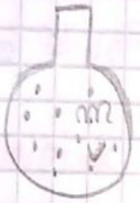
# CAPITOLE

1. Elemente de termodinamică;
2. Producerea și utilizarea curentului continuu;
3. Producerea și utilizarea curentului alternativ.

## Recapitulare

### Statica fluidelor. Presiunea

Fluide: lichide și gaze: sunt corpuri care nu au formă proprie și pot curge




Densitate: $\rho = \frac{m}{V}$

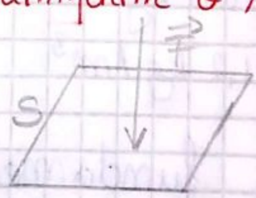
$[\rho]_{S.I.} = 1\ kg/m^3$

$[V]_{S.I.} = 1\ m^3$

$1\ m^3 = 10^3\ l$

$1\ l = 10^{-3}\ m^3$

**Def**: Presiunea (not. p) reprezintă raportul dintre forța care apasă perpendicular și uniform o suprafață și aria acelei suprafețe.




$p = \frac{F}{S}$

$[p]_{SI} = \frac{1N}{m^2} = 1\ Pa$ (Pascal)

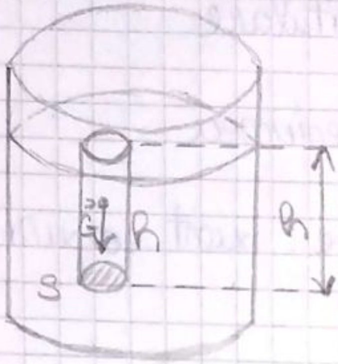
Not $\boxed{p_0 = 101325\ Pa \cong 10^5\ Pa \cong 1\ atm}$ $p_0 \rightarrow$ presiunea atmosferică normală

$1\ torr = 1\ mm\ Hg = \frac{1}{760}\ atm \cong 133{,}3\ Pa$

$1\ bar = 10^5\ Pa$

# Presiunea hidrostatică

Def.: Presiunea hidrostatică este presiunea care se exercită la un anumit nivel într-un lichid în echilibru și se datorează greutății lichidului aflat deasupra acelui nivel.




$$p_h = \frac{G}{S} = \frac{mg}{S}$$

Din $\rho = \frac{m}{V}$

$$m = \rho \cdot V \Rightarrow m = \rho \cdot S \cdot h \Rightarrow p_h = \frac{\rho \cdot \cancel{S} \cdot h \cdot g}{\cancel{S}}$$

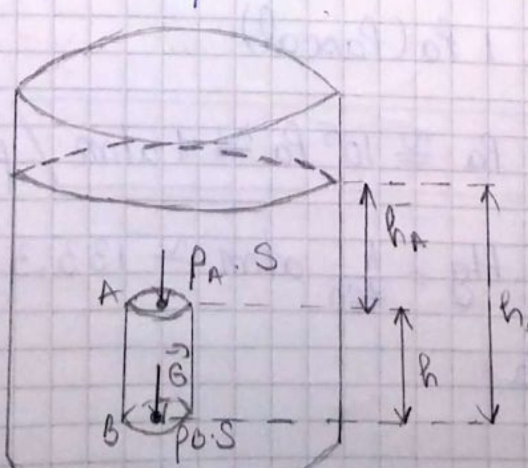
$\boxed{p_h = \rho h g}$ → expresia presiunii hidrostatice la adâncimea h într-un lichid cu densitatea $\rho$.

$\rho_{H_2O} = 100\ kg/m^3$

$\rho_{Hg} = 13600\ kg/m^3$

$\rho_{aer} \cong 1{,}2\ kg/m^3$

Principiul fundamental al hidrostaticii:



Echilibru:

$p_A \cdot S + G = p_B \cdot S$

$p_A S + mg = p_B \cdot S$

$m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot h$

$\rho S h g = p_B S - p_A S$

$\boxed{p_B - p_A = \rho g h}$ -> ecuația principiului fundamental al hidrostaticii.

Obs: A pe suprafața liberă a lichidului =>

$p_B - p_0 = \rho g h$

$\boxed{p_B = p_0 + \rho g h}$

$p_0 \cong 10^5$ Pa : presiune atmosferică

Principiul lui Pascal:

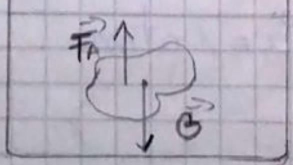
Presiunea exterioară exercitată asupra unui lichid aflat în echilibru se transmite integral și cu aceeași intensitate în întregul lichid și la pereții vasului care îl conține.

Aplicații:

presa hidraulică, cricul hidraulic, sistemul de frânare al automobilelor

Legea lui Arhimede:

Un corp cufundat într-un fluid este împins de jos în sus cu o forță verticală egală cu greutatea volumului de fluid deplasat de corp.




$F_A = G_{\text{lichid deplasat}} = m_{fd} \cdot g$

$\rho_f = \frac{m_{fd}}{V_d} \Rightarrow m_{fd} = \rho_f \cdot V_d$

$F_A = \rho_f \cdot V_d \cdot g$ -> expresia ~~atmosf~~ forței arhimedice

# Presiunea atmosferică

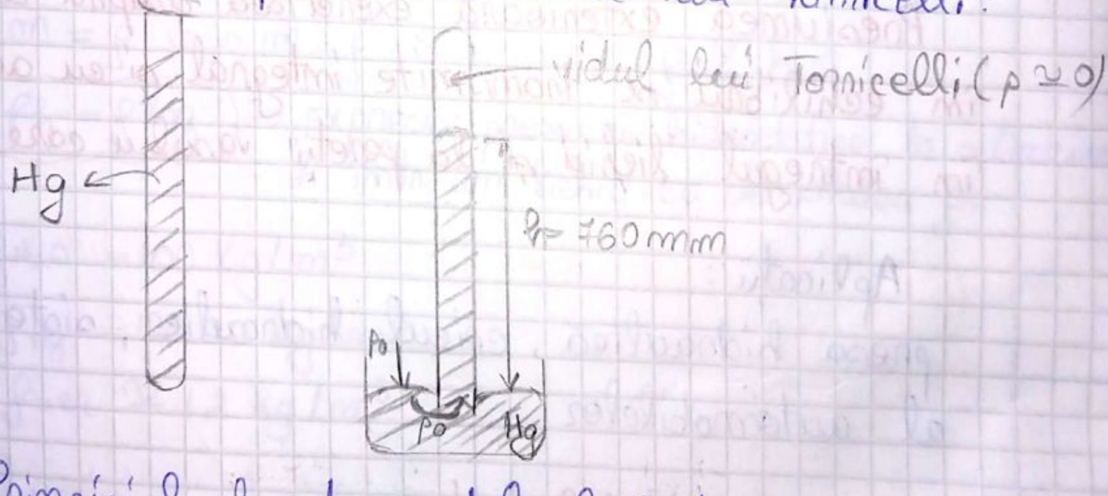
Def: Presiunea atmosferică este presiunea la un anumit nivel în atmosferă datorată greutății aerului atmosferic aflat asupra acelui nivel.


Obs: Presiunea atmosferică scade odată cu creșterea altitudinii.

Valoarea de referință la nivelul mării:

$\boxed{p_0 \cong 10^5\ Pa}$ → pres. atmosferice normale

Măsurarea pres. atm: tubul lui Torricelli:




Principiul fundamental al hidrostaticii

$p_0 - 0 = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h$

$\boxed{p_0 = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h}$

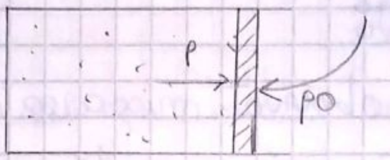
$p_0 = 13600 \cdot 9{,}8 \cdot 760 \cdot 10^{-3}$

$p_0 = 101325\ Pa \cong 10^5\ Pa = 1\ atm.$

Exemple:

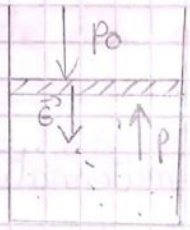
a) Presiunea unui gaz închis într-un cilindru cu piston

→ cilindru orizontal




$$\boxed{p = p_0}$$

→ cilindru vertical:

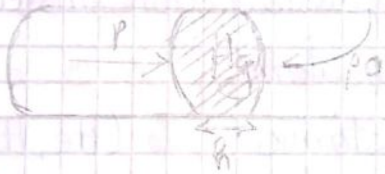



$$p = p_0 + \frac{G}{S}$$

$$\boxed{pS = p_0 S + G}$$

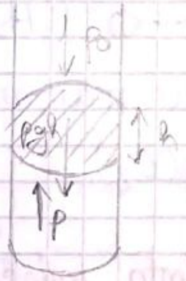
b) Presiunea în tuburi

→




$$\boxed{p = p_0}$$

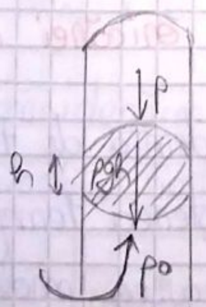
→




$$p - p_0 = \rho g h$$

$$\boxed{p = p_0 + \rho g h}$$

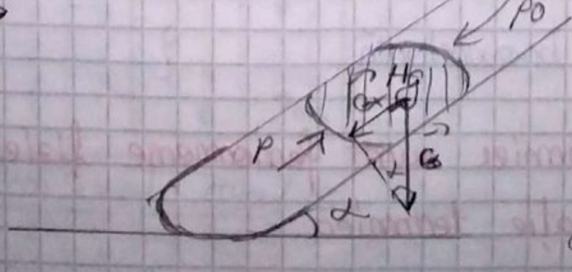
→




$$p_0 - p = \rho g h$$

$$\boxed{p = p_0 - \rho g h}$$

→




$$p = p_0 + \frac{G_t}{S}$$

$$p = p_0 + \frac{mg \sin\alpha}{S} \Rightarrow$$

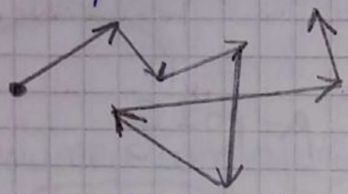
$$\boxed{p = p_0 + \rho g h \sin\alpha}$$

# Cap. I ELEMENTE DE TERMODINAMICĂ

## Agitația termică. Fenomene termice.

1811: Avogadro → moleculă

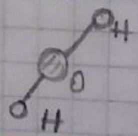
1827: Robert Brown a observat mișcarea particulelor de polen în suspensie în apă, numită mișcare browniană



1905: A. Einstein a descris matematic mișcarea moleculelor în teoria cinetico-moleculară.

OBS: Orice corp este alcătuit din molecule, iar moleculele sunt formate din atomi.

MOLECULE
- monoatomice (He, H, N ...)
- biatomice ($H_2$, $N_2$, $O_2$ ...)
- poliatomice (cu mai mult de trei atomi) ($H_2O$, $NH_3$, $CO_2$)




Def: Agitația termică reprezintă mișcarea complet dezordonată (haotică) a moleculelor oricărei substanțe.

Obs: Agitația termică este dependentă de temperatură, adică se intensifică odată cu creșterea temperaturii.

Dovezi: → fen. de difuzie: amestecarea moleculelor a două substanțe
→ mișcarea browniană

Def: Fenomenele termice sunt fenomene fizice legate de mișcarea de agitație termică.

Ex: comprimarea sau destinderea unui gaz, încălzirea ...

răcirea, trecerea dintr-o stare de agregare în alta.

## Mărimi fizice caracteristice structurii discrete a substanței

Notăm cu $m_0$: masa moleculară: masa unei molecule

Def: Unitatea atomică de masă (u) reprezintă a douăsprezecea parte din masa atomului de carbon ($^{12}_{6}C$)

$$\boxed{1u = 1,67\cdot 10^{-27}\ kg}$$

Def: Masa moleculară relativă ($m_r$) este numărul care arată de câte ori este mai mare masa unei molecule decât a 12-a parte din masa atomului de carbon.

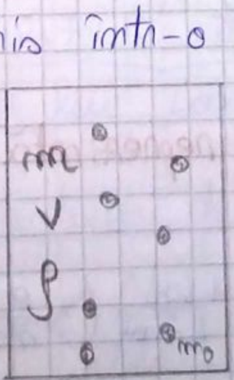
$$\boxed{m_r = \frac{m_0}{1u} = \frac{m_0}{\frac{1}{12}\cdot m_{0_{^{12}_{6}C}}}}$$

Exemple: $m_{r_H} = 1$

$m_{r_{H_2}} = 2$

$m_{r_O} = 16$, $m_{r_{O_2}} = 32$, $m_{r_N} = 14$, $m_{r_{N_2}} = 28$, $m_{H_2O} = 18$

Considerăm un gaz format din molecule de același tip (gaz închis într-o incintă)




Not: m → masa gazului
V → volumul gazului
ρ → densitatea gazului
N → nr de molecule

$$\boxed{m = N\cdot m_0}$$

Scanned by CamScanner

Def: Un mol reprezintă cantitatea de substanță a cărei masă, exprimată în g, este numeric egală cu masa moleculară relativă a acelei substanțe.

Not: $\nu$ („cantitate de substanță") = nr de moli (kmoli)
„miu"

Obs: 1 mol: unitate de măsură fundamentală
$\nu$: mărime fizică fundamentală

Ex: 1 mol H . . . . . 1g H
1 mol $H_2$ . . . . 2g H
1 mol $N_2$ . . . . 28 g N
1 mol $H_2O$ . . . 18 g $H_2O$

Def: Numărul lui Avogadro ($N_A$) reprezintă numărul de molecule dintr-un kmol de substanță (este același oricare ar fi substanța)

$$\boxed{N_A = \frac{N}{\nu}} \qquad [\nu]_{S.I} = 1 mol \qquad 1 mol = 10^{-3} kmoli$$
$$1 Kmol = 10^3 mol$$

$$\boxed{N_A = 6{,}02 \cdot 10^{26} \frac{molecule}{kmol}}$$

$$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{molecule}{mol}$$

Def: Masa molară (not $\mu$) reprezintă masa (în kg) unui kmol de substanță.

$$\boxed{\mu = \frac{m}{\nu}} \qquad [\mu]_{SI} = 1\frac{kg}{kmol} \left(1\frac{g}{mol}\right)$$

Ex: $\mu_H = 1 \frac{kg}{kmol}$ $\qquad \mu_O = 16 \frac{kg}{kmol}$ $\qquad \mu_{H_2O} = 18 \frac{kg}{kmol}$

$\mu_{H_2} = 2 \frac{kg}{kmol}$ $\qquad \mu_{O_2} = 32 \frac{kg}{kmol}$ $\qquad \mu_{N} = 14 \frac{kg}{kmol}$

$\mu_{N_2} = 28 \frac{kg}{kmol}$ $\mu_{aer} \simeq 29 \frac{kg}{kmol}$

Def: Volumul molar (not $V_\mu$) reprezintă volumul (în $m^3$) unui kmol de substanță.

$$\boxed{V_\mu = \frac{V}{\nu}} \quad [V_\mu]_{SI} = 1 \frac{m^3}{kmol} \left(1 \frac{l}{mol}\right)$$

$$1 \frac{m^3}{kmol} = \frac{10^3 l}{10^3 mol} = 1 \frac{l}{mol}$$

Obs: Pentru gaze aflate în condiții normale de temperatură și presiune, adică $t_0 = 0°C$ și $p_0 = 1\,atm$, volumul molar este:

$$\boxed{V_{\mu_0} = 22,4 \frac{m^3}{kmol}}$$ (același pt toate gazele)

Def: Numărul volumic (concentrație moleculară, not $n$) reprezintă nr de molecule din unitatea de volum.

$$\boxed{n = \frac{N}{V}} \quad [n]_{SI} = \frac{molecule}{m^3} = m^{-3}$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N/\nu}{V/\nu} = \frac{\frac{N}{\nu}}{\frac{V}{\nu}} = \frac{N_A}{V_\mu}$$

În condiții normale: $n_0 = \frac{N_A}{V_{\mu_0}} = \frac{6,02 \cdot 10^{26} \frac{molecule}{kmol}}{22,4 \frac{m^3}{kmol}} =$

$= 0,268 \cdot 10^{26}\ m^{-3}$

$$\boxed{n_0 \cong 2,7 \cdot 10^{25}\ m^{-3}}$$

nr lui Loschmidt

Amestecuri de gaze: masa molară medie a amestecului

2 gaze: $\begin{cases} N_1 ; \mu_1 ; m_1 ; \nu_1 \\ N_2 ; \mu_2 ; m_2 ; \nu_2 \end{cases}$

ex: $H_2 + O_2$

Not $\bar{\mu}$: masa molară medie: $\bar{\mu} = \frac{m}{\nu} = \frac{m_1 + m_2}{\nu_1 + \nu_2}$

Din: $\mu_1 = \frac{m_1}{\nu_1} \Rightarrow m_1 = \nu_1 \mu_1$

$\mu_2 = \frac{m_2}{\nu_2} \Rightarrow m_2 = \nu_2 \cdot \mu_2$

$\Rightarrow \boxed{\bar{\mu} = \frac{\nu_1 \mu_1 + \nu_2 \mu_2}{\nu_1 + \nu_2}}$

Din $N_A = \frac{N_1}{\nu_1} \Rightarrow \nu_1 = \frac{N_1}{N_A}$

$N_A = \frac{N_2}{\nu_2} \Rightarrow \nu_2 = \frac{N_2}{N_A}$

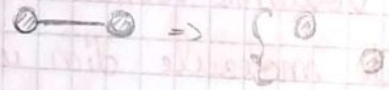
$\Rightarrow \bar{\mu} = \frac{\frac{N_1}{N_A} \cdot \mu_1 + \frac{N_2}{N_A} \cdot \mu_2}{\frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A}} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{\bar{\mu} = \frac{N_1 \mu_1 + N_2 \mu_2}{N_1 + N_2}}$ medie ponderată, ponderile fiind nr de molecule ($N_1$ și $N_2$)

~~DISOCIAȚIA MOLECULELOR~~

Disociația moleculelor

Disocierea = desfacerea legăturii biatomice în atomi



Notație:

$N_0$ : nr inițial de molecule

$N_d$ : nr de molecule care disociază $\Rightarrow$

$N_a$ : nr de atomi obținuți prin disociere $N_a = 2 N_d$

$N_{nd}$ : nr de molecule rămase nedisociate

$N_{nd} = N_0 - N_d$

Def: Gradul de disociere (not $\alpha$): $\boxed{\alpha = \frac{N_d}{N_0}}$ (%)

$N_d = \alpha N_0$

$\Longrightarrow$ AMESTEC de
- molecule: $N_{nd} = N_0 - \alpha N_0 = (1-\alpha) N_0$
- atomi: $N_a = 2 N_d = 2 \alpha N_0$

Nr total de particule din amestec:

$N_{tot} = N_{nd} + N_a = (1-\alpha) N_0 + 2\alpha N_0$

$N_{tot} = (1 - \alpha + 2\alpha) N_0 \Rightarrow \boxed{N_{tot} = (1+\alpha) N_0}$

TEMĂ: 1-5.

Scanned by CamScanner

# NOȚIUNI TERMODINAMICE DE BAZĂ

Fenomene termice: Metode de studiu
- Termodinamica
- Teoria cinetico-moleculară

## 1. Sistem termodinamic. Clasificări

* Def: **Corp macroscopic**: corp format dintr-un nr foarte mare, dar finit de molecule sau atomi.

* Def: **Sistem termodinamic**: orice corp macroscopic sau ansamblu bine precizat de corpuri macroscopice.

* Def: **Sistem termodinamic deschis**: schimbă energie și substanță cu mediul exterior.

* Def: **Sistem termodinamic închis**: schimbă energie cu mediul exterior, dar nu schimbă substanță.

* Def: **Sistem izolat** (o idealizare) este sistemul care nu interacționează și nu schimbă substanță cu mediul exterior

## 2. Parametrii de stare

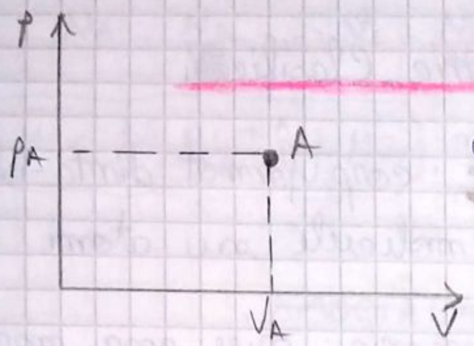
* Def: Sunt mărimi fizice care caracterizează proprietățile sistemului termodinamic.

Clasificare:
- Parametrii extensivi / aditivi ($x = x_1 + x_2$): $m, \nu, V$
- Parametrii intensivi ($x_1 = x_2 = x$): $p, T, \rho$

Scanned by CamScanner

## 3. Echilibrul termodinamic

* Def: Starea de echilibru de termodinamic este starea unui sistem termodinamic în care parametrii de stare au valori care nu variază în timp.




Starea de echilibru se reprezintă printr-un punct în coordonate p-V, numite coordonate

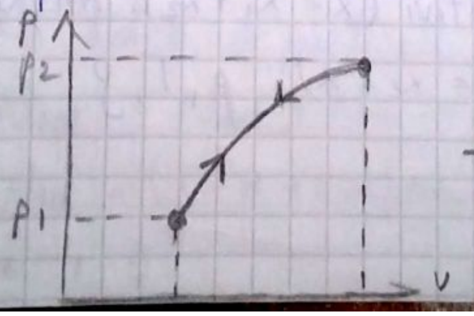
## 4. Procese sau transformări termodinamice

* Def: Proces termodinamic (transformare de stare): trecerea unui sist td. dintr-o stare de echilibru în alta

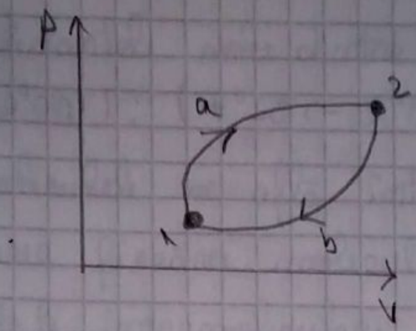
* Def: Transformarea cvasistatică: transformarea în care parametrii de stare variază în timp atât de lent încât în orice moment sist. să poată fi considerat în echilibru termodinamic.

* Def: Transformarea reversibilă: transformarea care poate avea loc în ambele sensuri, sist td. trecând prin aceleași stări intermediare de echilibru termodinamic

* Def: Transformarea ciclică: transformarea în care starea finală a sist coincide cu starea inițială.




→ transformare reversibilă




→ transformare ciclică

1 → a → 2 → b → 1

## 5. Interacțiunea sistemelor termodinamice cu mediul exterior

Tipuri de interacțiuni:

→ prin contact mecanic: schimb de lucru mecanic

→ prin contact termic: schimb de căldură

→ prin schimb de substanță: sisteme deschise

Obs: 1. Sistemele izolate mecanic își mențin volumul constant

2. Sistemele izolate adiabatic (termic) nu schimbă căldură cu mediul exterior.

## 6. Echilibrul termic. Temperatura

Def: Starea de echilibru termic este starea a două sau mai multe sisteme aflate în contact termic între care nu are loc schimb de căldură.

### Principiul 0 al termodinamicii

Într-un sistem fizic izolat, format din subsisteme închise aflate în echilibru de stare intensiv numit temperatură empirică ce are aceeași valoare în toate subsistemele.

Scări de temperatură:

- Scara Celsius (scara centigradă)
  - temperaturi de reper $0°C$ și $100°C$

• Scara Fahrenheit

- temperaturi de reper: $(0°C \to 32°F)$ ; $(100°C - 212°F)$

$t(°F) = \frac{9}{5} t(°C) + 32$

$t(K) = t(°C) + 273{,}15$

• Scara Kelvin

Not $T$: temperatura absolută

$[T]_{SI}$ : 1 K (kelvin)

- Temperaturi de reper: 0 K (zero kelvin): $-273{,}16°C$ : nu se poate atinge

• 273,16 K : temp. pct. triplu al apei (0,01°C)

În prob: $t(K) = t(°C) + 273$

7. Ecuația termică de stare

Ecuația termică de stare este relația de legătură între parametrii de stare ai gazului ideal, într-o stare de echilibru termodinamic.

Ec termică de stare este: $\boxed{pV = \nu RT}$

$R \to$ constanta universală a gazelor: $8310 \frac{J}{kmol \cdot K} = 8{,}31 \frac{J}{mol \cdot K}$

Din $\mu = \frac{m}{\nu} \Rightarrow \nu = \frac{m}{\mu} \Rightarrow pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow p \cdot \mu = \frac{m}{V} RT$

$\boxed{p\mu = \rho RT}$ $\to$ ecuația termică de stare

Caracteristicile modelului gaz ideal:

• Gazul este format dintr-un nr foarte mare de particule identice (molecule)

• Dimensiunile moleculelor sunt mici în comparație cu cu distanțele ~~mici~~ dintre ele și pot fi considerate puncte materiale

- Moleculele se află într-o continuă mișcare haotică, iar mișcarea fiecărei molecule se supune legilor mecanicii clasice
- Forțele intermoleculare se neglijează, moleculele se mișcă liber, traiectoriile lor fiind rectilinii.
- Ciocnirile dintre molecule și pereții vasului în care se află gazul sunt perfect elastice.

TEORIA CINETICO-MOLECULARĂ

Presiunea unui gaz asupra pereților vasului în care se află se datorează ciocnirilor moleculelor cu pereții vasului.

$$\boxed{p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}}$$ formula f.d.t a T.C.M

$n = \frac{N}{V}$ ; $m_0$ : masa unei molecule

$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \ldots + v_n^2}{N}$ : media pătratelor vitezelor

$\overline{\varepsilon_{tr}} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}$ : energie cinetică medie a mișcării de translație

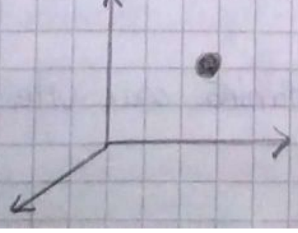
$$\boxed{p = \frac{2}{3} n \overline{\varepsilon_{tr}}}$$

$p \to dp$ cu $n = \frac{N}{V}$

$p \to dp$ cu $\varepsilon_{tr}$

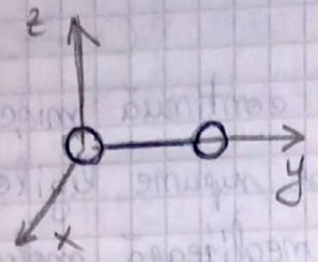
Teorema echipartiției energiei pe grade de libertate ($i \to$ nr de grade de libertate)

Molec. monoatomică



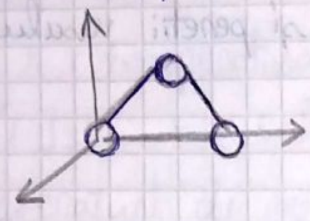
$i = 3$

Moleculă biatomică:




$i = 5$ ⟨ 3: translație; 2: rotație

Moleculă poliatomică



$i = 6$ ⟨ 3: translație; 3: rotație

1 grad de libertate are energia $\frac{1}{2}kT$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}\ \frac{J}{K}$ : constanta lui Boltzmann

Pentru orice fel de moleculă:

$\bar{\varepsilon}_{tr} = 3 \cdot \frac{1}{2} kT$

$p = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \bar{\varepsilon}_{tr} \Rightarrow p = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \frac{3}{2} kT \Rightarrow \boxed{p = nkT} \rightarrow$ ecuația termică de stare

$p = \frac{N}{V} kT \Rightarrow \boxed{pV = NkT} \rightarrow$ ecuația termică de stare

$N_A = \frac{N}{\nu} \Rightarrow N = \nu N_A$

$pV = \nu N_A kT$

$\boxed{R = N_A \cdot k}$ $\quad R = 8310 \frac{J}{kmol \cdot K}$ $\Bigg\} \Rightarrow \boxed{pV = \nu RT}$ ecuația termică de stare

Viteza termică ($v_T$)

$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}$

$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}$

$\boxed{v_T = \sqrt{\overline{v^2}}}$ → viteză termică sau viteza pătratică medie

$$v_T^2 = \frac{3p}{m_0 \cdot n} = \frac{3p}{\frac{N}{V} m_0} = \frac{3pV}{m} = \frac{3\nu RT}{m}$$

$$v_T^2 = \frac{3mRT}{\mu m} \Rightarrow v_T^2 = \frac{3RT}{\mu} \Rightarrow v_T = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

## Energia internă a gazului ideal

$U = \sum E_c$ cinetice ale moleculelor

$$U = \frac{m_0 v_1^2}{2} + \frac{m_0 v_2^2}{2} + \dots + \frac{m_0 v_N^2}{2}$$

$$U = N \cdot \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = N \cdot i \cdot \frac{1}{2} kT$$

$$U = \frac{i}{2} NkT \Rightarrow U = \frac{i}{2} \nu N_A \cdot kT \Rightarrow \boxed{U = \frac{i}{2} \nu RT}$$

ecuația calorică de stare a gazului ideal

$[U]_{SI} = 1J$ (Joule)

$U \rightarrow$ este mărime de stare

$U \rightarrow$ este mărime aditivă

$U \rightarrow$ depinde numai de $\nu$ și de $T$

## TRANSFORMĂRI PARTICULARE ALE GAZULUI IDEAL

Din $pV = \nu RT$, pentru $\nu = ct \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{pV}{T} = \nu R = const$

$\boxed{\frac{pV}{T} = ct} \rightarrow$ ecuația transformării generale (oarecare)

Obs: Transformare generală = transformare în care cantitatea de substanță rămâne constantă

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

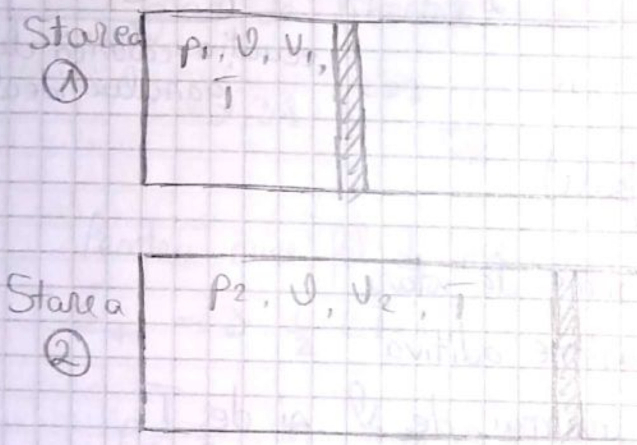
## [A] Transformarea izotermă

Def: Transformarea izotermă este transformarea în care cantitatea de substanță și temperatura absolută rămân constante ($\nu$ = cst ; $T$ = cst)

$\boxed{p \cdot V = const} \Leftrightarrow \boxed{p = \frac{const}{V}}$ → ecuația transformării izoterme

LEGEA TRANSFORMĂRII IZOTERME (Boyle – Mariotte)

Enunț: Într-o transformare izotermă presiunea gazului variază invers proporțional cu volumul.

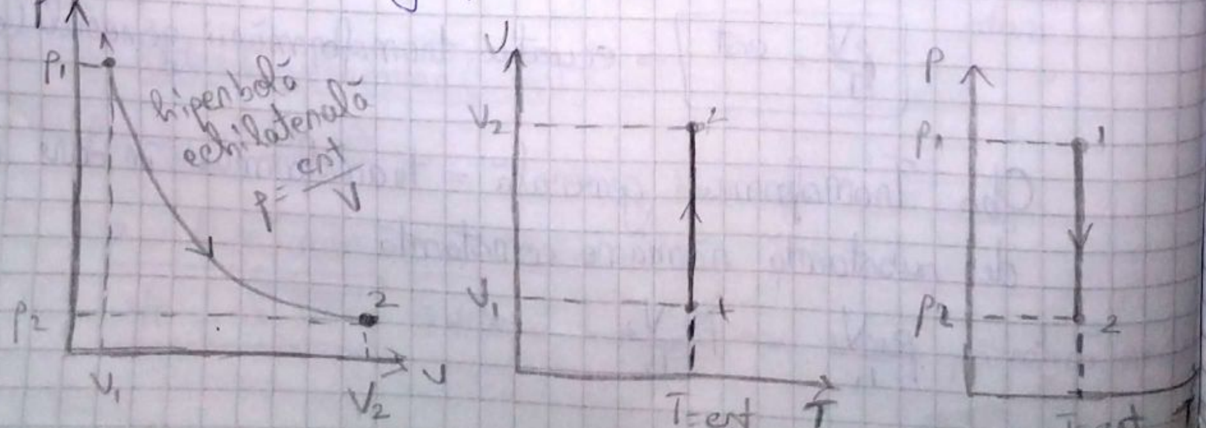



Ec: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

1 → 2 : destindere izotermă (volumul crește ↑, presiunea scade ↓, temperatura este const, densitatea scade)

2 → 1 : comprimare izotermă ($V$↓, $p$↑, $T$ → cst, $\rho$↑)

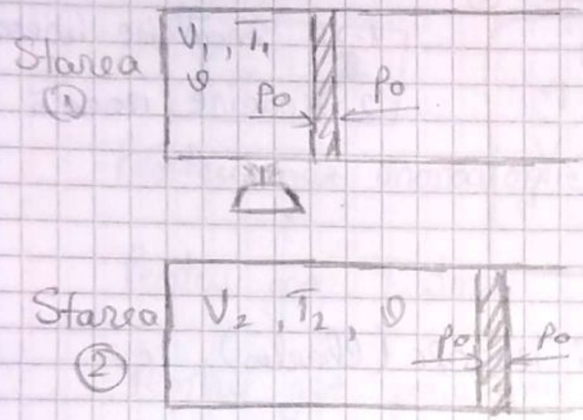
Reprezentări grafice



## [B] Transformarea izobară

Def: Transformarea izobară este transformarea în care cantitatea de substanță și presiunea rămân constante ($\nu \to ct$, $p \to ct$)

Din $\frac{p\cdot V}{T} = ct \Rightarrow \boxed{\frac{V}{T} = const} \Leftrightarrow \boxed{V = const\cdot T}$ → ecuația transformării izobare



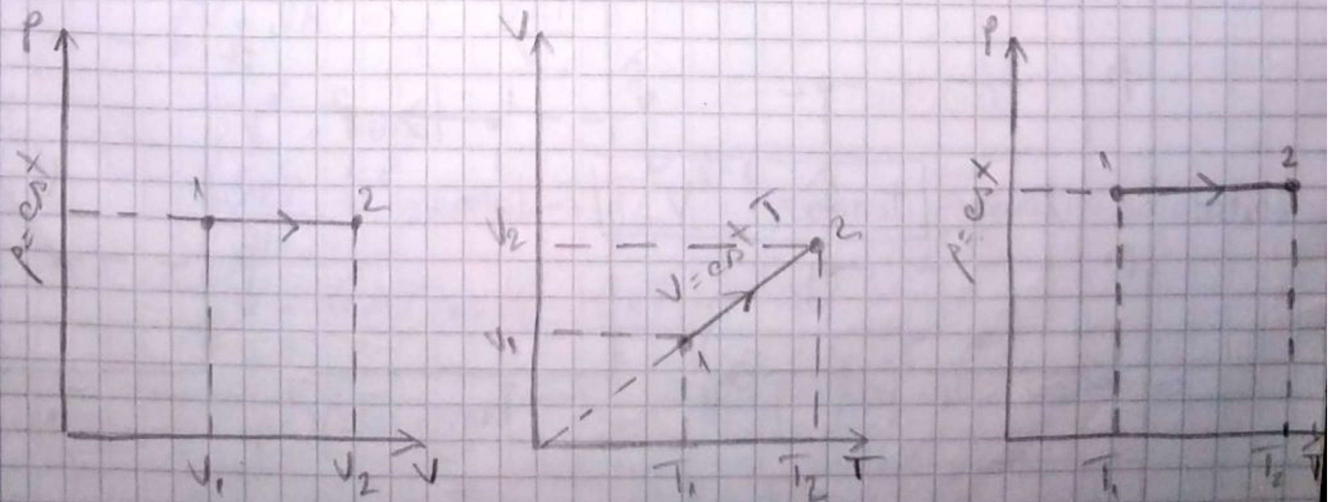

$1 \to 2$ : încălzire / dilatare / destindere izobară : $T\uparrow$, $V\uparrow$, $p = ct$, $\rho\downarrow$

$2 \to 1$ : răcire / contractare / comprimare izobară: $T\downarrow$, $V\downarrow$, $p = ct$, $\rho\uparrow$

LEGEA TRANSFORMĂRII IZOBARE (Gay - Lussac):

Enunț: Într-o transformare izobară volumul gazului variază direct proporțional cu temperatura absolută.

Reprezentări grafice

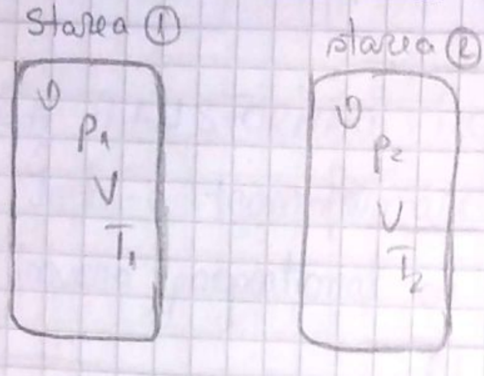


## [C] Transformarea izocoră

(cantitatea de subst)

Def: Este transformarea în care masa gazului și volumul rămân constante ($\nu = cst$; $V = cst$; $\rho = cst$)

Din $\frac{pV}{T} = cst \Rightarrow \boxed{\frac{p}{T} = cst} \Rightarrow \boxed{p = cst \cdot T}$ → ecuația transformării izocore




1→2: încălzire izocoră

2→1: răcire izocoră

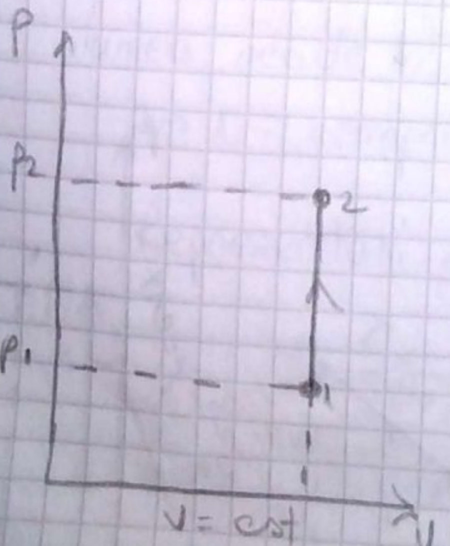
LEGEA TRANSFORMĂRII IZOCORE (Charles)

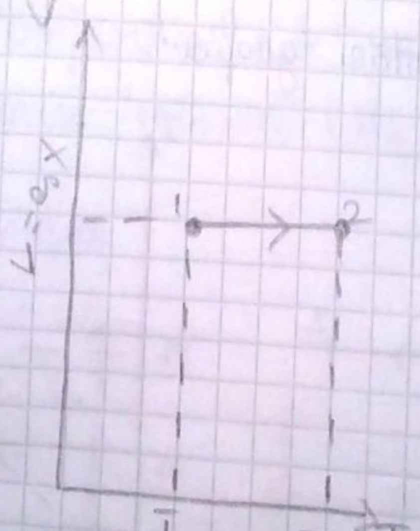
Într-o transformare izocoră presiunea gazului variază direct proporțional cu temperatura absolută

$1 \to 2$: $p \uparrow$, $T \uparrow$, $V = cst$, $\rho = cst$

$2 \to 1$: $p \downarrow$, $T \downarrow$, $V = cst$, $\rho = cst$

Reprezentări grafice




## D. Transformarea adiabatică

**Def:** Transformarea adiabatică este transformarea în care gazul nu schimbă căldură cu mediul exterior ($Q = 0$)

Ecuația transformării adiabatice (Poisson)

$$\boxed{p \cdot V^{\gamma} = const} \quad ; \gamma : \text{exponent adiabatic}$$

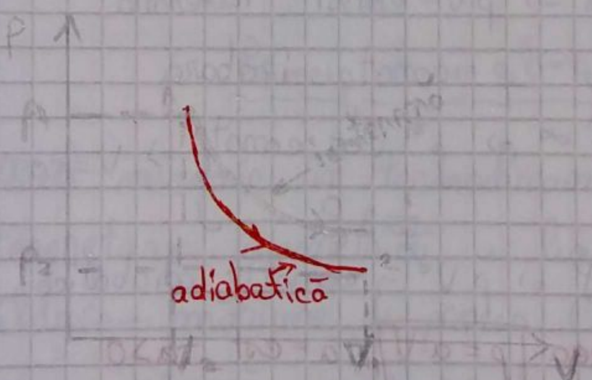
$$\boxed{\gamma = \frac{i+2}{i}}$$

Pentru gaz monoatomic: $\gamma = \frac{3+2}{3} = \frac{5}{3}$

Pentru gaz biatomic: $\gamma = \frac{5+2}{5} = \frac{7}{5}$

Pentru gaz poliatomic $\gamma = \frac{6+2}{6} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3}$

$$p = \frac{const}{V^{\gamma}}$$




$$pV = \nu RT \Rightarrow p = \frac{\nu RT}{V}$$

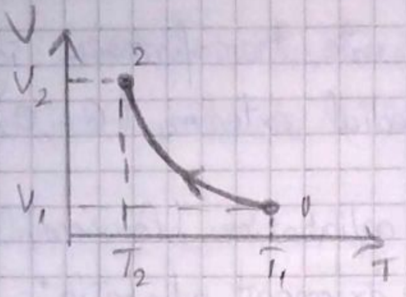
$$pV^{\gamma} = const$$

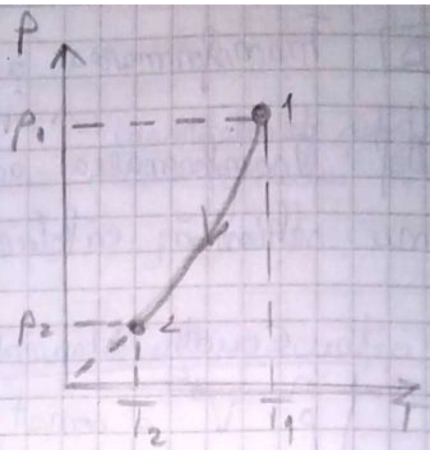
$$\frac{\nu RT}{V} \cdot V^{\gamma} = const \Rightarrow \boxed{T \cdot V^{\gamma - 1} = const} \rightarrow \text{ecuația adiabatică}$$

$$\left.\begin{array}{l} pV = \nu RT \Rightarrow V = \frac{\nu RT}{p} \\ p \cdot V^{\gamma} = const \end{array}\right\} \Rightarrow p \cdot \frac{(\nu R)^{\gamma} \cdot T^{\gamma}}{p^{\gamma}} = const \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p^{1-\gamma} \cdot T^{\gamma} = const \,\Big|^{\frac{1}{\gamma}} \Rightarrow \boxed{T \cdot p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = const} \rightarrow \text{ecuația adiabatică}$$

Reprezentări grafice




$1 \to 2$ : destindere adiabatică : $V\uparrow$, $p\downarrow$, $T\downarrow$ ; $\rho\downarrow$

$2 \to 1$ : comprimare adiabatică : $V\downarrow$, $p\uparrow$, $T\uparrow$, $\rho\uparrow$

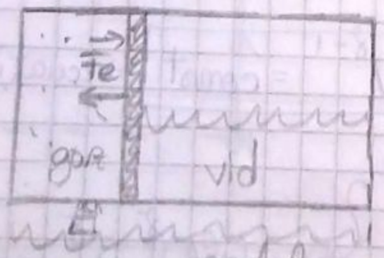
## E Transformarea politropă

Ecuația : $\boxed{pV^n = const}$ $n \to$ indice politropic

Cazuri:

1) Pentru $n = 1 \to pV = const$ : izotermă
2) Pentru $n = 0 \Rightarrow p = const$ : izobară
3) Pentru $n \to \infty \Rightarrow \left.\begin{array}{l} p^{\frac{1}{n}} V^1 = const \\ \frac{1}{\infty} = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow V = const$: izocoră
4) Pentru $n = \gamma \Rightarrow pV^\gamma = const$ : adiabatică
5) Transformarea $\boxed{p = aV}$, $a = cst$, $a > 0$

Practic




Din $p = aV$ și $pV = \nu RT \Rightarrow$

$aV^2 = \nu RT \Rightarrow V^2 = \frac{\nu R}{a} T \Rightarrow V = \sqrt{\frac{\nu R}{a}} \cdot \sqrt{T} \Rightarrow \boxed{V = b \cdot \sqrt{T}}$

$b = cst$, $b > 0$

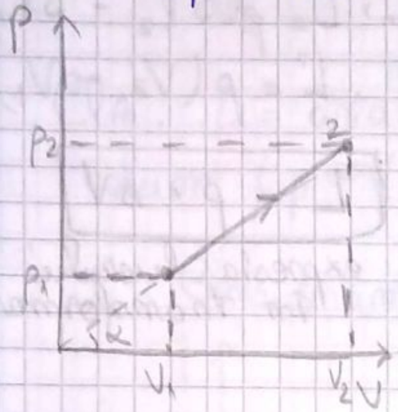
Scanned by CamScanner

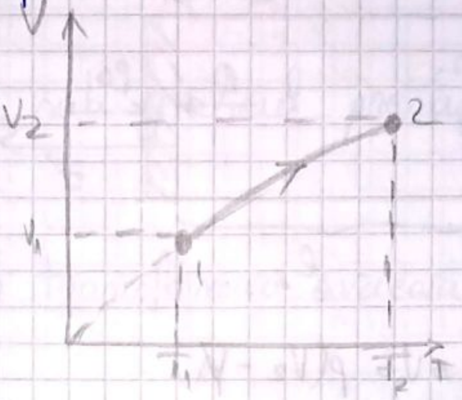
Din $p = aV \Rightarrow V = \frac{p}{a}$ și $pV = \nu RT \Rightarrow$

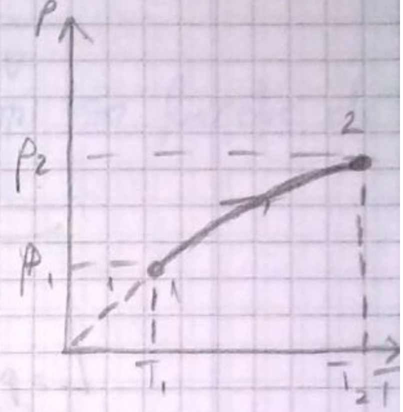
$$\Rightarrow \frac{p^2}{a} = \nu RT \Rightarrow p^2 = a\nu RT \Rightarrow p = \sqrt{a\nu R}\cdot\sqrt{T} \Rightarrow \boxed{p = c\cdot\sqrt{T}}$$

$c \rightarrow cst,\ c > 0$

Reprezentări grafice:




$tg\alpha = \frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2} = \frac{p}{V} = a$

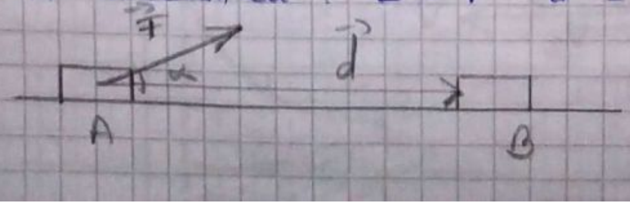
$1 \rightarrow 2$ : destindere / încălzire: $p\uparrow, V\uparrow, T\uparrow, \rho\downarrow$

$2 \rightarrow 1$ : comprimare / răcire: $p\downarrow, V\downarrow, T\downarrow, \rho\uparrow$

## Principiul I al termodinamicii

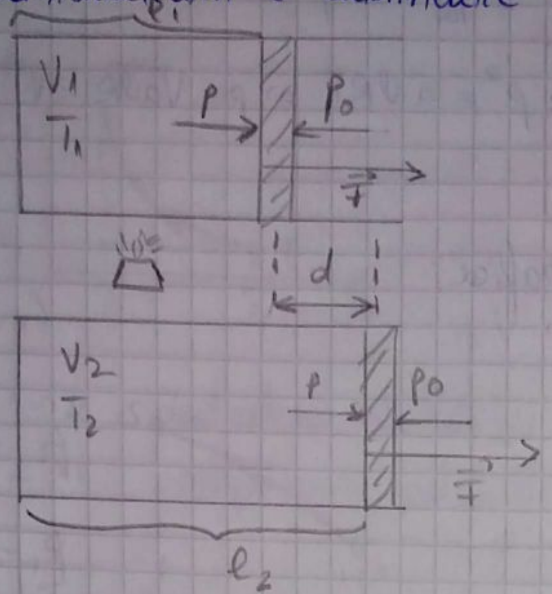
1. Lucrul mecanic în termodinamică - mărime de proces. Interpretarea geometrică a lucrului mecanic.
2. Căldura - mărime de proces. Coeficienți calorici.
3. Energia internă - mărime de stare. Enunțul principiului I al termodinamicii. Ecuația principiului I al termodinamicii
4. Aplicarea principiului I al termodinamicii în transformări particulare ale gazului ideal.

1. În mecanică: $L = \vec{F}\cdot\vec{d} = F\cdot d\cdot\cos\alpha$




$[L]_{S.I.} = 1N\cdot m = 1J$ (joule)

Considerăm o destindere izobară




$L = F \cdot d$

Dar $p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = p \cdot S$

$L = p \cdot S \cdot d = p \cdot S(l_2 - l_1)$

$\Rightarrow L = p(S l_2 - S l_1)$

$L = p(V_2 - V_1)$

$$\boxed{L = p \cdot \Delta V}$$

expresia lucrului mecanic în transformarea izobară

$L = p\Delta V = p(V_2 - V_1)$

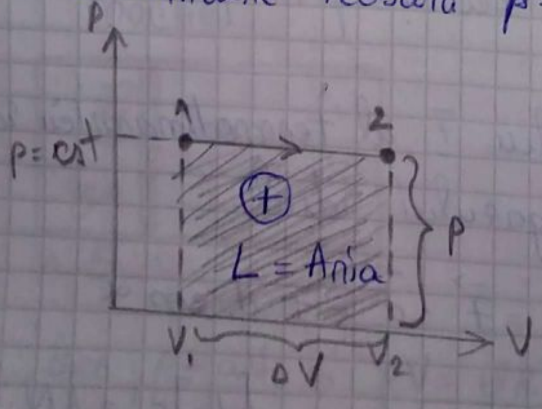
$L = pV_2 - pV_1 \Rightarrow L = \nu R T_2 - \nu R T_1 = \nu R (T_2 - T_1)$

$\boxed{L = \nu R \Delta T}$ → L în transformarea izobară

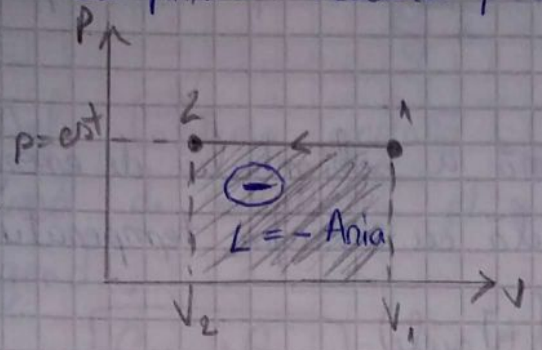
Obs: $\begin{cases} L > 0 \text{ dacă } V_2 > V_1 \text{ (destindere)} \\ L < 0 \text{ dacă } V_2 < V_1 \text{ (comprimare)} \end{cases}$

- $L > 0$ „l mecanic efectuat de gaz asupra mediului exterior" („l. mecanic cedat")
- $L < 0$ „l mecanic efectuat de mediul exterior asupra gazului" („l. mecanic primit")

Destindere izobară p – V

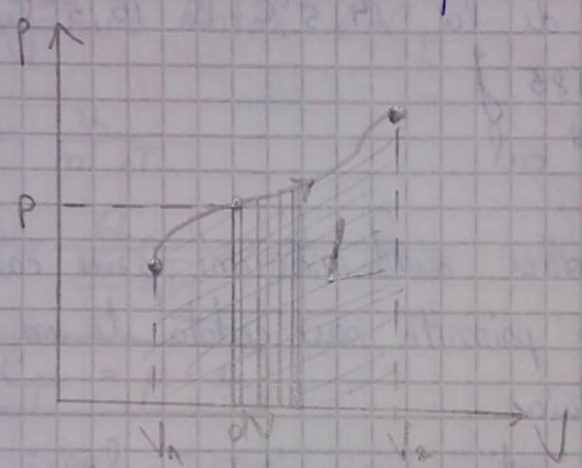


Comprimare izobară p-V




Obs: L = aria de sub graficul presiunii în funcție de volum (p - V)

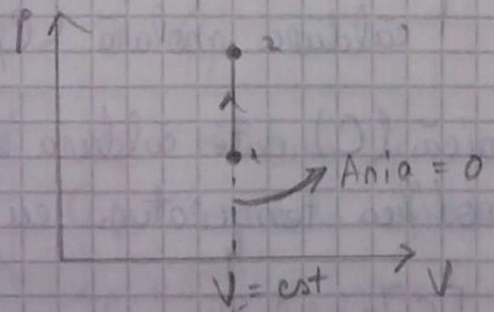
Considerăm o transformare oarecare




$$L = \sum p \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

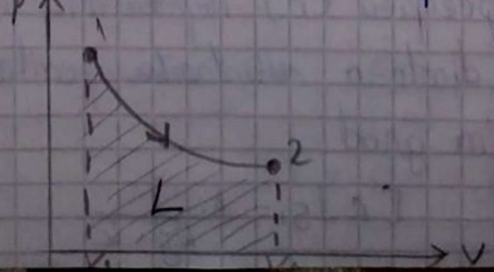
↳ variație infinitezimală

Considerăm o transformare izocoră




$\boxed{L = 0}$ în tr. izocoră

Considerăm o transformare izotermă




$$L = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$L = \nu R T (\ln V_2 - \ln V_1)$$

Dacă $V_2 > V_1 \Rightarrow L > 0$ („cedat")
Dacă $V_2 < V_1 \Rightarrow L < 0$ („primit")

Scanned by CamScanner

Obs: Lucrul mecanic este mărime fizică de proces, dep... de de transformare

② Căldura este o formă a schimbului de energie între corpuri asociată de regulă cu variația temperaturii.

Not $Q$ $[Q]_{S.I.} = 1\,J$ (Joule)

În practică: caloria: $1\ cal_{15}$

Def: O cal de 15 reprezintă căldura primită de un g... de apă pură pentru a-și modifica temperatura cu un grad Celsius, de la $14,5°C$ la $15,5°C$

$1\ cal_{15} = 4,185\ J$

$1\ G\ cal = 10^9\ cal$

Coeficienții calorici sunt mărimi fizice care fac legătura între căldura primită sau cedată de un corp și variația temperaturii acestuia.

Sunt 3 coeficienți:
- capacitatea calorică ($C$)
- căldura specifică ($c$)
- căldura molară ($C_\mu$)

Def: Capacitatea calorică ($C$) este căldura necesară unui corp pentru a-și modifica temperatura cu un grad.

$$\boxed{C = \frac{Q}{\Delta T}} \qquad [C]_{S.I.} = 1\,\frac{J}{K}$$

Obs: $C$ este specifică fiecărui corp

Def: Căldura specifică ($c$) reprezintă căldura necesară unității de masă dintr-o substanță pentru a-și modifica temperatura cu un grad.

$$\boxed{c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}} \qquad [c]_{S.I.} = 1\,\frac{J}{kg \cdot K}$$

Ex: $c_{H_2O} = 4185 \frac{J}{kg \cdot K}$

Def: Căldura molară ($C_\mu$) este căldura necesară unui mol de substanță pt a-și modifica temperatura cu un grad.

$$\boxed{C_\mu = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T}} \qquad [C_\mu]_{SI} = 1 \frac{J}{mol \cdot K} ; \quad [C_\mu] = \frac{J}{Kmol \cdot K}$$

când $R = 8310 \frac{J}{Kmol \cdot K}$

Legătura între $c - C_\mu$:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

$$C_\mu = \frac{Q}{\frac{m}{\mu} \Delta T} \Rightarrow \mu \cdot \frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \mu \cdot c$$

$$\boxed{C_\mu = \mu \cdot c}$$

$$\begin{cases} Q = C \cdot \Delta T \\ Q = m \cdot c \cdot \Delta T \\ Q = \nu \cdot C_\mu \cdot \Delta T \end{cases}$$

Not $c_V$: căldura specifică la volum constant (în izocoră)
$C_V$: căldura molară la volum constant (în izocoră)
$c_p$: căldura specifică la presiune constantă (în izobară)
$C_p$: căldură molară la presiune constantă (în izobară)

$$\boxed{C_V = \frac{i}{2} R} \qquad \boxed{C_p = \frac{i+2}{2} R} \qquad i \begin{matrix} 3 \\ 5 \\ 6 \end{matrix}$$

Obs: În izotermă $\left.\begin{matrix} C_T = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T} \\ \Delta T = 0 \end{matrix}\right\} \Rightarrow C_T \to \infty$

Îm adiabatică: $C_{ad} = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T} \Rightarrow C_{ad} = 0$

Obs: Căldura este mărime fizică de proces, depinde de tipul transformării

③ Def: Energia internă a gazului ideal reprezintă suma energiilor cinetice ale moleculelor gazului

Not U: energie internă

$[U]_{SI} = 1 J$ (Joule)

$U = \sum_{i=1}^{N} E_{c_i}$

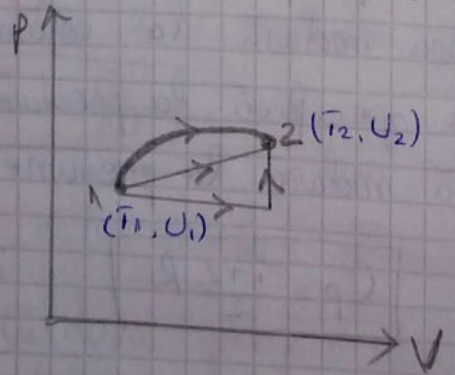
$\boxed{U = \frac{i}{2} \nu R T}$ → expresia energiei interne (ec. calorică de stare)

Din $C_v = \frac{i}{2} R$

$\boxed{U = \nu C_v T}$

Principiul I al termodinamicii

ENUNȚ: Îm orice transformare variația $\Delta U$ a energiei interne depinde numai de stările inițială și finală și nu depinde de stările intermediare prin care trece sistemul termodinamic




$\Delta U = U_{final} - U_{initial}$ în orice transformare

$\Delta U = \nu C_v T_2 - \nu C_v T_1$

$\boxed{\Delta U = \nu C_v \cdot \Delta T}$ → în orice transformare

Ecuația principiului I al termodinamicii

$\boxed{Q = \Delta U + L}$

Căldura este egală cu suma dintre variația energiei interne și lucrul mecanic

Dacă sistemul este izolat adiabatic ($Q = 0$) și izolat mecanic ($L = 0$) $\Rightarrow$

$0 = \Delta U + 0 \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow U_{finală} = U_{inițială} \Rightarrow$

$U = \text{constant} \Leftrightarrow \nu C_v \cdot T = \text{cst}$

(4) Aplicarea pr I

[A] Transformare izotermă : $T = \text{cst}$

$$\left.\begin{array}{l}\Delta U = \nu C_v \Delta T \\ \Delta T = 0\end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{\Delta U = 0}$$

Pr I $\quad Q = \Delta U + L \Rightarrow \boxed{Q = L = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1}}$

$\rightarrow$ Destindere izotermă : $Q > 0$, $L > 0$

$\rightarrow$ Comprimare izotermă : $Q < 0$, $L < 0$

[B] Transformare izobară : $p = \text{cst}$

$\boxed{\Delta U = \nu C_v \Delta T}$

$\boxed{L = p \cdot \Delta V = \nu R \Delta T}$

$C_p = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T} \Rightarrow \boxed{Q = \nu C_p \cdot \Delta T}$

Pr I $\quad Q = \Delta U + L$

$\rightarrow$ Destindere izobară : $Q > 0$, $L > 0$, $\Delta U > 0$

$\rightarrow$ Comprimare izobară : $Q < 0$, $L < 0$, $\Delta U < 0$

$\nu C_p \Delta T = \nu C_v \Delta T + \nu R \Delta T \quad | : \nu \Delta T$

$\boxed{C_p = C_v + R} \rightarrow$ relația Robert-Mayer pt căldură molară

Dar $C_v = \mu \cdot c_v$

$C_p = \mu \cdot c_p$

$\mu c_p = \mu c_v + R \mid : \mu$

$\boxed{c_p = c_v + \frac{R}{\mu}}$ → relația Robert - Mayer pentru căldură specifică

[C] Transformarea izocoră ($V = ct$)

$\boxed{\Delta U = \nu C_v \cdot \Delta T}$

$\boxed{L = 0}$

Din $C_v = \frac{Q}{\nu \Delta T}$

$\boxed{Q = \nu C_v \Delta T}$

Pr I $Q = \Delta U + L \Rightarrow \boxed{Q = \Delta U}$

→ încălzire izocoră : $Q > 0$, $\Delta U > 0$

→ răcire izocoră : $Q < 0$, $\Delta U < 0$

[D] Transformare adiabatică ($Q = 0$)

Din $Q = \Delta U + L \Rightarrow 0 = \Delta U + L$

$\boxed{\Delta U = \nu C_v \Delta T}$

$\boxed{L = - \Delta U = - \nu C_v \Delta T}$

→ destindere adiabatică : $L > 0 \Rightarrow \Delta U < 0 \Rightarrow \Delta T < 0$, $T \downarrow$

→ comprimare adiabatică : $L < 0 \Rightarrow \Delta U > 0 \Rightarrow \Delta T > 0$, $T \uparrow$

Def: $\boxed{\gamma = \frac{C_p}{C_v}}$ → exponent adiabatic

Pt $i = 3$ : $\gamma = \frac{\frac{3+2}{2} R}{\frac{3}{2} R} = \frac{5}{3}$

Pt $i = 5$ : $\gamma = \frac{\frac{5+2}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{7}{5}$

Pt $i = 6$ : $\gamma = \frac{\frac{6+2}{2} R}{\frac{6}{2} R} = \frac{4}{3}$

$$\begin{cases} C_p = C_v + R \\ \gamma = \frac{C_p}{C_v} \Rightarrow C_p = \gamma \cdot C_v \end{cases}$$

$$C_v \cdot \gamma = C_v + R$$

$$\gamma C_v - C_v = R$$

$$(\gamma - 1) C_v = R \Rightarrow \boxed{C_v = \frac{R}{\gamma - 1}}$$

$$\boxed{C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}}$$

## E Transformare politropă

Def: Transformarea politropă este transformarea care are căldura molară constantă

$$\boxed{C_\mu = cst}$$

Indicele politropic $\boxed{n = \frac{C_\mu - C_p}{C_\mu - C_v}}$

$\boxed{p \cdot V^n = cst}$ → ecuația transformării politrope

1) izotermă: $\boxed{n = 1} \Rightarrow 1 = \frac{C_T - C_p}{C_T - C_v} \Rightarrow C_T - C_v = C_T - C_p$

adevărată dacă $C_T \to \infty$

$$C_T = \frac{Q}{\nu \cdot \underbrace{\Delta T}_{\to 0}} \longrightarrow \infty$$

2) izobară: $n = 0 \Rightarrow 0 = \frac{C_p - C_p}{C_p - C_v}$ (adevărat)

3) izocoră: $n \to \infty \Rightarrow \infty = \frac{C_v - C_p}{C_v - C_v}$ (adevărat)

4) adiabatică: $Q = 0$; $n = \gamma$ (exponent adiabatic) $\Rightarrow$

$\Rightarrow pV^\gamma = cst$

$$n = \frac{C_\mu - C_p}{C_\mu - C_v}$$

În adiabatică: $C_\mu = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T} = 0 \Rightarrow n = \gamma = \frac{0 - C_p}{0 - C_v} \Rightarrow \boxed{\gamma = \frac{C_p}{C_v}}$

Scanned by CamScanner

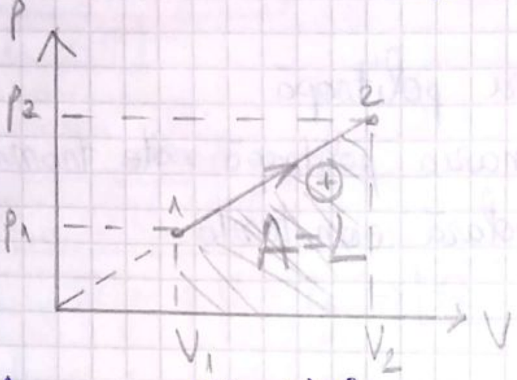
5) Pt $n=-1 \Rightarrow pV^{-1} = cst \overset{not}{=} a$ ; $a>0$

$\frac{p}{V} = a \Rightarrow \boxed{p = a \cdot V}$

În $n \doteq \frac{C_\mu - C_p}{C_\mu - C_V} \Rightarrow -1 = \frac{C_\mu - C_p}{C_\mu - C_V} \Rightarrow -C_\mu + C_V = C_\mu - C_p$

$\Rightarrow C_p + C_V = 2C_\mu \Rightarrow \boxed{C_\mu = \frac{C_p + C_V}{2}}$

$C_p = C_V + R \Rightarrow C_\mu = \frac{2C_V + R}{2} \Rightarrow \boxed{C_\mu = C_V + \frac{R}{2}}$




$L = A_{trapez} = \frac{(B+b) \cdot h}{2}$

$L = \frac{(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)}{2}$

$L = \frac{p_2 V_2 - p_2 V_1 + p_1 V_2 - p_1 V_1}{2}$

$L = \frac{p_2 V_2 - \cancel{a \cdot V_2 \cdot V_1} + \cancel{a V_1 \cdot V_2} - p_1 V_1}{2}$

$L = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{2}$

$L = \frac{\nu R T_2 - \nu R T_1}{2} \Rightarrow \boxed{L = \frac{\nu R \Delta T}{2}}$

$\boxed{\Delta U = \nu C_V \Delta T}$

$Q = \Delta U + L$

$Q = \nu C_V \Delta T + \frac{\nu R \Delta T}{2}$

$Q = \nu \underbrace{\left(C_V + \frac{R}{2}\right)}_{C_\mu \text{ în } p = a \cdot V} \cdot \Delta T \Rightarrow \boxed{Q = \nu \cdot C_\mu \Delta T}$

# 7 Transformări ciclice


$U_{inițială} = U_1$

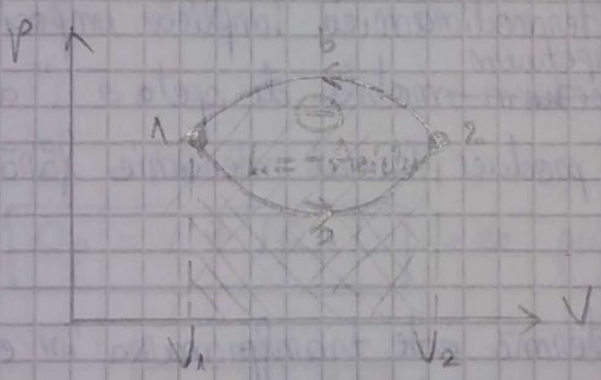
$U_{finală} = U_1$

$\boxed{\Delta U = 0}$ în transformarea ciclică

Din $Q = \Delta U + L \Rightarrow \boxed{Q = L}$

$$L = \underbrace{A_{1\to a\to 2}}_{>0} + \underbrace{A_{2\to b\to 1}}_{<0} = A_{ciclu}$$

$$L = \underbrace{L_{1\to a\to 2}}_{>0} + \underbrace{L_{2\to b\to 1}}_{<0} = L_{ciclu}$$




Obs: 1. Dacă transformarea ciclică este parcursă în sensul acelor de ceas (în p-V) atunci lucrul mecanic pe un ciclu este pozitiv (ex: motoare termice): $L > 0$

2. Dacă transformarea ciclică este parcursă în sens opus acelor de ceas (în p-V) atunci lucrul mecanic pe un ciclu este negativ (ex: pompe de căldură, mașină frigorifică) $L < 0$

PLAN DE RECAPITULARE:

Formule: ① $\vartheta$, $V_m$, $N$, nr volumic

② Ecuația termică de stare, ecuația calorică de stare

③ Transformări particulare: izotermă, izobară, izocoră, adiabatică, $p = aV$: grafice, ecuații, definiție, $Q$, $\Delta U$, $L$

④ Relațiile lui Robert Mayer

⑤ Coeficienți calorici (formule, unități de măsură)

⑥ Ecuația pr I

## Principiul al II-lea al termodinamicii
## Motoare termice

În tr. ciclică $\Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q = \Delta U + L \Rightarrow Q = L$

Principiul I al termodinamicii implică imposibilitatea realizării unui "~~perpetum~~ perpetuum mobile de speța I" adică unui mecanism care ar produce lucru mecanic fără consum de energie.

Def: Trans monotermă este transformarea în care sistemul termodinamic schimbă căldură cu un singur termostat.

Def: Trans bitermă este transformarea în care sistemul termodinamic schimbă căldură cu două termostate

Obs: Practic se constată că nu se poate realiza un "perpetuum mobile" de speța a II-a adică un sistem fizic care să transforme integral căldura primită în lucru mecanic.

Principiul al II-lea al termodinamicii

Formularea lui Thomson: În natură nu este posibil un proces ciclic care să aibă ca unic rezultat efectuarea de lucru mecanic în urma schimbului de căldură cu un singur termostat.

Formularea lui Clausius: Nu este posibilă trecerea de la sine a căldurii de la un corp cu o temperatură dată la unul cu o temperatură mai mare

Relația $Q = L$ în transformări ciclice, devine $Q_{prim} + Q_{ced} = L$ (transformare bitermă)

Def: Motorul termic este mecanismul care funcționează după o transformare ciclică în care transformă parțial căldura primită prin arderea unui combustibil în lucru mecanic.

$$Q_p + Q_c = L$$

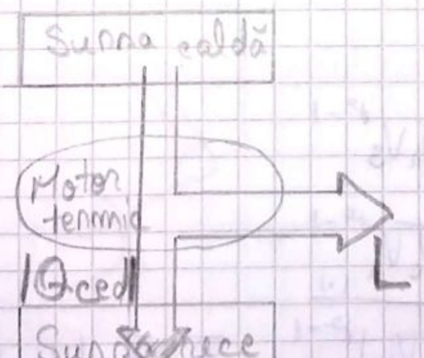
$$Q_p > 0$$

$$Q_c < 0$$

$$L > 0$$

$$Q_p - |Q_c| = L$$

$\boxed{Q_p = L + |Q_c|}$ → ec pr. I pt motor termic




Randamentul motorului termic:

$$\eta = \frac{En.\ utilă}{En.\ consumată} \Rightarrow \boxed{\eta = \frac{L}{Q_{prim.}}}$$

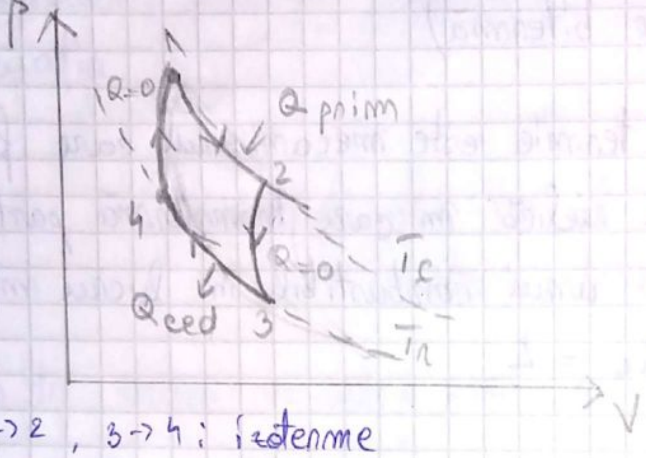
$$Q_{prim} = L + |Q_{ced}| \Rightarrow L = Q_{prim} - |Q_{ced}|$$

$$\eta = \frac{Q_{prim} - |Q_{ced}|}{Q_{prim}} \rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{Q_{prim}}}$$

Obs: $\eta < 100\%$

Ciclul Carnot:

→ este ciclul ideal, reversibil, alcătuit din două transformări adiabatice și două izoterme




1 → 2, 3 → 4: izoterme

2 → 3, 4 → 1: adiabatice

Randamentul ciclului Carnot:

$$\eta_c = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{Q_{prim}} = 1 - \frac{|\nu R T_r \cdot \ln\frac{V_4}{V_3}|}{\nu R T_c \cdot \ln\frac{V_2}{V_1}} = 1 - \frac{-\nu R T_r \cdot \ln\frac{V_4}{V_3}}{\nu R T_c \cdot \ln\frac{V_2}{V_1}}$$

$$= 1 - \frac{T_r \ln\frac{V_3}{V_4}}{T_c \ln\frac{V_2}{V_1}}$$

$$2 \rightarrow 3: \quad T_c V_2^{\gamma-1} = T_r V_3^{\gamma-1}$$

$$4 \rightarrow 1: \quad T_r V_4^{\gamma-1} = T_c V_1^{\gamma-1} \quad (\cdot)$$

$$T_c \cdot T_r \cdot (V_2 \cdot V_4)^{\gamma-1} = T_c \cdot T_r (V_3 V_1)^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow V_2 V_4 = V_3 V_1 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

$$\boxed{\eta_c = 1 - \frac{T_r}{T_c}}$$

Teoremele lui Carnot:

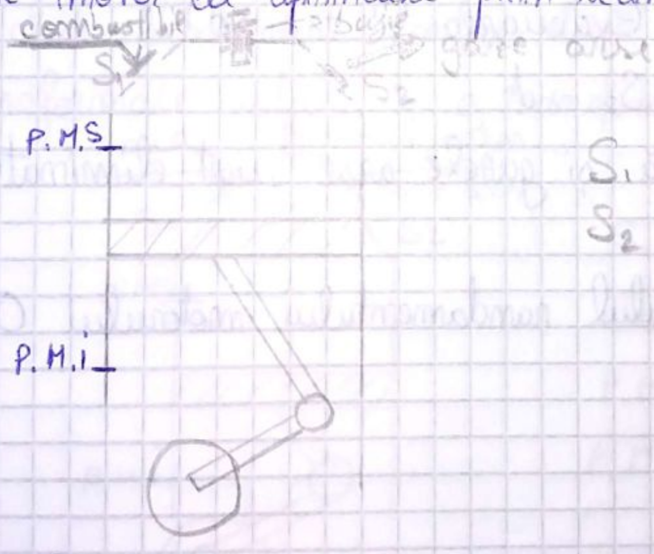
1) Randamentul ciclului Carnot depinde numai de temperaturile celor două termostate ($T_n$ și $T_c$) și nu depinde de substanța de lucru a motorului

2) Randamentul oricărui motor real este mai mic decât randamentul motorului Carnot care ar funcționa între aceleași temperaturi extreme.

## Motorul Otto

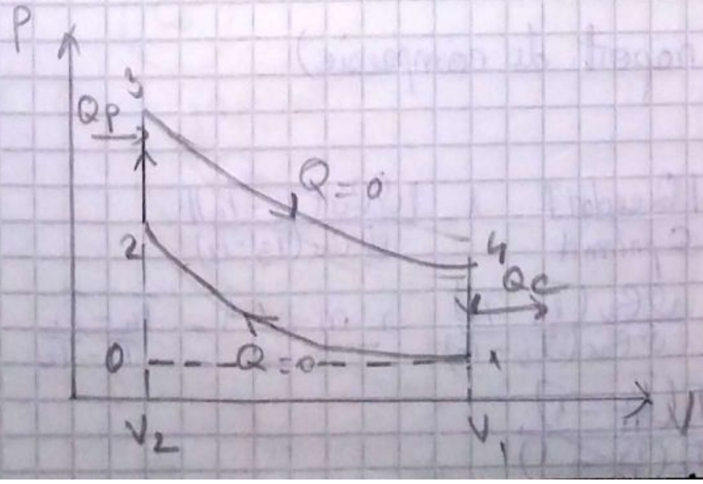
Caracteristici:

- este motor cu ardere internă, în 4 timpi
- combustibil folosit: vapori de benzină în amestec cu aer
- ciclul Otto ideal conține două adiabatice și două transformări izocore
- este motor cu aprindere prin scânteie




$S_1$ - supapă de admisie

$S_2$ - supapă de evacuare



Functionarea motorului Otto:

Timpul I : Admisia (0 → 1)

$S_1 \to d$ ; $S_2 \to î$

Pistonul coboară și în cilindru intră combustibilul la presiune constantă

Timpul II : Compresia (1 → 2)

$S_1 \to î$ ; $S_2 \to î$

Pistonul urcă și comprimă adiabatic combustibilul

Timpul III : Aprinderea și detenta (2 → 3 → 4) TIMP MOTOR

$S_1 \to î$ ; $S_2 \to î$

Bujia produce o scânteie, combustibilul se aprinde, presiunea crește, iar gazele rezultate împing pistonul efectuând astfel lucru mecanic

Timpul IV : Evacuarea (4 → 1 → 0)

$S_1 \to î$ ; $S_2 \to d$

Pistonul urcă și gazele arse sunt eliminate din cilindru

Calculul randamentului motorului Otto

Se cunosc:

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ (raport de compresie)

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{cedat}|}{Q_{primit}} = 1 - \frac{|\nu C_v (T_1 - T_4)|}{\nu C_v (T_3 - T_2)}$$

$$\eta = 1 - \frac{\nu C_v (T_4 - T_1)}{\nu C_v (T_3 - T_2)} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}$$

$Tr\ 1 \to 2\ (ad)$: $\underline{T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}$

$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$

$Tr\ 3 \to 4\ (ad)$ $\underline{T_4 V_1^{\gamma-1} = T_3 V_2^{\gamma-1}} \Rightarrow$

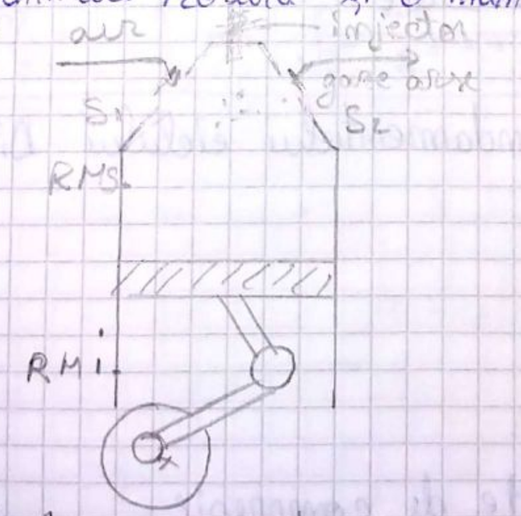
$\Rightarrow \frac{T_4}{T_1} \frac{\cancel{V_1^{\gamma-1}}}{\cancel{V_1^{\gamma-1}}} = \frac{T_3}{T_2} \frac{\cancel{V_2^{\gamma-1}}}{\cancel{V_2^{\gamma-1}}} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow$

$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}}$

# MOTORUL DIESEL

## Caracteristici

- este motor cu ardere internă, în 4 timpi
- combustibil folosit: motorina
- este motor cu aprindere prin injecție
- ciclul Diesel ideal conține două transformări adiabatice, o transformare izobară și o transformare izocoră

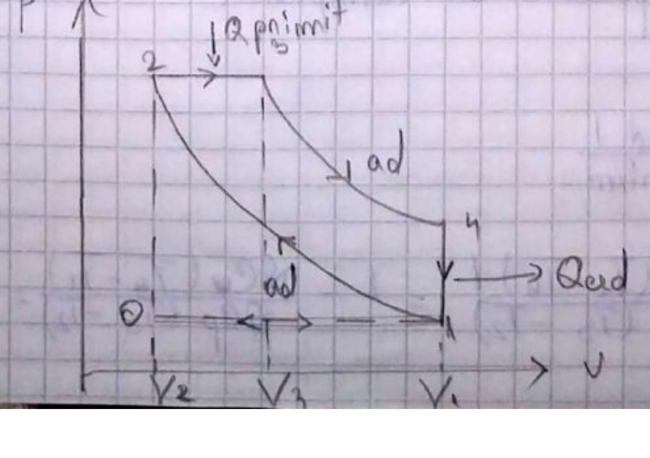



$S_1$ - supapa de admisie

$S_2$ - supapa de evacuare

P.M.S - punct mort superior

P.M.I - punct mort inferior



FUNCȚIONAREA

Timp I : Admisia (0 → 1)

$S_1 \to d$, $S_2 \to î$, pistonul coboară și în cilindru intră aer la presiune atmosferică

Timp II : Compresia (1 → 2)

$S_1 \to î$, $S_2 \to î$, pistonul urcă și comprimă adiabatic aerul care ajunge la presiune de aproximativ de 35 atm și temperatură de 700°C.

Timp III : Injecția, arderea și detenta (2 → 3 → 4)

$S_1 \to î$, $S_2 \to î$, în cilindru se pulverizează motorină care se autoaprinde ; pistonul este împins efectuând lucru mecanic

TIMP III = TIMP MOTOR

Timp IV : Evacuarea (4 → 1 → 0)

$S_1 \to î$, $S_2 \to d$, pistonul urcă, volumul scade și gazele arse sunt evacuate

Calculul randamentului ciclului Diesel

Se cunosc:

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

$\left.\begin{array}{l} \varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \\ \rho = \frac{V_3}{V_2} \end{array}\right\}$ rapoarte de compresie

$\eta = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{Q_{prim}}$

$\eta = 1 - \frac{|\nu C_v (T_1 - T_4)|}{\nu C_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{\nu C_v (T_4 - T_1)}{\nu C_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{T_1}{T_2} \left( \frac{\frac{T_4}{T_1} \cdots}{\frac{T_3}{T_2} \cdots} \right.$

1→2 : ad : $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \boxed{\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}}$$

2→3 : izobară : $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} \Rightarrow \boxed{\frac{T_3}{T_2} = \rho}$

3→4 : adiabatică: $T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_1^{\gamma-1}$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{\rho \cancel{V_2}}{\varepsilon \cancel{V_2}}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{\gamma-1} \quad (*)$$

Din $\frac{T_3}{T_2} = \rho \Rightarrow T_3 = \rho T_2$

Din $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \Rightarrow T_2 = T_1 \varepsilon^{\gamma-1}$

$\Rightarrow T_3 = \rho T_1 \cdot \varepsilon^{\gamma-1} \Rightarrow$

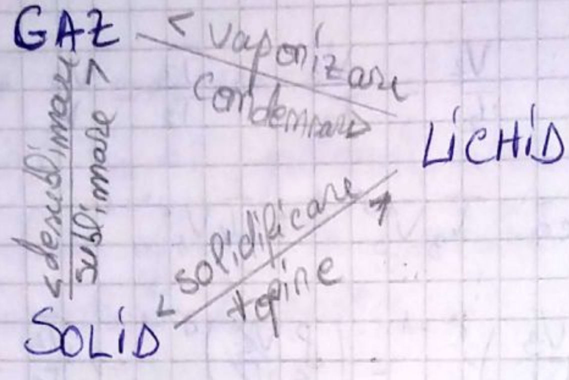
$$\overset{*}{\Rightarrow} \frac{T_4}{\rho T_1 \cancel{\varepsilon^{\gamma-1}}} = \frac{\rho^{\gamma-1}}{\cancel{\varepsilon^{\gamma-1}}} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \rho \cdot \rho^{\gamma-1} \Rightarrow \boxed{\frac{T_4}{T_1} = \rho^{\gamma}}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{\rho^{\gamma}-1}{\rho-1} = 1 - \frac{\rho^{\gamma}-1}{\gamma \cdot \varepsilon^{\gamma-1} \cdot (\rho-1)}$$

$$\boxed{\eta = 1 - \frac{\rho^{\gamma}-1}{\gamma \cdot \varepsilon^{\gamma-1} \cdot (\rho-1)}}$$

# TRANSFORMĂRI DE FAZĂ

## 1. Stări de agregare




Def: Transformările de fază de ordin I reprezintă trecerea substanței dintr-o fază în alta însoțită cu schimb de căldură cu mediul exterior

Transformările de stare de agregare sunt transformări de faze de ordinul I.

Substanța primește căldură în topire, vaporizare, cristalizare și cedează în solidificare, sublimare și desublimare

Def: Căldura latentă specifică (not lamda = $\lambda$) este căldura necesară unității de masă dintr-o substanță pentru a trece dintr-o stare de agregare în alta

$$\lambda = \frac{Q}{m} \quad , \quad [\lambda]_{SI} = \frac{J}{kg}$$

$$\lambda_{vap} = \lambda_{cond}$$

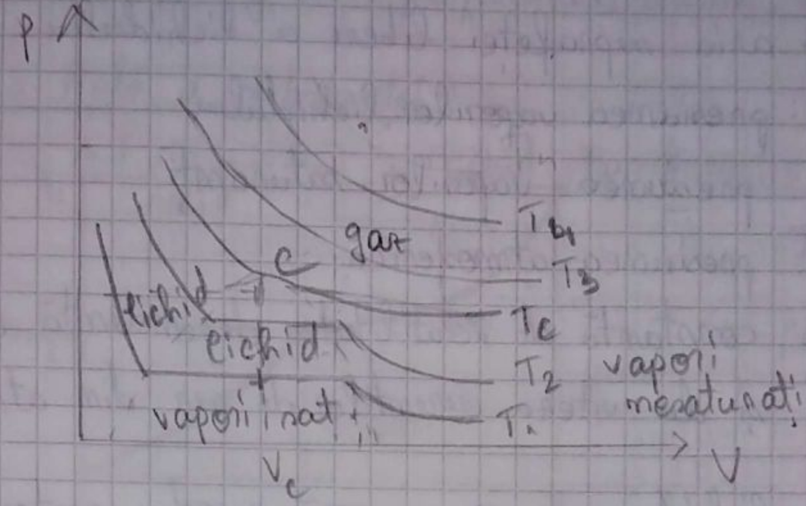
$$\lambda_{sublim} = \lambda_{desublim}$$

$$\lambda_{topire} = \lambda_{solid}$$

$$\lambda_{sublim} = \lambda_{topire} + \lambda_{vap}$$

2. Izotermele lui Andrews. Starea critică

Izotermele lui Andrews sunt reprezentări în p-V obținute prin comprimarea la temperatură constantă a unui gaz real




Def: Vapori saturați = vapori aflați în echilibru dinamic cu faza lichidă din care provin (sau cu faza solidă)

Def: Echilibru dinamic = nr de molecule care trec din faza lichidă în faza de vapori este egal cu nr de molecule care trec din faza de vapori în faza lichidă în același timp.

3. Vaporizarea și condensare

- Vaporizare în volum limitat
  - vaporizare în vid
  - vaporizare în atmosferă gazoasă
- Vaporizare în ~~atmo~~ volum nelimitat
  - evaporare: are loc numai la suprafața lichidului
  - fierbere: are loc în toată masa lichidului

Evaporarea: viteza de evaporare

$$v = k \cdot \frac{S(p_s - p_v)}{p_o}$$

S: aria suprafeței libere a lichidului

$p_v$: presiunea vaporilor lichidului

$p_s$: presiunea vaporilor saturanți

$p_o$: presiunea atmosferică

k: constantă de volatilitate dependentă de natura lichidului și de viteza curenților de aer din atmosferă

Ex de lichide care se evaporă repede: acetonă, alcool, eter, spirt.

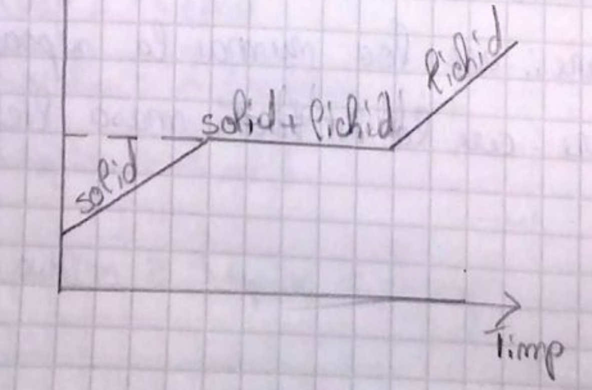
Fierberea

Temperatura de fierbere depinde de presiune (crește odată cu creșterea presiunii)

Condensarea

Este transformarea vapori - lichid însoțită de pierdere de căldură. Explică roua, formarea norilor, distilarea

Topirea și solidificarea



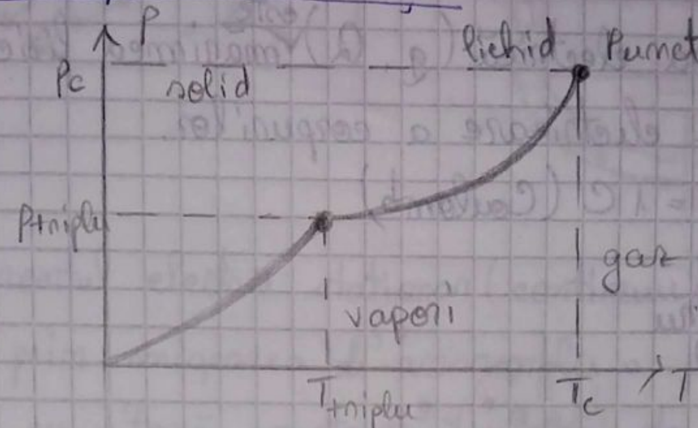

SOLIDE CRISTALINE

## Sublimarea și desublimarea

Sublimare exemple: gheața, naftalina, iodul, sulful

Desublimare exemple: gheața pe parbriz, bruma, chiciura

## Starea tiplă a substanței




$T_{triplu} = 273{,}16\ K$

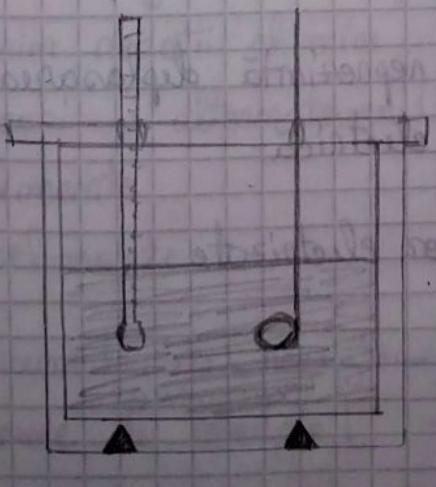
$p_{triplu} = 0{,}0061 \cdot 10^5\ Pa$

Un kelvin reprezintă $\frac{1}{273{,}16}$ din temperatura stării triple a apei, căreia i s-a atribuie prin convenție temperatura termodinamică de 273,16 kelvin.

## CALORIMETRIE

Calorimetria este metodă experimentală de determinare a căldurilor, a coeficienților calorici și a căldurilor latente specifice.

Calorimetrul permite schimbul de căldură dintre corpurile aflate în interior și împiedică schimbul de căldură cu mediul exterior



$C = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = C \cdot \Delta t$

$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta t$

$\lambda = \frac{Q}{m} \Rightarrow Q = m \cdot \lambda$

Ec calorimetrică: $\boxed{Q_{prim} = |Q_{ced}|}$

# CAP II : PRODUCEREA ȘI UTILIZAREA CURENTULUI CONTINUU

## Curentul electric. Intensitatea curentului electric. Tensiunea elecctrică.

Def: Sarcina electrică ($q$, $Q$) este mărimea fizică ce caracterizează starea de electrizare a corpurilor.

$[q]_{S.I.} = 1\,C$ (Coulomb)

Atom: → neutru ($Q = 0$)


Sarcina electrică a protonului:

$q_p = 1,6 \cdot 10^{-19}\,C$

Sarcina electrică a electronului:

$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}\,C$

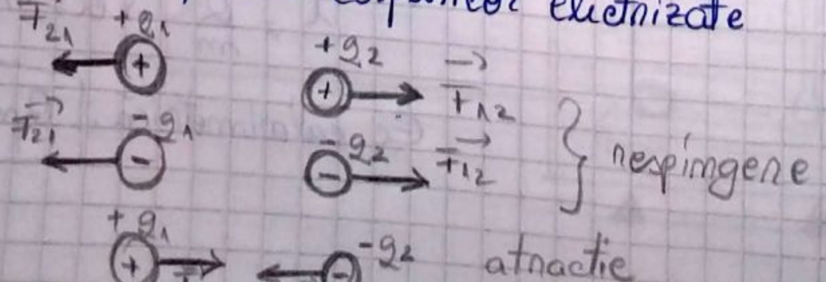
Not. $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\,C$ (sarcina electrică elementară)

$q_p = e$ ; $q_e = -e$

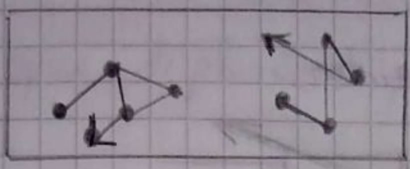
Purtătorii de sarcină electrică liberi sunt electronii în metale și ionii pozitivi și negativi în soluții.

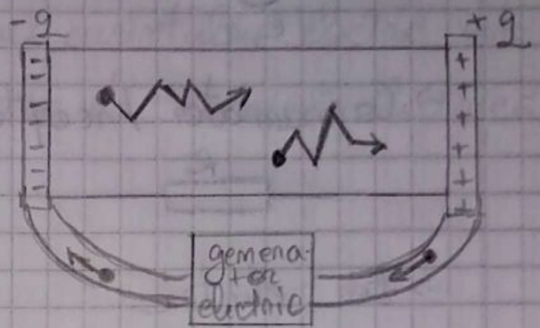
Def: Curentul electric reprezintă deplasarea ordonată a purtătorilor de sarcină electrică.

Interacțiunea corpurilor electrizate



Metalele sunt rețele cristaline constituite din ioni pozitivi fixați în nodurile rețelei printre care se deplasează dezordonat, haotic electroni care formează „gazul electronic”






Def: Curentul electric staționar (continuu) este curentul caracterizat prin mișcarea de ansamblu a purtătorilor de sarcină electrică cu viteză constantă (viteză de drift)

Obs: Curentul alternativ este caracterizat de mișcări oscilatorii ale purtătorilor de sarcină electrică.

Pentru ca printr-un conductor electric să treacă curent electric este necesar ca la capetele conductorului să se mențină o tensiune electrică (diferență de potențial), furnizată de un generator electric.

Def: Generatorul electric transformă un anumit tip de energie în energie electrică

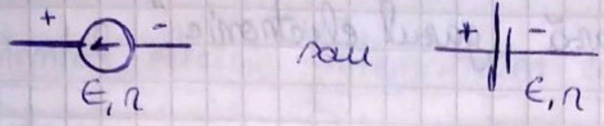
ex: • elemente galvanice și acumulatoare (baterii) → energie obținută prin reacții chimice.

- dinamuri și alternatoare (energie mecanică transformată)
- fotoelemente
- termoelemente

Def: Consumatoarele (receptoarele) transformă energia electrică în alte forme de energie

Simboluri ale unui circuit:

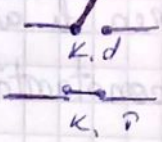
-> Generator de tensiune continuă



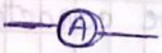

-> Consumator / receptor / rezistor:


-> Bec electric:

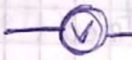
-> Întrerupător [ deschis
                       închis



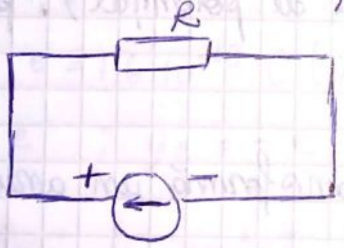

-> Ampermetru




-> Voltmetru




Def: Circuitul simplu conține un generator electric, un consumator și două fire (conductoare) de legătură.




Def: Intensitatea curentului electric este mărimea fi-zică scalară și fundamentală egală cu sarcina electrică ce străbate secțiunea transversală a unui conductor în unitate de timp. (not $I$)

$I = \frac{q}{\Delta t}$  $q = N \cdot e \Rightarrow I = \frac{N \cdot e}{\Delta t}$  N - nr de electroni

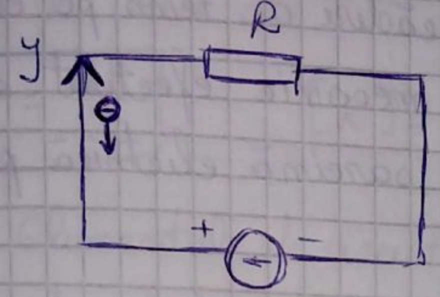
$[I]_{S.I} = 1\ A$ (Amper)

↳ unit fundamentală

Din $I = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow q = I \cdot \Delta t$

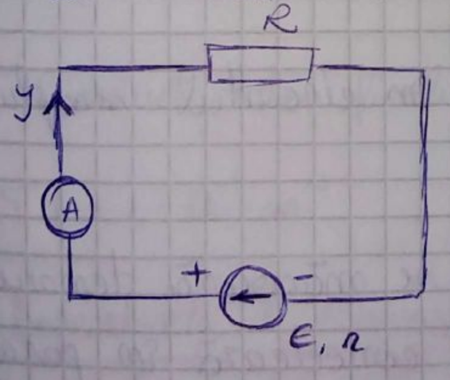
$[q]_{S.I} = 1\ C = 1\ A \cdot s$

Obs: ! Prin convenție: sensul curentului electric este sensul opus deplasării purtătorilor de sarcină electrică negativă




Prin circuitul exterior generatorului sensul curentului electric este de la borna pozitivă la borna negativă. Prin interiorul generatorului sensul curentului electric de la borna negativă la cea pozitivă

Instrumentul cu care se măsoară intensitatea curentului electric se numește ampermetru și se conectează în serie cu elementele de circuit




~~Tensiu~~ $L_{tot} = L_{ext} + L_{int}$

$$\frac{L_{tot}}{q} = \frac{L_{ext} + L_{int}}{q} = \frac{L_{ext}}{q} + \frac{L_{int}}{q}$$

Def: Tensiunea la bornele generatorului numită și căderea de tensiune pe circuitul exterior generatorului.

Reprezintă lucrul mecanic efectuat de generator la deplasarea unității de sarcină electrică prin circuitul exterior.

Not: $\boxed{U = \frac{L_{ext}}{q}}$ $[U]_{S.I} = 1\frac{J}{C} = 1V$ (Volt)

Def: Tensiunea internă (cădere de tens pe circuitul interior) reprezintă lucrul mecanic efectuat de generator la deplasarea unității de sarcină electrică prin interiorul generatorului.

Not $u$.

$$\boxed{u = \frac{L_{int}}{q}}$$

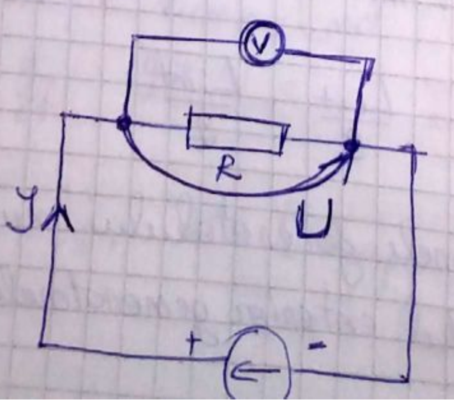
Def: Tensiunea electromotoare (not $E$) reprezintă lucrul mecanic efectuat de generator la deplasarea unității de sarcină electrică prin întregul circuit.

$\boxed{E = \frac{L_{tot}}{q}}$ $[E] = 1V$

Relatia între tensiuni în circuitul simplu este:

$$\boxed{E = U + u}$$

Instrumentul cu care se măsoară tensiunea se numește Voltmetru care se conectează în paralel cu elementele de circuit



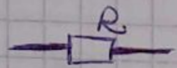
# REZISTENȚA ELECTRICĂ. LEGEA LUI OHM

Def: Rezistența electrică a unui conductor (consumator sau receptor) reprezintă raportul constant între tensiunea aplicată conductorului și intensitatea curentului electric ce trece prin conductor (la temperatură constantă).

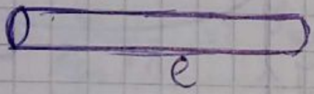
Not: R sau $\Omega$

$$\boxed{R = \frac{U}{I}} \qquad [R] = 1\frac{V}{A} = 1\,\Omega \text{ (Ohm)}$$

Obs: Elementul de circuit a cărui proprietate electrică este rezistența electrică se numește rezistor

Simbol. 


Rezistența firului conductor:




$$\boxed{R_{fir} = \rho\frac{l}{S}}$$

l - lungimea firului
S - aria secțiunii
~~$\rho$ - densitate~~
$\rho$ - rezistivitate electrică a materialului din care este făcut firul.

$$\boxed{\rho = \frac{R_{fir}\cdot S}{l}} \qquad [\rho]_{SI} = 1\cdot\frac{\Omega\cdot m^2}{m} = 1\,\Omega\cdot m$$

Conductivitatea firului electric $\sigma = \frac{1}{\rho}$

$[\sigma] = 1\cdot\Omega^{-1}\cdot m^{-1}$

Dependența de temperatură a rezistivității

$$\boxed{\rho = \rho_0[1+\alpha(t-t_0)]}$$

$\rho_0$ = rezistivitatea la temp $t_0$ (°C)
$\rho$ = rezistivitatea la temp $t$ (°C)
$\alpha$ = coeficient termic al rezistiv.

$[\alpha] = 1\,K^{-1} = grad^{-1}$

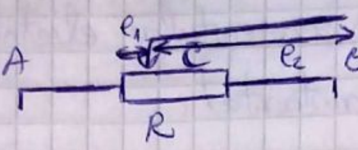
Dacă $t_0 = 0°C \Rightarrow \rho_0$: rezistivitatea la 0°C

$$\boxed{\rho = \rho_0(1+\alpha t)} \;\Big|\cdot\frac{l}{S} \Rightarrow \rho\frac{l}{S} = \rho_0\frac{l}{S}(1+\alpha t) \Rightarrow \boxed{R_t = R_0(1+\alpha t)}$$

## ~~Rezistența~~

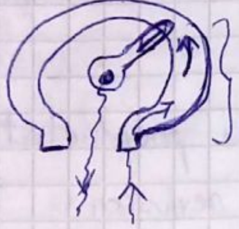
Rezistoare cu rezistența electrică variabilă

a) Reostatul cu cursor:



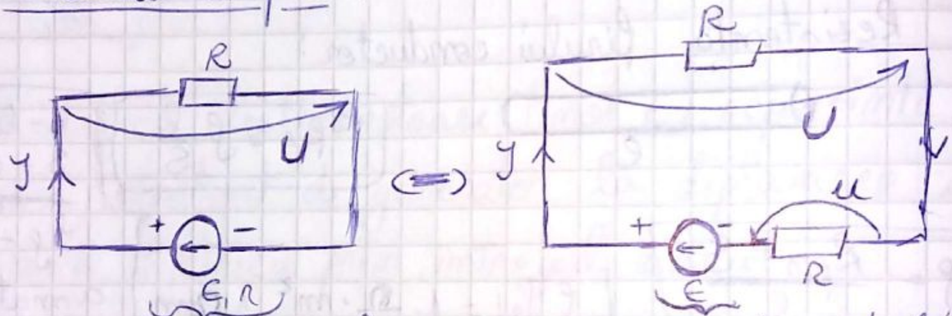

$R = \rho \frac{l}{S}$ $R_{AC} = \rho \frac{l_1}{S}$ $R_{CB} = \rho \frac{l_2}{S}$

b) Potențiometrul (cu buton)



} $l$ variabilă $\Rightarrow R$ variabilă

Circuitul simplu:




generator real ... generator ideal (fără rez internă)

Din $R = \frac{U}{J} \Rightarrow \boxed{J = \frac{U}{R}}$ Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit

ENUNȚ: Intensitatea curentului electric printr-o porțiune de circuit este direct proporțională cu tensiunea aplicată porțiunii de circuit și invers proporțională cu rezistența electrică a porțiunii de circuit.

$J = \frac{u}{r} \Rightarrow u = J \cdot r$

$J = \frac{U}{R} \Rightarrow U = J \cdot R$

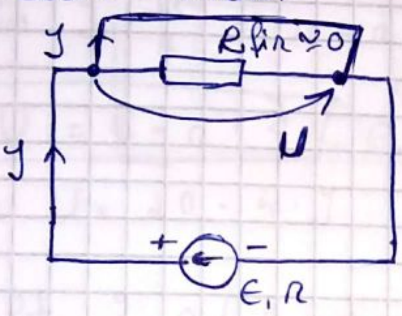
r: rezistența internă a generatorului

$E = U + u \Rightarrow E = I\cdot R + I\cdot r \Rightarrow E = I(R+r) \Rightarrow \boxed{I = \frac{E}{R+r}}$

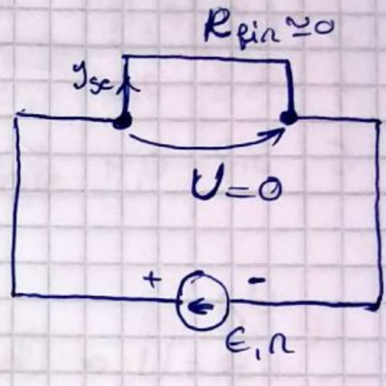
legea lui Ohm pt întregul circuit

ENUNȚ: Intensitatea curentului electric prin circuitul simplu este direct proporțională cu tensiunea electromotoare a generatorului și invers proporțională cu rezistența totală a circuitului.

Scurt - circuit



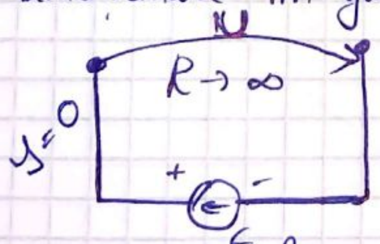

$\Leftrightarrow$




$I_{sc} = \frac{E}{\underbrace{R_{fir}}_{0} + r} \Rightarrow I_{sc} = \frac{E}{r}$

Caracteristicile unui generator electric sunt $E$, $r$, $I_{sc}$

Funcționare în gol: $R \to \infty$



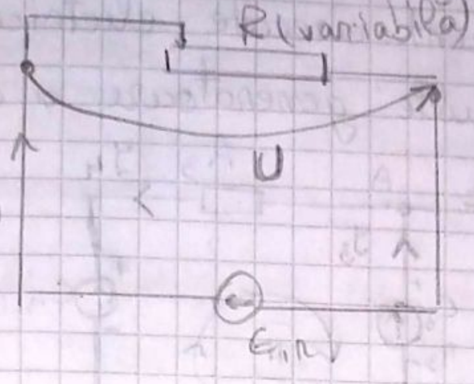

$I = \frac{E}{R+r} = \frac{E}{\infty} = 0$

$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = I\cdot R = 0\cdot\infty$ (nedeterminare)

$$\left.\begin{array}{l} E = U + u \Rightarrow U = E - u \\ I = \frac{u}{R} \Rightarrow u = I\cdot r = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \underline{\underline{U = E}}$$

Caracteristica curent-tensiune a unui rezistor: ~~...~~ graficul $I = f(U)$ sau $U = f(I)$

# Caracteristica U-J a unui generator




Din $J = \frac{U}{R} \Rightarrow U = R \cdot J$

var var

$E = U + u \Rightarrow U = E - u$

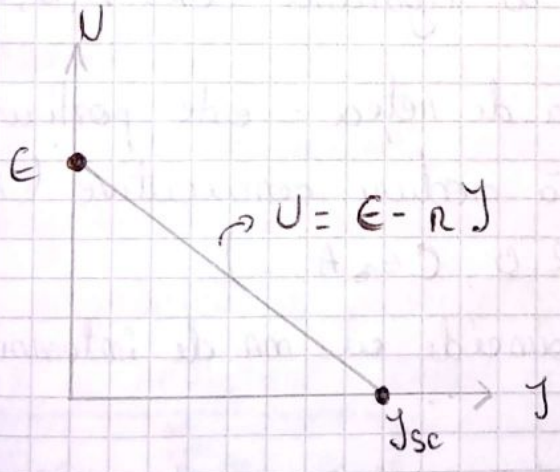
Din $J = \frac{u}{r} \Rightarrow u = r \cdot J$

$\boxed{U = E - r \cdot J}$ E, r: constante

ex: $U = 20 - 4 \cdot J$

Pt $J = 0$ (funcționare în gol) $\Rightarrow U = E$

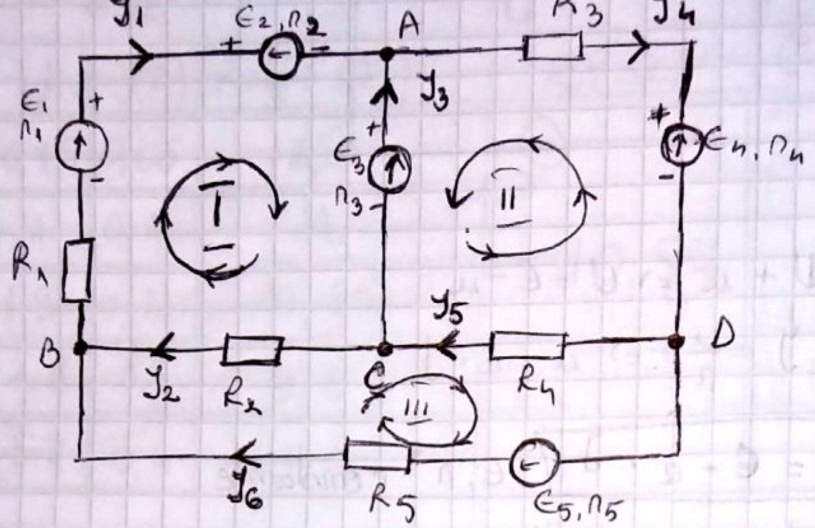
Pt $U = 0 \Rightarrow 0 = E - rJ \Rightarrow rJ = E \Rightarrow J = \frac{E}{r} = J_{sc}$ (scurt circuit



# TEOREMELE LUI KIRCHHOFF

Rețelele electrice sunt circuite electrice cu ramificații, care conțin mai multe generatoare și consumatoare

Ex:




Elementele unei rețele:

• Nodul de rețea - este punctul în care se întâlnesc cel puțin 3 conductoare de legătură (ex: A, B, C, D)

• Latura sau ramura de rețea - este porțiunea de rețea cuprinsă între două noduri consecutive (fără ramificații) (ex: $BR_2C$, $AE_2E_1R_1B$, $CE_3A$...)

Obs: Nr de laturi coincide cu nr de intensități ale curenților electrici

Intensitatea curentului electric este aceeași în orice punct al unei laturi de rețea.

• Ochiul de rețea este conturul închis alcătuit din ramuri de rețea (ex: I, II, III)

## TEOREMA I a lui Kirchhoff:

ENUNȚ: Suma algebrică a intensităților curenților electrici care se întâlnesc într-un nod de rețea este egală cu 0.

$$\boxed{\sum_{i=1}^{n} I_i = 0}$$

Convenție: $I_{intră} \rightarrow$ cu „+"

$I_{ies} \rightarrow$ cu „−"

Nod A: $I_1 + I_3 - I_4 = 0$

Nod B: $-I_1 + I_2 + I_6 = 0$

Nod C: $-I_2 - I_3 + I_5 = 0$

Nod D: $I_4 - I_5 - I_6 = 0$

Obs: Pentru o rețea cu N noduri se obțin $(N-1)$ ecuații independente

## TEOREMA A II-A A LUI KIRCHHOFF:

ENUNȚ: De-a lungul conturului unui ochi de rețea suma algebrică a tensiunilor electromotoare este egală cu suma algebrică a produselor dintre intensitatea curentului electric și rezistența totală pe fiecare ramură a ochiului.

$$\boxed{\sum_{i=1}^{n} E_i = \sum_{j=1}^{m} I_j \cdot R_j}$$

$n \rightarrow$ nr de generatoare

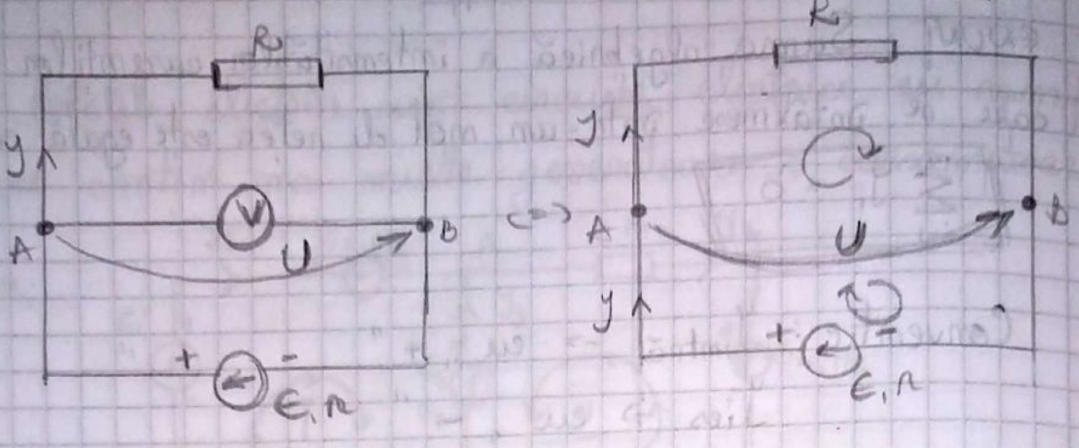
$m \rightarrow$ nr de ramuri

Ochiul I: $E_1 - E_2 - E_3 = I_1(R_1 + r_1 + r_2) + I_2 \cdot R_2 - I_3\, r_3$

Ochiul II: $-E_3 + E_4 = -I_3 \cdot r_3 - I_4(R_3 + r_4) - I_5 \cdot R_4$

Ochiul III: $E_5 = -I_2 R - I_5 R_4 + I_6(R_5 + r_5)$

## Calculul tensiunilor

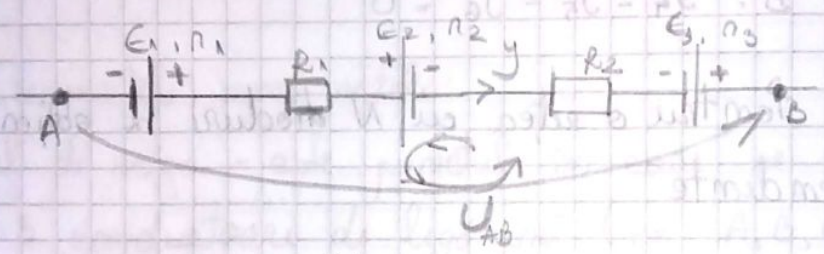



Th a II -a kirchhoff:

$$\left.\begin{array}{l} 0 = JR - U \Rightarrow U = JR \\ E = J\cdot r + U \Rightarrow U = E - Jr \end{array}\right\} \Rightarrow E - Jr = JR \Rightarrow E = J(R+r)$$

$$J = \frac{E}{R+r}$$

Ex:



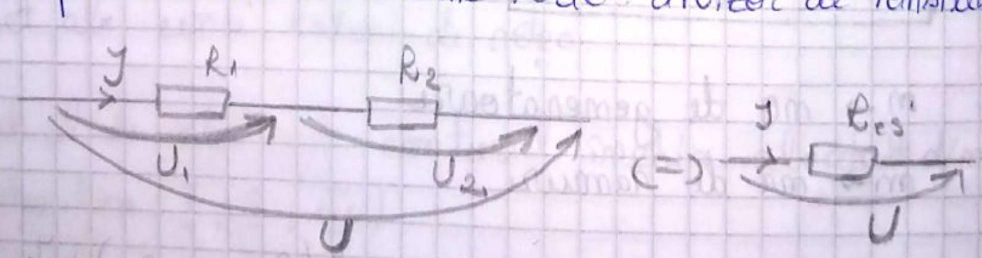

$$-E_1 + E_2 - E_3 = -J(R_1 + R_2 + r_1 + r_2 + r_3) + U_{AB}$$

$$U_{AB} = -E_1 + E_2 - E_3 + J(R_1 + R_2 + r_1 + r_2 + r_3)$$

Obs: $U_{AB} = -U_{BA}$

## GRUPAREA REZISTOARELOR

1. Gruparea rezistoarelor în serie: divizor de tensiune




Obs: Grupare serie $\begin{cases} J \to \text{același} \\ U \to \text{diferite} \end{cases}$

$R_{es}$: rezistența echivalentă a grupării serie

$U = U_1 + U_2$

$I = \frac{U_1}{R_1} \Rightarrow U_1 = IR_1$

$I = \frac{U_2}{R_2} \Rightarrow U_2 = IR_2$

$I = \frac{U}{R_{es}} \Rightarrow U = I \cdot R_{es}$

$I R_{es} = IR_1 + IR_2 \mid : I$

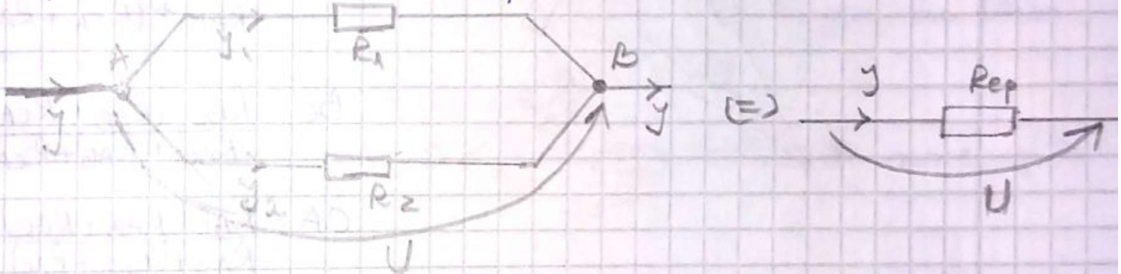
$\boxed{R_{es} = R_1 + R_2}$

Pentru n rezistoare grupate în serie $\Rightarrow \boxed{R_{es} = \sum_{i=1}^{n} R_i}$

Pentru n rezistoare identice conectate în serie: $R_{es} = \underbrace{R + R + \ldots + R}_{n}$

$R_{es} = nR$

2. Gruparea rezistoarelor în paralel: divizor de curent




Obs.: Grupare paralel: $\begin{cases} U : \text{aceeași} \\ I : \text{diferite} \end{cases}$

$R_{ep}$: rezistența echivalentă a grupării în paralel

Nod A: $I - I_1 - I_2 = 0 \Rightarrow I = I_1 + I_2$

$I_1 = \frac{U}{R_1}$ ; $I_2 = \frac{U}{R_2}$ ; $I = \frac{U}{R_{ep}}$

$\frac{U}{R_{ep}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \mid : U$

$\frac{1}{R_{ep}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Pentru n rezistoare conectate în paralel: $\boxed{\frac{1}{R_{ep}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}} \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow \boxed{R_{ep} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}}}$

Ex: Pt 2 rezistoare conectate în paralel

$$\frac{1}{R_{ep}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R_{ep}} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2} \Rightarrow \boxed{R_{ep} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

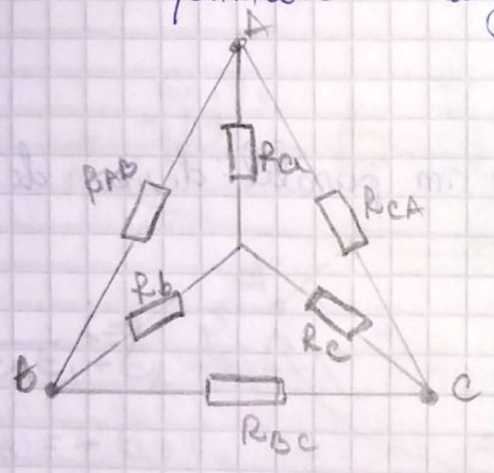
Pt 3 rezistoare conectate în paralel:

$$\frac{1}{R_{ep}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{R_{ep}} = \frac{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}{R_1 R_2 R_3} \Rightarrow \boxed{R_{ep} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}}$$

Pt n rezistoare identice conectate în paralel: $\frac{1}{R_{ep}} = \underbrace{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots \frac{1}{R}}_{n}$

$$\frac{1}{R_{ep}} = \frac{n}{R} \Rightarrow \boxed{R_{ep} = \frac{R}{n}}$$

Transformarea triunghi ($\Delta$) → stea ($\curlywedge$)




$$R_{e\Delta} = R_{e\curlywedge}$$

$$AB: \frac{R_{AB}(R_{CA} + R_{CB})}{R_{AB} + (R_{CA} + R_{BC})} = R_a + R_b \quad (1)$$

$$BC: \frac{R_{BC}(R_{AB} + R_{CA})}{R_{BC} + (R_{AB} + R_{CA})} = R_b + R_c \quad (2)$$

$$CA: \frac{R_{AC}(R_{AB} + R_{BC})}{R_{AC} + (R_{AB} + R_{BC})} = R_a + R_c \quad (3)$$

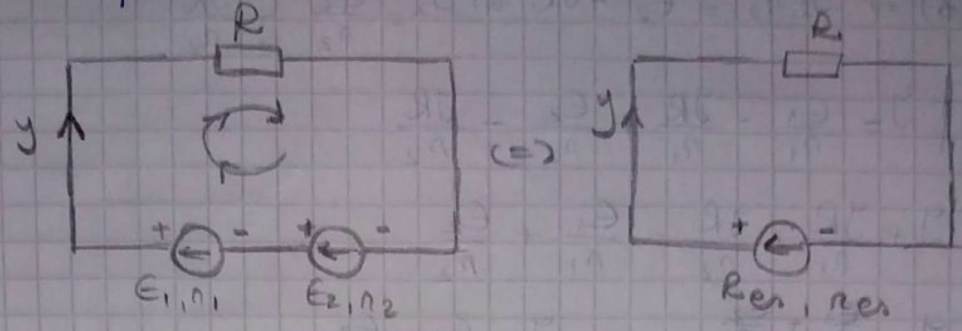
$$(1)+(2)-(3) \Rightarrow 2R_b = \frac{\cancel{R_{AB} \cdot R_{CA}} + R_{AB} \cdot R_{BC} + R_{BC} R_{AB} + \cancel{R_{BC} R_{CA}} - \cancel{R_{CA} R_{AB}} - \cancel{R_{CA} R_{BC}}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}$$

$$2R_b = \frac{2 R_{AB} R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} \Rightarrow \boxed{R_b = \frac{R_{AB} R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}}$$

$$\boxed{R_a = \frac{R_{AB} \cdot R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}} \qquad \boxed{R_c = \frac{R_{BC} \cdot R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}}$$

# Gruparea generatoarelor electrice

1. Gruparea în serie




$$E_1 + E_2 = I(R + r_1 + r_2)$$

$$\left.\begin{aligned} I &= \frac{E_1 + E_2}{R + r_1 + r_2} \\ I &= \frac{E_{es}}{R + r_{es}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{aligned} E_{es} &= E_1 + E_2 \\ r_{es} &= r_1 + r_2 \end{aligned}$$

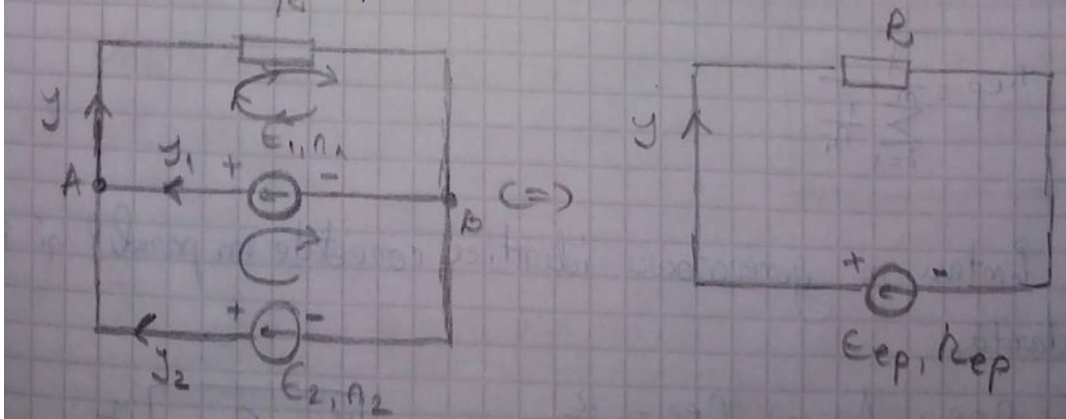
Pentru n generatoare în serie și în concordanță avem:

* $E_{es} = \sum_{i=1}^{n} E_i$
* $r_{es} = \sum_{i=1}^{n} r_i$ $\Rightarrow$ $\boxed{I = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} E_i}{R + \sum_{i=1}^{n} r_i}}$ legea lui Ohm

Pentru n generatoare identice conectate în serie și în concordanță

* $E_{es} = n \cdot E$
* $r_{es} = n \cdot r$ $\Rightarrow$ $\boxed{I = \dfrac{nE}{R + nr}}$

2. Gruparea în paralel




Nod A: $I = I_1 + I_2$ (1)

$\theta_1$: $E_1 = IR + I_1 r_1$ (2) $\Rightarrow$ $E_2 = IR + I_2 r_2$ (3)

$E_2 - E_1 = I_2 r_2 - I_1 r_1$ (+)

$(2) \Rightarrow \cancel{I+R}\ I_1 r_1 = E_1 - IR \Rightarrow I_1 = \frac{E_1}{r_1} - \frac{IR}{r_1}$

$(3) \Rightarrow I_2 r_2 = E_2 - IR \Rightarrow I_2 = \frac{E_2}{r_2} - \frac{IR}{r_2}$

$$I = \frac{E_1}{r_1} - \frac{IR}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} - \frac{IR}{r_2}$$

$$I + \frac{IR}{r_1} + \frac{IR}{r_2} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}$$

$$I = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}}{1 + \frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2}} \Rightarrow I = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}}{1 + R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)}$$

Not: $\frac{1}{r_{ep}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow r_{ep} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}$

$$I = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}}{1 + R \cdot \frac{1}{r_{ep}}} \Rightarrow I = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}}{\frac{r_{ep} + R}{r_{ep}}} \Rightarrow I = \frac{\left(\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}\right) r_{ep}}{R + r_{ep}}$$

$$I = \frac{E_{ep}}{R + r_{ep}}$$

$$\Rightarrow \boxed{E_{ep} = \left(\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2}\right) \cdot r_{ep}}$$

$$\boxed{r_{ep} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}}$$

Pentru $n$ generatoare conectate în paralel și în concordanță

$$\boxed{E_{ep} = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{E_i}{r_i}\right) \cdot r_{ep} = \left(\sum_{i=1}^{n} I_{sc_i}\right) \cdot r_{ep}}$$

$$\boxed{r_{ep} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{r_i}}}$$

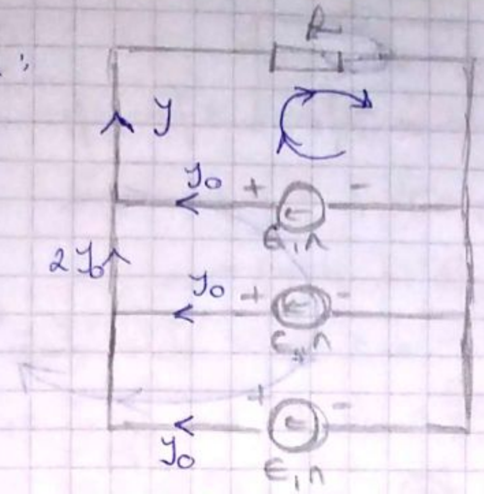
Pentru $n$ generatoare identice conectate în paralel și în concordanță

$$r_{ep} = \frac{1}{\frac{n}{r}} \Rightarrow \boxed{r_{ep} = \frac{r}{n}}$$

$$\Rightarrow \boxed{I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R}}$$

$$E_{ep} = \cancel{n} \cdot \frac{E}{\cancel{r}} \cdot \frac{\cancel{r}}{\cancel{n}} \Rightarrow \boxed{E_{ep} = E}$$

Ex :




$$3 I_0 = I \Rightarrow I_0 = \frac{I}{3}$$

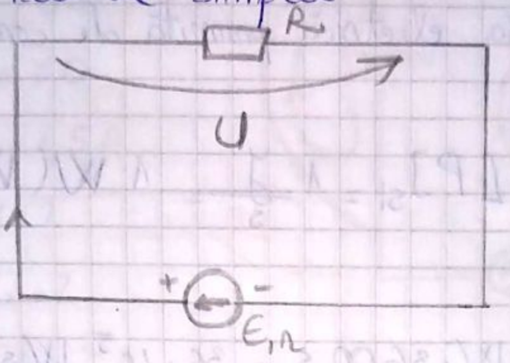
$$\epsilon = I_0 r + I R \Rightarrow \epsilon = \frac{I}{3} r + I R$$

$$\epsilon = I\left(R + \frac{r}{3}\right) \Rightarrow I = \frac{\epsilon}{R + \frac{r}{3}}$$

4.05.2016

## ENERGIA ȘI PUTEREA ELECTRICĂ

Circuitul simplu:




Din $U = \frac{L_{ext}}{q} \Rightarrow L_{ext} = U \cdot q$

Energia electrică : $W_{ext} = L_{ext}$

$W_{ext} = U \cdot q$

Din $I = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow q = I \cdot \Delta t$

$\Rightarrow \boxed{W_{ext} = U \cdot I \cdot \Delta t}$

$[W]_{SI} = 1\,J$ (Joule)

$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = R \cdot I$

$W_{ext} = U \cdot I \cdot \Delta t$

$\Rightarrow \boxed{W_{ext} = R \cdot I^2 \cdot \Delta t \Rightarrow W_{ext} = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t}$

$\boxed{W_{int} = u \cdot I \cdot \Delta t = r \cdot I^2 \cdot \Delta t = \frac{u^2}{r} \cdot \Delta t}$

$\boxed{W_{tot} = E \cdot I \cdot \Delta t = (R + r) I^2 \Delta t = \frac{E^2}{R + r} \cdot \Delta t}$

$W_{tot} = W_{ext} + W_{int}$

$W_{tot}$ – consumată (furnizată de generator); $W_{ext}$ – utilă; $W_{int}$ – inutilă (pierdere de energie)

Randamentul circuitului simplu

$\boxed{\eta = \frac{W_{ext}}{W_{tot}}}$  $\eta = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{E \cdot I \cdot \Delta t} = \frac{U}{E}$

$\eta = \frac{R \cdot I^2 \Delta t}{(R+r) I^2 \Delta t} = \frac{R}{R+r} < 100\%$

$$\boxed{\eta = \frac{U}{E} = \frac{R}{R+r}}$$

Def: Puterea electrică (not. P) a unui consumator reprezintă raportul dintre energia electrică primită de consumator și intervalul de timp

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad ; \quad [P]_{SI} = 1\frac{J}{s} = 1\,W\,(Watt)$$

$$1\,J = 1\,W \cdot s$$

$$\underline{1\,kWh} = 1000\,W \cdot 3600\,s = 36 \cdot 10^5\,Ws = \underline{36 \cdot 10^5\,J}$$

$$\boxed{P_{ext} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}}$$

$$\boxed{P_{int} = u \cdot I = r \cdot I^2 = \frac{u^2}{r}}$$

$$\boxed{P_{tot} = E \cdot I = (R+r)\,I^2 = \frac{E^2}{R+r}}$$

$$W_{tot} = W_{ext} + W_{int} \,|\, : \Delta t$$

$$\frac{W_{tot}}{\Delta t} = \frac{W_{ext} + W_{int}}{\Delta t} \Rightarrow \underset{\text{consumată}}{P_{tot}} = \underset{\text{pierdere}}{P_{int}} + \underset{\text{utilă}}{P_{ext}}$$

$$\boxed{\eta = \cancel{P_{tot}}\ \frac{P_{ext}}{P_{tot}}}$$

Valori nominale: valorile înscrise pe consumatorul electric

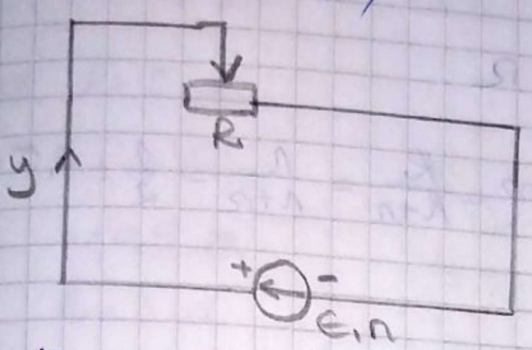
bec: $100\,W = P_{nominală} = P_n$

$220\,V = U_{nominală} = U_n$

T. 27, 28

# TRANSFERUL OPTIM DE PUTERE

Considerăm un circuit simplu cu rezistența circuitului exterior variabilă (R)




$P_{ext} \overset{not}{=} P = f(R)$

$P = R y^2$

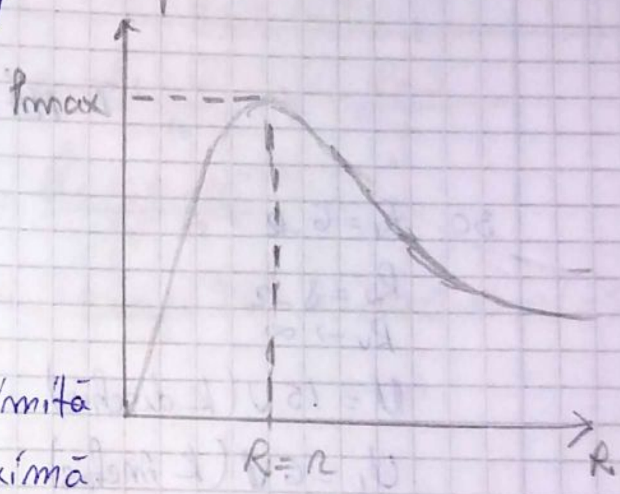
$R_{var} \Rightarrow y_{var}$

$y = \frac{E}{R+r} \Rightarrow \boxed{P = \frac{RE^2}{(R+r)^2}}$

Ex: $E = 12V$

$r = 4\,\Omega$

$P = \frac{144R}{(R+4)^2} \Rightarrow$ EXCEL $\Rightarrow$




Concluzie: Puterea electrică primită de circuitul exterior este maximă dacă rezistența circuitul exterior este egală cu rezistența internă a generatorului

$P_{max} = \frac{r \cdot E^2}{(r+r)^2} = \frac{rE^2}{4r^2} = \frac{E^2}{4r} \Rightarrow P_{max} = \frac{E^2}{4r}$ (caracteristică a sursei)

Demonstrație: $P = \frac{E^2 R}{R^2 + 2rR + r^2} \Rightarrow PR^2 + 2rPR + Pr^2 = E^2 R$

$PR^2 + (2rP - E^2)R + Pr^2 = 0$

$\Delta = (2rP - E^2)^2 - 4P^2R^2r^2$

$\Delta = \cancel{4r^2P^2} - 4rPE^2 + E^4 \cancel{- 4P^2Rr^2}$

$\Delta = E^2(E^2 - 4rP)$

$\Delta \geq 0 \Rightarrow E^2 - 4rP \geq 0$

$E^2 \geq 4rP \Rightarrow P \leq \frac{E^2}{4r} \Rightarrow P_{max} = \frac{E^2}{4r}$

$$P_{max} = \frac{E^2}{4r} = \frac{RE^2}{(R+r)^2} \Rightarrow (R+r)^2 = 4rR$$

$$R^2 + 2Rr + r^2 = 4rR$$

$$R^2 - 2rR + r^2 = 0$$

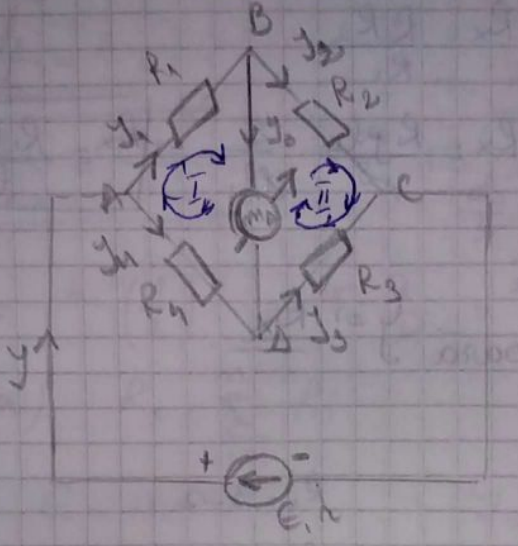
$$(R-r)^2 = 0 \Rightarrow R = r$$

Cand $R = r$, $P_{max} \Rightarrow \eta = \frac{R}{R+r} = \frac{r}{r+r} = \frac{1}{2} = 0{,}5 = 50\%$

$\eta = f(R)$ : $\eta = \frac{R}{R+r}$

Ex : $r = 4\,\Omega$

# Puntea Wheatstone




mA : galvanometru (mili - ampermetru)


Th. Kirchhoff:

A: $I = I_1 + I_4$

B: $I_1 = I_2 + I_0$

D: $I_4 + I_0 = I_3$

I: $0 = I_1 R_1 + I_0 \cdot R_A - I_4 R_4$

II: $0 = I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_0 R_A$

Dacă $I_0 = 0$: Punte echilibrată ⇒

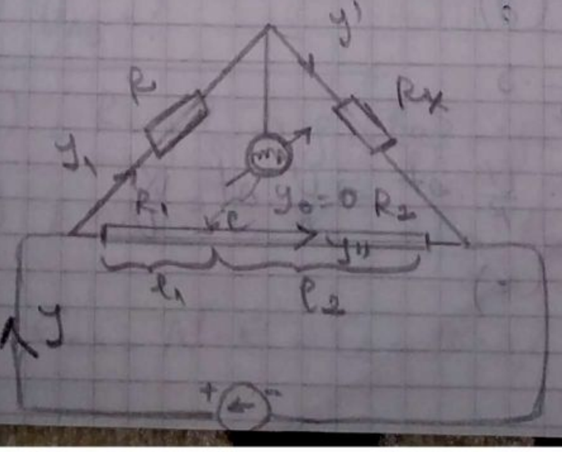
⇒ $I_1 = I_2$, $I_4 = I_3$

$$\begin{cases} I_1 R_1 = I_4 R_4 \\ I_2 R_2 = I_3 R_3 \end{cases} \quad (:)$$

$$\frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} = \frac{I_4 R_4}{I_3 R_3} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow \boxed{R_1 R_3 = R_2 R_4}$$

condiție de punte echilibrată

ex: $R_4 = R_x = ? \Rightarrow R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}$ când $I_0 = 0$: metodă de nul pt determinarea rezistențelor electrice

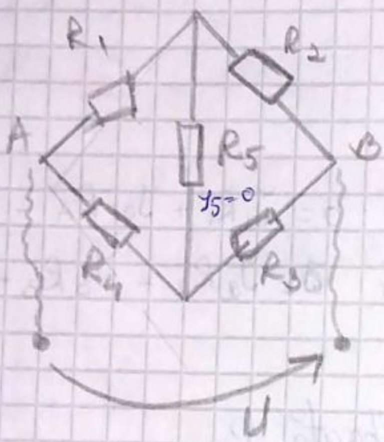


P4 $I_0 = 0$ (punte echilibrată) $\Rightarrow$

$$R \cdot R_2 = R_x \cdot R_1 \Rightarrow R_x = \frac{R \cdot R_2}{R_1}$$

$$R_x = \frac{R \cdot \rho\frac{l_2}{S}}{\rho\frac{l_1}{S}} \Rightarrow R_x = \frac{R \rho l_2}{\cancel{S}} \cdot \frac{\cancel{S}}{\rho l_1} \Rightarrow \boxed{R_x = \frac{R\, l_2}{l_1}}$$

ex: cu $R$ cunoscută
$l_1, l_2$ : se măsoară $\Big\} \Rightarrow \underline{R_x}$




$R_1 = 3\,\Omega$

$R_2 = 2\,\Omega$

$R_3 = 4\,\Omega$

$R_4 = 6\,\Omega$

$R_5 = 10\,\Omega$

$R_e = ?$ între A și B

Obs că: $R_1 R_3 = 12\,\Omega^2$
$R_2 \cdot R_4 = 12\,\Omega^2$ $\Big\} \Rightarrow R_1 R_3 = R_2 R_4 \Rightarrow$ punte echilibrată

$\Rightarrow I_5 = 0 \Rightarrow R_1, R_2 \rightarrow$ serie
$R_3, R_4 \rightarrow$ serie $\Rightarrow$

$$\Rightarrow R_e = \frac{(R_1+R_2)(R_4+R_3)}{(R_1+R_2)+(R_4+R_3)} = \frac{5 \cdot 10}{5+10} = \frac{50}{15} = \frac{10}{3} = 3,(3) \approx 3,33\,\Omega$$