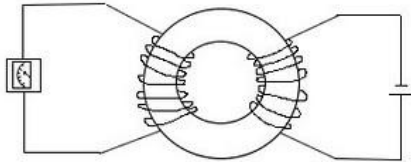


INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Desde 1820 quando Oersted descobriu que quando uma corrente elétrica percorria um condutor gerando em torno deste um campo magnético, que uma pergunta surgiu, seria possível que o campo magnético induzisse em um condutor uma corrente elétrica? A resposta veio em **1831**, quando **Michael Faraday** na Inglaterra descobriu ser possível tal fenômeno. Estava descoberto o princípio da indução magnética, pelo qual uma variação do campo magnético produz um campo elétrico, induzindo corrente elétrica em materiais condutores. Isso é possível através do surgimento de uma força eletromotriz (fem) induzida.

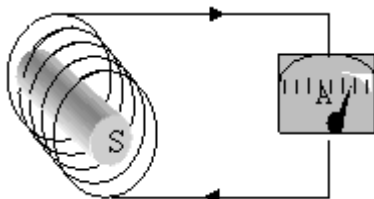
A experiência de Faraday

Foi enrolando dois fios em lados opostos de um anel metálico, com um dos fios ligado a uma bateria e outro a um medidor de corrente, que Faraday demonstrou que a variação de um campo magnético gera corrente elétrica. O desenho abaixo mostra o esquema da experiência de Faraday



vale salientar que a experiência acima foi tentada por outros antes de Faraday, sem sucesso. Observe que do lado direito da figura, temos um fio enrolado em um núcleo de ferro e seus terminais ligados a um gerador... a idéia era que quando o gerador fosse acionado, e conseqüentemente uma corrente o percorresse, a sua volta surgiria um campo magnético que seria intensificado pelo núcleo de Ferro. Este campo então deveria ser capaz de induzir no enrolamento da esquerda uma corrente elétrica. O problema era que por mais intensa a corrente no enrolamento da direita, o amperímetro na esquerda não acusava nada. O que Faraday observou e os outros não, era que quando o gerador era acionado ou desligado variando a corrente de um valor zero a um valor i , ou de um valor i a zero, surgia por um breve momento uma corrente que era acusada no amperímetro. Ora, podiasse então perceber, que a variação da corrente durante estes momentos, faziam com que o campo magnético variasse, e Faraday concluiu que era essa variação do campo magnético que causava o fenômeno da indução magnética

Aprofundando seus estudos neste fenômeno, ele também descobriu que ao movimentar um ímã, para dentro e para fora de uma bobina, a variação do campo magnético criada por este movimento, resultava em circulação de corrente elétrica nos fios da bobina.



O movimento do ímã através do núcleo da bobina induz corrente elétrica nos fios.

Essa descoberta permitiu o início da formulação da teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell. As formulações matemáticas de Maxwell comprovaram teoricamente a existência das ondas eletromagnéticas, 23 anos antes de serem comprovadas na prática.

Faraday na realidade percebeu que ao movimentar um ímã, para dentro e para fora de uma bobina, a variação do campo magnético criada por este movimento, resultava em circulação de corrente elétrica nos fios da bobina. A primeira aplicação prática deste princípio foi realizada em 1832 por Nicolas Constant Pixii que construiu o primeiro gerador de indução (um grande ímã em forma de ferradura roda em torno de um eixo e induz um fluxo magnético variável em duas bobines fixas).

"O desenvolvimento deste aparelho conduziu, em 1867, a um dos feitos altos da história tecnológica belga: a invenção do dínamo por Zénobe Gramme".

E foi usando a eletricidade que, em 1837, Samuel Morse criou o telégrafo, marcando a entrada da humanidade na era das telecomunicações, permitindo ao homem envio de mensagens a longas distâncias, quase que instantaneamente. A invenção de Samuel Morse permitia o envio apenas de sinais elétricos pulsados.

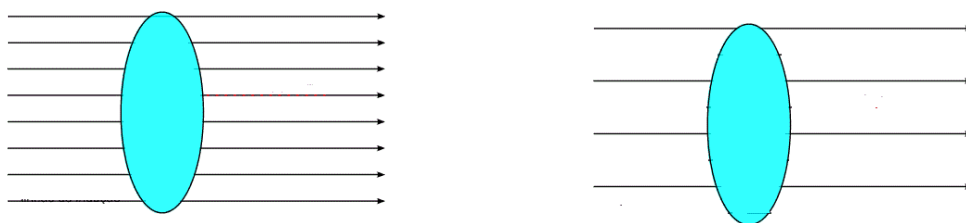
A transmissão da voz necessitaria de um dispositivo mais complexo, só desenvolvido anos mais tarde. A implantação da primeira linha telegráfica ocorreu em maio de 1844, nos Estados Unidos, interligando Baltimore e Washington. A mensagem inaugural dizia: "Vede as maravilhas que Deus realiza". No Brasil, a primeira linha telegráfica seria implantada oito anos mais tarde.

Hoje, as leis do eletromagnetismo fundamentam boa parte da nossa tecnologia mecânica e eletroeletrônica. Os campos magnéticos e suas interações elétricas fazem funcionar desde um secador de cabelos até os complexos sistemas de telecomunicações, desde os poderosos geradores elétricos das usinas nucleares até os minúsculos componentes utilizados nos circuitos eletrônicos.

Analisando as experiências anteriores, Faraday verificou que somente temos fem induzida num quadro ou numa espira, imersa num campo magnético, se ocorrer variação do número de linhas de indução que atravessam a superfície do quadro ou da espira. A grandeza escalar que mede o número de linhas de indução que atravessam a área A de uma espira imersa num campo magnético de indução B é chamada de fluxo magnético.

O fluxo magnético depende:

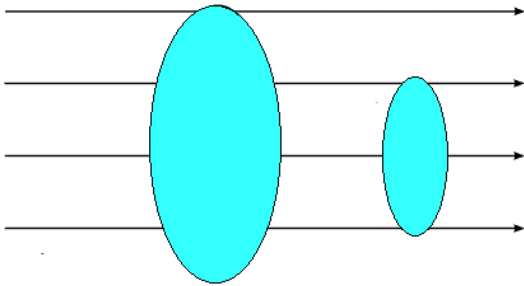
1) Da intensidade do campo magnético



Como na figura da esquerda o campo magnético é mais intenso, maior será o número de linhas de indução que atravessam o condutor, e portanto maior será o fluxo magnético.

Ou seja: $\Phi \propto B$

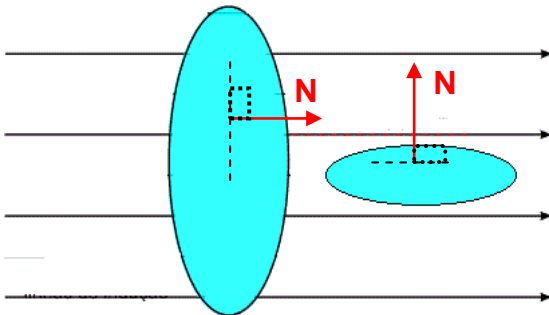
2) Da superfície do condutor



Podemos observar que quanto maior a superfície(área) do condutor, maior o número de linhas de indução que o atravessam .

Portanto: $\Phi \propto A$

3) Do ângulo entre a reta normal á superfície e as linhas de indução



No condutor a esquerda, o ângulo entre a Normal e as linhas de indução é 0° e notamos que o fluxo é máximo, enquanto que no condutor a direita, o ângulo entre a Normal e as linhas de indução é 90° e notamos que o fluxo é mínimo(nulo). Podemos então observar que a medida que o ângulo entre a Normal e as linhas de indução aumentam, o fluxo diminui.

Sendo assim temos : $\Phi \propto \cos\theta$

Com base no que acabamos de ver, podemos definir a equação que permite determinar a intensidade do fluxo magnético como:

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

Cuja unidade no S.I. é o weber (Wb).

A partir da equação, podemos perceber que é possível variar o fluxo magnético variando a intensidade do campo magnético e/ou a superfície do condutor e/ou o ângulo θ

Lei de Faraday – Newman

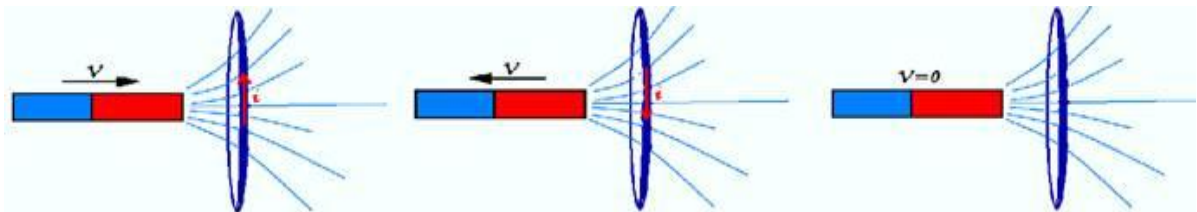
Em eletrodinâmica vimos que para se ter uma corrente elétrica em um circuito, é necessário que ele esteja submetido a uma d.d.p. Sendo assim, essa lei enuncia que para que possa surgir uma corrente elétrica induzida, o campo magnético tem que induzir no condutor uma fem e que a força eletromotriz induzida num circuito elétrico é igual a *variação* do fluxo magnético pelo intervalo de tempo em que ocorre esta variação.

Ou seja,

$$\varepsilon = - \Delta\Phi/\Delta t$$

O sinal negativo vai ser explicado adiante pela lei de Lenz

Para que você entenda o fenômeno da indução eletromagnética, considere uma única espira e um ímã permanente. Quando você aproxima o ímã da espira, o número de linhas de indução do ímã que penetram na espira (fluxo magnético) aumenta, fazendo surgir na espira uma corrente elétrica induzida num determinado sentido. Quando você afasta o ímã da espira, o número de linhas de indução do ímã (fluxo magnético) que penetram na espira diminui, fazendo surgir na espira uma corrente elétrica induzida com sentido oposto ao anterior.

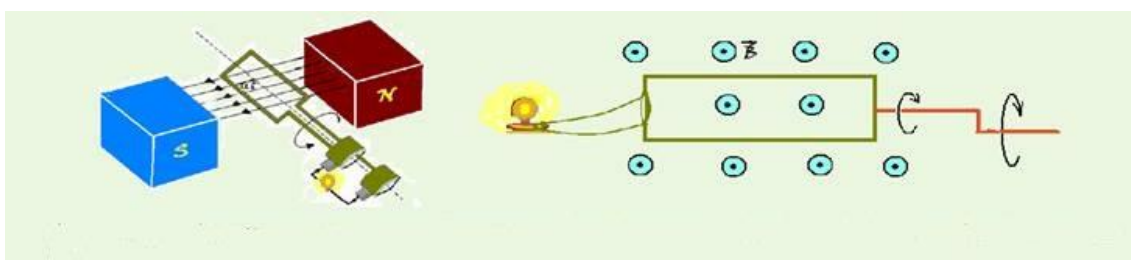


Com o ímã imóvel, o número de linhas de indução que penetram na espira (fluxo magnético) não muda, não existindo corrente elétrica induzida (terceira figura). Você obteria o mesmo resultado acima, mantendo o ímã fixo e movendo a espira ou movendo os dois, pois não importa quem de movimento, mas que haja variação de fluxo magnético através da espira, o que só ocorre se a velocidade relativa entre eles for diferente de zero.

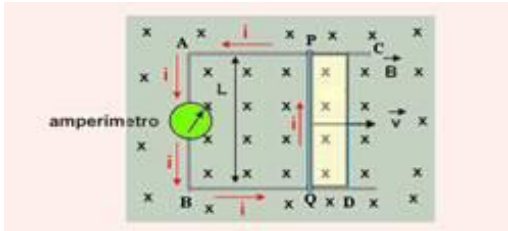
Vimos anteriormente que fluxo magnético pode variar também por uma variação da área da superfície, ou por uma variação da superfície da espira no interior do campo magnético. Este último processo ocorre quando se:

a) varia o ângulo α girando a espira e variando assim sua posição, obtendo um gerador mecânico de energia elétrica (como nas usinas hidrelétricas, termelétricas e nucleares).

Observe nas figuras abaixo que à medida que a espira gira, a quantidade de linhas de indução magnética (fluxo magnético) que a atravessa também varia, fazendo surgir na espira uma corrente elétrica induzida, acendendo a lâmpada



b) varia o fluxo magnético variando a área da espira, conforme a figura onde se tem um condutor retilíneo PQ apoiado sobre os ramos paralelos do condutor ABCD e todos estão no interior de um campo magnético de indução \vec{B} . Observe na figura abaixo que, quando o condutor PQ se move com velocidade \vec{v} a área da espira de lados ABPQ varia, provocando uma variação do fluxo magnético e fazendo surgir uma corrente elétrica induzida nesta espira.



Lei de Lenz

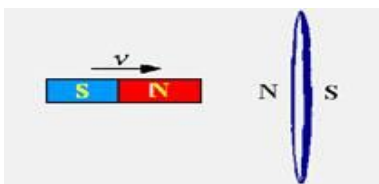
Sendo assim, a contribuição fundamental de Heinrich Lenz foi a direção da força eletromotriz (o sinal negativo na fórmula). A lei de Lenz afirma que a corrente elétrica induzida, sempre tem sentido oposto as linhas do campo magnético indutor: “ O sentido da corrente elétrica induzida é tal que, por seus efeitos, opõe-se à causa que lhe deu origem”

Observe os exemplos seguintes, que permitem calcular o sentido da corrente elétrica induzida através da aplicação da lei de Lenz:

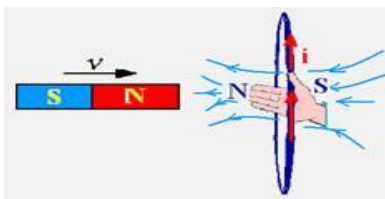
1.0 pólo norte do imã se aproxima da espira ou do solenóide

A corrente induzida deve ter um sentido que vai originar na espira um pólo que deve se opor ao pólo norte que se aproxima.

Assim, a face esquerda da espira deve ser um pólo norte.



Sabendo que a face esquerda da espira é um pólo norte (de onde saem as linhas de indução) e a face direita é um pólo sul (onde chegam as linhas de indução), aplica-se a regra da mão direita (polegar no sentido da corrente e a “fechada” da mão passando por dentro da espira, fornece o sentido das linhas de indução).

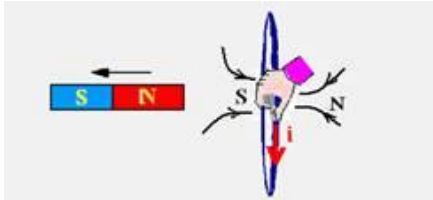


Assim, para que a face esquerda da espira seja um pólo norte e a direita um pólo sul, a corrente elétrica induzida deve ter o sentido da figura.

2. O pólo norte do imã se afasta da espira ou do solenóide

A corrente induzida deve ter um sentido que vai originar na espira um pólo que deve atrair pólo norte que se afasta.

Assim, a face esquerda da espira deve ser um pólo sul.



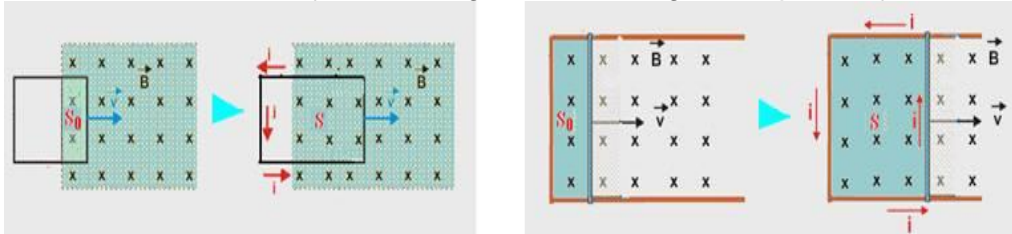
Sabendo que a face esquerda da espira é um pólo sul (onde chegam as linhas de indução) e a face direita é um pólo norte (de onde saem as linhas de indução), aplica-se a regra da mão direita (polegar no sentido da corrente e a “fechada” da mão passando por dentro da espira, fornece o sentido das linhas de indução).

Assim, para que a face esquerda da espira seja um pólo sul e a direita um pólo norte, a corrente elétrica induzida deve ter o sentido da figura.

Outra observação a ser feita é que se o campo magnético concatenado ao circuito está diminuindo, o campo magnético gerado pela corrente induzida irá na mesma direção do campo original (se opõem a diminuição), se, pelo contrário, o campo magnético concatenado está aumentando, o campo magnético gerado irá em direção oposta ao original (se opõem ao aumento).

fluxo magnético estiver aumentando

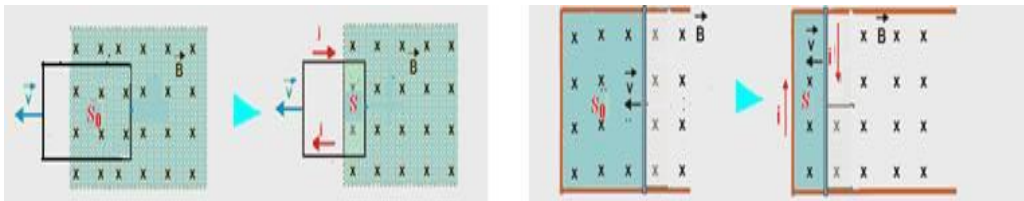
Nesse caso, pela lei de Lenz, deve surgir um fluxo magnético que se oponha a esse aumento de fluxo, ou seja, deve surgir um fluxo magnético que esteja **saindo** da folha.



Com \vec{B} saindo da folha, usando a regra da mão direita, o sentido da corrente elétrica induzida está indicado nas figuras acima.

fluxo magnético estiver diminuindo

Nesse caso, pela lei de Lenz, deve surgir um fluxo magnético que se oponha a essa diminuição de fluxo, ou seja, deve surgir um fluxo magnético que esteja **entrando** na folha.

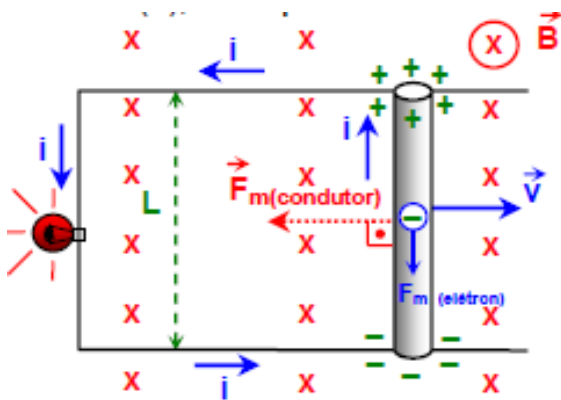


Com \vec{B} entrando da folha, usando a regra da mão direita, o sentido da corrente elétrica induzida está indicado nas figuras acima.

Esta última análise é compatível com o princípio da conservação de energia. Se o circuito é aberto e não há fluxo de corrente, não há dissipação de energia pelo efeito Joule. Por este motivo não há uma força de reação à variação do campo magnético e o movimento do magneto ou do circuito não realiza trabalho (força nula x movimento = zero). Se ao contrário, existir corrente circulando no circuito (com dissipação de energia), a variação do campo magnético resultará numa resistência que demandará a realização de trabalho. Com base neste princípio um gerador consome tanto mais energia mecânica quanto mais energia elétrica ele produz (sem considerar a energia perdida por atrito e pelo efeito Joule).

1. FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA – *fem* induzida (e)

Considere um condutor reto de comprimento L atravessando perpendicularmente, com velocidade constante v , um campo magnético uniforme B . Uma força magnética atua nos elétrons livres do condutor, deslocando-os para uma de suas extremidades. A outra extremidade fica com excesso de prótons.



Assim, nas extremidades do condutor devido a polarização das cargas, vai se formando um campo elétrico e conseqüentemente sobre a carga passa a atuar uma força elétrica que se opõe a força magnética. O fluxo de cargas (elétrons) cessa quando a força elétrica e a força magnética se igualam. Surge uma $d\phi$ e o mesmo passa a se comportar como um gerador de *fem* induzida (e), que pode ser determinada assim:

$F_{elétrica} = F_{magnética}$ ou seja:

~~$q \cdot E = q \cdot v \cdot B$~~ como $U = E \cdot d$ sendo $U = \mathcal{E}$ (fem) e $d=L$ (comprimento do condutor)

então $\mathcal{E} / L = v \cdot B$

$$\mathcal{E} = L \cdot B \cdot v$$

Exercícios

01. (UEMT - LONDRINA) A respeito do fluxo de indução, concatenado com um condutor elétrico, podemos afirmar que a força eletromotriz induzida:

- a) será nula quando o fluxo for constante;
- b) será nula quando a variação do fluxo em função de tempo for linear;
- c) produz uma corrente que reforça a variação do fluxo;
- d) produz uma corrente permanente que se opõe à variação do fluxo, mesmo quando o circuito estiver aberto;
- e) produzirá corrente elétrica somente quando o circuito estiver em movimento.

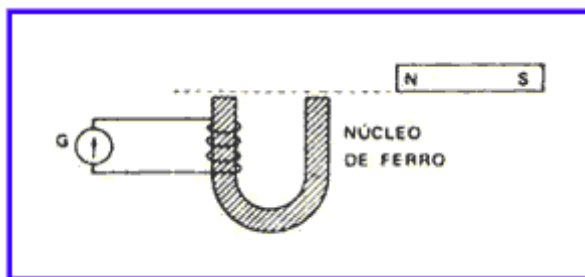
02. (UFMG) A corrente elétrica induzida em uma espira circular será:

- a) nula, quando o fluxo magnético que atravessa a espira for constante;
- b) inversamente proporcional à variação do fluxo magnético com o tempo;
- c) no mesmo sentido da variação do fluxo magnético;
- d) tanto maior quanto maior for a resistência da espira;
- e) sempre a mesma, qualquer que seja a resistência da espira.

03. (FAAP) Num condutor fechado, colocado num campo magnético, a superfície determinada pelo condutor é atravessada por um fluxo magnético. Se por um motivo qualquer o fluxo variar, ocorrerá:

- a) curto circuito
- b) interrupção da corrente
- c) o surgimento de corrente elétrica no condutor
- d) a magnetização permanente do condutor
- e) extinção do campo magnético

04. (UEMT - LONDRINA) O ímã é aproximado ao núcleo de ferro numa trajetória que segue a linha tracejada, mantendo-se sempre o pólo norte à esquerda. Durante essa operação, verifica-se que o ponteiro do galvanômetro G se desloca para a direita.



Selecione a alternativa que supere as omissões nas afirmações que seguem:

1. Enquanto o ímã é mantido em repouso sobre o núcleo, o ponteiro do galvanômetro

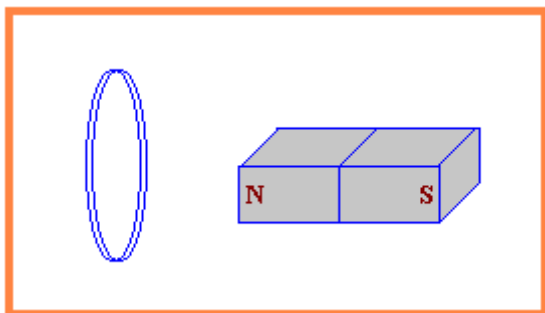
_____.

2. Quando o ímã é retirado, de volta à sua posição original, o ponteiro do galvanômetro

_____.

- a) desloca-se para a direita; desloca-se para a esquerda.
- b) permanece em repouso; desloca-se para a direita.
- c) permanece em repouso; desloca-se para a esquerda.
- d) desloca-se para a esquerda; desloca-se para a direita.
- e) desloca-se para a direita; permanece em repouso.

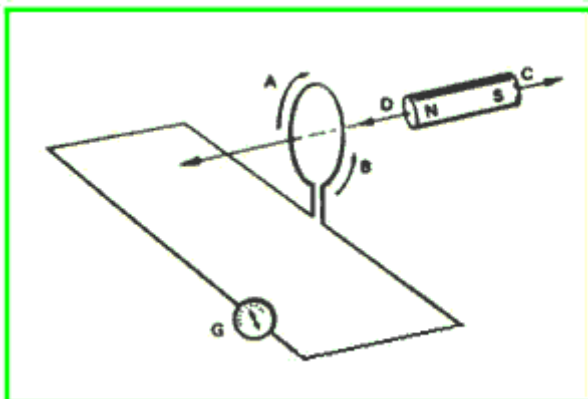
05. (U. F. VIÇOSA - MG) As figuras abaixo representam uma espira e um ímã próximos.



Das situações abaixo, a que NÃO corresponde à indução de corrente na espira é aquela em que:

- a) a espira e o ímã se afastam;
- b) a espira está em repouso e o ímã se move para cima;
- c) a espira se move para cima e o ímã para baixo;
- d) a espira e o ímã se aproximam;
- e) a espira e o ímã se movem com a mesma velocidade para a direita.

06. (MACKENZIE) A figura representa uma espira circular de raio r , ligada a um galvanômetro G com "zero" central. O ímã F pode mover-se nos sentidos C ou D .



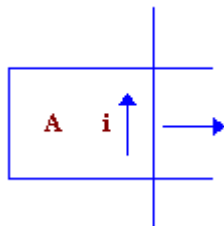
Considere as afirmativas:

- I. Se o ímã se aproximar da espira, aparecerá na mesma uma corrente com o sentido A .
- II. Se o ímã se afastar da espira, aparecerá na mesma uma corrente com o sentido A .
- III. Se os polos do ímã forem invertidos e o mesmo se aproximar da espira, aparecerá na mesma uma corrente com sentido B .

Assinale:

- a) Só a afirmativa I é correta.
- b) Só a afirmativa II é correta.
- c) São corretas as afirmativas I e III
- d) São corretas as afirmativas II e III
- e) n.d.a

07. (U. F. UBERLÂNDIA - MG) Quando o fio móvel da figura é deslocado para a direita, aparece no circuito uma corrente induzida i no sentido mostrado. O campo magnético existente na região A:



- aponta para dentro do papel
- aponta para fora do papel
- aponta para a esquerda
- aponta para a direita
- é nulo

08. (PUC - RS) Duas espiras, 1 e 2, de cobre, de forma retangular e colocadas no plano de página estão representadas abaixo.



(espira 1)

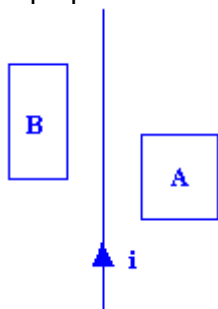


(espira 2)

Haverá uma corrente elétrica induzida na espira 2, circulando no sentido horário, quando na espira 1 circula uma corrente elétrica.

- constante no sentido anti-horário;
- constante no sentido horário;
- no sentido anti-horário e esta corrente estiver aumentando de intensidade;
- no sentido anti-horário e esta corrente estiver diminuindo de intensidade;
- no sentido horário e esta corrente estiver diminuindo de intensidade.

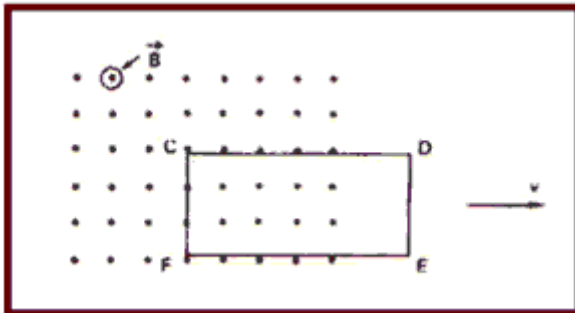
09. (ITA) A figura representa um fio retilíneo pelo qual circula uma corrente de i ampères no sentido indicado. Próximo do fio existem duas espiras retangulares A e B planas e coplanares com o fio. Se a corrente no fio retilíneo está crescendo com o tempo pode-se afirmar que:



- aparecem correntes induzidas em A e B, ambas no sentido horário;
- aparecem correntes induzidas em A e B, ambas no sentido anti-horário;
- aparecem correntes induzidas no sentido anti-horário em A e horário em B;
- neste caso só se pode dizer o sentido da corrente induzida se conhecermos as áreas das espiras A e B;
- o fio atrai as espiras A e B

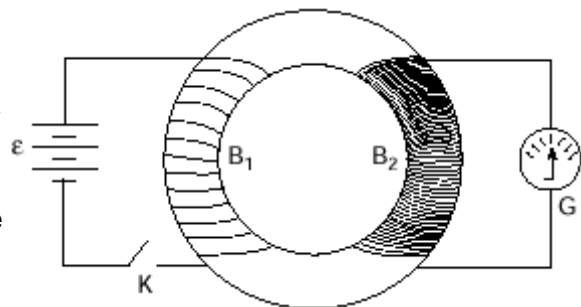
10. (OURO PRETO) Uma espira metálica é deslocada para a direita, com velocidade constante $v = 10 \text{ m/s}$, em um campo magnético uniforme $B = 0,20 \text{ Wb/m}^2$. Com relação à figura abaixo, quando a resistência da espira é $0,80 \text{ }\Omega$, a corrente induzida é igual a:

Dados: $CF = 20 \text{ cm}$



- a) 0,50 A
- b) 5,0 A
- c) 0,40 A
- d) 4,0 A
- e) 0,80 A

11. A figura representa uma das experiências de Faraday que ilustram a indução eletromagnética, em que ϵ é uma bateria de tensão constante, K é uma chave, B_1 e B_2 são duas bobinas enroladas num núcleo de ferro doce e G é um galvanômetro ligado aos terminais de B_2 que, com o ponteiro na posição central, indica corrente elétrica de intensidade nula.



Quando a chave K é ligada, o ponteiro do galvanômetro se desloca para a direita e

- a) assim se mantém até a chave ser desligada, quando o ponteiro se desloca para a esquerda por alguns instantes e volta à posição central.
- b) logo em seguida volta à posição central e assim se mantém até a chave ser desligada, quando o ponteiro se desloca para a esquerda por alguns instantes e volta à posição central.
- c) logo em seguida volta à posição central e assim se mantém até a chave ser desligada, quando o ponteiro volta a se deslocar para a direita por alguns instantes e volta à posição central.
- d) para a esquerda com uma oscilação de frequência e amplitude constantes e assim se mantém até a chave ser desligada, quando o ponteiro volta à posição central.
- e) para a esquerda com uma oscilação cuja frequência e amplitude se reduzem continuamente até a chave ser desligada, quando o ponteiro volta à posição central

Gabarito

01 - A

02 - A

03 - C

04 - C

05 - E

06 - C

07 - A

08 - D

09 - C

10 - A

11 - B