



**Center for
Science Education
and Training**

<http://education.inflpr.ro>

Proiect susținut prin programul Parteneri pentru Educație

DESPRE MASURARE

**Mihaela Garabet
Ion Neacsu**

Liceul Teoretic "Grigore Moisil" Bucuresti

Microsoft | Partners in Learning



Reteaua educationala
Hands-on Science - Romania
Instruire prin experiment

Pentru a putea studia evoluția sistemelor, în studiul fizicii, spre exemplu, apare problema măsurării mărimilor fizice. Operația de măsurare presupune existența a trei elemente:

- ◆ Unitatea de măsură sau etalonul
- ◆ Instrumentul de măsură adecvat
- ◆ Procedul de măsurare

Rezultatul operației de măsurare depinde de metodele de măsurare adoptate, de instrumentele utilizate, de condițiile de lucru, precum și de pregătirea și de atenția celui care experimentează. La baza fiecărei metode de măsurare se află un principiu de măsurare. De exemplu măsurarea temperaturii empirice se bazează pe dilatarea aparentă a coloanei de lichid din capilarul termometrului, măsurarea forțelor cu dinamometrul are la bază alungirea resortului supus forței deformatoare. Metodele de măsurare pot fi:

Măsurare directă – valoarea măsurată a mărimii fizice de obține direct fără calcule suplimentare. Exemple: măsurarea lungimii cu rigla, a intensității curentului cu ampermetrul, a tensiunii electrice cu voltmetrul. Măsurarea directă se poate face prin:

- ◆ compararea valorii măsurandului (mărimea de măsurat) cu o valoare cunoscută a unei mărimi fizice de aceeași natură cu el. Exemplu: măsurarea lungimii mesei cu lungimea unei bucăți de plastic numită riglă.
- ◆ substituție se înlocuiește măsurandul cu o mărime care produce același efect. Exemplu: determinarea rezistenței electrice.
- ◆ diferențială - se compară măsurandul cu altă mărime de aceeași natură de care diferă foarte puțin spre a se măsura diferența celor două mărimi. Exemplu: măsurarea lungimilor cu comparatorul.
- ◆ măsurare de echilibru - presupune reducerea la zero a diferenței celor două mărimi considerate înainte. Exemplu: determinarea rezistenței electrice folosind puntea cu fir, cântărirea cu balanța cu brațe egale.
- ◆ măsurare prin coincidență - se compară un șir de semnale uniforme cu un alt șir spre a observa coincidențe. Exemplu: măsurarea duratei prin semnale orare.
- ◆ Transpoziție - spre exemplu la metoda dublei cântăriri se schimbă locul măsurandului cu etaloanele, pe cele două platane. Din cele două valori astfel găsite, x_1 și x_2 , se calculează valoarea finală cu relația: $x = \sqrt{x_1 x_2}$.

Măsurare indirectă – valorile mărimii fizice de interes se obțin din relații matematice cunoscute, stabilite între alte mărimi măsurate direct. Exemple: măsurarea coeficientului de frecare la alunecare

între două corpuri utilizând dinamometrul, măsurarea rezistenței electrice a unui rezistor prin metoda voltampermetrică.

Măsurare combinată – valoarea mărimii fizice se determină printr-o serie de măsurări ale aceleiași mărimi fizice sau ale unor mărimi de aceeași natură, cu deosebirea că se consideră mereu altă combinație a mărimilor în cauză, rezolvându-se în final un sistem de ecuații. Exemplu: determinarea randamentului planului înclinat cu ajutorul teoremei de variație a energiei mecanice.

Rezultatul oricărei operații de măsurare diferă de valoarea adevărată a mărimii fizice măsurate deoarece este afectat de erori. Categoriile mari de erori care afectează rezultatele măsurărilor sunt:

- ⊕ Erori instrumentale datorate mijloacelor de măsurare, cuprind eroarea de justete, de fidelitate, de indicație a aparatului de măsură.
- ⊕ Erori de metodă datorate imperfecțiunii metodei alese, spre exemplu cazul metodelor aval și amonte pentru determinarea rezistenței electrice.
- ⊕ Erori datorate mediului ambiant datorate depășirii condițiilor normale de utilizare a instrumentelor de măsură. Ele indică valori eronate dacă sunt prezente câmpuri electrice și magnetice, temperatura are valori foarte mari sau foarte scăzute, umiditatea este crescută, apar vibrații, etc.
- ⊕ Erori de model datorate utilizării de modele inadecvate sau prea puțin verificate în cazul dat.
- ⊕ Erori de interacțiune datorate efectului exercitat de experimentator și de aparatele de măsură asupra fenomenului.
- ⊕ Erori personale datorate defectelor senzoriale ale experimentatorului, vitezei sale de reacție, atenției acordate, etc.

Din punct de vedere al structurii statistice se deosebesc:

- Erori sistematice – au valoarea constantă la măsurări în condiții identice. Obținerea de erori sistematice variabile presupune că un aparat de măsură funcționează defectuos. Se pot elimina prin verificarea atentă a instrumentelor și a metodelor folosite.
- Erori accidentale – au valori cu variație imprevizibilă la măsurări în condiții identice. Sunt greu de minimizat.
- Erori grosolane – apar dacă se utilizează instrumente de măsură defecte sau se lucrează neatent. Ele trebuie depistate și eliminate pentru că afectează puternic rezultatul măsurării.



1. Calculul erorilor în cazul măsurării directe

Eroarea absolută a unei măsurări individuale este diferența dintre valoarea medie a mărimii măsurate și fiecare dintre valorile individuale:

$$\Delta X_i = X_i - X_{\text{med}}$$

Ea are aceeași unitate de măsură cu măsurandul X a cărui valoare finală va fi afișată la modul:

$$X = X_{\text{med}} \pm (\Delta X)_{\text{med}}$$

unde $(\Delta X)_{\text{med}}$ reprezintă media erorilor absolute înregistrate.

Pentru a obține o valoare cât mai apropiată de valoarea adevărată a mărimii măsurate trebuie efectuat un număr cât mai mare de măsurări.

Eroarea relativă a unei măsurări individuale este raportul dintre valoarea erorii absolute a mărimii măsurate și fiecare dintre valorile individuale:

$$\varepsilon_i = \Delta X_i / X_i$$

Ea se exprimă în procente fiind adimensională.

2. Calculul erorilor în cazul măsurării indirecte

Vom nota cu δX modulul erorii absolute maxime înregistrate la măsurarea directă a mărimii fizice X care va interveni în calculul altei mărimi fizice N determinate indirect. δX are, de regulă, ca valoare jumătate din cea mai mică diviziune de pe scala instrumentului.

Să presupunem că mărimea N depinde de X și Y care se determină direct cu erorile δX și δY .

În funcție de operațiile matematice efectuate cu X și Y eroarea absolută ΔN se calculează cu diferite expresii care au fost stabilite prin calcul diferențial care se învață începând din clasa a XI –a. În cazul sumei:

$$N = X + Y, \quad \Delta N = \delta X + \delta Y$$

Dacă $N = aX + bY$, atunci $\Delta N = a \cdot \delta X + b \cdot \delta Y$.

În cazul diferenței:

$N = X - Y$, deci $\Delta N = \delta X + \delta Y$ (cazul nefavorabil în care se suprapun erori cu același semn obligă la adunarea erorilor)

Dacă $N = aX - bY$, atunci $\Delta N = a \cdot \delta X + b \cdot \delta Y$.

Pentru produs:

$$N = X \cdot Y, \quad \Delta N = |Y| \cdot \delta X + |X| \cdot \delta Y$$

Dacă $N = aX \cdot Y$, atunci $\Delta N = a \cdot (|Y| \cdot \delta X + |X| \cdot \delta Y)$

Pentru expresii de tip cât:

$$N = X / Y, \quad \Delta N = (|Y| \cdot \delta X + |X| \cdot \delta Y) / Y^2$$

Dacă $N = aX/Y$, atunci $\Delta N = a \cdot (|y| \cdot \delta X + |x| \cdot \delta Y) / Y^2$

Pentru expresii de tip putere:

$$N = X^n, \quad \Delta N = nX^{n-1} \cdot \delta X$$

Dacă se cunoaște valoarea erorii absolute, eroarea relativă se calculează cu relația ei de definiție.

Exemple:

1. eroarea absolută în determinarea vitezei unui corp în mișcare rectilinie uniform accelerată $v=at$ se calculează ca $\Delta v = a \cdot \delta t + t \cdot \delta a$
2. eroarea absolută în determinarea distanței parcurse de un corp în mișcare rectilinie uniform accelerată $x=at^2/2$ se calculează ca $\Delta x = a \cdot t \cdot (\delta t)^2 + t^2 \cdot \delta a / 2$
3. eroarea absolută în determinarea puterii consumate de un rezistor R prin care se stabilește curentul I , $P=RI^2$ se calculează ca $\Delta P = 2RI \cdot \Delta i$. Am considerat că eroarea Δr este neglijabilă.

