PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE ÎN FIZICĂ

1. Erori de măsură

A măsura o mărime *X* înseamnă a compara acea mărime cu alta de aceeaşi natură, [X], aleasă prin convenţie ca unitate de măsură. In urma acestei comparaţii se poate scrie:

$$X = x[\mathrm{X}] \quad (1)$$

unde *x* este valoarea numerică a mărimii de măsurat.

În general, valoarea adevărată a unei mărimi de măsurat nu poate fi cunoscută. Operaţiile de măsurare sunt afectate întodeauna de erori. Din această cauză prezentarea rezultatului unei măsurători trebuie să fie însoţită de precizia cu care a fost obţinut.

Erorile de măsură se pot clasifica în două categorii:

- sistematice
- întâmplătoare (aleatoare)

Erorile sistematice, în general se repetă identic la fiecare măsurătoare; ele sunt condiţionate de o aceeaşi cauză care acţionează în acelaşi sens (de ex.etalonarea greşită a instrumentului de măsură). În principiu acest gen de erori poate fi eliminat printr-o analiză atentă a condiţiilor şi metodelor de măsurare.

Erorile întâmplătoare nu pot fi înlăturate complet. Ele se datoresc unor cauze diverse care acţionează în sensuri diferite de la o măsurătoare la alta.

Pe lângă acestea, în timpul unor măsurători pot apărea erori mari: rezultatul măsurătorii afectate de o astfel de eroare diferă mult de marea majoritate a celorlalte măsurători. Ele sunt provocate de o cauză obiectivă care nu se repetă sau de neglijenţa cercetătorului.

Aşadar, estimarea preciziei unei măsurători este legată de studiul erorilor întâmplătoare.

Dacă $x_1, x_2, \ldots, x_n$ sunt rezultatele în cele *n* măsurători efectuate asupra mărimii X, atunci se admite că *valoarea medie:*

$$\boxed{\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} x_i} \quad (2)$$

se apropie cel mai bine de valoarea adevărată *x*.

Se numeşte *eroare (abatere) absolută* mărimea:

$$\boxed{\Delta x_i = x_i - \bar{x}} \quad (3)$$

Evident erorile absolute apar cu semnul + sau - şi

$$\sum_{1}^{n} \Delta x_i = 0 \quad (4)$$

Se calculează *valoarea medie a modulului erorii absolute* prin relaţia:

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\Delta x_i| \tag{5}$$

Eroarea relativă în măsurătoarea i se defineşte prin:

$$\varepsilon_{r_i} = \frac{\Delta x_i}{x_i} \tag{6}$$

iar *eroarea relativă medie* este:

$$\varepsilon_r = \frac{\overline{\Delta x}}{\overline{x}} \tag{7}$$

şi se exprimă, de obicei, în procente.

Inversul erorii relative reprezintă *precizia măsurătorii*.

Rezultatul unei măsurători se va prezenta în forma:

$$x = \overline{x} \pm \overline{\Delta x} \quad \text{sau} \quad x = \overline{x} \pm \varepsilon_r$$

Dacă din cele *n* experienţe, de n_i (*frecvenţa absolută*) ori, se obţine valoarea x_i, atunci *frecvenţa relativă* a acesteia este

$$\nu_i = \frac{n_i}{n}. \tag{8}$$

Când *n* tinde către infinit, frecvenţa ν_i tinde la *probabilitatea* p_i de realizare a evenimentului x_i.

2. Reprezentări grafice

În fizica experimentală se foloseşte adesea reprezentarea grafică a datelor măsurate experimental.

Reprezentarea datelor prin grafice permite stabilirea dependenţei funcţionale dintre două mărimi şi a unor caracteristici cum ar fi punctele de intersecţie ale curbei experimentale cu axele, punctele de maxim şi de minim, punctele de inflexiune, panta curbei, caracteristici de periodicitate etc.

Să considerăm cazul în care se cercetează dependenţa unei mărimi *y* de o anumită mărime *x*, adică funcţia ***y*(*x*).**

- Pentru un şir de valori alese de experimentator pentru variabila *x* se obţine un set de valori pentru mărimea *y*, care se aranjează, de obicei, într-un ***tabel de date***.

- Se trasează un sistem de axe rectangulare xOy; pe fiecare axă se precizează **ce mărime se reprezintă şi unităţile de măsură folosite** (fig.1)

- Se aleg ***scările de reprezentare*** pe cele două axe astfel încât hârtia milimetrică utilizată să poată cuprinde întregul domeniu de variaţie al mărimilor măsurate.

  Dacă mărimile măsurate variază cu mai multe ordine de mărime, ceea ce ar face imposibilă reprezentarea la o scară *liniară*, se recurge la reprezentarea logaritmului acestor mărimi, adică se alege o scară *logaritmică* (fie pe o singură axă, fie pe amândouă). Scara aleasă pe o axă nu condiţionează în nici un fel scara de pe cealaltă axă, mărimile reprezentate pe cele două axe fiind, în general chiar de naturi diferite.

- Pe axe, la intervale de obicei egale (la 1 sau 2 cm) se scriu valorile numerice (corespunzătoare mărimii reprezentate) care exprimă scara şi **nu coordonatele punctelor experimentale**.

- Se reprezintă perechile de valori din tabelul de date prin *puncte de coordonate* (*x,y*). In cazul în care se pot aprecia erorile absolute comise în fiecare măsurătoare, acestea se pot reprezenta grafic, în fiecare punct experimental, prin bare verticale şi orizontale (corespunzând mărimilor de pe fiecare axă), de lungime proporţională cu eroarea respectivă.

  Datorită erorilor de măsură, punctele experimentale nu se aşază pe o curbă netedă dar este recomandabil să se traseze o curbă “printre puncte”, sugerată de ansamblul punctelor; prin aceasta se obţine o mediere a erorilor experimentale. **Nu se unesc punctele printr-o linie frântă!**

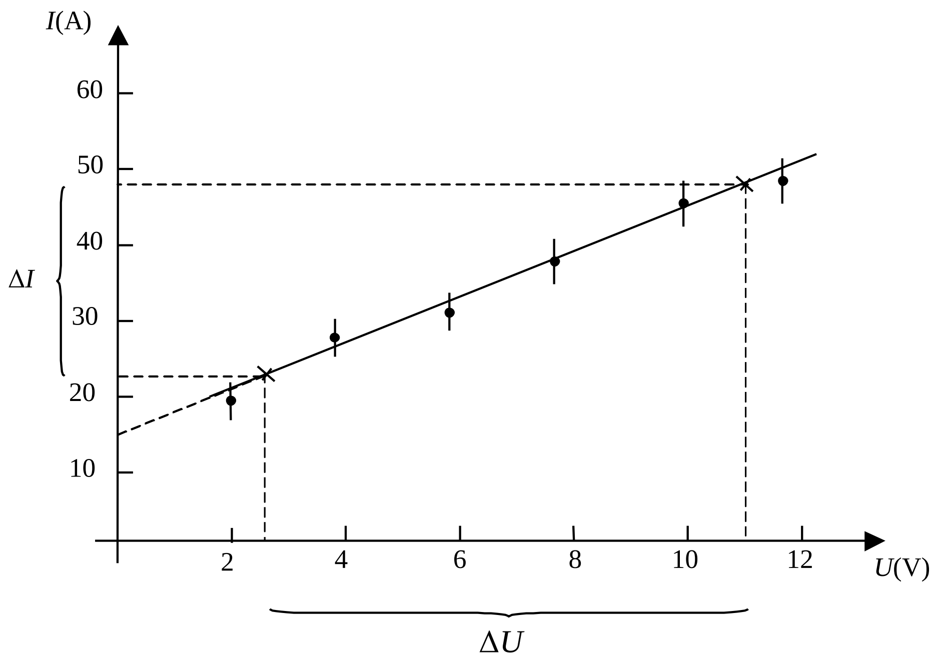

Fig. 1

Curbă netedă astfel obţinută reprezintă *fitarea* (*potrivirea*) *grafică* (to fit=a potrivi) a dependenţei *y*(*x*) şi poate folosi la găsirea funcţiei *y*(*x*).

De exemplu, dacă punctele determinate experimental conduc la un grafic sub forma unei *drepte*, atunci se caută o funcţie de forma

$$y = mx + b \tag{23}$$

în care constantele *m* şi *b* se determină din grafic.

Pentru *determinarea pantei m*, se aleg pe dreapta obţinută experimental două puncte (în general, altele decât cele obţinute experimental), cât mai îndepărtate unele de altele pentru a diminua erorile relative, şi se citesc pe grafic variaţiile Δx şi Δy corespunzătoare acestor puncte.

$$\Rightarrow \quad m = \Delta y / \Delta x .$$

Ordonata la origine *b* se obţine citind pe grafic ordonata punctului în care dreapta taie axa ordonatelor.

Obs: Spre deosebire de cazul din geometrie, constantele *m* şi *b* din formulele fizice au, în general, unităţi de măsură!

Dacă curba experimentală nu este o dreaptă, atunci găsirea funcţiei care să o descrie este o problemă mai complicată, dar în multe cazuri rezolvabilă.

3. Mărimi aproximative. Reguli de rotunjire a numerelor

Prin măsurători experimentale asupra mărimilor fizice, nu putem cunoaşte valoarea adevărată a acestora ci doar valoarea lor *aproximativă*, afectată de o anumită eroare.

Constantele fizice, date în tabele, sunt determinate, la rândul lor, cu o anumită precizie.

S-a arătat că rezultatul unei măsurători se exprimă în forma $x = \bar{x} \pm \overline{\Delta x}$.

De exemplu, în tabele de constante se găseşte că sarcina elementară este $e = (1{,}6021892 \cdot 10^{-19} \pm 46 \cdot 10^{-28})$ C arătând că eroarea absolută medie este $\Delta e = 46 \cdot 10^{-28}$ C.

Se observă că în modul de scriere *ştiinţific,* valoarea numerică a unei mărimi se exprimă printr-un număr a cărui parte întreagă are una-două cifre, înmulţit cu o putere corespunzătoare a lui zece.

Rezultatele unor calcule matematice (logaritmare, rădăcina patrată, împărţire etc) reprezintă valori cu un număr mare de zecimale şi se impune, de asemenea, *aproximarea rezultatelor*.

Necesitatea aproximării apare şi în cazurile când intervin numere cum sunt π sau *e* (baza logaritmilor naturali).

De regulă, într-o formulă intervin mărimi cu precizii diferite. Eroarea rezultatului final va depinde de eroarea de determinare a tuturor mărimilor care intră în formulă.

Dacă unele mărimi dintr-o formulă fizică sunt determinate cu precizie mică, nu are sens ca celelate mărimi să fie luate cu precizii mult mai mari, astfel că valorile acestor mărimi vor fi *rotunjite*. Trebuie însă ca *eroarea relativă a valorii rotunjite să nu fie mai mare ca eroarea relativă a mărimii determinate cu precizia cea mai mică.*

Valoarea numerică a unei mărimi se exprimă printr-un anumit număr de *cifre semnificative*.

Cifrele 1,2,...,9 ale unui număr sunt cifre semnificative; cifra 0 se consideră semnificativă dacă se află în interiorul numărului sau la dreapta acestuia.

De exemplu, coeficientul de dilatare liniară pentru aluminiu sub forma $\alpha = 0{,}000024\ \mathrm{K}^{-1}$ este prezentat cu două cifre semnificative, primele cinci cifre de zero nu sunt cifre semnificative, iar scrierea corectă, în notaţie ştiinţifică, este $\alpha = 2{,}4 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$.

Dacă însă, scriem g=9,80 m/s^2, cifra zero este cifră semnificativă, ea arată a câta zecimală este considerată exactă în aproximarea valorii lui *g.*

Dacă un număr trebuie rotunjit la un anumit număr de cifre semnificative, aceasta se face după următoarele *reguli*:

- Dacă prima cifră care trebuie neglijată este mai mică decât cinci, atunci cifra menţinută rămâne neschimbată

$$23{,}0129 \cong 23{,}01$$

- Dacă prima cifră care trebuie neglijată este mai mare ca cinci sau este urmată de cifre diferite de zero, ultima cifră păstrată se măreşte cu o unitate

$$23{,}0173 \cong 23{,}02$$
$$23{,}0153 \cong 23{,}02$$

- Dacă cifra ce trebuie neglijată este cinci urmat numai de zerouri, numărul se rotunjeşte la cea mai apropiată valoare pară.

$$23{,}0150 \cong 23{,}02$$
$$23{,}0250 \cong 23{,}02$$

În calcule se vor lua numai cifrele semnificative care pot fi considerate exacte.

Când se înmulţesc sau se împart două numere, rezultatul se va lua cu atâtea cifre semnificative câte are factorul cu cele mai puţine cifre semnificative. De exemplu, la înmulţirea dintre 4.7 şi 5.93, din calcule se obţine 27.871 dar rezultatul trebuie rotunjit la două cifre semnificative, adică la 28.

La adunare sau scădere se păstrează toate cifrele.