

Lista 10

Indução Eletromagnética

Q30.1-) Considere que ao movimentar a lâmina existe variação do fluxo do campo magnético sobre a superfície da lâmina. Por outro lado a Lei de Faraday indica que algo deve ocorrer para impedir essa variação de fluxo, através do impedimento do movimento da lâmina. Consulte os slides 10 e 11 da aula de Indução Eletromagnética e verifique que essa tendência é tão mais pronunciada quanto maior for, portanto, a intenção de alterar o estado do sistema.

Q30.5-) Considere a equação para o campo magnético produzido por um fio infinito, explorada em listas anteriores. Considere a direção desse campo magnético em relação à direção normal ao plano do anel. Considere que a tensão induzida ao longo do perímetro do anel, que traduz a existência de uma corrente induzida nesse perímetro, é dada por $\varepsilon = - \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \vec{n} dS$, onde S é a superfície que define o plano do anel.

R: Não surge corrente induzida no anel.

Q30.9-) Ao passar por cima da bobina inserida no pavimento, o carro a pressiona, diminuindo seu comprimento (mas sem alterar o número de espiras). Na lista anterior foi explorado o resultado que o campo magnético de uma bobina depende do número de espiras da bobina por unidade de comprimento. Então o módulo do campo magnético dentro da bobina aumenta. Surge então uma corrente induzida cujo campo magnético tem fluxo ao longo da superfície das espiras de sinal contrário ao fluxo do campo magnético original. Essa corrente induzida é que faz o sinal mudar para verde.

Q30.9-)

a) Com a chave fechada a corrente está estabilizada. Com a chave aberta, a corrente tende a zerar. Considere o que deve acontecer com o campo magnético da bobina A nesse caso. Esse campo também está atravessando a bobina B, de forma que se algo acontece com esse campo uma corrente deve surgir (ser induzida) nas espiras de B para que, de acordo com a Lei de Faraday, apareça um campo magnético (produzido por esta corrente induzida) a fim de manter o fluxo do magnético sobre a bobina B constante. Perceba este item explora uma variação temporal do módulo do campo magnético.

R: Surge uma corrente de A para B

b) Se a chave S permanece fechada, a corrente em A permanece constante e por isso o campo magnético em A também permanece constante. Considere fazer um esquema, um desenho, de como é o campo magnético da bobina A, enfatizando o formato desse campo na extremidade da bobina A que é aproximada da bobina B. Conclua que este item explora a variação temporal do produto escalar entre \vec{B} e \vec{n} . Como $\varepsilon = - \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \vec{n} dS$, conclua como deve ser o campo magnético induzido em B para manter o fluxo constante e qual deve ser o sentido da corrente induzida em B que induz um campo com tal orientação.

R: Surge uma corrente de B para A

c) Esse item é semelhante ao item a). Considere o que acontece com a corrente e com o campo magnético da bobina A quando a resistência R diminui.

R: Surge uma corrente de B para A

30.18-)

a) Conforme a barra se desloca, aumenta a área definida pelos pontos ABCD que é atravessada por campo magnético, mas mantendo constante a orientação entre o campo magnético e a normal à superfície. Por isso, deve surgir uma corrente induzida no sistema, que em particular percorre a barra condutora AB. Essas cargas possuem a velocidade v indicada na figura por estarem acompanhando o deslocando da barra, mas ao mesmo tempo possuem uma componente de velocidade que tem a mesma direção da corrente.

Consulte o slide 3 da aula sobre corrente elétrica, resistores e circuitos DC, que discute como a corrente é tanto maior quanto maior for a velocidade das cargas que compõe tal corrente.

Consulte o slide 10 da aula, fazendo uma discussão sobre o campo elétrico que surge na barra devido à diferença de acúmulo de cargas nas extremidades da barra. Tal diferença de acúmulo de cargas é consequência do fato das cargas serem aceleradas em direção a uma das extremidades da barra pela força magnética impressa à essas cargas devido à componente de velocidade já indicada na figura. Até que o campo elétrico seja tal que as forças magnética e elétrica nessas cargas sejam iguais, tal corrente deve crescer, pois tal velocidade das cargas paralela à barra aumenta (pois a força resultante sobre elas não é nula). Nesse exercício, busca-se a situação na qual tal corrente é constante, estacionária, isto é, quando essa velocidade é constante.

Isso porque, nesse momento, a força magnética sobre essas cargas devido à velocidade paralela à barra (e por consequência sobre a barra) é constante. E é tal força que se opõe ao deslocamento da barra, ao aumento da área ABCD, á variação do fluxo magnético através da superfície definida pelo caminho ABCD.

Disso, calcule o campo elétrico sobre as cargas da barra tal que a as forças magnética e elétrica se igualam. Com tal campo elétrico, calcule a diferença de potencial sobre a barra.

$$|\varepsilon| = B v |AB|$$

R: A força eletromotriz induzida na barra é 3 V

b) Se a superfície definida por ABCD que é atravessada pelo campo magnético aumenta, o fluxo magnético na superfície ABCD aumenta. Deve surgir um campo magnético induzido cujo fluxo se oponha à variação do fluxo do campo externo originalmente presente no sistema, a fim de manter o fluxo magnético através desta superfície ABCD seja constante, isto é, que torne válida a equação $\phi_{total\ ABCD} = \phi_{Inicial} + \phi_{Induzido} = constante$. Conclua qual a orientação da corrente induzida que induz um campo magnético que produz tal campo (e por consequência fluxo) induzido.

R: A corrente flui na barra de B para A

c) Considere que a corrente induzida, cuja orientação foi concluída no item anterior, sofre uma força devido ao campo magnético externo, já que a primeira Lei de Newton proíbe que ela sofra força devido ao campo que ela mesma produz. Em particular, essa força atua na corrente quando ela percorre a barra condutora AB. Calcule o módulo, a direção e o sentido dessa força na barra AB naquela situação descrita no item a) na qual a velocidade das cargas paralela à barra é constante. Para isso, será necessário calcular a corrente sobre a barra, considerando a diferença de potencial que se aplica a ela e calculada no item a), que é dada a resistência do material dos trilhos e que vale a Lei de Ohm.

Como se pretende que a barra se movimente com velocidade constante, então sua aceleração deve ser nula e por isso a força resultante sobre ela é nula. Conclua como deve ser a força que um agente externo exerce na barra, sabendo que a força resultante é a soma da força magnética já calculada com a força a ser exercida.

R: Para manter a barra se movimentando com velocidade constante é necessária uma força de 0,8 N para a direita (sentido positivo do eixo x, puxando a barra)

d) Substitua as expressões algébricas para a força externa exercida sobre a barra AB e para a corrente induzida que passa pela barra (na situação em que tal corrente é constante) nas equações $P_{ext} = F v$ e $P_{Elétrica} = R I^2$. Por fim, compare os resultados dessas das contas. Mas antes mesmo de fazer as contas, o que esperar dessa comparação, dado que a barra se movimenta com velocidade constante?

R: A taxa do trabalho mecânico é igual à taxa de energia dissipada pelo efeito Joule

30.21) Comece calculando a força eletromotriz induzida dentro do solenoide. Para isso considere o campo magnético produzido dentro do solenoide pela corrente que passa por suas espiras. Na lei de Faraday, $|\varepsilon| = \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \vec{n} dS$, considere uma superfície de raio $r < 2,50$ cm e a superfície paralela ao campo magnético para evitar confusões com sinais. A seguir, considere que a forma diferencial da Lei de Faraday é $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$ que fornece informação sobre como deve ser a orientação espacial do campo elétrico conhecido o campo magnético. Por fim, considere a definição de diferença de potencial discutida no começo do curso $\varepsilon = \int \vec{E} \cdot \vec{dl}$ para calcular o módulo do campo elétrico a uma distância r do eixo do solenoide, lembrando que tal integral deve ser feita ao longo do caminho fechado que define a superfície utilizada na Lei de Faraday. Essa integral é calculada de maneira muito semelhante ao que era feito na Lei de Ampère e o valor da força eletromotriz e a orientação do campo elétrico já são conhecidos nesse momento do exercício.

$$\mathbf{R:} \quad \vec{E}(r) = \frac{\mu_0 n}{2} \frac{di}{dt} r \hat{e}_\varphi$$

$$\vec{E}(0,5 \text{ cm}) = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ V/m}$$

$$\vec{E}(1 \text{ cm}) = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ V/m}$$

30.43-) Esse exercício é muito semelhante ao exercício 30.18. Da mesma forma, defina um eixo x de referencia, com origem na extremidade esquerda do trilho no qual a barra se desloca e positivo para a direita. Utilize a Lei de Faraday para concluir que sobre a barra condutora passa uma corrente para cima. Consulte o slide 10 da aula sobre a discussão de que a barra condutora se torna uma fonte de fem, devido à movimentação de cargas elétricas sobre ela que promove um acúmulo de cargas em uma de suas extremidades. Calcule a diferença de potencial na barra no momento em que as força magnética e elétrica sobre as cargas se igualam e a utilize para calcular, considerando válida a Lei de Ohm, a corrente que circula na barra (no circuito) a partir de então.

Com essa corrente, calcule a força magnética sobre a barra, e considere a Segunda Lei de Newton para a direção x . Considerando que ela pode ser escrita na forma $F_{magnética} = m \frac{dv}{dt}$ resolva-a para a velocidade da barra, aplique um limite para encontrar o instante de tempo no qual ela entra em repouso, integre o resultado para encontrar a função posição da barra e calcule-a no instante que barra entra em repouso.

$$\mathbf{R: } x (t \rightarrow \infty) = \frac{v_0 m R}{a^2 B^2}$$