

EFECTE TERMOELECTRICE, GALVANO MAGNETICE ȘI TERMOMAGNETICE ÎN MATERIALE METALICE

Ne propunem să studiem o anumită categorie de efecte combinate care apar la acțiunea simultană asupra materialelor metalice a unor câmpuri de natură fizică (câmp, electric, câmp magnetic, câmp termic = gradient de temperatură) etc..

Pe lângă noțiunile de electrotehnică și magnetism, înțelegerea acestor fenomene complexe necesită cunoștințe de mecanică cuantică.

① Efecte termoelectrice în metale

Aceste efecte rezultă din interferența / interdependența dintre curenții electrici și curenții calorigi care străbat sistemul.

Interconectarea acestor două tipuri de curenți este caracterizată de niște parametri de cuplaj: ex: puterea termică permite conversia directă a căldurii în electricitate, reciproc prin aplicarea unei tensiuni electrice asupra unui material termoelectric acesta se va răci (termorefrigare)

Efectele termoelectrice principale sunt:

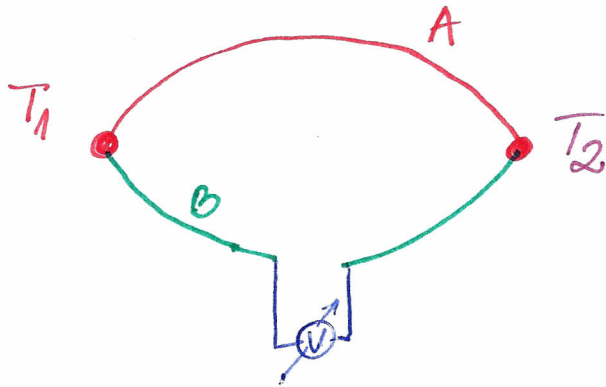
- efectul Seebeck
- efectul Thomson
- efectul Peltier

Toate aceste efecte au o caracteristică deosebită: inversarea cauzei primare de natură electrică aduce după sine inversarea semnului fenomenului secundar, de natură termică

EFFECTUL SEEBECK

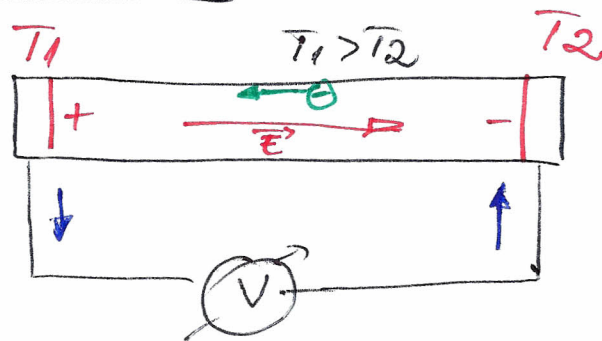
2

Conține în apărtația unei tensiuni electrice într-un circuit de 2 conductori diferiți, atunci când contactele dintre aceștia se află la temperaturi diferite:



Fenomenul a fost descoperit de către fiz. Thomas Seebeck care a observat o deviație a acului unei sușole apropiată de circuit în momentul în care $T_1 \neq T_2$. Seebeck nu a înțeles atunci fenomenul pe care l-a numit efect termo-magnetic. Mai târziu H.C. Ørsted a explicat corect fenomenul: în circuit apare un curent electric care produce un câmp magnetic. Ørsted a introdus și noțiunea de termo-electricitate.

Explicatia fenomenului:



Electronii de la capatul "fierbinte" cu T_1 au energie cinetică mai mare ceea ce determină o difuzie a lor spre capatul rece ($T_2 < T_1$). Concentrația lor la capatul rece crește iar la cel cald descreește \Rightarrow câmp electric intern care creează un flux invers de drift al electronilor până când în stare echilibrului fluxul electric echilibrează fluxul termic

In circuitul deschis apare o diferență de potențial (3)
V care poate fi măsurată cu un voltmetru. Într-o zonă de răspuns liniar ($\Leftrightarrow \Delta T$ mic în raport cu T_1 și T_2) avem:

$$V = \alpha_{12}(T_1 - T_2)$$

↑
coeficientul Seebeck al circuitului

$$\alpha_{12} = \alpha_1 - \alpha_2 \quad \text{unde } \alpha_1, \alpha_2 = \text{coeficienții Seebeck ai materialelor 1 și 2}$$

In metale α este mic $\sim 1-10 \mu\text{V/K}$,
semiconductor α este mai mare $\sim 100-1000 \mu\text{V/K}$

Consecințe:

Un conductor sau semiconductor a cărui capete se mențin la temperaturi diferite devine o sursă de energie electrică.

ex: Un semiconductor cu $\alpha = 200 \mu\text{V/K}$ și $\Delta T = 100\text{K} \Rightarrow$

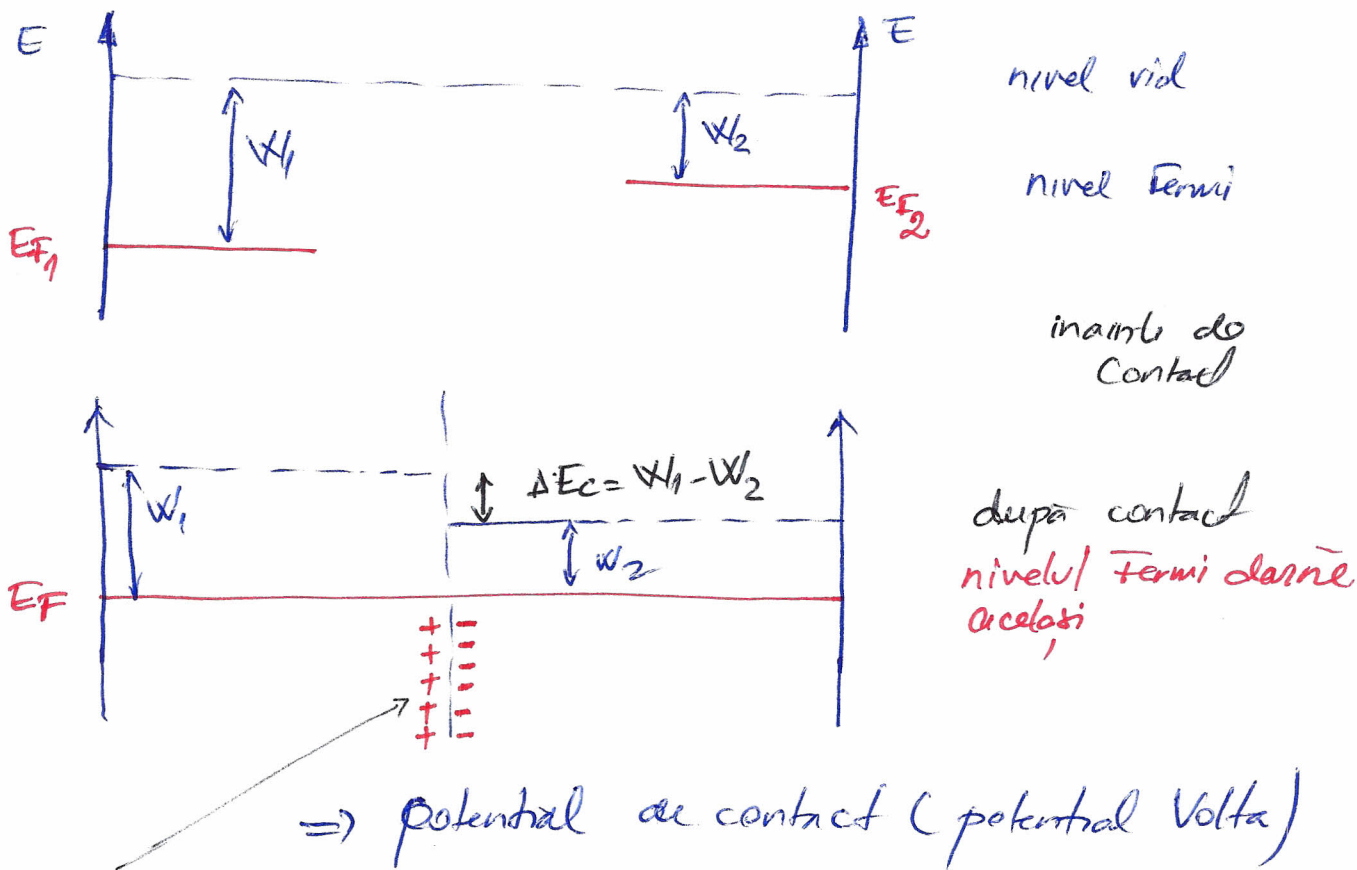
$V = 20\text{mV}$ (tensiunea este mică, însă dacă rezistența circuitului este mică în el pot apărea curenți de intensitate mare) \Rightarrow sursă de curent continuu (cativa A)

Pentru a mări tensiunea, aceste surse se vor putea conecta în serie

Termocuplul

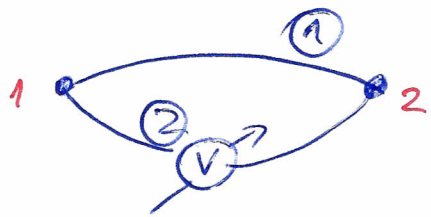
\rightarrow sunt constituite utilizând combinații de metale diferite. O joncțiune (contact) de referință este menținut la 0° (amestec apă și gheață) în timp ce se măsoară tensiunea termoelectrică în funcție de temperatura celeilalte joncțiuni. În urma unei proceduri de etalonare sau calibrare se poate obține un instrument de măsură a temperaturii (termometru).

④
 Efectul Seebeck se datorează dependenței de temperatură a diferenței de potențial de contact



Zona de depleție =
 Strat dipol de
 interfață EXTREM AFIN
 Care nu împiedică transportul prin
 efect túnel al electronilor prin
 barieră de potențial ΔE_c

Într-un circuit închis format din cele 2 fire metalice + voltmetru
 suma tensiunilor Volta în contactele 1 și 2 va fi zero dacă $T_1 \neq T_2$



Jacă $T_1 \neq T_2$ } ⇒ $V \neq 0$ ⇒ efectul Seebeck
 suma tensiunilor volta în contactele 1 și 2 va fi diferită de zero }
 voltmetrul indică o tensiune $V \neq 0$

Obs:

Pt. oportia tensiunii Volta se impune ca cele 2 metale sa fie diferite, altfel $\Delta E_c = 0$.

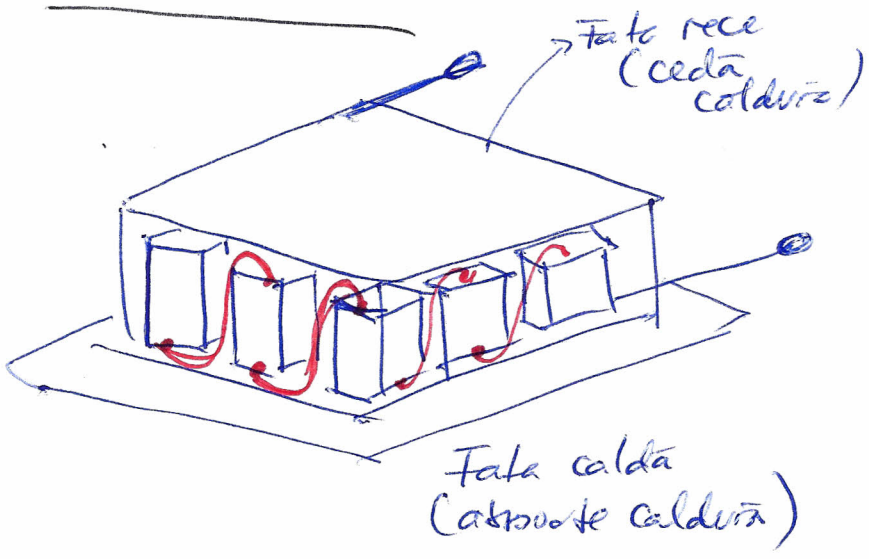
Exemple de materiale pt termocupluri

Ni | NiCr

$\alpha = 4 \text{ mV} / 100 \text{ K}$ in gama de temperatura $< 1000 \text{ K}$

Bi	Ni	Pd	Pt	Hg	PtRh	Cu	Mo	Fe	NiCr	Sb
-4.7	-1.5	-0.3	0	0	0.7	0.77	1.2	1.92	2.6	4.8
$\uparrow \alpha_i [\text{mV} / 100 \text{ K}]$ Zero ales ordinar pt Pt.										
$\uparrow W \text{ (eV)}$ Lucrul mec. de extractie										
4.85	5.15	5.12	5.65	4.49	-	4.65	4.6	4.5	-	4.55

Termo-baterie



multitudine de pile Seebeck individuale legate in serie.

Numarul acestora depinde de valoarea tensiunii pe care dorim sa o obtinem. Insa numarul pililor individuale trebuie

optimizat pt a mentine o valoare rezonabila a rezistentei interne a bateriei finale.

EFECTUL THOMSON

⑥

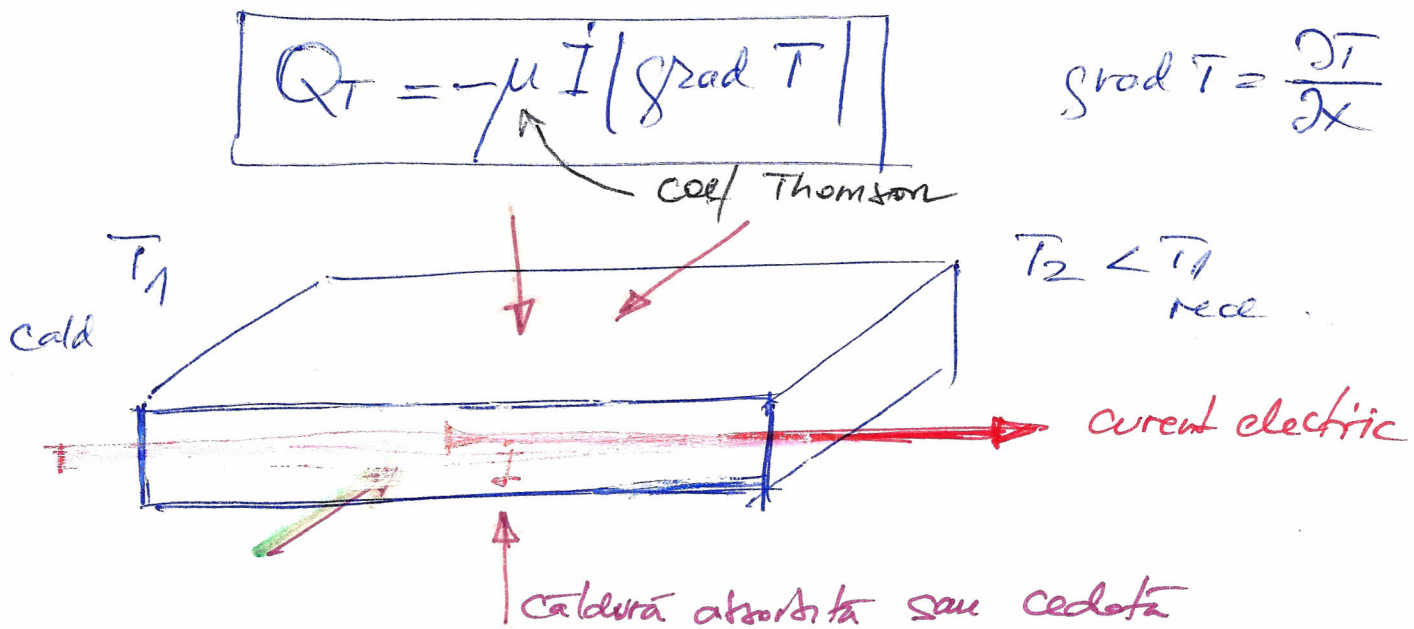
→ este reprezentat prin degajarea sau absorbția unei
cantități de căldură într-un conductor omogen strădat de un
curent electric în care există un gradient de temperatură;
absorbția căldurii se realizează pentru un anumit sens al curentului,
iar degajarea căldurii pentru sensul invers.

convenție:

Efect Thomson pozitiv dacă se degajă căldură
când curentul electric are sensul de la $T_1 > T_2$
la T_2

negativ când se absorbte căldură
dacă curentul electric trece de la $T_1 > T_2$ la T_2 .

Căldura degajată/absorbită este proporțională cu
gradientul termic și cu intensitatea curentului electric
care străbate circuitul (conductorul)



EFECTUL PELTIER

④

Acesta constă în încălzirea sau răcirea contactelor între doi conductori (semiconductori) atunci când prin circuit trece un curent electric. Efectul a fost descoperit de către fizician francez J.C. Peltier și este inversul efectului Seebeck.

Cantitatea de căldură care se absoarbe sau degajă în jonctiunea a doi conductori este proporțională cu intensitatea curentului în circuit.

$$Q = \Pi_{12} I$$

→ coeficientul Peltier al jonctiunii

Dacă inversăm sensul curentului, se inversează și inversarea efectului: jonctiunea care era fierbinte se răcește și invers.

$$\Rightarrow \Pi_{12} = -\Pi_{21}$$

Efectul Peltier se explică prin faptul că electronii nu transportă doar sarcină electrică ci și energie sub formă de energie cinetică și potențială. \Rightarrow în prezența curentului electric în circuit apare un flux net de energie care va conduce la modificarea temperaturii contactelor, în funcție de sensul fluxului caloric corelat cu fluxul electric.

și aici $\Pi_{12} = \Pi_1 - \Pi_2$ unde Π_1, Π_2 sunt coef. Peltier ai materialelor 1 și 2

În metale Π este mic față de semiconductori unde este mai mare.

Se poate demonstra că

coef. Peltier

$$\Pi = \alpha T$$

coef. Seebeck

Basat pe efectul Peltier, termotaterile discutate la
efectul Seebeck daca sunt conectate la curent continuu, in
functie de polaritatea curentului, vor determina incalzirea sau
racirea suprafetelor. \Rightarrow aplicatii in termorefrigerare. (8)

In climatizare, termotaterile ne dau posibilitatea sa trecem de
la racire (vara) la incalzire (iarna) printr-o simpla comutare
a polilor sursei de curent.

OK:

Thomson a elaborat o teorie a efectelor termoelectrice
bazata pe termodinamica prin care a aratat ca
acei trei coeficienti: Seebeck, Thomson si Peltier sunt
corelati:

$$\begin{aligned} \Pi &= \alpha T \\ \mu &= T \frac{d\alpha}{dT} \end{aligned}$$

relatiile lui Kelvin

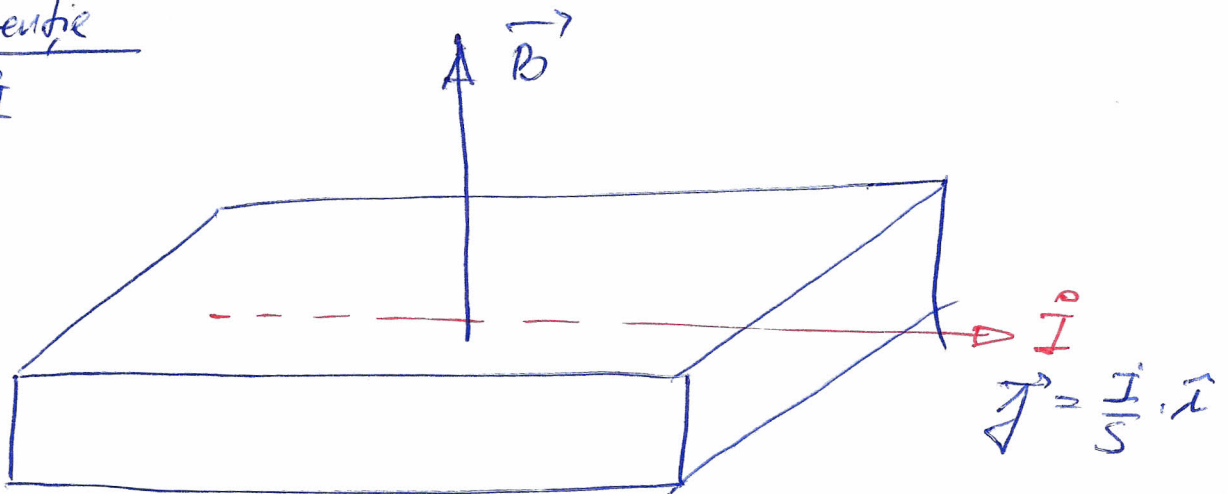
② Efecte galvano magnetice și termomagnetice

③

→ sunt fenomene care apar în materiale odată cu suprapunerea peste câmpul magnetic a altor câmpuri fizice: electric, termic.

→ ele constau în apariția unei diferențe de potențial sau de temperatură în conductori electrice atunci când aceștia sunt strădatuți de un curent electric sau gradient de temperatură, în prezența unui câmp magnetic.

Convenție
 $B \perp I$



efecte transversale (sau perpendiculare) constau în apariția unei diferențe de potențial sau diferențe de temperatură pe direcție perpendiculară pe perturbarea primară (curent electric)

efecte longitudinale (sau paralele)

se manifestă asemănător dar relatează la o direcție paralelă cu direcția perturbării primare

O exemplificare a efectelor transversale și longitudinale se poate face în tabelul următor:

Efecte galvanomagnetice

Transversale (B ⊥ I)		Longitudinale (B sau ⊥ pe i)	
Denumire	Efect produs	Denumire	Efect produs
Efect Hall	Diferență de potențial transversală $E_H = R_H \frac{B I}{d}$	Variație de rezistență în corp magnetic (magnetorezistență) efect Thomson	$\Delta \rho = A \rho B^2$
Efect Ettingshausen	Diferență de temperatură transversală $\Delta T = P \frac{B Q}{d}$	Efect Nernst	Diferență de temperatură longitudinală $\Delta T = L \frac{Q B}{d}$

Efecte termomagnetice

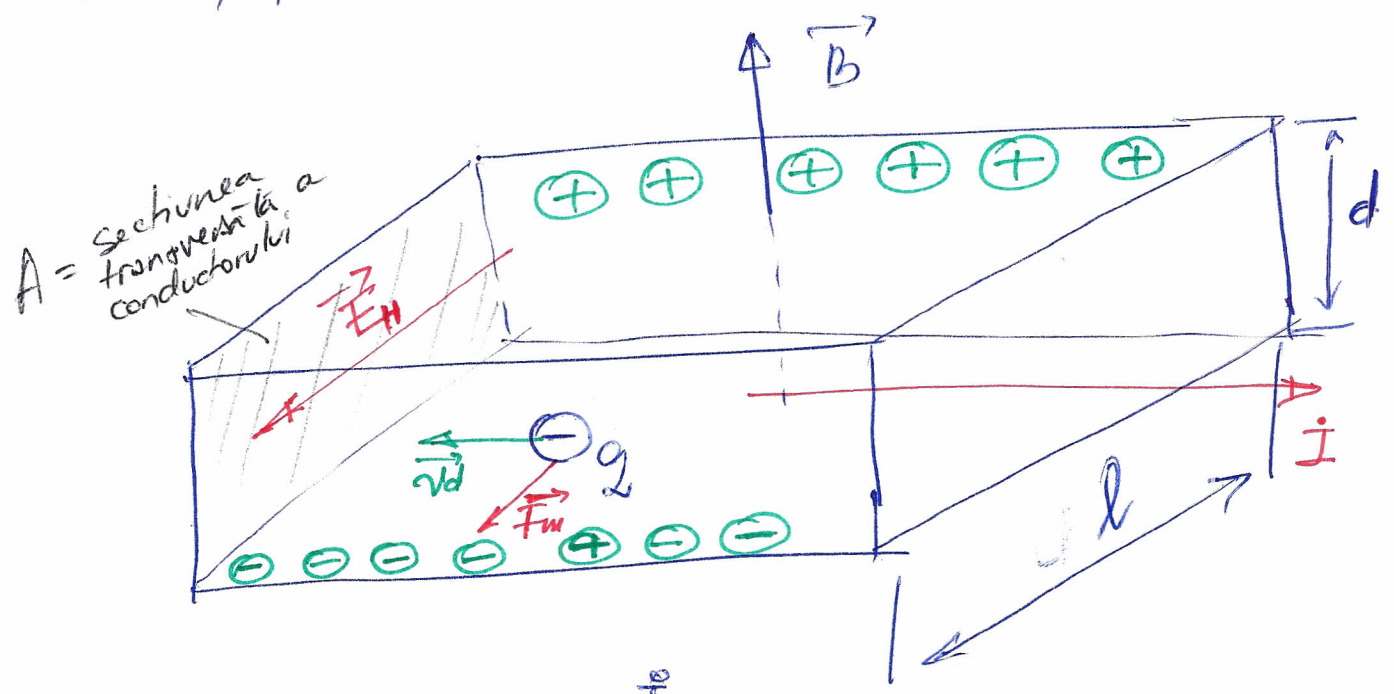
Efect Nernst - Ettingshausen	Diferență de potențial transversală	Efect Ettingshausen Nernst	Diferență de potențial longitudinală
Efect. Righi - Leduc	Diferență de temperatură transversală	Efect Maggi - Righi - Leduc	Variația conductibilității termice.

Tabel sintetic

Efecte galvanomagnetice

EFFECTUL HALL

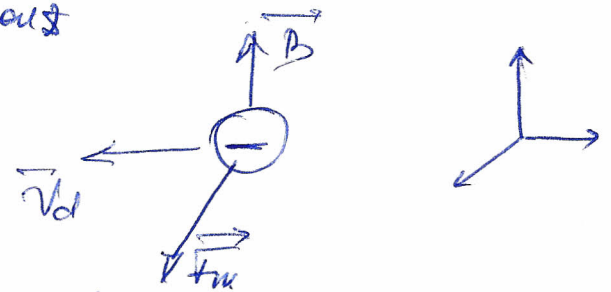
Considerăm un conductor în formă de bandă strătată de un curent electric I asupra căruia se aplică un câmp magnetic perpendicular \vec{B}



Densitatea de curent $j = \frac{I}{A}$

Asupra unui purtător de sarcină (ex. e^- în conductor metallic) se va exercita o forță de tip Lorentz

$$\vec{F}_m = q \vec{v}_d \times \vec{B}$$



Sub acțiunea forțelor de tip Lorentz electronii se vor acumula pe o suprafață laterală, pe suprafața opusă creându-se un deficit de electroni (\Rightarrow) sarcină pozitivă. \Rightarrow

Câmp electric intern \vec{E} de la $(+)$ la $(-)$.

Corespunzător acestui câmp electric, electronii vor suferi o forță electrostatică $\vec{F}_e = q\vec{E}$. La echilibru, această forță electrică va compensa forța Lorentz \Rightarrow

$$q E_H = q v_d B \Rightarrow E_H = v_d B$$

În teoria fenomenologică a conductivității, recomandăm că viteza de drift v_d este corelată cu densitatea de curent

$J = \frac{I}{A}$ prin relația

$$J = n q v_d \Rightarrow v_d = \frac{J}{n q}$$

$$\Rightarrow E_H = \frac{J}{n q} B = \frac{I B}{A n q}$$

Acest comp electric corespunde unei tensiuni transversale V_H care poate fi măsurată cu ajutorul unui voltmetru

$$V_H = E_H l \quad \text{iar } A = l d$$

$$\Rightarrow V_H = \frac{I B l}{l d n q} = \left(\frac{1}{n q} \right)^{RH} \frac{B I}{d} = R_H \frac{B I}{d}$$

$R_H =$ rezistență sau constantă Hall

$V_H =$ tensiune Hall.

$$V_H = R_H \frac{B I}{d}$$

Obs ① Semnul lui R_H și implicit V_H depinde de semnul purtătorilor de sarcină.

În metale purtătorii de sarcină sunt electronii, ($q = -e$)
În semiconductori $-p$, șoarele care au $q > 0 \Rightarrow$ tensiune

② Semnul tensiunii Hall permite determinarea tipului de
opus.

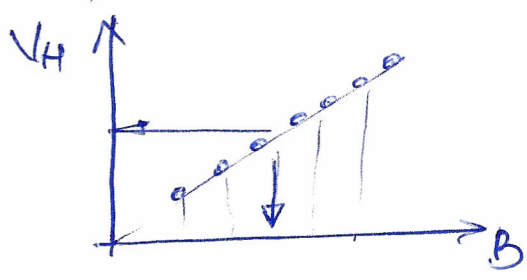
particuli dintr-un conductor cercare.

(B)

③ An
$$V_H = \frac{1}{nq} \frac{Bi}{d}$$

se observă ca dacă se cunoaște B, i, d prin măsurarea lui V_H se poate determina densitatea de particuli n din conductorul respectiv.

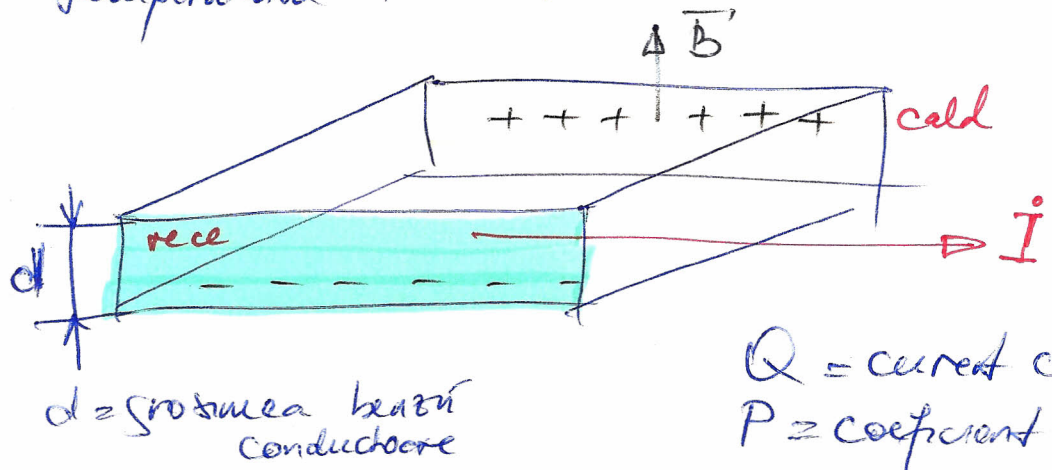
④ Dependența liniară a tensiunii Hall V_H de câmpul magnetic B permite printr-o calibrare inițială utilizarea efectului Hall pentru construirea unor senzori de câmp magnetic: \Rightarrow senzori Hall



Odată calibrarea efectului o măsurare a V_H pt un câmp B necunoscut permite măsurarea acestuia

EFFECTUL ETTINGSHAUSEN

În condițiile descrise la efectul Hall, simultan cu diferența de potențial transversală apare și o diferență de temperatură transversală.



$$\Delta T = P \frac{BQ}{d}$$

$Q =$ curent cald
 $P =$ coeficient Ettinghausen

Efectul Ettinghausen poate fi pozitiv sau negativ în funcție de sensul diferenței de temperatură care apare.

Variația rezistenței în câmp magnetic (magnetorezistență)

(1h)

→ este un efect galvanomagnetic longitudinal și constă în creșterea rezistenței unui conductor strădat de un curent electric în prezența unui câmp magnetic.

→ este un efect de ordin ii și poate fi cuantificat cu ajutorul teoriei Lorentz - Sommerfeld.

În prezența câmpului magnetic, sub acțiunea forței Lorentz traiectoriile electronilor în mișcarea lor de drift în conductor vor fi modificate. Electronii vor descrie orbite circulare cu raza $R = \frac{m v}{qB}$ unde v este viteza electronului.

Aceasta va adăuga o "traiectorie" suplimentară și va modifica lungimile caracteristice transportului electronic: parcurs liber mediu λ , tiimp liber mediu τ .

Conductivitatea electrică: $\sigma = \frac{nq^2\tau}{m}$

$$\left(j = \sigma E = \frac{nq^2}{m} E \right)$$

Legea lui Ohm microscopică

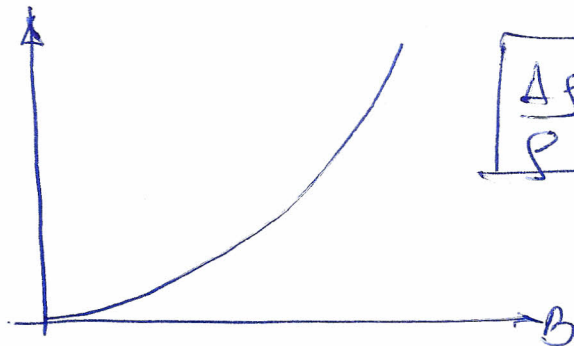
Deoarece timpul liber mediu τ va depinde de câmpul magnetic B ($\Rightarrow \tau = \tau(B) \Rightarrow \sigma = \sigma(B)$) și ca atare rezistența $\rho = \frac{1}{\sigma} = f(B) \Rightarrow$ magnetorezistență.

În teoria Lorentz - Sommerfeld se demonstrează că: variația relativă a rezistenței electrice verifică o lege de tipul:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\alpha B^2}{1 + \gamma B^2}$$

α, γ 2 constante de material, dependente de liberul parcurs mediu și tiimp liber mediu.

$$\frac{\Delta \rho}{\rho}$$



$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = A B^2$$

(15)

Se numește și
magnetorezistență
Lorentz.

Ți are valori mici
(sub 1%) și în general
este un efect de ordin
inferior față de efectele
de magnetorezistență
gigant (GMR) sau tunel
care vor fi discutate ulterior

Efectul Nernst

Este un efect longitudinal care constă în apariția
unei diferențe de temperatură longitudinală

$$\Delta T = L \frac{Q B}{d}$$

Simultan cu diferența de potențial transversală (efectul
de magnetorezistență discutat anterior)

Q = curent caloric

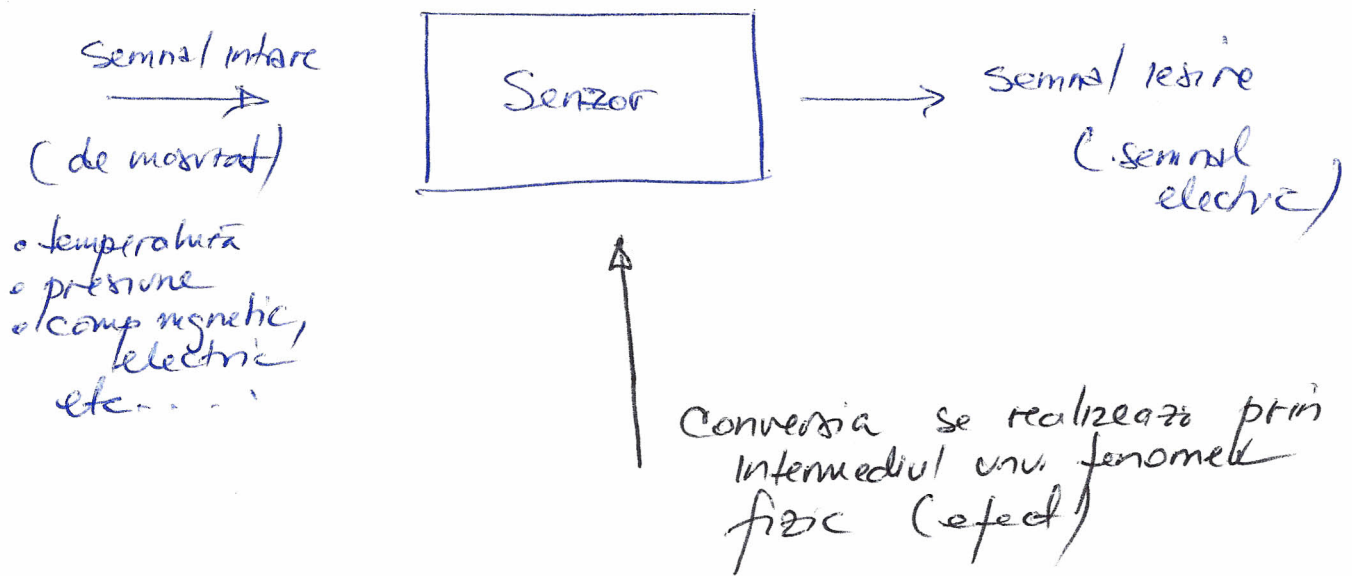
L = coeficient Nernst

d = grosimea benzii conductoare

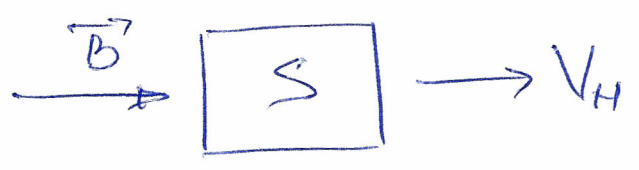
Obs: Introduceți electronul, pe lângă seronă și moment
cinetic orbital are și moment cinetic de spin, toate
efectele sus-menționate vor avea un corespondent
în spin \Rightarrow
efect Seebeck de spin, efect Hall de spin, etc.

Toate aceste efecte constituie baza funcționării
senzorilor, \Rightarrow vezi curs an II. (prof. Titus Crisan).

Senzori (baze)



ex 1) Senzor Hall



masurarea tensiunii Hall permite determinarea B necunoscut.

2) Senzor Seebeck (termocuplu)

