

# INDUCȚIA ELECTROMAGNETICĂ

*“Nu știu la ce este bună electricitatea, dar știu că, într-o zi, primul ministru va pune impozit pe ea!” a fost răspunsul lui Faraday la întrebarea pusă de primul ministru al Angliei, care se deplasase la laboratorul acestuia pentru a afla la ce este bună electricitatea generată prin fenomenul de inducție electromagnetică.*

## ISTORIC

Fenomenul de inducție electromagnetică constituie “cheia” înțelegerii concepției maxwelliene asupra câmpului electromagnetic, concepție acceptată și astăzi atât timp cât este admisă explicația la nivel macroscopic a interacțiunilor electromagnetice.

Legea inducției electromagnetice este fundamentală în studiul fenomenelor electromagnetice. Teoria câmpului electromagnetic publicată în 1873 de către James Clerk Maxwell a reprezentat o unificare a experimentelor realizate timp de 150 de ani într-o teorie coerentă. Maxwell a sintetizat toate cunoștințele de electricitate și magnetism într-un grup de ecuații simple precizând propagarea undelor electromagnetice, calculând viteza luminii și explicând propagarea acesteia ca o undă electromagnetică.

O contribuție majoră la elaborarea teoriei electromagnetismului a adus-o Faraday. Maxwell a manifestat un interes deosebit pentru lucrările de electromagnetism ale lui Faraday, a corespondat cu acesta comentându-i lucrările. Printre rezultatele lui Faraday, descoperirea fenomenului de inducție electromagnetică, în anul 1831, a adus o contribuție extrem de mare nu numai în fizică ci și în alte domenii de activitate, ducând la revoluționarea tehnicii din acea perioadă.

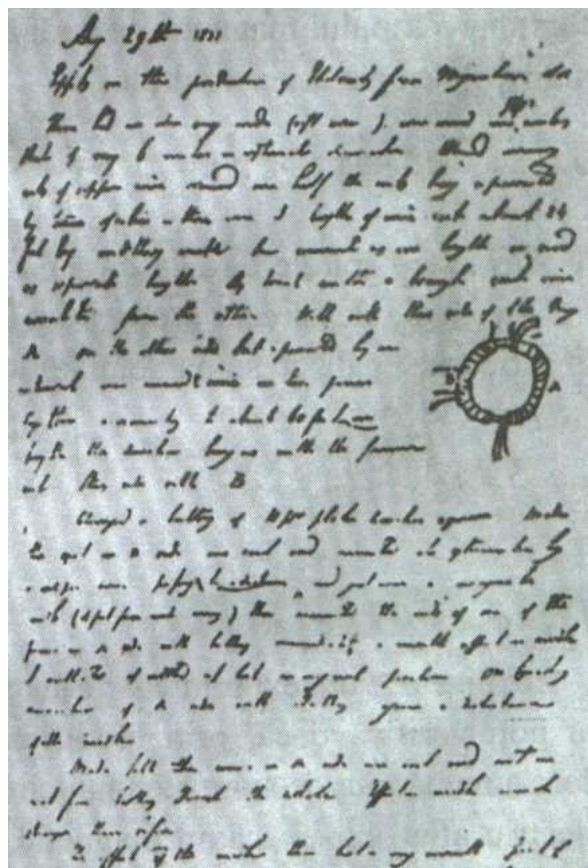


Fig. 1 Manuscris al lui Faraday

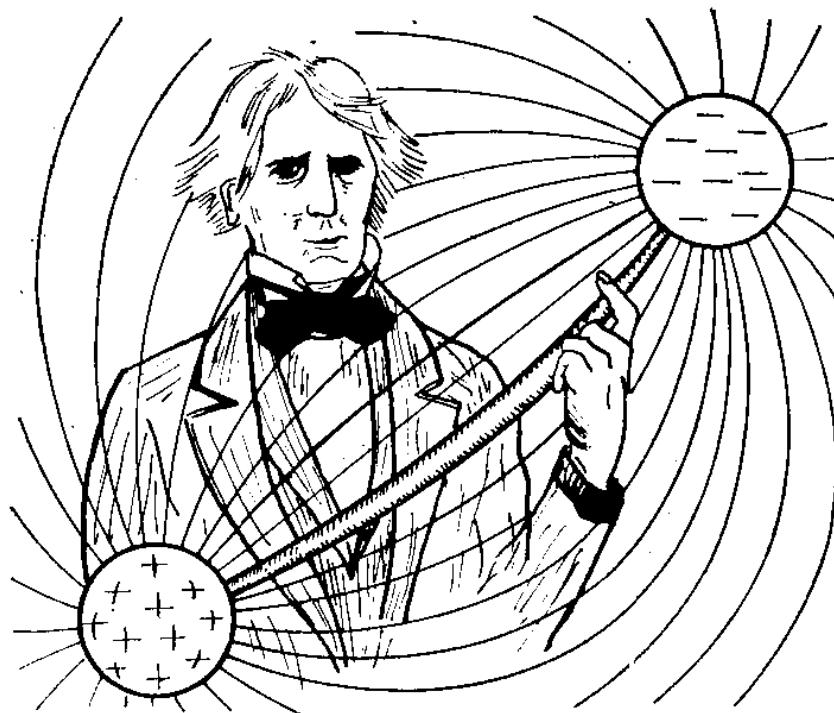
Este suficient să ne referim numai la posibilitatea obținerii curentului electric alternativ și la problema transmiterii la distanță a energiei electrice folosind transformatorul, pentru a ne da seama de importanța acestui fenomen.

Fenomenul de inducție electromagnetică stă la baza funcționării multor dispozitive și aparate, unele fiind descrise în această lucrare.

De asemenea, acest fenomen are o pondere mare în înțelegerea altor fenomene fizice. Studiul său începe în gimnaziu și se completează în liceu.

În anul 1820 fizicianul H.C.Oersted a publicat lucrarea în care a arătat că un curent electric generează în jurul său un câmp magnetic.

Pornind de la această descoperire, oamenii de știință au căutat și fenomenul invers - producerea curentului electric cu ajutorul câmpului magnetic. După mai bine de 10 ani de cercetări experimentale (1820-1831), savantul englez **Michael**



Michael Faraday

**Faraday** obține curent electric prin variația câmpului magnetic descoperind astfel fenomenul de inducție electromagnetice.

În timpul primelor sale cercetări Faraday a fost contrariat de faptul că un curent staționar nu are un efect măsurabil asupra unui circuit din preajmă

El a confecționat diverse bobine din sârmă, înfășurând două conductoare astfel încât, să stea foarte aproape unul de altul, dar totuși separate prin izolația de hârtie sau pânză. Conductoarele au fost înfășurate pe un cilindru din lemn, obținând două bobine  $B_1$  și  $B_2$ . Bobina  $B_1$  este legată la un galvanometru, formând cu acesta un circuit închis, iar bobina  $B_2$  a fost legată la o baterie.

În cursul unuia dintre experimente a observat o ușoară deplasare a acului galvanometrului la închiderea întrerupătorului din circuitul bobinei  $B_2$ , dar și la deschiderea lui. Faraday a mai observat că semnalul acesta, deși slab, apărea numai în timpul deschiderii sau închiderii circuitului bobinei  $B_2$  și dispărea chiar dacă circuitul ei rămânea închis, deși exista un câmp magnetic ale cărui linii de câmp treceau și prin bobina  $B_1$ . De asemenea a mai observat că acul galvanometrului devia într-un sens la închiderea circuitului și în sens invers la deschiderea lui.

Faraday a schimbat puțin dispozitivul experimental în sensul că, a bobinat conductoarele pe un inel din fier (cam de 20 cm în diametru). În acest caz, curentul obținut a fost mai intens, dând astfel un impuls mai mare acului indicator al galvanometrului.

Un alt experiment efectuat de Faraday este următorul:

O bobină conectată în serie cu un galvanometru (formând astfel un circuit închis) se mișcă în apropierea unei surse de câmp magnetic (magnet permanent sau electromagnet).

Acul galvanometrului a fost deviat, punând astfel în evidență apariția curentului electric, numai atunci când magnetul sau electromagnetul se deplasau față de bobina  $B_1$  ori se deplasa bobina față de sursa magnetică. A mai observat că, dacă deplasarea are loc pe aceeași distanță însă magnetul se mișcă în interiorul bobinei, curentul care apare în bobina  $B_1$  este mai intens. Intensitatea curentului obținut în urma unor deplasări identice ca traiectorie și poziții ale magnetului este mai mare atunci când viteza de deplasare este mai mare.

Fenomenele descrise se petrec identic fie că magnetul sau electromagnetul se apropie de bobina  $B_1$  fie că se depărtează de aceasta, cu deosebirea că, schimbând sensul de deplasare al sursei de câmp magnetic se schimbă și sensul de deviere al acului galvanometrului, deci și sensul curentului apărut în spirele bobinei.

S-au observat aceleași fenomene și în cazul în care magnetul se apropie de bobina  $B_1$  cu polul nord sau sud, cu deosebirea că la operații identice curenții care apar sunt de sensuri contrare.

Deoarece aceste fenomene apar fie că se mișcă magnetul față de bobină, fie că se mișcă bobina față de magnet, Faraday a desprins concluzia că ceea curent electric conțea în acest fenomen este deplasarea relativă a celor două sisteme.

Experimental, Faraday a mai constatat că în bobina  $B_1$  apare un curent ori de câte ori variază curentul în electromagnetul  $B_2$ , important fiind faptul că și în acest caz valoarea intensității curentului din bobina  $B_1$  depinde de viteza de variație a curentului din  $B_2$ .

Fenomenul descris în aceste experimente a fost denumit inducție electromagnetică.

Sistemul care produce câmpul magnetic (magnetul permanent sau electromagnetul) a fost denumit sistem inductor, iar sistemul în care apare curentul electric, a fost denumit sistem indus.

Curentul electric care apare în circuitul indus se numește curent electric indus.

În urma efectuării experimentelor Faraday a intuit că, apariția curentului electric indus s-ar putea datora variației fluxului magnetic inductor, fapt care era factorul comun în aceste experimente. Sintetizând, aceste experimente au arătat că, un curent indus apare numai la variația în timp a câmpului magnetic inductor; curentul indus fiind proporțional cu variația fluxului magnetic inductor. Mai precis, intensitatea curentului indus este proporțională cu viteza de variație a fluxului magnetic inductor.

Ținând cont că apariția unui curent electric este legată de existența unei tensiuni electromotoare, se poate spune că în bobina  $B_1$  a apărut o tensiune electromotoare indusă,  $e$  (t.e.m. indusă), numai dacă spirele acestei bobine au fost străbătute de un flux magnetic variabil.

Conform definiției de mai sus rezultă că, fenomenul de inducție electromagnetică are loc ori de câte ori variază oricare dintre mărimile fizice de care depinde valoarea fluxului magnetic inductor, conform următoarei relații:

$$\phi = BS \cos \alpha$$

## UTILIZAREA CALCULATORULUI ÎN ÎNVĂȚAREA FIZICII

Computerele au devenit în ultimii ani un mijloc foarte eficient de educare a tinerei generații, dar și a adulților. Evoluția societății impune utilizarea lui în procesul instructiv-educativ în mod intensiv. Ele sunt mijloace de învățământ performante care permit adoptarea unei strategii didactice versatile, mai ales atunci când se dispune de o rețea de calculatoare, conectate la rețeaua Internet.

Instruirea asistată de calculator sau simulările pot fi motive serioase pentru o pregătire de specialitate.

Elevii, deseori din practica educației nonformale știu foarte multe despre computere și cunosc cel puțin un limbaj sau mediu de programare. Ei pot fi antrenați cu ușurință în realizarea de programe de simulare a unor fenomene, legi sau comportări ale sistemelor fizice. Lucrul cu calculatorul dezvoltă deprinderile intelectuale ale celor ce parcurg o etapă de instruire și individualizează procesul.

Calculatorul poate fi utilizat în următoarele cazuri:

- ca tablă electronică pentru prezentarea graficelor, a desenelor cu animație pentru evidențierea fenomenelor;
- pentru comunicarea de informații, prin extinderea de memorie dată de unitatea de disc sau dischetă;
- ca mijloc de cercetare, prin urmărirea evoluției unor funcții la modificarea parametrilor, a câmpurilor electric sau magnetic, etc;
- pentru rezolvarea de probleme, unde se pot da schițe ale sistemului fizic din diverse sisteme de referință și la diferite momente;
- pentru recapitularea-fixarea unui material mai complex, cu posibilitatea reorganizării informațiilor după noi criterii;
- pentru verificarea rezultatelor, cu insistare pe deprinderile și abilitățile de aplicare a cunoștințelor, ca și pe aspectele de bază;
- pentru jocuri, care să dezvolte gândirea strategică.

În *instruirea asistată de calculator*, un rol important îl are *softul educațional*, prin care se poate înțelege un produs program, care a fost în mod deliberat construit pentru a putea fi utilizat în organizarea unei situații de învățare.

*Un soft educațional* este un pachet care conține:

- programe create în scop didactic;
- documentația aferentă cu indicații metodice și descrierea tipului de hard pe care poate fi implementat;
- alte surse materiale, precum fișele de lucru.

*Softul educațional* este conceput pentru a produce învățarea, pentru a asigura o interacțiune flexibilă și frecventă dintre elev și calculator. Interacțiunea elev-calculator poate fi controlată de profesor sau elev și același soft folosit în același timp și independent de elevi diferiți, se adaptează după anumite caracteristici individuale.

*Soft-urile educaționale* se pot clasifica în:

- a) soft-uri de exersare;
- b) soft-uri de prezentare interactivă de noi cunoștințe;
- c) soft-uri de simulare;
- d) soft-uri pentru testarea cunoștințelor.

Programul prezintă simularea fenomenului de inducție electromagnetică cu ajutorul calculatorului.

Programele de simulare permit experimentarea unor situații, care ar fi dificil sau imposibil de realizat în clasă.

Simulările pot fi instructive atunci când sunt utilizate pentru a ilustra idei și experimente explorate în prealabil prin alte mijloace – idei, teste, discuții, chestionare, etc.

Aceste programe pot fi de asemenea utilizate în procesul de instruire a elevilor în laboratoarele de fizică sau chimie, în simularea experimentelor care sunt prea costisitoare, complicate sau mari consumatoare de timp.

Simulatoarele asigură simularea unor situații, modele, în care rezultatele finale sunt obținute în urma deciziilor proprii ale utilizatorului.

Scopul urmărit este de a pune la dispoziția celor interesați de studiul fizicii și nu numai lor, un material accesibil, referitor la fenomenul de inducție electromagnetică.

În sprijinul procesului de predare-învățare a temei "INDUCȚIA ELECTROMAGNETICĂ", la clasele a VIII-a și a X-a am realizat un program de simulare cu ajutorul calculatorului, a acestui fenomen.

Programul folosește modul grafic, fiind scris în limbajul de programare PASCAL. Folosește mediul TURBO PASCAL 6.0, pentru sistemul de operare MS-DOS.

Rularea programului necesită resurse hardware standard și este accesibil oricărui utilizator de calculator PC.

El prezintă o serie de informații referitoare la capitolul "INDUCȚIA ELECTROMAGNETICĂ" din manualul de fizică pentru clasa a X-a, cuprinzând capitolele:

1. FENOMENUL DE INDUCȚIE ELECTROMAGNETICĂ
2. SENSUL CURENTULUI ELECTRIC INDUS. REGULA LUI LENZ
3. LEGEA INDUCȚIEI ELECTROMAGNETICE

Programul utilizează tastatura pentru selectarea unei opțiuni din meniul principal, iar la apăsarea pe săgețile sus/jos apar imaginile corespunzătoare temei selectate. În interiorul fiecărui submeniu care rulează, se folosește tastatura. Este necesară apăsarea unei taste pentru revenirea în meniul principal.

Programul este organizat într-un mod interactiv cu utilizatorul.

Pe ecran se va afișa menu-ul principal din care utilizatorul poate alege opțiunile din meniu.

Părăsirea programului se poate realiza alegând din meniul principal "Ieșire".

### Observații:

Marele avantaj al folosirii calculatorului în fizică este faptul că generează rezultate cu un impact pozitiv în privința formării viitorilor specialiști în sensul că:

- se realizează o temeinică cunoaștere a fenomenului fizic studiat cu posibilitatea de observare a unor detalii sau interpretări care, în mod obișnuit, folosind manualul, pot fi omise;

-elevul ajunge mai repede la convingerea că un calculator poate fi folosit nu numai pentru jocuri, ci și în activitatea de cercetare și proiectare;

-stimularea afectivității prin imagini, culori, sunete și animație;

-utilizarea stimulului afectiv și a repetiției în vederea memorării noțiunilor și legilor din fizică, a apariției abilității în rezolvarea de probleme, a deprinderii modalității de prelucrare și interpretare a rezultatelor unui experiment.

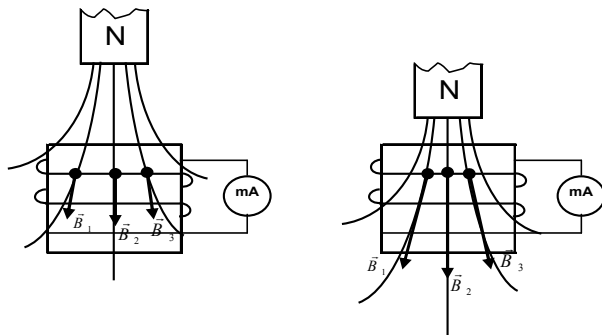
Am ales această temă pentru a oferi un ajutor laboratorului de fizică din cadrul liceului. Programul poate fi utilizat de către profesori în predarea lecțiilor referitoare la *Inducția Electromagnetică*, în acest mod elevii putând înțelege mai ușor acest fenomen. Am considerat tema atrăgătoare pentru că implică folosirea graficii și pentru că era necesară și folosirea animației care dă programului un aspect mai plăcut și mai ușor de vizualizat.

### Explicație

#### E<sub>1</sub> Deplasarea magnetului bară într-o bobină

La apropierea magnetului de bobină, se observă că, în aceleași puncte din interiorul bobinei, inducția câmpului magnetic crește în modul și își modifică orientarea, făcând să crească fluxul magnetic ce străbate suprafața spirelor bobinei.

(  $\Phi = B S_n$ ;  $B$  crește, deci  $\Phi$  crește )



Creșterea fluxului magnetic ce străbate suprafața spirelor determină apariția unei t.e.m. induse în bobină și deci, apariția unui curent electric indus în circuitul închis al bobinei.

Atunci când magnetul rămâne nemișcat în bobină nu variază fluxul magnetic ce străbate suprafața spirelor bobinei, deci nu se produce t.e.m. în bobină; în circuitul bobinei nu apare curent electric indus.

La scoaterea magnetului din bobină, îndepărtându-se de aceasta, scade inducția câmpului magnetic ce străbate bobina, făcând să scadă fluxul magnetic ce străbate suprafața spirelor bobinei.

Intensitatea curentului indus este mai mare atunci când viteza magnetului față de bobină este mai mare. Efectele sunt aceleași, indiferent care dintre cele două elemente se află în mișcare.

Descrescerea fluxului magnetic ce străbate suprafața spirelor determină apariția unei t.e.m. induse în bobină și deci, apariția unui curent electric indus în circuitul închis al bobinei, de sens invers primului caz.

Sensul curentului electric indus depinde de sensul câmpului magnetic și de sensul de mișcare a magnetului.

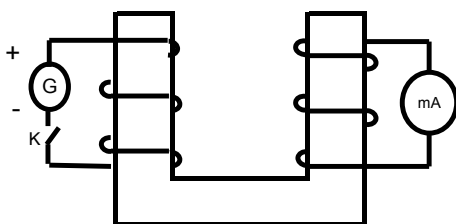
Magnetul care produce câmp magnetic mai intens determină și producerea unui curent indus mai intens. Intensitatea curentului este mai mare dacă numărul de spire ale bobinei este mai mare.

SE: **EXPERIM 2.exe**

## E<sub>2</sub> Închiderea și deschiderea circuitului primar

La închiderea circuitului primar, cu ajutorul întrerupătorului, se constată că acul miliampermetrului deviază, deci pune în evidență apariția pentru scurt timp a unui curent electric, numit *curent electric indus*.

În timpul stabilirii curentului prin circuitul primar, intensitatea lui variază de la zero la o valoare maximă. Inducția magnetică produsă de curentul din circuitul primar variază și ea de la zero, la o valoare maximă. Fiecare spiră a bobinei secundare, aflată în câmpul magnetic de inducție variabilă produs de circuitul primar, este străbătută de flux magnetic variabil, de la zero la valoarea maximă. La întreruperea curentului din circuitul primar, fluxul magnetic prin suprafața înconjurată de fiecare spiră a bobinei secundare este variabil, de la valoarea maximă la zero.



Așadar, se constată că, de fiecare dată când se obține curent indus într-o spiră, fluxul magnetic prin suprafața închisă este variabil în timp.

Dacă starea circuitului este staționară (miezul de fier I este menținut în repaus), instrumentul nu indică prezența curentului. Pentru intervale foarte scurte, la modificarea stării circuitului (se închide, respectiv se deschide circuitul magnetic prin deplasarea miezului de fier I), instrumentul indică prezența curentului indus.

SE :**EXPERIM 1.exe; DAVID1.exe**

## E<sub>3</sub> Deplasarea bobinei primare sau a bobinei secundare

Sensul curentului indus, ce apare la introducerea bobinei S pe miezul de fier, este invers sensului curentului la scoaterea bobinei de pe miez.

Valoarea inducției magnetice a câmpului produs de bobina P variază în funcție de distanța de la bobină și miezul de fier. Prin deplasarea bobinei S în acest câmp magnetic, suprafața fiecărei spire este străbătută de un flux magnetic variabil în timp.

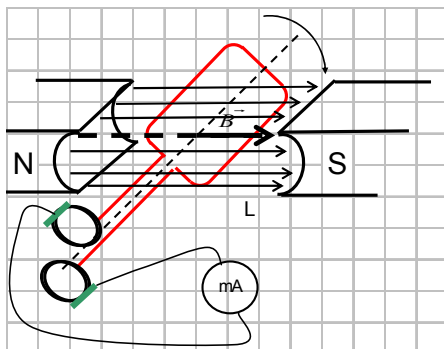
## E<sub>4</sub> Spira rotită în câmp magnetic uniform

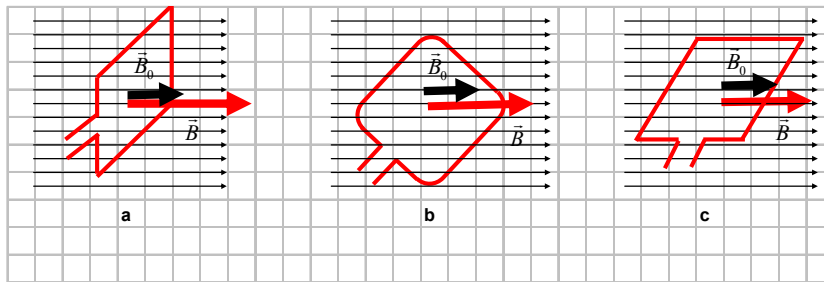
În câmpul magnetic uniform, produs între piesele polare ale unei bobine parcurse de curentul electric, se rotește uniform un cadru cu spire, ale cărui capete sunt conectate la două inele metalice C<sub>1</sub> și C<sub>2</sub> care alunecă în timpul rotației sub două lame metalice elastice L<sub>1</sub> și L<sub>2</sub>.

Circuitul dintre cele două lame elastice se închide printr-un miliampermetru. Se constată devierea acului miliampermetrului de o parte și de alta a punctului zero.

*Concluzie:* În acest experiment, inducția magnetică este constantă în timpul rotației spirei, dar variază unghiul dintre suprafața spirei și inducția magnetică, deci variază fluxul magnetic prin suprafața spirei.

Dacă repetăm experimentele și intercalăm un voltmetru (în urma întreruperii circuitului) între capetele întrerupte, se constată existența unei tensiuni, atât timp cât variază fluxul magnetic.





Rezultă că variația fluxului magnetic prin suprafața circuitului determină apariția în circuit a unei tensiuni electromotoare. Dacă circuitul este închis, această tensiune electromotoare va da naștere curentului indus.

**Definiție:** Fenomenul de inducție electromagnetică constă în apariția unei tensiuni electromotoare într-un circuit străbătut de un flux magnetic variabil în timp.

În general, fenomenul de inducție electromagnetică se poate defini ca: apariția unui câmp electric cu linii de câmp închise în regiunea în care există flux magnetic variabil în timp.

Apariția curentului indus dovedește existența unui câmp electric, care deplasează purtătorii de sarcină electrică prin circuit; acest câmp electric există și în absența circuitului, el ia naștere datorită variației fluxului magnetic. Fizicianul Maxwell a demonstrat că, în jurul unui flux magnetic variabil în timp, apare un câmp electric cu linii de câmp închise.

Mașinile electrice conțin piese electrice mari care pot fi străbătute de fluxuri magnetice variabile, fie datorită rotației pieselor în câmp magnetic constant, fie datorită variației câmpului magnetic. Câmpul electric indus deplasează electronii liberi ai metalului de-a lungul liniilor de câmp închise. Apar astfel, în interiorul pieselor metalice, curenți electrice induși, asemănători unor vârtejuri, numiți *curenți turbionari sau curenți Foucault*.

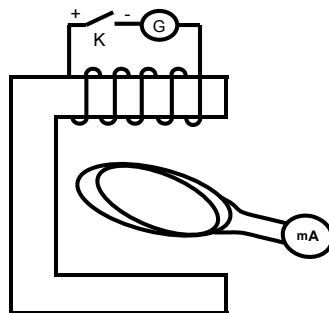
SE : DAVID1.exe

### E<sub>5</sub> Deplasarea bobinei cadru între laturile electromagnetului

Atunci când deplasăm bobina cadru de-a lungul liniilor de câmp, acul aparatului de măsură rămâne la zero, iar atunci când deplasăm bobina cadru pe o direcție neparalelă cu liniile de câmp (S se modifică), deci fluxul variază.

### E<sub>6</sub> Modificarea ariei suprafeței spirei

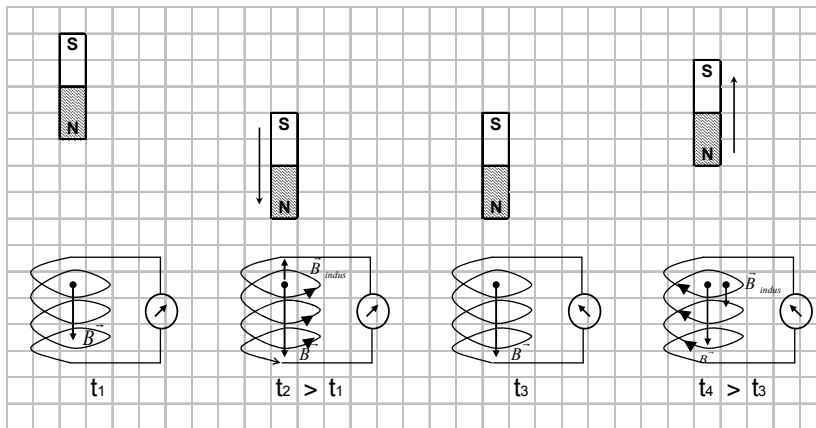
Dacă starea circuitului este staționară (aria suprafeței delimitată de bobină este menținută constantă), instrumentul nu indică prezența curentului indus. Pe durata modificării ariei suprafeței delimitată de bobină, instrumentul indică prezența curentului indus.



### Sensul curentului electric indus. Regula lui Lenz

Sensul curentului electric indus depinde de felul în care variază fluxul magnetic inductor: la creșterea fluxului magnetic inductor, curentul indus are un sens, iar la micșorarea fluxului magnetic inductor, curentul electric indus își schimbă sensul.

Câmpul magnetic indus în bobină tinde să compenseze variația câmpului magnetic inductor.



În timpul apropierii magnetului, câmpul magnetic  $\vec{B}$  produs de magnet în punctele din interiorul bobinei este mai mare într-un moment  $t_2$ , decât într-un moment anterior,  $t_1$ . Sensul curentului indus în bobină se determină experimental. Cu ajutorul regulii burghiului se determină sensul inducției magnetice a câmpului magnetic indus,  $\vec{B}_i$  produs de acest curent.  $\vec{B}_i$  are sens opus lui  $\vec{B}$ , deci se opune creșterii câmpului inductor.

În timpul depărtării magnetului de bobină, inducția  $\vec{B}$  a câmpului magnetic inductor este mai mică în momentul  $t_4$  decât în momentul  $t_3$ , anterior. Curentul indus, în acest caz, produce un câmp magnetic cu  $\vec{B}_i$  de același sens cu  $\vec{B}$ , deci care tinde să compenseze scăderea câmpului inductor.

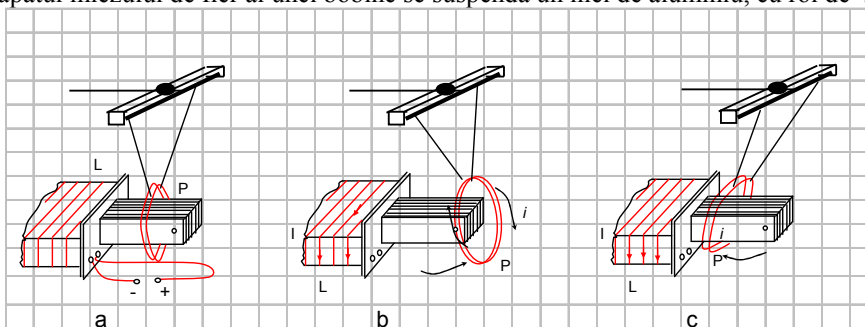
SE : DAVID2.exe

**Regula lui Lenz:**

*Tensiunea electromotoare indusă și curentul indus au un astfel de sens încât fluxul magnetic produs de curentul indus să se opună variației fluxului magnetic inductor.*

**E6 Verificarea regulii lui Lenz**

La capătul miezului de fier al unei bobine se suspendă un inel de aluminiu, cu rol de secundar.



Circuitul primar se realizează legând bobina la o sursă de tensiune continuă, prin intermediul unui întrerupător.

În timpul stabilirii curentului în circuitul primar, inelul este respins de bobină, iar în timpul întreruperii circuitului primar, inelul este atras. Deci la închiderea circuitului, curentul din inel este de sens contrar celui din bobină (curenții de sensuri opuse se resping), în timp ce, la întreruperea circuitului, curentul indus în inel este de același sens cu cel din bobină (curenții de același sens se atrag). Curenții de sensuri opuse produc câmpuri magnetice de același sens. Deci, la închiderea circuitului, când curentul inductor și fluxul magnetic inductor cresc, câmpul magnetic indus este de sens opus celui inductor, deci se opune creșterii lui, în timp ce, la întreruperea curentului inductor, când fluxul magnetic scade, câmpul magnetic indus este de același sens cu cel inductor, deci se opune scăderii lui.