

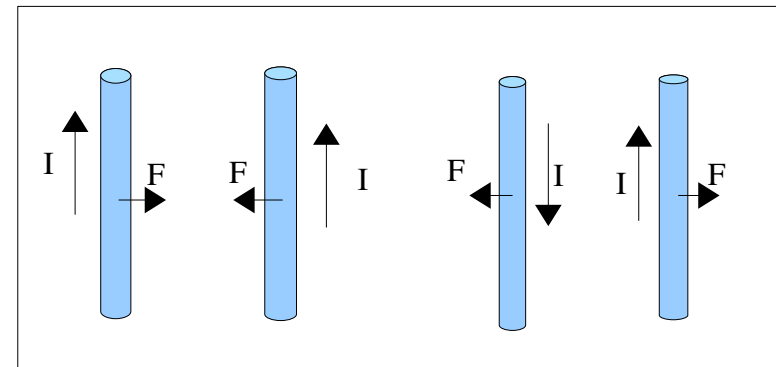
El camp magnètic

Introducció: Forces entre corrents elèctrics

Si observem dos cables elèctrics disposats paral·lelament un a l'altre i pels que circula corrent elèctric, observarem que interactuen entre ells, és a dir s'exerceixen forces entre ells. Si els corrents tenen el mateix sentit, la força és atractiva i si tenen sentit contrari, repulsiva.

Aquestes forces no poden ser de la mateixa naturalesa que les electrostàtiques (entre càrregues en repòs), perquè el cable elèctricament és neutre. Així doncs, ens trobem en presència d'un nou fenomen.

Les noves forces apareixen quan les càrregues estan en moviment (corrent elèctric=càrregues en moviment) i reben el nom de forces magnètiques.



El camp magnètic

L'estudi de les forces magnètiques se sol fer directament adoptant el punt de vista de l'acció indirecta a través del camp. Per tant, tot i existir, no estudiarem la llei que dóna la força entre càrregues en moviment, llei equivalent a la de Newton d'atracció gravitatòria i a la de Coulomb, sinó que immediatament passarem a l'estudi del camp magnètic.

Així doncs, direm que tota càrrega en moviment crea al seu voltant un camp magnètic, caracteritzat pel fet de què en tots els seus punts hi ha definida una magnitud vectorial, $\mathbf{B}$, anomenada densitat de flux magnètic, inducció magnètica o simplement camp magnètic.

Aquesta magnitud es pot representar gràficament mitjançant les línies de camp, completament anàlogues a les dels camps gravitatori i elèctric, és a dir, definides de tal manera que en tot punt el vector $\mathbf{B}$ és tangent a la línia que passa pel punt. També, com en els altres camps, per tot punt del camp hi

passa una línia de camp, però no es representen totes, sinó només unes quantes i amb el mateix criteri que pels altres dos camps, és a dir, el nombre de línies de camp que travessen en un punt la unitat de superfície col·locada perpendicularment a les línies de camp és igual al valor de **B** en aquell punt. D'aquí el nom de densitat de flux magnètic que es dona a la magnitud **B**.

La unitat de **B** en el S.I. és el Tesla (T) igual a $V \cdot s / m^2$ o també $kg / s^2 \cdot A$. Una altra unitat és el Gauss (G). Un Tesla equival a 10000G.

La fórmula general per calcular **B** no és simple i només donarem el valor de **B** per alguns casos particulars importants.

a) camp magnètic creat per una espira circular de radi r en el seu centre.

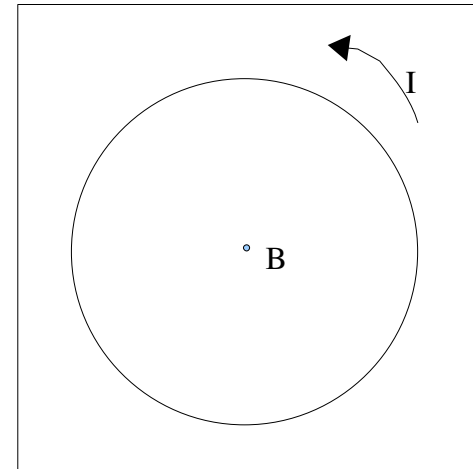
I és la intensitat de corrent i té el sentit habitual, és a dir el del moviment de càrregues elèctriques positives. Recordeu que un corrent de càrregues de qualsevol signe equival a un corrent de càrregues de signe oposat que es mouen en sentit contrari.

μ_0 és una constant anomenada permeabilitat magnètica del buit. Suposem que no hi ha cap medi material envoltant l'espira i que per tant es troba en el buit.

Per últim cal tenir en compte que per representar un vector perpendicular al paper utilitzarem el símbol “x” per indicar el seu sentit és entrant en el paper i el símbol “.” per indicar que és sortint.

El valor del mòdul del vector **B** en el centre de l'espira és:

$$B = \mu_0 I / 2r$$



El sentit del vector **B** és l'indicat en l'esquema, és a dir, surt del full de paper i és molt important saber determinar-lo. Això es fa amb l'anomenada regla de la ma dreta, que permet relacionar el sentit d' I amb el de **B**. Aquesta regla, d'ampli ús en magnetisme relaciona sempre un sentit de gir amb un de “translació” podríem dir. En aquest cas el sentit de gir és el d' I i el de “translació” el de **B**. Si posem tots els dits de la ma, excepte el polze, indicant el sentit de I , el polze està indicant el sentit de **B**. Aquesta regla cal saber aplicar-la en totes les situacions que es presentin en aquest curs.

Si el sentit del corrent fos el contrari de l'indicat a l'esquema, el sentit de camp B seria entrant al paper.

b) Camp magnètic creat per un fil de longitud infinita

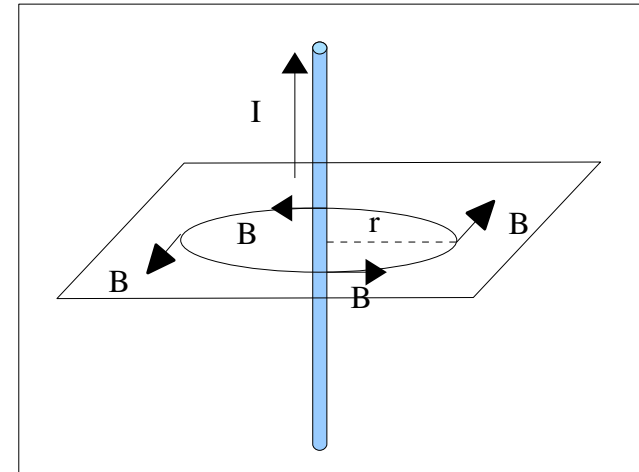
B, I i μ_0 ja s'ha indicat què representen en l'apartat anterior.

En relació a r, cal dir que és la distància del punt a on determinem el valor de B al fil.

El mòdul de B a una distància r del fil val,

$$B = \mu_0 I / 2\pi r \quad (\text{lei de Biot i Savart})$$

Observi's que el sentit de B és el que correspon a l'aplicació de la regla de la ma dreta, i que en aquest cas I té un sentit de “translació” i és B que té sentit de gir.

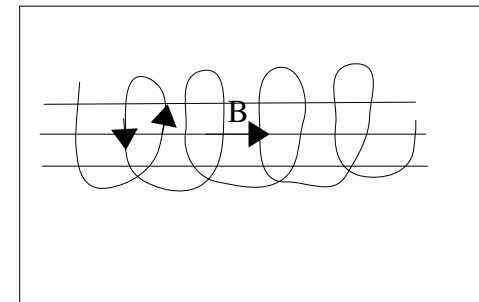


c) Camp magnètic creat per una bobina (solenoid) de longitud infinita en el seu interior.

El mòdul del camp B en un punt interior val ,

$$B = \mu_0 n I$$

a on n és el nombre de voltes de la bobina



Força sobre càrregues en moviment

Aquesta part correspon a l'acció del camp sobre una càrrega en moviment.

Força sobre una càrrega puntual en moviment

Sobre una partícula puntual de càrrega q (inclou el signe), que és mou a una velocitat $\mathbf{v}$ (vector velocitat), i que es troba en un punt a on el camp magnètic val $\mathbf{B}$ (vector), actua una força $\mathbf{F}$ (vector), donada per la següent expressió

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) ; \quad \text{força de Lorentz}$$

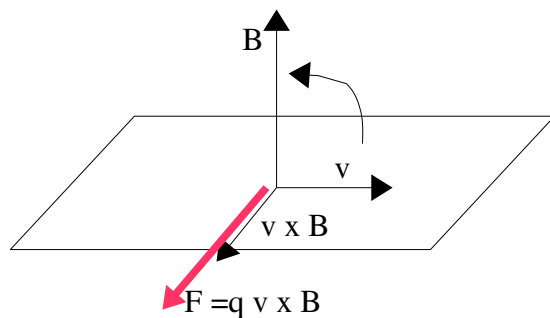
El parèntesis no cal posar-lo més que per cridar l'atenció en el producte que conté, que és un producte vectorial de dos vectors.

Per tant:

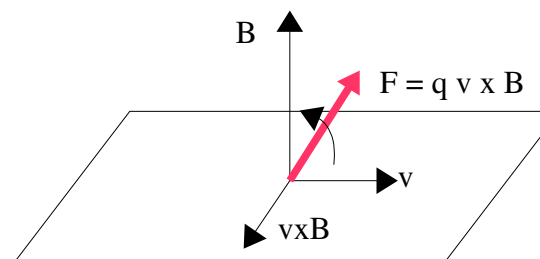
mòdul de $\mathbf{F}$: $F = |q| v B \sin\alpha$

sentit de $\mathbf{F}$: regla de la ma dreta aplicada al producte vectorial de $\mathbf{v}$ i $\mathbf{B}$.

En el següent esquema es visualitza l'aplicació de la ma dreta per obtenir el sentit de la força de Lorentz



q té signe positiu



q té signe negatiu

Força sobre un element de corrent

La força de Lorentz fa referència a una càrrega puntual en moviment. Tot i que no ho demostrarem, no costa gaire obtenir a partir d'ella una fórmula que doni la força que actua sobre un element de corrent rectilini col·locat a l'interior d'un camp magnètic uniforme.

La fórmula és,

$$\mathbf{F} = I (\mathbf{L} \times \mathbf{B})$$

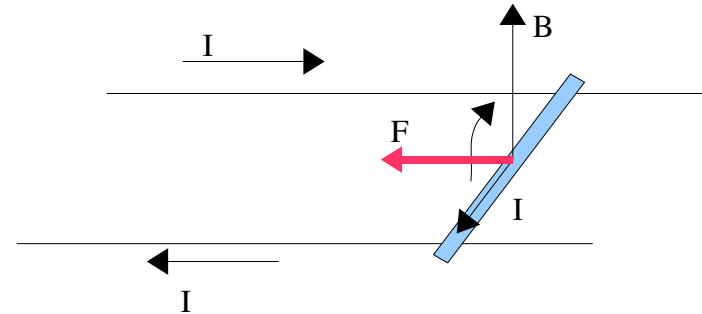
Representem per I la intensitat del corrent que circula pel conductor.

El vector $\mathbf{L}$ és la longitud del conductor i el seu sentit és el del corrent que la travessa.

$\mathbf{B}$ és el vector camp magnètic.

En l'esquema del marge dret es pot veure una situació a on es pot aplicar la fórmula anterior.

Podem veure dos cables conductors paral·lels per on circula un corrent amb el sentit indicat. Sobre aquests dos cables hi ha un conductor que pot lliscar lliurement sobre ells. Si el conjunt es troba en el sí d'un camp magnètic actua una força sobre tots els conductors i en particular sobre el conductor mòbil actua una força tal com la indicada en l'esquema.

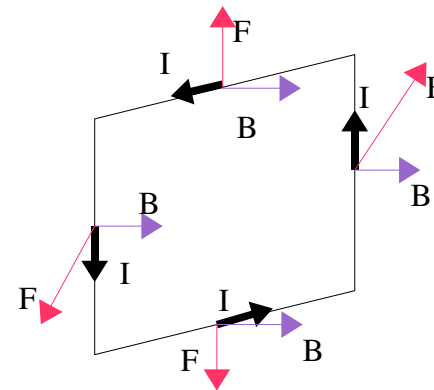


Força sobre una espira

Considerem a continuació un cas una mica més complicat, però que es pot analitzar tenint com a base el cas anterior. Es tracta d'una espira situada en el sí d'un camp magnètic uniforme.

Les forces sobre els quatre costats s'han determinat a partir del cas anterior, cosa que cal comprovar personalment.

Com es pot veure les forces verticals s'equilibren i les horitzontals fan que l'espira giri fins a col·locar-se perpendicularment al camp magnètic.



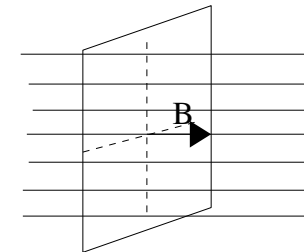
Flux del camp magnètic a través d'una superfície

Considerem ara una superfície S en el sí d'un camp magnètic $\mathbf{B}$. Definirem una magnitud anomenada flux de camp magnètic a través de S com el número de línies de camp magnètic que travessen la superfície S . No donarem una definició del flux completament general, sinó només per camps magnètics uniformes, cosa que serà suficient per entendre el concepte de flux que és el que ens interessa més que el seu càlcul en totes les circumstàncies possibles.

Flux a través d'una superfície col·locada perpendicularment a les línies de camp

Tenint en compte que el mòdul del vector $\mathbf{B}$ en un punt és igual al nombre de línies de camp magnètic que travessen la unitat de superfície col·locada perpendicularment a les línies de camp, si tenim una superfície S col·locada perpendicularment a les línies de força, el flux ϕ és simplement el producte de B per S ,

$$\phi = B S$$



Per exemple, si $B = 4 \text{ T}$ i $S = 5 \text{ m}^2$, tindrem que el flux val

$$\phi = 4 \text{ T} * 5 \text{ m}^2 = 20 \text{ Wb}$$

La unitat de flux magnètic en el S.I. és el Weber. Podem definir el Tesla en funció del Weber de la següent manera $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$.

Flux a través d'una superfície no perpendicular a les línies de camp

Quan la superfície no és perpendicular a les línies de camp cal utilitzar la següent fórmula per calcular el flux

$$\phi = B S \cos \alpha$$

a on α és l'angle que forma el camp magnètic amb la línia normal a la superfície. No és difícil entendre el perquè del cosinus, com es mostra a continuació.

En l'esquema del costat es pot veure la superfície S des d'una posició zenital i per aquest motiu només s'aprecia el braç superior L (de color vermell). Com es pot veure, la direcció normal a la superfície forma un angle α amb la direcció del camp. Cal entendre que pel fet de l'orientació que ara té la superfície, el nombre de línies de camp que la travessen ara és menor que en el cas anteriorment estudiat i preguntar-se quin és el valor de la superfície S' que col·locada perpendicularment es travessada pel mateix nombre de línies que S. Aquesta superfície és la representada de color blau, de la qual només es visible el braç superior L'. És evident que els fluxos que travesses ambdues superfícies són iguals

$$\phi = \phi'$$

i que la relació entre els dos braços superiors és

$$L' = L \cos \alpha$$

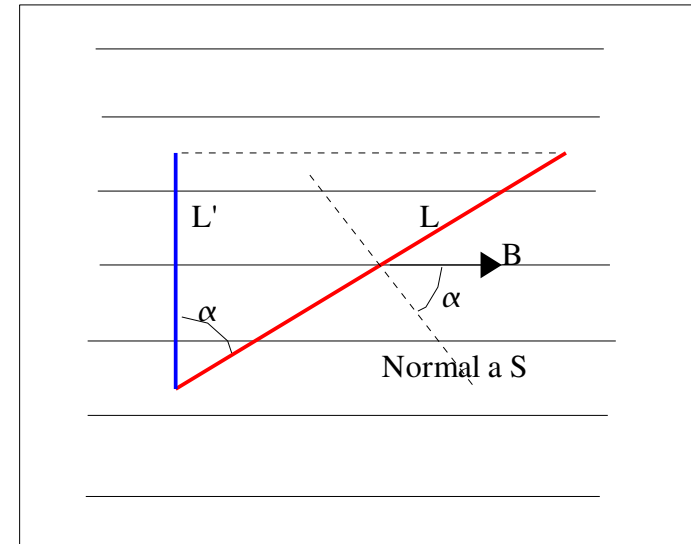
i tenint en compte que el braç vertical h, que no apareix a l'esquema, és igual per les dues superfícies, obtenim

$$S' = h L' = h L \cos \alpha = S \cos \alpha$$

en conseqüència el flux a través de S es pot escriure com,

$$\phi = \phi' = S' B = S B \cos \alpha$$

tal com volíem demostrar .



Llei de Faraday

Abans de parlar de la llei de Faraday cal que repasseu un concepte important de corrent elèctric. Ens referim al de força electromotriu (fem). Recordeu que perquè per un circuit hi passi un corrent elèctric cal un generador (per exemple, un a pila de petaca), la característica més fonamental del qual és la força electromotriu. En aquests apunts la representarem per “e” i a “grosso modo” és l'energia que el generador comunica a les càrregues que la travessen. Amb més precisió és l'energia comunicada al generador a cada unitat de càrrega positiva que la travessa. En conseqüència es mesura en Joules per Coulomb, és a dir en Volts (V).

La llei de Faraday, una de les lleis fonamentals de l'electromagnetisme, estableix que sempre que canvia el flux de camp magnètic que travessa un circuit s'indueix (es provoca) una força electromotriu (fem induïda).

En concret la llei estableix que

“la variació del flux de camp magnètic que travessa un circuit per unitat de temps canviat de signe és igual a la força electromotriu induïda”

En forma matemàtica escriurem,

$$e = - d\phi/dt$$

El signe menys que apareix davant de la derivada és important, fins el punt que el seu significat físic queda recollit en l'anomenada llei de Lenz. És evident que aquesta llei queda englobada dintre de la llei de Faraday, però se segueix fent-hi una referència. La llei de Lenz l'analitzarem després de veure alguns exemples d'aplicació de la llei de Faraday.

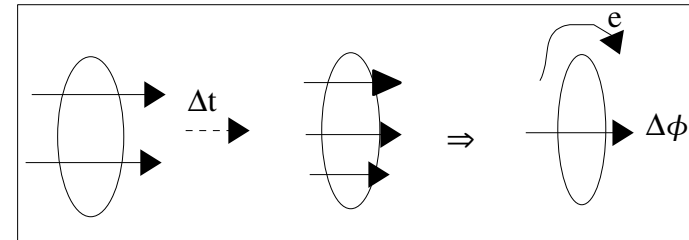
Entendre les lleis de Faraday i Lenz significa saber determinar “e” a partir de la variació de “ ϕ ” . En aquest curs ens conformarem en determinar el sentit d’“e”.

Per aconseguir aquest objectiu tornarem a utilitzar la regla de la ma dreta. En la pàgina següent es visualitzen tots els casos bàsics a on cal saber aplicar la llei de Faraday (i la de Lenz) .

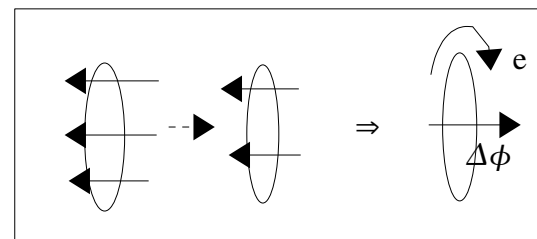
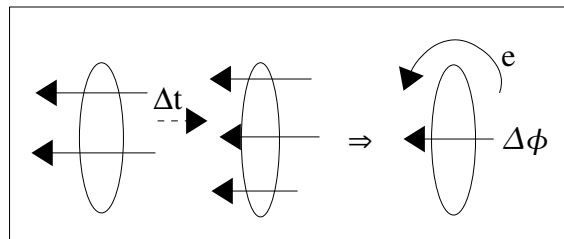
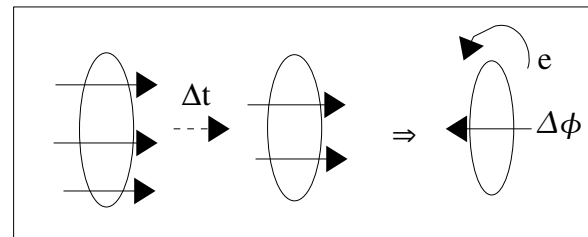
Important: L'espira circular es representa en perspectiva i per això la seva forma és el·líptica. Aquesta espira se suposa que travessa el pla del paper i que la meitat esquerra està davant del paper i la meitat dreta darrera.

La situació representada en aquest primer esquema mostra que en un cert moment l'espira es travessada per dues línies de camp i un instant posterior per tres (espira esquerra i espira del mig).

L'increment del flux aleshores (espira dreta), tot i que no és una magnitud vectorial es pot representar per una fletxa cap a la dreta. En conseqüència la fem, e , és la indicada (cal entendre que així és així).



En els esquemes següents es mostra la resta de situacions bàsiques que cal saber analitzar.



Tornem a la llei de Lenz. Recordem que inclosa en la llei de Faraday, la de Lenz es refereix al significat del signe menys. L'enunciat de la llei diu que si s'indueix una fem en un circuit, el camp magnètic creat pel corrent corresponent s'oposa a la variació del flux inductor. Si analitzem els casos anteriors veurem evident el significat de la llei.

Imants

Ha arribat el moment de parlar dels imants. Les primeres referències escrites sobre els imants pertanyen a la civilització chinesa i són del segle IV abans de Crist. Els primers imants que es van conèixer són d'un mineral de ferro que es diu magnetita (Fe_3O_4).

Avui en dia se sap que les forces que s'exerceixen els imants són de la mateixa naturalesa que les que s'exerceixen les càrregues en moviment. De fet el nom, magnetisme, procedeix originalment de les forces entre els imants.

Cal preguntar-se doncs a quins corrents es deuen les forces entre els imants. La resposta la trobem en els àtoms. Els electrons movent-se en les seves òrbites al voltant dels nuclis són els corrents que donen origen a les forces magnètiques. Aquesta afirmació porta a una altra qüestió. Per què, si tota la matèria està formada per àtoms, s'observa que només les forces magnètiques apareixen en alguns materials (imants) i no en altres?

Això es deu a què en els anomenats imants els corrents atòmics estan ordenats de manera que els efectes individuals de cadascun se sumen, mentre que en els altres el desordre en les orientacions espacials de les òrbites dels electrons fa que els efectes individuals es compensen i no s'observin fenòmens magnètics.

No ens allargarem més en aquest tema tot i que és recomanable fer alguna lectura sobre la qüestió en qualsevol font (Internet: wikipedia, google...; llibres de text).

