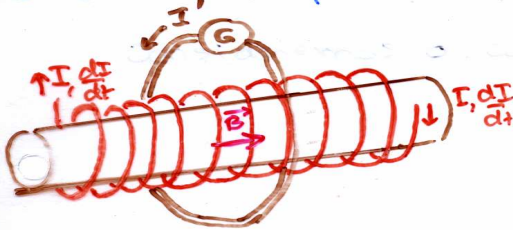


Campos elétricos induzidos

Num condutor em movimento num campo magnético, a fem induzida pode ser entendida com base nas forças magnéticas que atuam sobre o condutor (cf. § fem de movimento).

Num condutor estático num campo magnético variável, qual é a origem da fem induzida?



Acima, a corrente I que varia com o tempo cria um campo magnético \vec{B} dentro do solenóide, que varia com o tempo. Isto gera uma fem induzida \mathcal{E} e uma corrente induzida I' na espira, o que pode ser detectado pelo galvanômetro G .

$$\Phi_B = B \cdot A = \mu_0 n I A$$

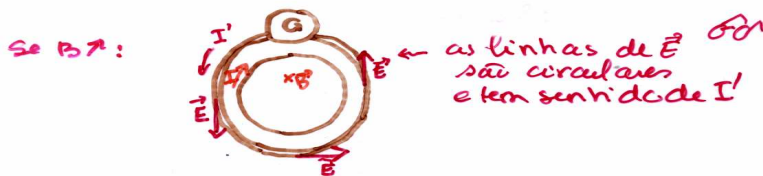
$$\Rightarrow \mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\mu_0 n A \frac{dI}{dt} \quad \text{e} \quad I' = \mathcal{E}/R.$$

Qual é a força que atua sobre as cargas da espira obrigando-as a se moverem? Não é uma força magnética pois a espira não se move e não está num campo magnético (pode-se supor o solenóide ideal, ou muito fino) \Rightarrow Existe um campo elétrico produzido pela variação do campo magnético e não por cargas.

isto só vale para espira estática e vale mesmo na ausência de espira.

Este campo tem propriedades diferentes:

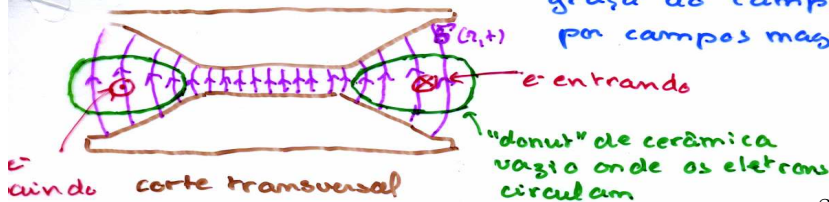
- $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \neq 0$ i.e. ele não é conservativo
- Ele não é radial mas sim tangente a espira e com mesma valor em todos seus pontos (por simetria), se não, não poderia criar I'



Podemos usar estas informações para calcular $|\vec{E}|$.
 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = E \cdot 2\pi r$ com C circuito circular de raio r que pode ser imaginário.
 $= -\frac{d\Phi_m}{dt}$
 $= -\mu_0 n A \frac{dI}{dt}$

$$\Rightarrow |\vec{E}| = - \left| \mu_0 n A \frac{dI}{dt} \frac{1}{2\pi r} \right|$$

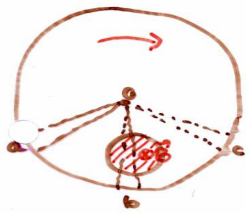
Obs: A ideia de criar este campo el. induzido no vácuo pode ser usada no Betatron; acelera-seletrons no vácuo (= sem espira) graças ao campo el. induzido por campos magn. variáveis



Em resumo, num campo magnético variável, aparece uma fem induzida ligada a um campo elétrico induzido:
 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_m}{dt}$ com C qualquer circuito fechado, mesmo imaginário.

Correntes de Foucault

Nos exemplos de indução que vimos, as correntes ^{induzidas} estavam confinadas em fios condutores, mas elas podem ocorrer em massas metálicas. Neste caso são chamadas: correntes de remoinho, parasitas ou de Foucault.



Exemplo: disco metálico girando em um campo magnético \vec{B} confinado a uma pequena região.

O setor Ob gira na frente de \vec{B} → nele aparecem correntes de Foucault que podem escapar pelos setores Oc e Oc onde não tem fem induzida.

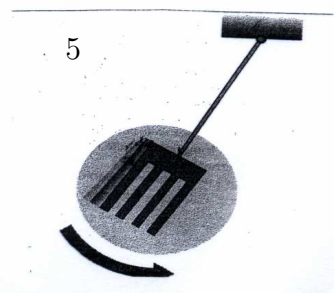
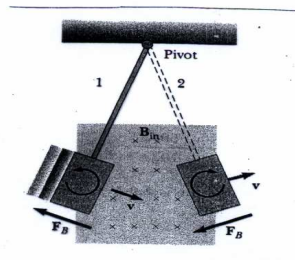
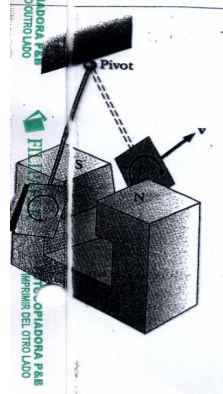
Podemos usar a lei de Lenz para determinar o sentido da corrente induzida no setor Ob. Essa corrente sofre uma força magnética $\vec{F} = I\vec{L} \wedge \vec{B}$ que se opõe ao movimento de rotação (cf. desenho) → I deve apontar para baixo.



N.B. a interação entre correntes de Foucault e campo magnético produz uma ação que tende a frear o movimento.

A experiência embaixo pode ser feita em laboratório para comprovar a existência das correntes de Foucault: uma chapa metálica plana pendurada oscila através um campo magnético E freada (esquerda).

Por outro lado, para evitar esta frenagem, pode se usar uma placa com fendas que impedem a circulação de grandes correntes circulares fechadas (direita). A placa oscila mais livremente.



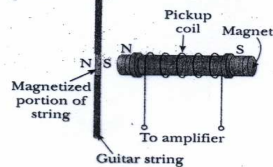
Exemplos de aplicação da indução eletromagnética

2019

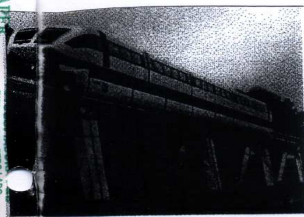
1) geração de energia elétrica (cf. penúltima aula)

2) Guitarra elétrica

A corda (metálica) vibrando induz uma corrente na bobina ("pick up coil")



3) Trem do tipo "Maglev" (magnetic levitation)



Um trem com ímãs permanentes desliza sobre trilhos metálicos. Isto induz uma corrente induzida nos trilhos e um campo magnético que se opõe ao que o cria, daí a levitação (ex. Shanghai)

Há pouco atrito, daí vel. gde (há projetos onde se atingiria 650 km/h). Poderiam competir com aviões.

4) Sema elétrica

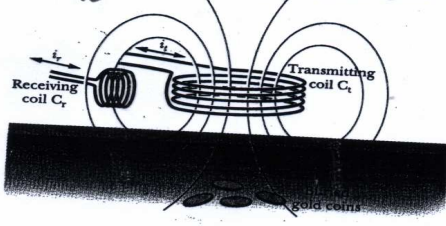
Pode-se usar as correntes de Foucault para fazer parar de gerar uma sema elétrica, quando falta energia elétrica.

5) Frenagem de trem

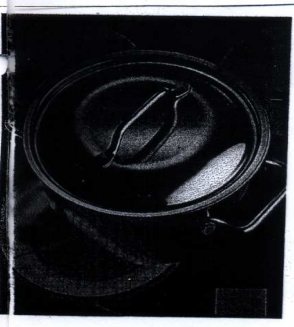
Pode-se usar as correntes de Foucault para frear.

⑥ Detecção de metal (aeroporos, gaca a tesano)

Uma corrente variável numa bobina "transmitting coil" gera um campo magn. variavel. Se uma moeda está perto, aparece nela correntes de foucault e campo magnético variavel. Este por sua vez induz um campo corrente induzida na bobina de recepção C_2 e isto assinala a presença da moeda.



⑦ Forno de indução



Uma corrente variavel passa numa bobina (embaixo da superfície empregada para cozinhar) isto gera um campo magn. variavel. Este induz correntes de foucault no fundo da panela*. Devido á resistencia do fundo da panela, a en. el. das correntes de foucault é transformada em energia térmica.

* Deve-se usar panelas especiais neste tipo de forno.

FILIPAPER FOTOCOPIADORA P&B IMPRIMIR NO OUTRO LADO

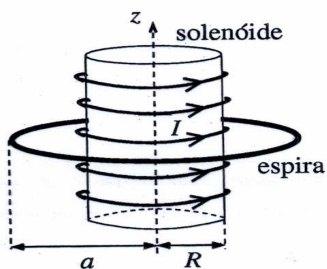
Questão 3

Um solenóide longo de comprimento L , seção reta circular de raio $a \ll L$ e com N espiras é percorrido por uma corrente $I = I_0 \cos(\omega t)$. O módulo do campo magnético no interior do solenóide é dado por $B = \mu_0 NI/L$.

- (a) (1,0 ponto) Calcule o vetor campo elétrico no interior do solenóide.
- (b) (1,5 ponto) Calcule o vetor campo elétrico fora do solenóide.

Questão 3

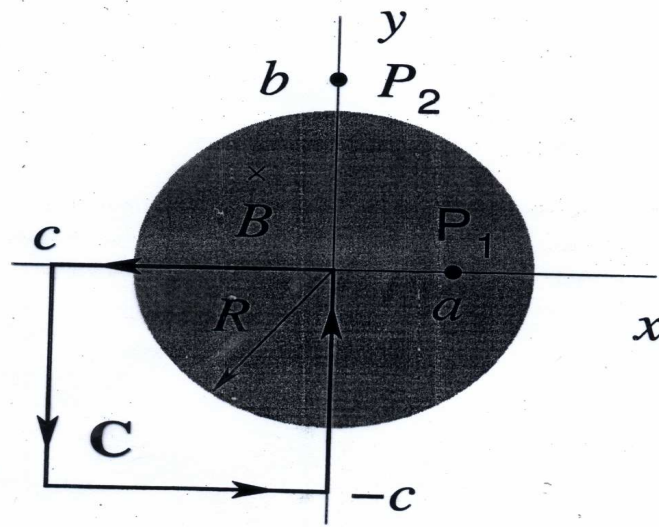
Um solenóide longo tem raio R , N espiras num comprimento h e é percorrido por uma corrente I gerando um campo magnético de módulo $\mu_0 NI/h$. A corrente cresce com o tempo como $I = Kt$ ($K > 0$) e percorre as espiras do solenóide no sentido anti-horário quando visto de cima, como indicado na figura. Uma espira condutora circular de raio $a > R$ é coaxial com o solenóide.



- (a) (0,5 ponto) Qual é o sentido da força eletromotriz (fem) induzida na espira maior quando vista de cima? Justifique.
- (b) (1,0 ponto) Calcular a fem induzida na espira maior.
- (c) (1,0 ponto) Calcular o módulo do campo elétrico induzido $|\vec{E}|$ na espira maior.

Questão 3

O campo magnético em todos os pontos de uma região cilíndrica de raio R é uniforme e direcionado para dentro da página, variando com o tempo segundo $B = Kt$, onde K é uma constante positiva.



- (a) (1,0 ponto) Determine a circulação do campo elétrico $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$ ao longo do circuito quadrado C de lados $c > R$ percorrido no sentido indicado. 10
- (b) (1,5 pontos) Determine o vetor campo elétrico (módulo, direção e sentido) nos pontos $P_1 = (a, 0, 0)$ e $P_2 = (0, b, 0)$, onde $0 < a < R$ e $b > R$.