

~ CURS 1 ~

1. Scurt istoric al electromagnetismului

Parcurgând o linie temporală pentru a stabili principalele contribuții aduse în domeniul electricității și magnetismului, se poate constata că de la folosirea busolei de către chinezi cu câteva secole înainte de Hristos, prima lucrare dedicată studiului acestor fenomene, intitulată *De magnete*, apare abia în anul 1600, avându-l ca autor pe W. Gilbert. Secolul al XVIII-lea se dovedește a fi precursorul descoperirilor definitive din domeniul electromagnetismului ce se vor petrece în secolul următor. Astfel, în 1752, Benjamin Franklin constată că pot fi identificate două tipuri de sarcini electrice (pozitive și negative), observație pe baza căreia, în 1785, C.A. Coulomb determină legea de atracție/respingere dintre sarcini. La sfârșitul secolului al XVIII-lea, A. Volta construia prima pilă galvanică.

În 1820 se pot repera două borne importante: H.C. Oersted constată că un fir parcurs de un curent electric influențează un ac magnetic, iar A.M. Ampère experimentează faptul că între două fire parcurse de curent electric se exercită forțe de atracție sau respingere. Ambele experimente evidențiază apariția câmpului magnetic în jurul conductoarelor parcurse de curenți. În 1826, G. Ohm determină proporționalitatea dintre tensiunea și curentul aplicat unui conductor, stabilind relația ce îi poartă numele.

O dată deosebit de importantă o reprezintă anul 1831 când M. Faraday pune în evidență, pe baza a trei seturi de experimente, fenomenul inducției electromagnetice. În 1840, J.P. Joule descoperă legea care îi poartă numele, ce stabilește că parcurgerea unui conductor de curent electric duce la transformarea ireversibilă a energiei electromagnetice în căldură. În 1845, G.R. Kirchhoff publică cele două legi cu ajutorul cărora se pot determina curenții prin laturile unui circuit electric.

În 1873, J.C. Maxwell publică o lucrare de ansamblu intitulată *A treatise on electricity and magnetism. Vol. I + II*, ce înglobează toate cunoștințele dobândite de-a lungul timpului și în care autorul evidențiază faptul că atât câmpul electric cât și cel magnetic nu sunt entități distincte, ci părți complementare ale *câmpului electromagnetic*. În 1890, H. Hertz oferă legii inducției electromagnetice forma unei ecuații diferențiale, desăvârșind astfel sistemul fundamental al ecuațiilor Maxwell (denumite și ecuații Maxwell-Hertz pentru medii în mișcare). Astfel, această abordare „clasică” a fenomenelor electromagnetice, ce constituie și suportul acestui material didactic, încheie un capitol important în domeniul electromagnetismului. De aceea, această abordare poartă denumirea de *teoria microscopică clasică a electromagnetismului* sau *teoria Maxwell-Hertz*.

Sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul celui de al XX-lea stau sub semnul unor evoluții fantastice ale aplicațiilor electromagnetice, în special pe baza concurenței continue dintre doi mari inventatori: T.A. Edison și N. Tesla – „părinții” transmițerii energiei electrice în curent continuu, respectiv în curent alternativ – realizarea unor generatoare de curent continuu sau alternativ, transmiterea energiei electrice fără contact galvanic (engl, *wireless*).

Teoria câmpului electromagnetic a cunoscut și în secolul al XX-lea diferite îmbunătățiri prin aplicarea principiilor teoriei relativității a lui A. Einstein. Un alt fenomen deosebit de important și cu largă aplicabilitate practică este cel al superconductibilității, descoperit de H. Kramerlingh-Onnes, în 1908.

Cu ajutorul teoriei cuantice și al teoriei electronilor, în secolul al XX-lea s-au înregistrat progrese evidente în înțelegerea comportării materialelor magnetice (P.E. Weiss – domeniile

magnetice), ce au permis dezvoltarea de materiale magnetice din ce în ce mai performante în a doua parte a acestui secol.

Acest scurt istoric și-a propus o trecere în revistă a unei mici părți din domeniul fenomenelor electromagnetice, fenomene care ne înconjoară și fără de care viața noastră de zi cu zi ar fi de neconceput.

2. Noțiuni introductive

Studiul macroscopic al fenomenelor electrice și magnetice este subordonat studiului fenomenelor mecanice, termice și optice, deoarece stările electrice și magnetice ale corpurilor și mărimile fizice necesare caracterizării lor nu pot fi identificate decât indirect, prin intermediul proprietăților lor geometrice, mecanice și eventual termice și optice, proprietățile electrice și magnetice nefiind direct accesibile simțurilor umane.

Stările mecanice, termice ca și cele chimice ale corpurilor prezintă un caracter *intrinsec* și *permanent*: un corp are întotdeauna formă, poziție, inerție, o anumită stare de încălzire. Stările electrice și magnetice ale corpurilor prezintă aparent un caracter *extrinsec* și *temporar* (la scară macroscopică).

Spre exemplu, o sferă metalică cu suport izolant poate fi electrizată prin contact cu polul unei mașini electrostatice, căpătând proprietăți noi (din punct de vedere electric poate atrage corpuri ușoare), fără a-și modifica forma, masa sau temperatura. Aceste proprietăți noi dispar imediat ce sfera este atinsă cu mâna (spre exemplu), caz în care ea revine la starea inițială, caracterizată exclusiv cu ajutorul mărimilor chimice, mecanice și termice. Un alt exemplu poate fi considerat un ac de oțel ce se magnetizează la introducerea între polii unui magnet căpătând, de asemenea, proprietăți noi (capacitatea de a se orienta în spațiu), fără ca lungimea, greutatea sau temperatura lui să se schimbe. Aceste proprietăți dispar dacă acul este încălzit la roșu și readus la starea lui inițială (caracterizată exclusiv cu ajutorul mărimilor chimice, mecanice și termice).

Stările electrice și magnetice descrise anterior pot fi așadar comunicate și retrase după voie corpurilor respective, care pot fi readuse în stările mecanice și termice inițiale.

Noile proprietăți (electrice și magnetice) ale corpurilor au fost descoperite observând că *în urma unor acțiuni prealabile specifice*, executate asupra corpurilor, acestea ajung în stări a căror caracterizare geometrică, mecanică și termică devine insuficientă pentru a prevedea evoluția lor ulterioară. În aceste stări, corpurile au deci proprietăți noi, adică ireductibile la cele geometrice, mecanice, termice și optice, proprietăți a căror definire cantitativă cere să se introducă noi specii de mărimi primitive: *mărimile de stare electrică și magnetică* ale corpurilor. Această problemă nu este simplă, deoarece pentru identificarea stărilor electrice și magnetice ale corpurilor se ajunge la concluzia că, atunci când se găsesc în aceste stări, corpurile interacționează local cu *un sistem fizic distinct de ele, răspândit în spațiu, în corpuri și în jurul lor*, și care mijlocește transmiterea la distanță a acțiunilor ponderomotoare între ele, entitate denumită **câmp electromagnetic**.

Câmpul electric și câmpul magnetic nu sunt două sisteme fizice distincte, ci numai aspecte particulare ale unui sistem fizic unic, numit câmp electromagnetic, capabil să transmită la distanță energie și impuls, sub formă de unde electromagnetice, care se propagă cu viteză finită.

Stările locale și instantanee ale câmpului electromagnetic se caracterizează complet în vid cu ajutorul a două specii de mărimi primitive: *vectorul intensitatea câmpului electric în vid*, \vec{E}_v , și *vectorul inducția magnetică*, \vec{B}_v .

În cea mai mare parte, noțiunile dezvoltate de-a lungul timpului sunt reprezentate de legi și teoreme ale electromagnetismului, părți ale unor teorii fizice bine încheiate și structurate.

Fenomenele electromagnetice au loc concomitent cu fenomene mecanice, termice, chimice sau de altă natură, în sisteme de corpuri care sunt sediul unor procese ce au loc în spațiu și timp în moduri de desfășurare numite regimuri de funcționare.

II.3. Mărimi fizice. Legi și teoreme

Mărimile fizice sunt entități matematice măsurabile în raport cu o unitate de măsură, care descriu anumite proprietăți ale unui sistem în cadrul unei teorii fizice. Toate mărimile au o denumire. Unitățile lor de măsură fie au o denumire fie se exprimă ca relație între unitățile de măsură ale altor mărimi fizice.

Data fiind multitudinea de mărimi fizice utilizate în studiul fenomenelor, se impune o clasificare a lor după mai multe criterii.

- a) După modul de introducere în teoria fizică respectivă, mărimile fizice se pot clasifica în:
 - primitive – introduse direct prin experiment,
 - derivate – introduse pe baza celor primitive prin intermediul unei relații de definiție.
- b) După tipul de mărime matematică, mărimile fizice se clasifică în:
 - scalare,
 - vectoriale,
 - tensoriale.

Mărimile fizice scalare pot fi mărimi orientate (intensitatea curentului electric, tensiunea electrică etc.) sau neorientate (sarcina electrică, potențialul electric etc.). *Ambele tipuri de mărimi sunt mărimi algebrice, deci pot fi pozitive sau negative.* Mărimile scalare orientate care sunt necunoscute (deci au valoarea și sensul necunoscute) se determină din sisteme de ecuații scrise în raport cu sensuri arbitrare numite sensuri de referință față de care acestea rezultă numeric pozitive sau negative. Rezultă că sensul mărimii fizice orientate este acel sens de referință pentru care mărimea rezultă numeric pozitivă. Sensul de referință se marchează prin săgeată.

- c) După modul spațial de caracterizare a proprietăților, mărimile fizice pot fi:
 - locale – ce caracterizează proprietățile fizice într-un punct,
 - globale – ce caracterizează proprietățile fizice pe o curbă, pe o suprafață sau pe un volum.

Mărimile locale derivate au relația de definiție exprimată sub forma unei derivate, motiv pentru care se mai numesc și mărimi diferențiale. Mărimile globale integrale au relația de definiție exprimată sub forma unei integrale, de aceea se mai numesc și mărimi integrale.

- d) După modul de caracterizare a proprietăților sistemelor în evoluție, mărimile fizice pot fi:
 - de stare – ce caracterizează starea unui sistem fizic,
 - de proces – ce caracterizează evoluția unui sistem fizic.

O categorie specială de mărimi fizice sunt parametrii de material. Impropru numite constante de material, sunt departe de a fi constante, depinzând de diferite mărimi fizice (presiune, temperatură etc.) după legi foarte diferite de la un material la altul. Aceste mărimi pot fi adimensionale, dar de cele mai multe ori sunt mărimi cu unități de măsură. Unele dintre acestea au și o variantă adimensională relativă la un mediu de referință.

Parametrii de material sunt mărimi locale, deci aceștia caracterizează proprietățile

materialului într-un punct. Pentru materialele omogene parametrul de material are aceeași valoare în orice punct, pentru materialele neomogene parametrul de material are valori diferite de la punct la punct. Pentru materialele izotrope (cu aceleași proprietăți în toate direcțiile) parametrii de material sunt mărimi scalare, pentru materialele anizotrope acești parametri sunt tensori (matrice 3×3 cu nouă valori ale proiecțiilor parametrului respectiv pe direcțiile sistemului de coordonate). Altă categorie de mărimi întâlnite în fizică sunt constantele universale având unități de măsură sau nu, din categoria cărora fac parte și parametrii fizici ai vidului (permitivitatea electrică ϵ_0 și permeabilitatea magnetică μ_0).

Legile fizice sunt adevăruri generale dintr-un anumit domeniu al fizicii, descoperite în procesul cunoașterii direct prin experiment. Multe adevăruri experimentale au fost declarate legi de către descoperitorii lor. Pe măsura avansării cunoașterii științifice și încheșării unor teorii fizice unitare, unele astfel de adevăruri au devenit teoreme sau cazuri particulare ale unor legi.

Teoremele sunt adevăruri cu o generalizare mai redusă, valabile în anumite condiții strict determinate și demonstrate pe baza legilor. Legile fizice au forme locale și forme integrale, generale sau valabile pentru cazuri particulare. Legile fizice pot fi legi de material sau legi generale, după cum în expresia lor intră sau nu parametri de material. În cadrul unei teorii fizice numărul legilor este fix.

II.4. Regimurile câmpului electromagnetic

În teoria microscopică a câmpului electromagnetic se pot considera patru regimuri pentru fenomene. În cele ce urmează, acestea sunt definite și introduse în ordinea crescătoare a complexității lor:

A. *regimul static* – se caracterizează prin faptul că mărimile nu variază în timp și nu se produc transformări sau schimburi energetice. Este singurul regim de funcționare în care fenomenele electrice și cele magnetice pot fi studiate independent, în electrostatică, respectiv magnetostatică;

B. *regimul staționar* – se caracterizează prin faptul că mărimile nu variază în timp, dar apar transformări energetice. Se mai numește și regimul de curent continuu (spre exemplu, regimul electrocinetic);

C. *regimul cvasistaționar* – este compus din regimurile variabile în timp, în care se ia în considerare numai viteza de variație în timp a unuia dintre fluxurile fie electric (regimul cvasistaționar amagnetic), fie magnetic (regimul cvasistaționar anelectric);

D. *regimul general variabil* – este cazul cel mai general de funcționare a câmpului electromagnetic, în care sunt înlăturate toate restricțiile (mărimile variază în timp, apar transformări energetice). Se mai numește și regim nestaționar.