omega}{5}$
- G16 $1,53 \times 10^{-5} \text{ T}$
- G17 (a) $\frac{\mu_0 i(2r^2 - a^2)}{\pi r(4r^2 - a^2)}$ (b) $\frac{\mu_0 i(2r^2 + a^2)}{\pi r(4r^2 + a^2)}$
- G19 $\frac{\mu_0 i}{3\pi a}(4\sqrt{2} + 2\sqrt{10})$
- G21 (a) $\frac{\mu_0 ir}{2\pi a^2}$ (b) $\frac{\mu_0 i}{2\pi r}$ (c) $\frac{\mu_0 i(r^2 - b^2)}{2\pi r(c^2 - b^2)}$
- G23 $\frac{\mu_0 i}{2\pi r} + \frac{\mu_0 i}{2r} = \left(\frac{\mu_0 i}{2r}\right)\left(\frac{1}{\pi} + 1\right)$
- G24 (a) $\frac{\mu_0 br^2}{3}$ (b) $\frac{\mu_0 bR^3}{3r}$
- G25 $\frac{\mu_0 Li_1 i_2}{\pi R}$
- G26 (a) $\frac{\mu_0 Ni}{2L} \left[\frac{d+L/2}{\sqrt{(d+L/2)^2 + R^2}} - \frac{d-L/2}{\sqrt{(d-L/2)^2 + R^2}} \right]$ (b) $\frac{\mu_0 iN}{L}$
- G27 dentro do fio (a) 0 T (b) $\frac{\mu_0 J_0 r}{2}$ (c) $\frac{\mu_0 J_0 r^2}{3}$
fora do fio (a) $\frac{\mu_0 i}{2\pi r}$ (b) $\frac{\mu_0 J_0 R^2}{2r}$ (c) $\frac{\mu_0 J_0 R^3}{3r}$
- G28 (a) $\mu_0 i_a n_1 - \mu_0 i_b n_2$ (b) $-\mu_0 i_b n_2$ (c) 0 T
- G29 (a) $i = \frac{J_0 2\pi r^3}{3R}$ (b) $B = \frac{\mu_0 J_0 r^2}{3R}$
- G30 (b) $B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi r}$
- H1 $\Phi = \frac{\mu_0 \pi i R^2 r^2}{2x^3}$; $\epsilon = \frac{3\mu_0 \pi i R^2 r^2 v}{2x^4}$; o mesmo do anel maior
- H2 (a) $\frac{\mu_0 ib}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{d}\right)$ (b) $5,01 \times 10^{-7} \text{ Wb}$
- H3 $0,122e^{-0,057t}$; $t = 40,4 \text{ s}$; sentido anti-horário
- H4 (a) 0 V (b) -10 mV (c) 0 V
- H5 anti-horário

- I1 (a) $i_1 = i_2 = 3,33 \text{ A}$ (b) $i_1 = 4,55 \text{ A}$ $i_2 = 2,73 \text{ A}$
(c) $i_1 = 0 \text{ A}$ $i_2 = -1,82 \text{ A}$ (d) $i_1 = i_2 = 0 \text{ A}$
- I2 $\Phi = \frac{Q}{2N} \sqrt{\frac{3L}{C}}$
- I4 $Q = -\frac{\epsilon_0}{Lk^2}$
- J1 (a) 15 Hz (b) $84,8 \text{ V}$ (c) $47,1 \Omega$ (d) $1,8 \text{ A}$ (e) $2,5 \text{ A}$
- J2 (a) $69,3 \text{ V}$ (b) 40 Hz (c) $20 \mu\text{F}$
- J3 (a) $\cos \phi = 0,32$ (b) $P_{med} = 0,42 \text{ W}$ (c) $P_{Res} = 0,095 \text{ W}$
 $P_{Cap} = 0,28 \text{ W}$ $P_{Ind} = 0,002 \text{ W}$
- J4 (a) $V_1 = 7,60 \text{ V}$ $V_2 = 3,04 \text{ V}$ $V_3 = 31,6 \text{ V}$ $V_4 = 28,6 \text{ V}$
 $V_5 = 29,6 \text{ V}$ (b) $V_1 = 19,52 \text{ V}$ $V_2 = 39,04 \text{ V}$ $V_3 = 16,26 \text{ V}$
 $V_4 = 22,78 \text{ V}$ $V_5 = 30,0 \text{ V}$
- J5 (a) $\omega = 944,9 \text{ rad/s}$ (b) $R = 70,6 \Omega$ (c) $V_{Res} = 120 \text{ V}$
 $V_{Ind} = 449,8 \text{ V}$ $V_{Cap} = 449,8 \text{ V}$
- J7 $i_{med} = 0 \text{ A}$ $i_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{3}} \text{ A}$
- J8 (a) $\omega'_{res} = \frac{\omega_{res}}{2}$ (b) $\chi'_L = \chi_L$ (c) $\chi'_C = \chi_C$ (d) (b) $Z' = 2Z$

Bibliografia

Chabay, Ruth W.. Matter & interactions. 3rd ed. Hoboken : Wiley, c2011. xxiv, 1080, 19 p : il.

Tipler, Paul A.. Física : para cientistas e engenheiros. 5. ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 2006. 2 v. : il.

Serway, Raymond A.. Princípios de física. In: Serway, Raymond A.; Jewett, Jr., John W. Princípios de física. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 4 v., 2004-2005. São Paulo :Cengage Learning, c2004-2005 4 v. : il.

Young, Hugh D.. Sears e Zemansky Física. 10. ed. São Paulo : Pearson Addison Wesley, c2003, c2004. 4 v. : il. ; 25 cm.

Nussenzweig, HershMoyses. Curso de física básica. 4. ed. rev. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, c2002. 4 v. : il.

Halliday, David. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ : LTC, c2009. 4 v. : il.