



Efecte  
termoelectrice,  
galvanomagnetice si  
termomagnetice

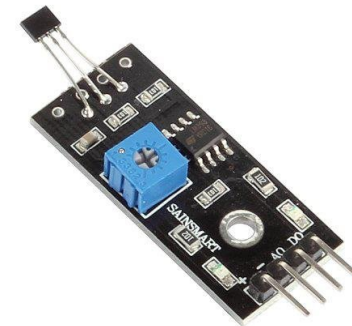
Obiectiv:

Studiul unor efecte combinate care apar la actiunea simultana asupra materialelor metalice a unor campuri fizice:

- camp electric  $E \sim \text{grad}(V)$
- camp magnetic  $B$
- camp termic  $\sim \text{grad}(T)$

Problematica complexa: notiuni de electricitate si magnetism + mecanica cuantica

Aceste efecte constituie bazele fizice ale unor senzori



## (I) EFECTE TERMOELECTRICE

Rezulta din intercorelatia dintr curenții electrici și curenții caloric care strabat sistemul

Intercorelatia – caracterizata de parametrii de cuplaj:

puterea termica: permite conversia directa caldura-electricitate

termorefrigerarea: prin aplicarea unei tensiuni asupra unui material termoelectric el se raceste

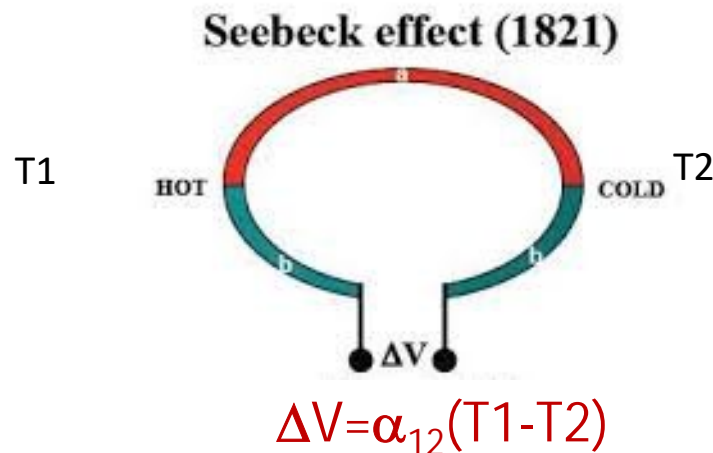
Principalele efecte termoelectrice:

- efectul Seebeck
- efectul Thomson
- efectul Peltier

Caracteristica comuna: inversarea cauzei primare (natura electrica) duce la inversarea semnului fenomenului secundar (natura termica)

## (1) Efectul Seebeck

Consta in aparitia unei tensiuni electrice intr-un circuit de 2 conductori diferiti cu contactele mentinute la temperaturi diferite



Thomas Seebeck

observa deviatia acului unei busole in apropiere circuitului daca  $T_1 \neq T_2$

⇒ Concluzie: aparitia unui camp magnetic

⇒ Oersted explica corect fenomenul: aparitia in circuit a unui current electric

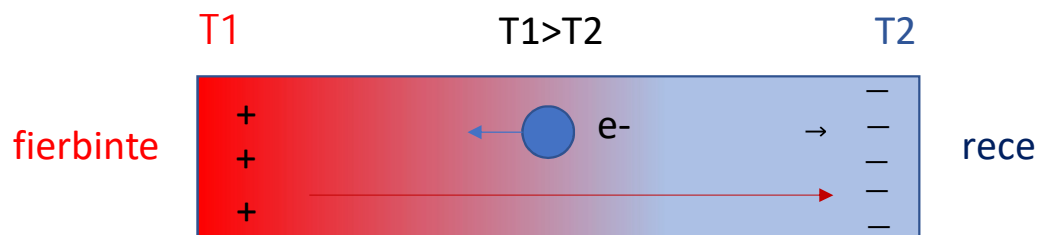
⇒ Conceptul de termoelectricitate

## Termocuplul

Construit utilizand combinatii de metale diferite

- ❑ o jonctiune (contact) se mentine la  $T=0C$  (amestec apa+ghiata)
- ❑ se masoara tensiunea termoelectrica in functie de temperatura celeilalte jonctiuni + calibrare => sensor de temperatura (termometru)

## Explicatia efectului Seebeck



Energia cinetica  $E_c$  a  $e^-$  de la capatul cald  $>$  Energia cinetica  $E_c$  a  $e^-$  de la capatul rece

=> difuzie a  $e^-$  de la capatul cald inspre cel rece

=> deficit de  $e^-$  la capatul cald ( $+q$ ), surplus de  $e^-$  la capatul rece ( $-q$ )

=> camp electric de la cald( $T_1$ ) la  $T_2$ (rece)

=> flux invers de drift (F Coulomb) al  $e^-$  pana la echilibru

➔ In circuit apare o diferenta de potential:

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

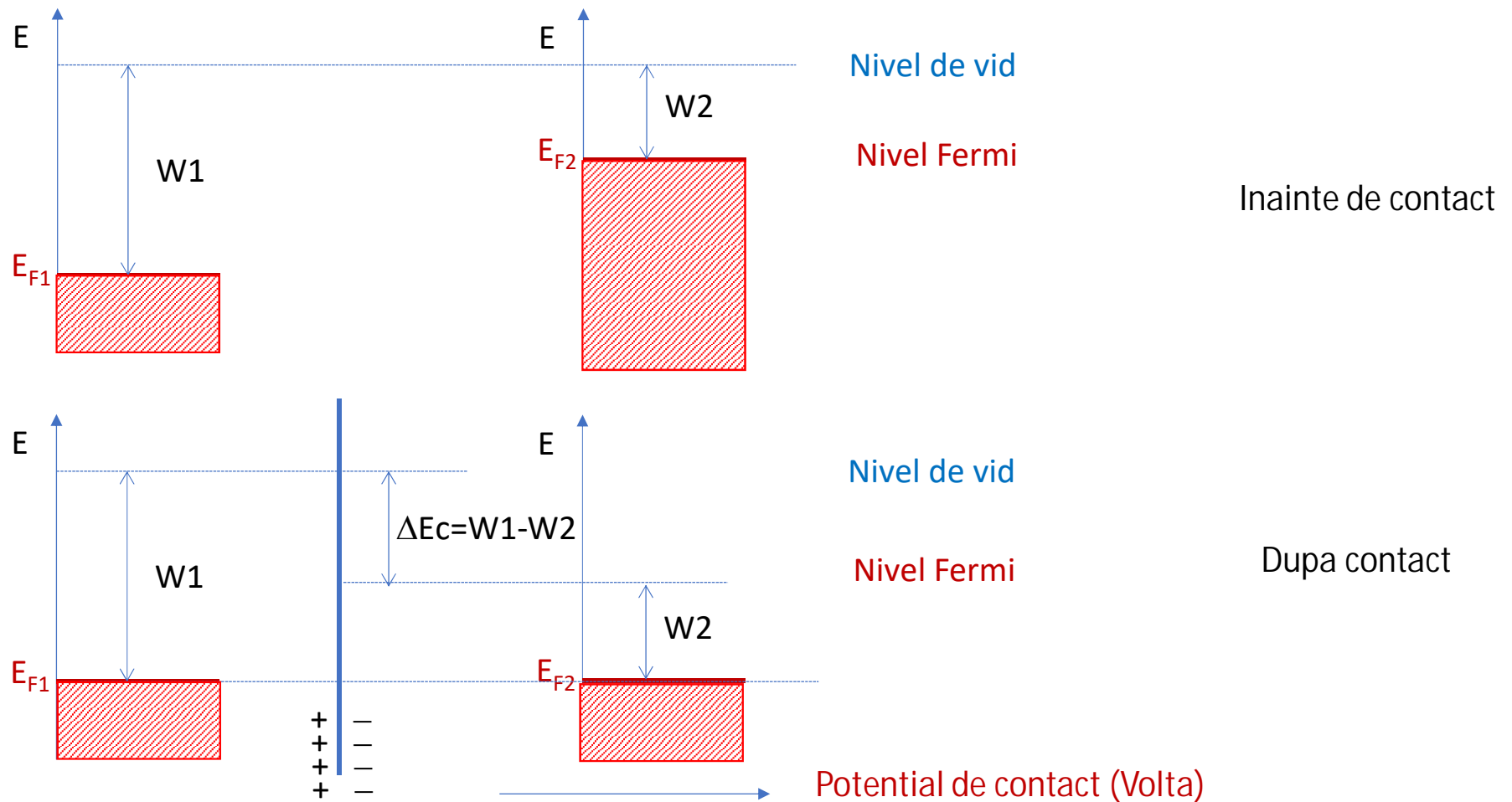
$\alpha_{12}$  = coeficientul Seebeck al circuitului

$\alpha_1, \alpha_2$  – coeficientii Seebeck ai metalelor 1 si 2

metale:  $\alpha$  - mic (1-10  $\mu\text{V/K}$ )

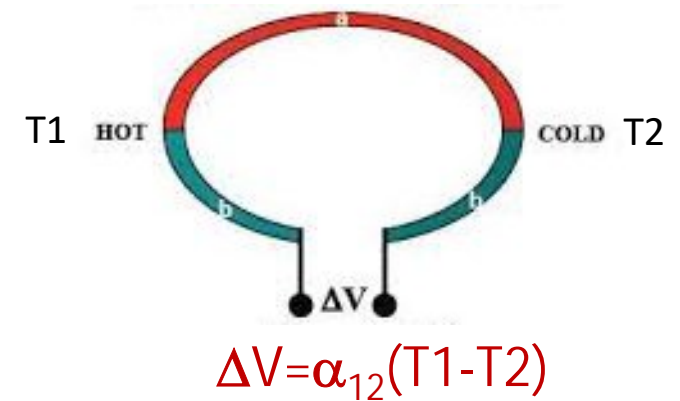
semiconductori:  $\alpha$  - mare (100-1000  $\mu\text{V/K}$ )

Efectul Seebeck se datoreaza dependentei de temperatura a diferentei de potential de contact



Zona de depletie = strat de interfata extrem de fin care impiedica transportul prin efect tunnel al electronilor prin bariera de potential  $\Delta E_c$

Intr-un circuit inchis suma tensiunilor Volta in contactele 1 si 2 va fi:  
 zero daca  $T1=T2$   
 $\neq 0$  daca  $T1 \neq T2 \Rightarrow$  voltmetrul va indica o tensiune  $V \neq 0$



Pentru aparitia tensiunii volta trebuie ca metalele (1) si (2) sa fie diferite ( $W1 \neq W2$ ), altfel  $\Delta E_c = 0$

Exemple de metariele pentru termocupluri:

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

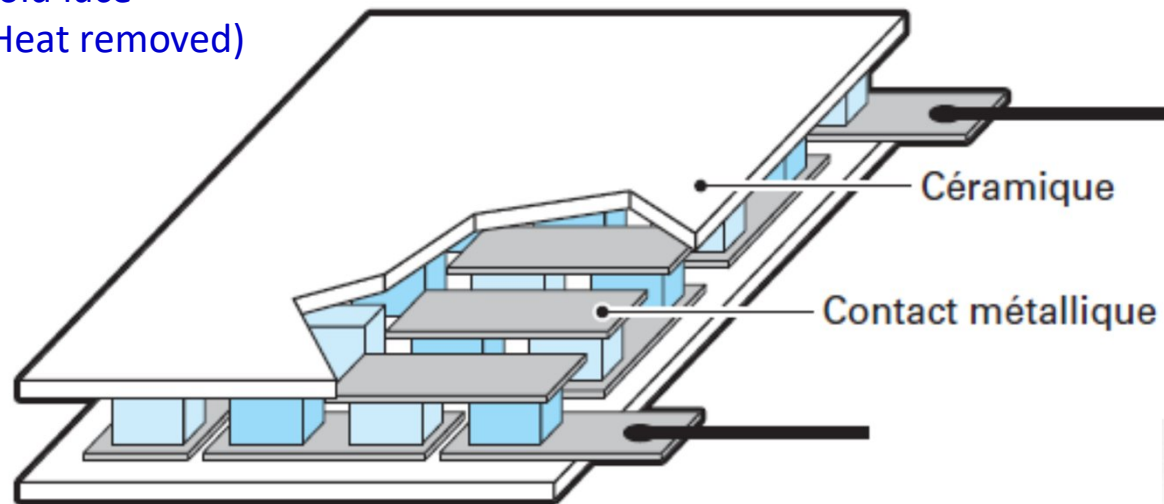
	Bi	Ni	Pd	Pt	Hg	PtRh	Cu	Mo	Fe	NiCr	Sb
$\alpha$ [mV/100K]	-7.7	-1.5	-0.3	0	0	0.7	0.77	1.2	1.92	2.6	4.8
W(eV)	4.85	5.15	5.12	5.65	4.49	-	4.65	4.5	4.6	-	4.55

Zero ales arbitart pt Pt

Termobaterie = multitudine de pile Seebeck legate in serie

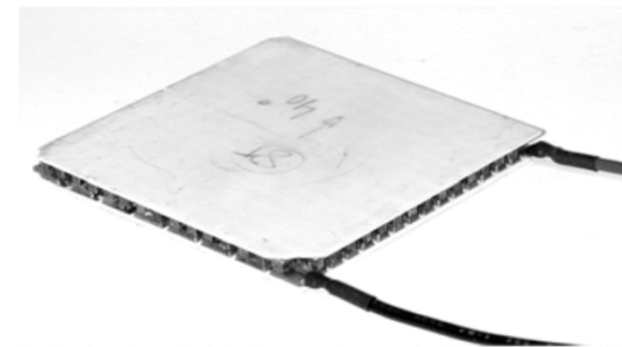
Nr acestora depinde de valoarea tensiunii pe care dorim sa o obtinem  
trebuie optimizat pentru a limita rezistenta interna a bateriei finale

Cold face  
(Heat removed)



Hot face  
(heat absorbed)

Modul termoelectric

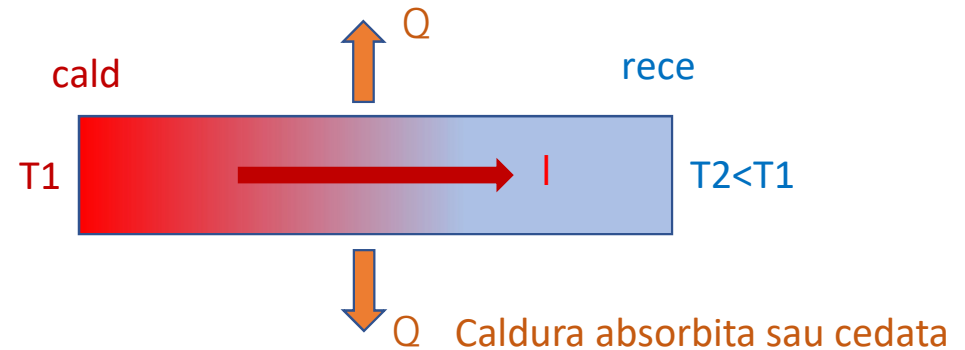




## (2) Efectul Thomson

Degajarea sau absorbtia unei cantitati de caldura intr-un conductor omogen strabatut de un curent electric  $I$  in care exista un gradient de temperatura

- ❑ absorbtie: pentru un sens al curentului
- ❑ degajare: sens invers al curentului



Conventie:

- ❑ efect Thomson pozitiv: daca se degaja caldura cand curentul electric trece de la  $T1 > T2$  la  $T2$
- ❑ efect Thomson negativ: se absoarbe caldura daca curentul electric circula de la  $T1 > T2$  la  $T2$

Caldura degajata (absorbita) este proportionala cu gradientul termic  $\nabla T$  si cu intensitatea curentului electric  $I$

$$Q = -\mu I |\text{grad}(T)|$$

$\mu$  – coeficient Thomson

$$\nabla T = \text{grad}(T) = \partial T / \partial x$$

### (3) Efectul Peltier

Consta in incalzirea (racirea) contactelor intre doi conductor (semiconductori) cand prin circuit trece un current electric (effect Seebeck invers).

Cantitatea de caldura absorbita (degajata) in jonctiune  $\sim$  intensitatea curentului electric in circuit

$$Q = \Pi I \quad - \text{coeficientul Peltier al jonctiunii}$$

Inversand sensul curentului se inverseaza efectul (jonctiune fierbinte se raceste si invers)

$\Rightarrow \quad = -$

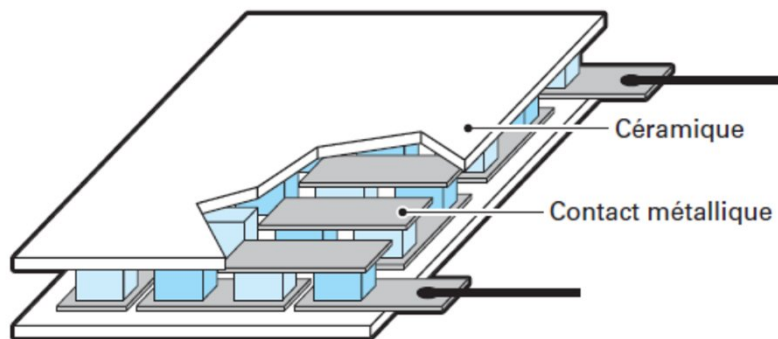
Explicatie fenomenologica

e- pe lanta curent transporta si energie (cinetica + potentiala)  $\Rightarrow$  flux net de energie in circuit in prezenta curentului electric  $\Rightarrow$  modificarea temperaturii contactelor in functie de sensul fluxului caloric corelat cu fluxul electric

$$= - \quad , \quad \text{Coeficientii Peltier ai contactelor (1) si (2)}$$

In metale  $\Pi$

Bazat pe efectul Peltier, bateriile Seebeck daca sunt conectate la cc, in functie de polaritatea curentului vor determina incalzirea (racirea) suprafetelor => aplicatii in termorefrigerare



In climatizoare, termobateriile ofera posibilitatea de a trece de la racire (vara) la incalzire (iarna) printr-o simpla comutare a polilor sursei de curent

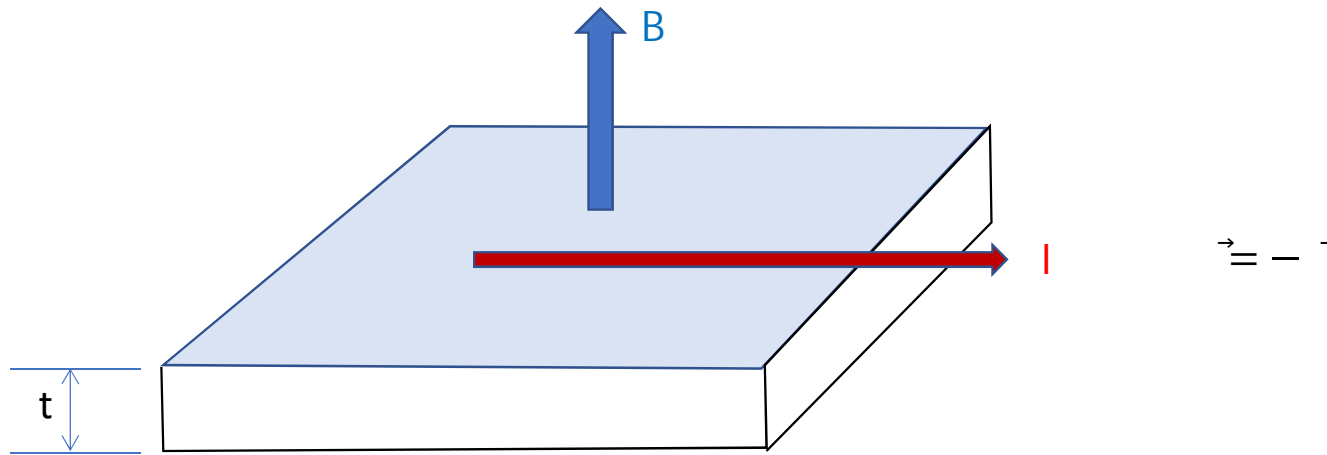
Se poate arata ca cei trei coeficienti: Seebeck, Thomson si Peltier sunt corelati

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

Relatiile lui Kelvin

## (II) EFECTE GALVANOMAGNETICE SI TERMOMAGNETICE

- Sunt fenomene care apar la suprapunerea peste campul magnetic  $B$  a altor campuri fizice: electric, termic
- Constau in aparitia unei diferente de potential sau de temperatura in conductorii electric strabatuti de un curent electric sau gradient de temperatura, in prezenta unui camp magnetic



Efecte transversale (perpendiculare): constau in aparitia unei diferente de potential sau de temperatura pe directie perpendiculara pe perturbatia primara (curent electric)

Efecte longitudinale (paralele): idem... dar relativ la o directie paralela cu directia perturbatiei primare

## EFECTE GALVANOMAGNETICE

Transversale ( $B \perp I$ )		Longitudinale ( $B \parallel$ sau $\perp$ pe $I$ )	
DENUMIRE	EFECT PRODUS	DENUMIRE	EFECT PRODUS
Efect Hall	Diferenta de potential transversala $\Delta V_H = R_H BI/t$	Variatie de rezistenta in camp magnetic (magnetorezistenta)	=
Efect Ettingshausen	Diferenta de temperatura transversala: $\Delta T = P QB/t$	Efect Nernst	Diferenta de temperatura longitudinala: $\Delta T = L QB/t$

## EFECTE TERMOMAGNETICE

Efect Nernst-Ettinghausen	Diferenta de potential transversala	Efect Ettinghausen-Nernst	Diferenta de potential longitudinala
Efect Righi-Leduc	Diferenta de temperatura transversala	Efect Maggi-Righi-Leduc	Variatia conductibilitatii termice

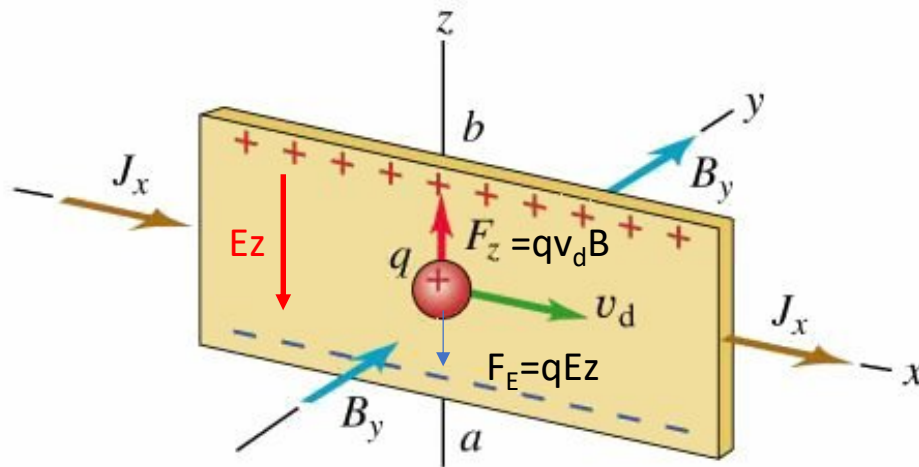
## II.1. EFECTE GALVANOMAGNETICE TRANSVERSALE

### (1) Efectul Hall

Apare cand un conductor parcurs de current este introdus intr-un camp magnetic (ex. perpendicular) pe directia curentului electric.

Pt simplificarea analizei presupunem curentul datorat unor sarcini pozitive. Sarcini de semn opus conduc la o inversare a sensului tensiunii Hall.

Originea: sarcinile se vor deplasa sub influenta fortei Lorentz inspre extremitatea benzii => acumulare se sarcini pozitive la o extremitate si aparitia unei sarcini efective de semn opus la extremitatea opusa



=> Aparitia unui camp electric net

La echilibru:  $qE_z + qv_d B_y = 0$       sau       $E_z = -v_d B_y$

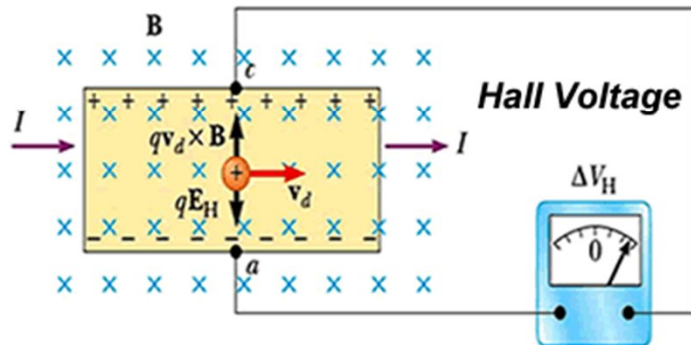
Campului electric ii corespunde o diferenta de potential  $V_H$

$$V = E d = v B d$$

dar  $J_x = nqv_d$

area  $A = td$       with  $v_d = \frac{I}{nqA}$

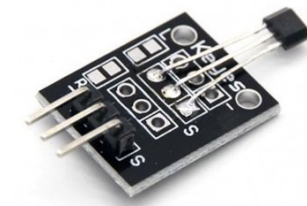
The accumulation of charge at the edges establishes an electric field in the conductor and increases until the electric force on the charge carriers remaining in the conductor balances the magnetic force.



$$\Delta V_H = E_H d = v_d B d$$

$$\Delta V_H = \frac{I B d}{n q A} = \frac{R_H I B}{t}$$

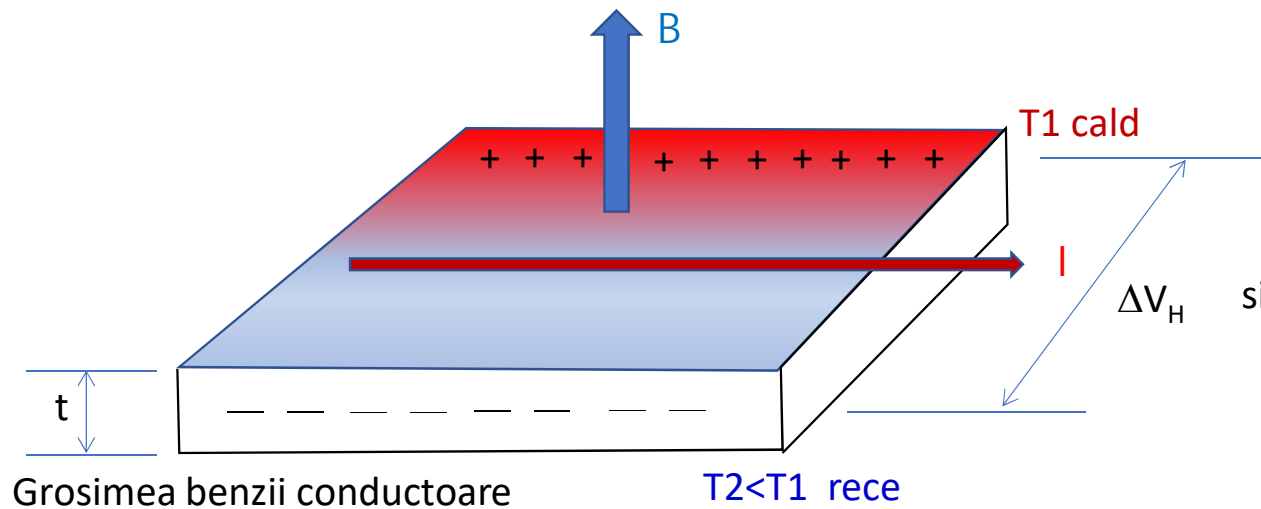
We can determine an unknown magnetic field.



Senzor Hall de camp magnetic

## (2) Efectul Ettingshausen

In conditiile descries la efectul Hall, simultan cu diferenta de potential transversala apare si o diferenta de temperatura transversala



$$\Delta T = T_1 - T_2 = P B Q / t$$

P = coefficient Ettingshausen

Q = current caloric

$Q = -k(\partial T / \partial x)$  = legea lui Fourier a conductiei termice

k = conductibilitatea termica a materialului ( $W/m^{-1}K^{-1}$ )

Efectul Ettingshausen poate fi pozitiv sau negativ in functie de sensul diferentei de temperatura care apare



## II.2. EFECTE GALVANOMAGNETICE LONGITUDINALE

### (1) Magnetorezistenta

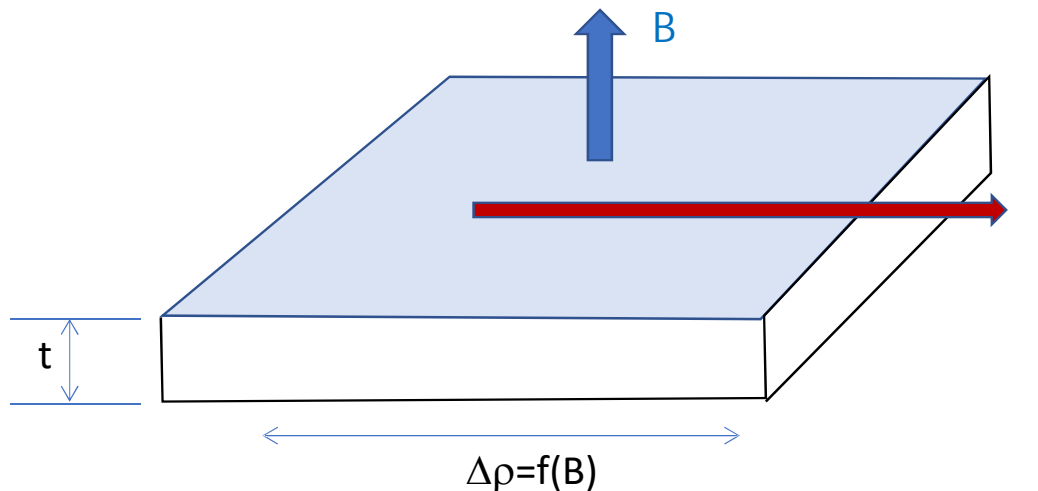
☐ Consta in cresterea rezistentei unui conductor strabatut de un current electric in prezenta unui camp magnetic

☐ Este un effect de ordinul II si poate fi cuantificat cu ajutorul teoriei Lorenz - Sommerfeld

In prezenta B, sub actiunea fortei Lorenz, traiectoriile e- in miscarea lor de drift in conductor vor fi modificate

Electronii descriu orbite circulare cu raza  $R = mV/qB$ ,  $v$ =viteza electronului

=> Modificarea lungimilor caracteristice (timp liber mediu, parcurs liber mediu...).



Conductivitatea electrica:

$$\sigma = \frac{nq \tau}{m}$$

$$j = \sigma E$$

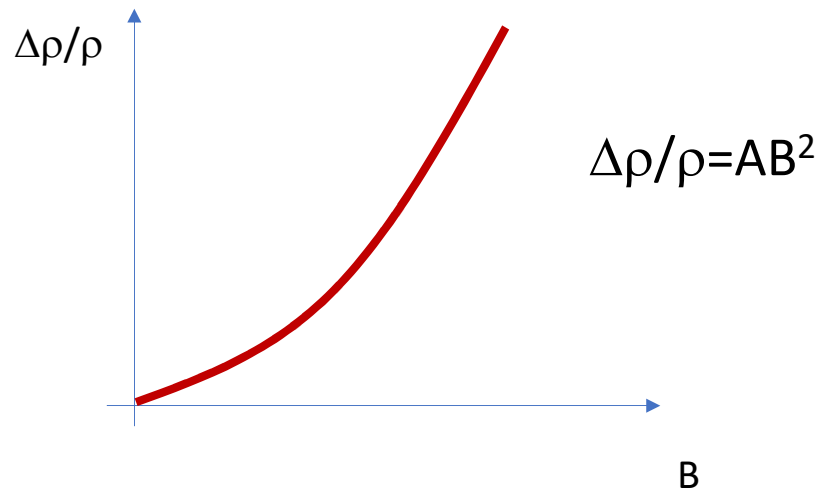
(legea lui Ohm microscopica)

Intrucat:  $\tau = \tau(B) \Rightarrow \sigma = \sigma(B)$  si caatara rezistivitatea  $\rho = 1/\sigma = \rho(B) \Rightarrow$  magnetorezistenta

In teoria Lorenz- Sommerfeld se demonstreaza ca:

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

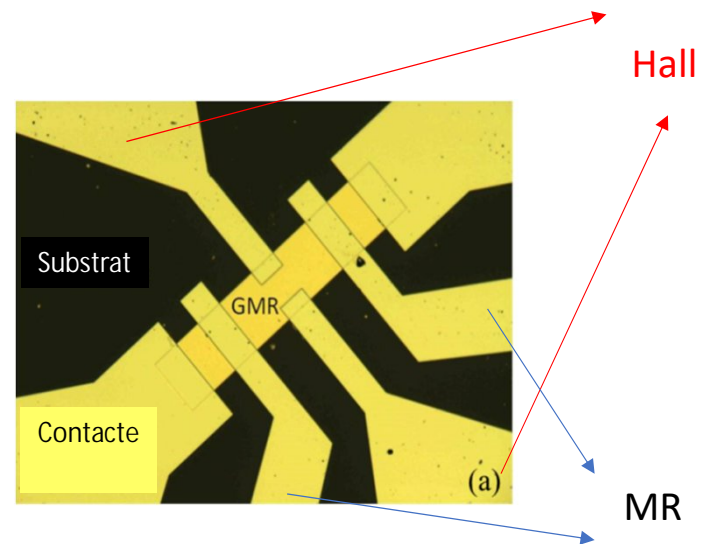
$\alpha, \gamma$  = constante de material  
dependente de timpul si  
parcursul liber mediu



Se numeste si magnetorezistenta Lorentz

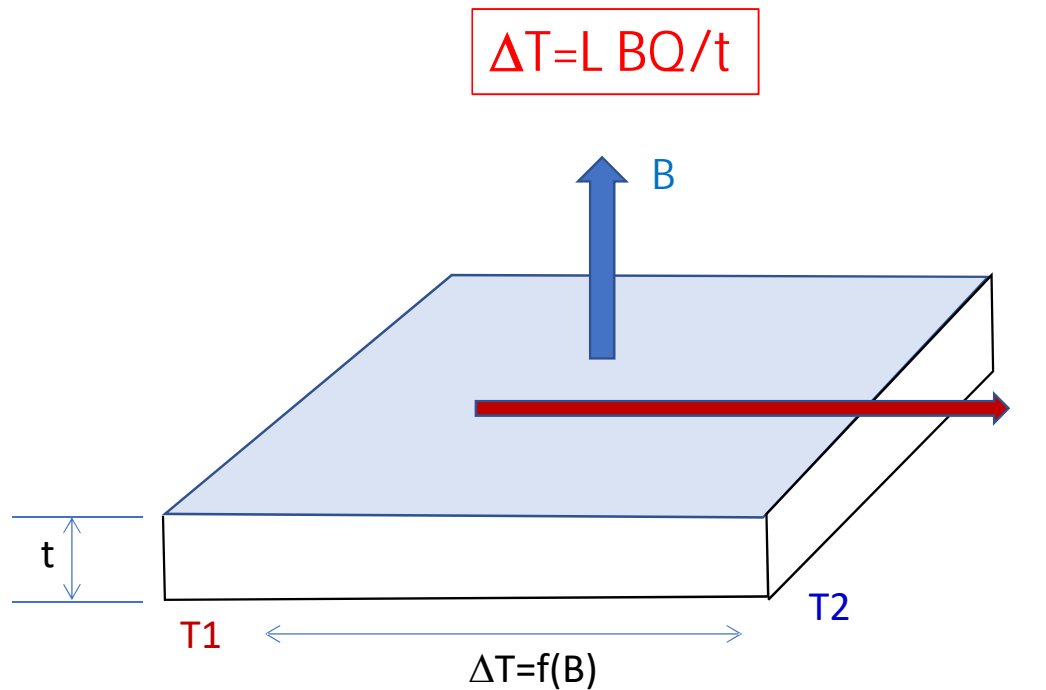
Are valori mici (sub 1%) si este un efect de ordin inferior  
fata de celelalte efecte de magnetorezistenta (GMR, TMR)  
vezi curs ulterior

Masurarea VH si MR pe o  
structura litografiata



## (2) Efectul Nernst

Efect longitudinal care consta in aparitia unei diferente de temperatura longitudinala simultan cu diferenta de potential longitudinala (efectul de magnetorezistenta discutat anterior)



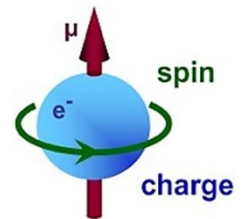
$Q$  = current caloric  
 $L$  = coeficientul Nernst  
 $t$  = grosimea benzii conductoare

Obs:

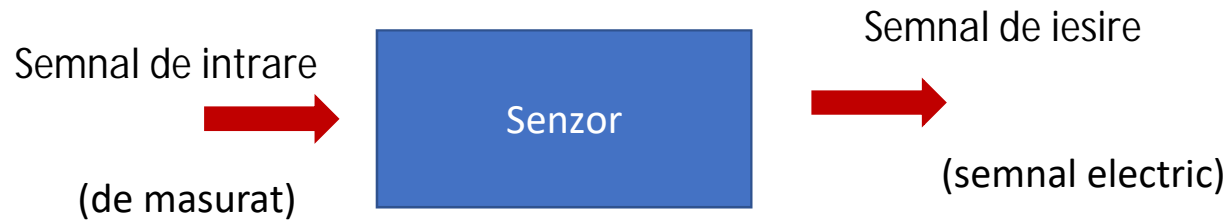
electron = sarcina electrica + spin

⇒ Toate efectele sus mentionate au correspondent in spin:

⇒ Efect Hall de spin, efect Seebeck de spin ...

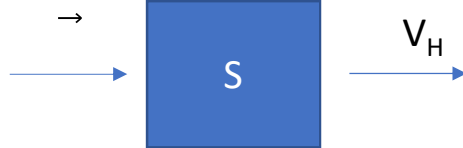


Toate aceste efecte constituie baza functionarii senzorilor



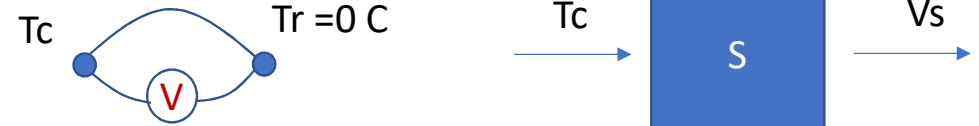
Conversia se realizeaza prin intermediu unui fenomen fizic (efect)

### E1. Senzor Hall



Masurarea tensiunii Hall  $V_H$  permite determinarea B necunoscut

### E2. Termocuplul



Masurarea tensiunii Seebeck permite determinarea  $T_c$  necunoscute