

## Studiul câmpului magnetic în exteriorul unui conductor liniar foarte lung parcurs de un curent electric. Verificarea legii lui Biot și Savart

### Obiectivul experimentului

Măsurarea inducției câmpului magnetic  $\vec{B}$  :

- în exteriorul unui conductor liniar parcurs de un curent electric în funcție de intensitatea curentului  $I$  ;
  - în exteriorul unui conductor liniar parcurs de un curent electric în funcție de distanța  $r$  față de axa conductorului;
  - generat de doi conductori paraleli parcursi de curenți electrici de același sens, în funcție de distanța față de unul din conductori;
  - generat de doi conductori paraleli parcursi de curenți electrici de sens opus, în funcție de distanța față de unul din conductori.
- verificarea relației de dependență a lui  $\vec{B}$  de  $I$  și  $r$ , dedusă cu ajutorul legii lui Biot și Savart.

### Principiul lucrării

Sursa de câmp magnetic o constituie sarcinile electrice în mișcare. Dacă mișcarea sarcinilor electrice este ordonată, acestea formează curenți electrici. Pentru calculul vectorului inducție magnetică generat de un curent electric staționar se utilizează legea lui Biot și Savart, care este o lege empirică, obținută experimental. Din experiență se știe că inducția câmpului magnetic  $d\vec{B}$ , generat într-un punct P, la distanța  $r$  de curentul de intensitate  $I$  care străbate elementul de conductor  $d\vec{l}$ , ca cel în figura 1, este egală cu

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}, \quad (1)$$

unde  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$  este o constantă caracteristică mediului, aici a vidului, numită *permeabilitatea magnetică a vidului*.

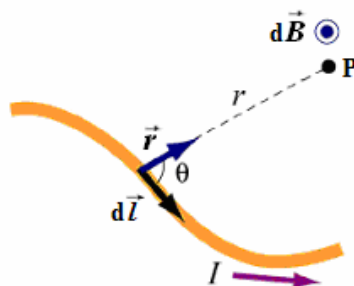


Fig. 1

Observăm că expresia (1) este asemănătoare cu cea a intensității câmpului electric generat de sarcina  $dq$  într-un punct aflat la distanța  $r$ , adică  $d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{r^3} \vec{r}$ .

Pentru a obține valoarea inducției câmpului magnetic în punctul P adunăm toate contribuțiile de tipul (1) ale tuturor elementelor de curent, adică integrăm relația (1) și obținem *legea lui Biot și Savart*.

$$\vec{B} = \int_{\text{lungimea conductorului}} \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}. \quad (2)$$

Legea lui Biot-Savart este o lege fundamentală în magnetostatică, jucând un rol similar cu legea lui Coulomb din electrostatică.

Vom aplica formula lui Biot și Savart la *calculul inducției câmpului magnetic  $\vec{B}$  generat de un curent electric de intensitate  $I$  ce parcurge un conductor foarte lung, la distanța  $r_0$  de axa conductorului (figura 2a)*.

Așezăm conductorul pe axa Ox și punctul P pe axa Oy. Alegem o lungime de conductor  $d\vec{l}$  care este orientat de-a lungul axei Ox.

Inducția câmpului magnetic generat de conductorul de lungime foarte mare în punctul P este dată de relația (1), unde unde  $dl = \frac{rd\theta}{\sin\theta}$  (fig. 2b), iar  $d\theta$  este unghiul sub

care se vede lungimea  $dl$  din punctul P. Observăm din figura 2a că  $r = \frac{r_0}{\sin\theta}$ .

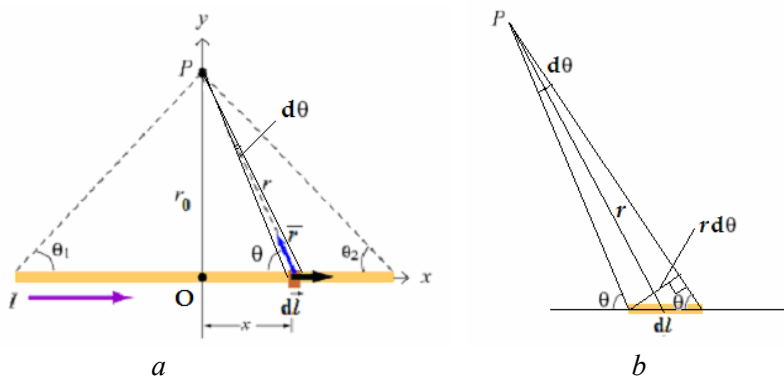


Fig. 2

Astfel,

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{rd\theta}{\sin\theta} \cdot \frac{r \sin\theta}{r^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (-\cos\theta) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2} = \\ &= \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2). \end{aligned} \quad (3)$$

Vectorul  $\vec{B}$  este orientat pe direcția perpendiculară pe figura 2 și iese din foaie.

În cazul unui conductor de lungime infinită cele două unghiuri au valorile  $\theta_1 = 0$  și  $\theta_2 = \pi$ . Prin urmare,  $\cos\theta_1 - \cos\theta_2 = 2$  și inducția câmpului magnetic generat de un curent electric liniar de lungime infinită la distanța  $r_0$  are modulul

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0}. \quad (4)$$

Vectorul  $\vec{B}$  este tangent la liniile de câmp care sunt cercuri concentrice ( $r_0 = \text{constant}$ ) în plane perpendiculare pe lungimea conductorului. Sensul de parcurgere al acestor cercuri este dat de regula burghiului care trebuie să înainteze în sensul de curgere al curentului electric.

În figura 3 sunt reprezentate liniile de câmp magnetic generat de un curent electric ce parcurge un conductor liniar foarte lung.

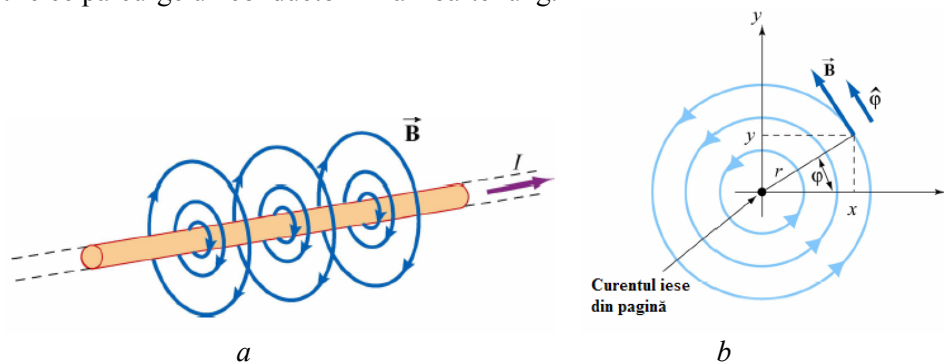


Fig. 3

### Dispozitivul experimental

Măsurarea inducției câmpului magnetic  $\vec{B}$  generat de conductori liniari parcurși de curenți staționari se face cu dispozitivul din figura 4.

Transformatorul de curent (20 A – 120 A) este utilizat pentru alimentarea cu curent a conductorului, care este legat în circuitul secundar al acestuia. Între intensitățile curenților electrici din primarul și secundarul transformatorului există o relație liniară. Totuși trebuie realizată o curbă de etalonare pentru fiecare din cei patru conductori. Conductorii se încălzesc în timpul funcționării și pentru a evita erorile de măsură trebuie întrerupt curentul la intervale de timp și așteptat să se răcească conductorii. În timpul funcționării este posibil să apară o deplasare de fază între transformator și teslametru ceea ce induce iluzia unui câmp magnetic negativ. Acest efect poate fi eliminat prin schimbarea polarității primarului transformatorului.

### Modul de lucru

- Așezați conductorul 4 în orificiile bornelor de la înfășurarea secundară a transformatorului.

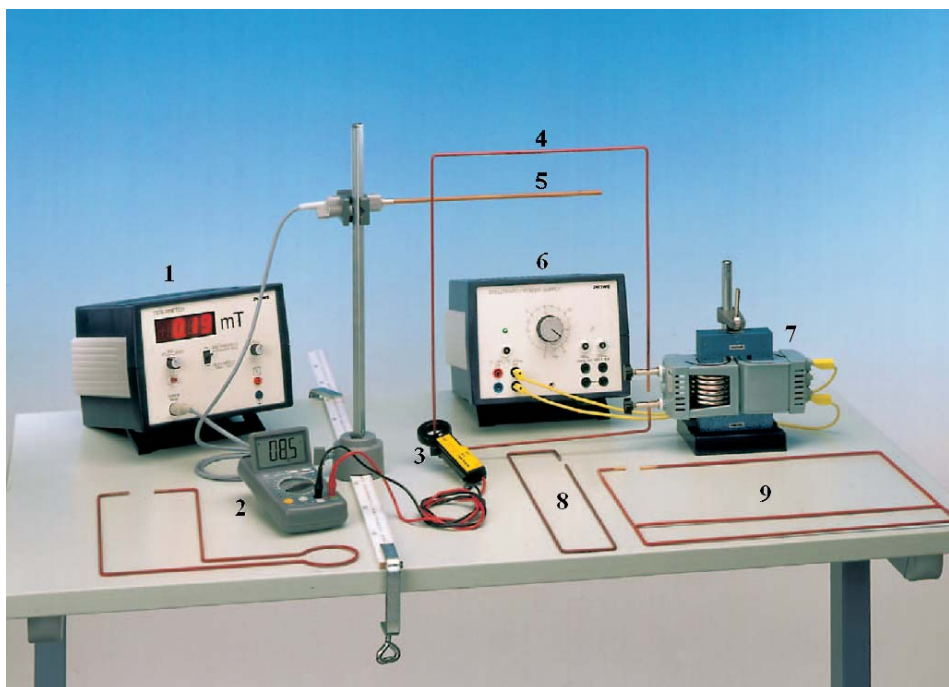


Fig. 4: 1. – Teslametru digital; 2. – multimetru digital; 3 – clește pentru măsurarea intensității curentului din conductor; 4. – conductor (pe masă mai sunt așezați 3 conductori cu dimensiuni diferite); 5. – sondă Hall axială; 6. – sursă de tensiune electrică pentru transformator; 7. – transformator; 8. – conductori paraleli prin care circulă cureni de sens invers; 9. – conductori paraleli prin care circulă cureni de același sens.

- Legați sonda axială pentru măsurarea inducției magnetice la teslametru cu ajutorul cablului coaxial, fixați-o pe stativul vertical și aliniați-o astfel încât senzorul Hall să fie orizontal la o anumită distanță de conductorul vertical pe care este prins cleștele pentru măsurarea curentului electric. Veți măsura inducția câmpului magnetic produs de curentul electric ce străbate acest conductor vertical. Distanța față de conductor se măsoară pe rigla pe care este fixat stativul cu sonda Hall.

- Conectați transformatorul la sursa de tensiune.

- Citiți valoarea inducției magnetice pe afișajul teslametrului digital.

**a). Măsurarea inducției magnetice  $\vec{B}$  în exteriorul conductorului în funcție de intensitatea curentului  $I$**

- Fixați sonda Hall la distanța  $r = 1,1$  cm de curentul liniar vertical.

- Modificați valoarea intensității curentului electric în intervalul (20 – 120) A prin conductor variind valoarea tensiunii electrice aplicate înfășurării primare a transformatorului. Citiți valoarea intensității curentului prin conductor pe afișajul multimetrului digital și notați-o.

- Citiți valoarea corespunzătoare a inducției magnetice pe afișajul teslametrului digital și notați-o.

- Treceți toate valorile obținute în tabelul 1.

Tabelul 1

$I$ (A)	$B$ (mT)
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	
110	
120	

**b). Măsurarea inducției magnetice  $\vec{B}$  în exteriorul conductorului în funcție de distanța  $r$  față de axa conductorului**

- Datorită particularităților de construcție ale dispozitivului și a efectului posibil produs de alți conductori este recomandabil să se facă măsurătorile la distanțe mici, pînă la 3 cm și intensități ale curentului electric mare (aproximativ 100 A).

- Alegeți pentru intensitatea curentului prin conductor valoarea de 100 A.

- Modificați distanța dintre sonda Hall și conductor în intervalul (0,5 – 3) cm și citiți valoarea corespunzătoare a inducției magnetice pe afișajul teslametrului digital.

- Treceți toate valorile obținute în tabelul 2.

Tabelul 2

$r$ (cm)	$r^{-1}$ (cm <sup>-1</sup> )	$B$ (mT)
0,5		
0,75		
1		
1,25		
1,5		
1,75		
2		
2,25		
2,5		
2,75		
3		

**c). Măsurarea inducției magnetice  $\vec{B}$  a câmpului magnetic generat de doi conductori paraleli parcurși de curenți electrici de același sens, în funcție de distanța față de unul din conductori**

- Înlocuiți conductorul 4 cu conductorii 9 și refaceți măsurătorile așezând sonda Hall la distanțe diferite de conductorul din stânga.

- Alegeți pentru intensitatea curentului valoarea de 100 A.

- Măsurați valoarea inducției magnetice cu teslametrul în fiecare poziție. Valoarea obținută reprezintă modulul vectorului inducție magnetică rezultant, obținut prin compunerea vectorială a câmpurilor magnetice generate în fiecare punct de cei doi curenți electrici. În acest caz, în spațiul dintre conductori, vectorii inducție magnetică, generați de cei doi curenți de același sens, sunt de sens opus și se scad, iar în exteriorul celor doi curenți, vectorii inducție magnetică sunt de același sens și se adună.

- Treceți valorile obținute în tabelul 3.

Tabelul 3

$r$ (cm)	$B$ (mT)
- 3	
- 2,5	
- 2	
-1,5	
-1	
-0,5	
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	
8,5	
9	
9,5	
10	

**d). Măsurarea inducției magnetice  $\vec{B}$  a câmpului magnetic generat de doi conductori paraleli parcurși de curenți electrici de sens opus, în funcție de distanța față de unul din conductori**

- Înlocuiți conductorii 9 cu conductorii 8 și refaceți măsurătorile așezând sonda Hall la distanțe diferite de conductorul din stânga.
- Alegeți pentru intensitatea curentului valoarea de 100 A.
- Măsurați valoarea inducției magnetice cu teslametrul în fiecare poziție. În acest caz, în spațiul dintre conductori, vectorii inducție magnetică, generați de cei doi curenți de același sens, sunt de același sens și se adună, iar în exteriorul celor doi curenți, vectorii inducție magnetică sunt de sens opus și se scad.
- Treceți valorile obținute în tabelul 4.

Tabelul 4

$r$ (cm)	$B$ (mT)
- 3	
- 2,5	
- 2	
-1,5	
-1	
-0,5	
0,5	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
5,5	
6	
6,5	
7	
7,5	
8	
8,5	
9	
9,5	
10	

### Prelucrarea datelor experimentale

#### a). Măsurarea inducției magnetice $\vec{B}$ în exteriorul conductorului în funcție de intensitatea curentului $I$

Reprezentați grafic valorile inducției magnetice în funcție de intensitatea curentului utilizând valorile din tabelul 1.

Trasați o dreaptă prin punctele de pe grafic și din panta dreptei calculați, cu ajutorul relației (4), valoarea permeabilității magnetice  $\mu_0$ .

**b). Măsurarea inducției magnetice  $\vec{B}$  în exteriorul conductorului în funcție de distanța  $r$  față de axa conductorului**

Reprezentați grafic valorile inducției magnetice în funcție de inversul distanței,  $\frac{1}{r}$ , utilizând valorile din tabelul 2. Verificați dependența liniară între cele două mărimi reprezentate grafic.

**c). Măsurarea inducției magnetice  $\vec{B}$  a câmpului magnetic generat de doi conductori paraleli parcurși de curenți electrici de același sens, în funcție de distanța față de unul din conductori**

Reprezentați grafic valorile inducției magnetice în funcție de distanța  $r$  utilizând valorile din tabelul 3. Comentați rezultatul obținut.

**d). Măsurarea inducției magnetice  $\vec{B}$  a câmpului magnetic generat de doi conductori paraleli parcurși de curenți electrici de sens opus, în funcție de distanța față de unul din conductori**

Reprezentați grafic valorile inducției magnetice în funcție de distanța  $r$  utilizând valorile din tabelul 4. Comentați rezultatul obținut.