

*Poznámky z*

# FYZIKY

pre 2. ročník  
gymnází  
a stredných škôl



**Autor:** Martin Šlota

**Zdroj:** <http://www.zones.sk>

Používanie materiálov zo ZONES.SK je povolené bez obmedzení iba na osobné účely a akékoľvek verejné publikovanie je bez predchádzajúceho súhlasu zakázané.

**OBSAH**

<b>OBSAH</b> .....	<b>2</b>
<b>ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI LÁTOK</b> .....	<b>4</b>
ZÁKLADNÉ POZNATKY Z MOLEKULOVEJ FYZIKY A TERMODYNAMIKY .....	4
<i>Kinetická teória stavby látok</i> .....	4
<i>Dôkazy neusporiadaného pohybu častíc v látkach</i> .....	4
<i>Častice v silovom poli susedných častíc</i> .....	4
<i>Modely štruktúr látok rozličných skupenstiev</i> .....	5
<i>Rovnovážny stav termodynamickej sústavy</i> .....	5
<i>Termodynamická teplota</i> .....	6
VNÚTORNÁ ENERGIA, PRÁCA, TEPLLO .....	7
<i>Merná tepelná kapacita</i> .....	7
<i>Kalorimeter</i> .....	7
<i>Prvý termodynamický zákon</i> .....	7
ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI PLYNNÉHO SKUPENSTVA LÁTOK .....	7
<i>Ideálny plyn</i> .....	7
<i>Stredná kvadratická rýchlosť</i> .....	7
<i>Teplota plynu z hľadiska molekulovej fyziky</i> .....	7
<i>Stavová rovnica ideálneho plynu</i> .....	8
<i>Izotermický dej s ideálnym plynom</i> .....	8
<i>Izochorický dej s ideálnym plynom</i> .....	8
<i>Izobarický dej s ideálnym plynom</i> .....	9
<i>Adiabatický dej s ideálnym plynom</i> .....	9
KRHOVÝ DEJ S IDEÁLNYM PLYNOM .....	10
<i>Práca plynu pri stálom a premenlivom tlaku</i> .....	10
<i>Carnotov cyklus</i> .....	10
ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTOK .....	11
<i>Kryštalické a amorfné látky</i> .....	11
<i>Ideálna kryštalová mriežka</i> .....	11
<i>Prehľad hlavných typov väzby v pevných látkach</i> .....	12
<i>Poruchy kryštalovej mriežky</i> .....	12
<i>Krivka deformácie</i> .....	13
<i>Teplotná rozťažnosť pevných telies</i> .....	13
ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI KVAPALÍN .....	13
<i>Povrchová vrstva kvapaliny</i> .....	14
<i>Povrchová sila a povrchové napätie</i> .....	14
<i>Javy na rozhraní pevného telesa a kvapaliny</i> .....	14
<i>Kapilarita</i> .....	15
<i>Teplotná objemová rozťažnosť kvapalín</i> .....	15
ZMENY SKUPENSTVA LÁTOK .....	15
<i>Topenie a tuhnutie</i> .....	15
<i>Sublimácia</i> .....	16
<i>Vyparovanie, var a kvapalnenie</i> .....	16
<i>Fázový diagram</i> .....	17
<i>Vodná para v atmosfére</i> .....	17
<b>ELEKTRINA</b> .....	<b>18</b>
ELEKTRICKÉ POLE .....	18
<i>Elektrický náboj a jeho vlastnosti</i> .....	18
<i>Coulombov zákon</i> .....	18
<i>Intenzita elektrického poľa</i> .....	18
<i>Elektrický potenciál</i> .....	19
<i>Elektrické napätie a Millikanov pokus</i> .....	19
<i>Rozmiestnenie náboja na vodiči</i> .....	19
<i>Kapacita vodiča, kondenzátor</i> .....	20
<i>Spájanie kondenzátorov</i> .....	20
<i>Statické silové polia</i> .....	20

ELEKTRICKÝ PRÚD.....	21
<i>Vodič v elektrickom poli.....</i>	21
<i>Izolant v elektrickom poli.....</i>	21
<i>Elektrický prúd.....</i>	21
<i>Elektrický zdroj.....</i>	21
ELEKTRICKÝ PRÚD V KOVOCH .....	22
<i>Elektrónová vodivosť kovov.....</i>	22
<i>Ohmov zákon.....</i>	22
<i>Ohmov zákon pre uzavretý obvod.....</i>	23
<i>Kirchhoffove zákony.....</i>	23
<i>Praktické aplikácie Kirchhoffových zákonov.....</i>	23
<i>Zväčšenie rozsahu ampérmetra.....</i>	23
<i>Zväčšenie rozsahu voltmetra.....</i>	23
<i>Príklady na Kirchhoffove zákony.....</i>	24
<i>Práca a výkon v obvode s konštantným prúdom.....</i>	24
ELEKTRICKÝ PRÚD V POLOVODIČOCH.....	24
<i>Polovodič.....</i>	24
<i>Vlastné polovodiče.....</i>	25
<i>Nevlastné (prímesové) polovodiče.....</i>	25
<i>Tranzistorový jav.....</i>	26
ELEKTRICKÝ PRÚD V ELEKTROLYTOCH .....	27
<i>Elektrolytický vodič.....</i>	27
<i>Závislosť prúdu v elektrolyte od napätia.....</i>	27
<i>Faradayove zákony elektrolýzy.....</i>	27
<i>Galvanické články.....</i>	28
ELEKTRICKÝ PRÚD V PLYNOCH A VO VÁKU.....	29
<i>Ionizácia plynov.....</i>	29
<i>Voltampérová charakteristika výboja.....</i>	29
<i>Katódové žiarenie.....</i>	30
<i>Termoemisia elektrónov.....</i>	30

## ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI LÁTOK

### **ZÁKLADNÉ POZNATKY Z MOLEKULOVEJ FYZIKY A TERMODYNAMIKY**

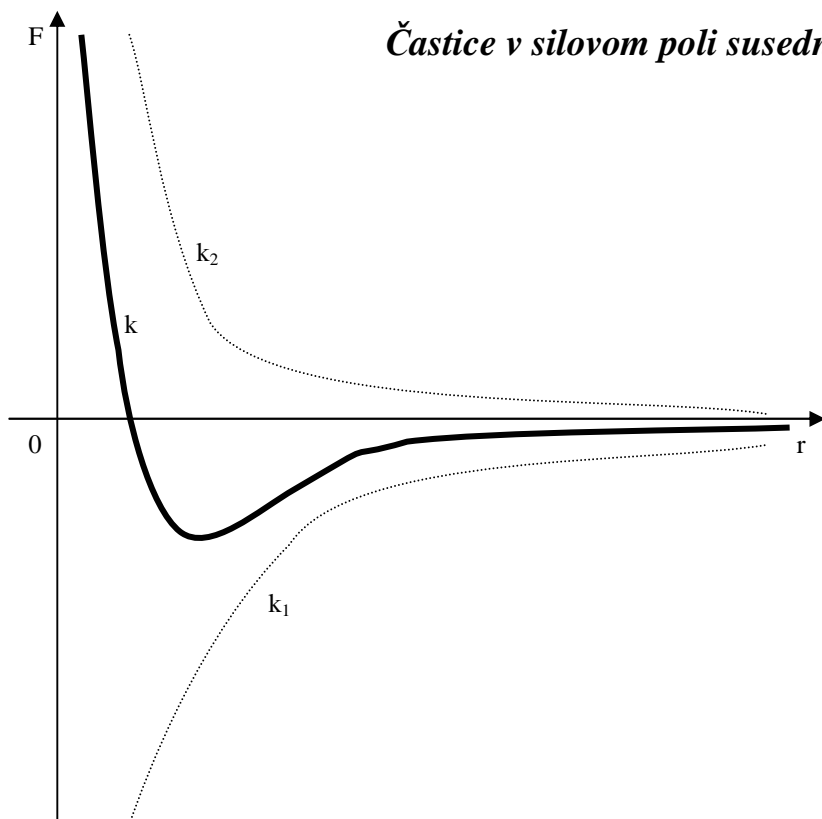
- termodynamická metóda – metóda, ktorá pri skúmaní tepelných vlastností látok a získavaní vzťahov medzi fyzikálnymi veličinami vychádza z opisu javov, z meraní veličín a neopiera sa o nijaký model časticového zloženia látok
- uplatňovanie tejto metódy a používanie zákona zachovania premeny energie podmienili vznik termodynamiky (vedný odbor)
- kinetická teória stavby látok:
  - 19. storočie – o vnútornom zložení látok
  - základ pre vedný odbor molekulová fyzika, z ktorej sa vyvinula štatistická fyzika:
    - základná metóda pre tieto vedné odbory – štatistická metóda:
      - opis pohybu obrovského počtu častíc – poznatky z teórie pravdepodobnosti a matematickej štatistiky
- termodynamická a štatistická metóda sa navzájom dopĺňajú

### *Kinetická teória stavby látok*

- zakladá sa na 2 experimentálne overených poznatkoch:
  1. Látka akéhokoľvek skupenstva sa skladá z častíc – molekúl, atómov alebo iónov. Priestor, ktorý látka zaberá nie je týmito časticami bezo zvyšku vyplnený. Hovoríme o nespojitej (diskrétnej) štruktúre.
  2. Častice sa v látke ustavične chaoticky pohybujú a to posuvne, otáčavo alebo kmitavo.
  3. Častice na seba navzájom pôsobia príťažlivými a súčasne odpudivými silami
- dôkazy:
  - existencia častíc:
    - elektrónový (250 000x zväčšenie) a laserový (250 000 000x zväčšenie) mikroskop – rozmery atómov – rádovo 0,1 nm
  - neusporiadaný pohyb – difúzia, Brownov pohyb, tlak plynu, ...
  - príťažlivé a odpudivé sily – veľa javov

### *Dôkazy neusporiadaného pohybu častíc v látkach*

- difúzia – samovoľné prenikanie častíc jednej látky medzi častice druhej látky
- Brownov pohyb – peľ vo vode – jeho častice sa chaoticky pohybujú ako vieme z pozorovania pod mikroskopom a podobne sa chovajú aj molekuly a atómy
- tlak plynu:
  - tlak – počet nárazov častíc na stenu nádoby (alebo na niečo iné) – ak zvýšime energiu (teplotu), tlak sa zvyšuje



- v molekule sú atómy navzájom viazané väzbovými silami
- väzbové sily sa v menšej miere vyskytujú medzi molekulami kvapaliny
- dve častice:
  - odpudivé a príťažlivé sily závisia od vzdialenosti
  - výslednica – k (na obr.)
  - príťažlivá sila – k1
  - odpudivá sila – k2
  - vzdialenosť  $< r_0 \Rightarrow$  častice sa odpudzujú
  - vzdialenosť  $= r_0 \Rightarrow$  rovnovážna poloha
  - vzdialenosť  $> r_0 \Rightarrow$  príťažlivé sily prevládajú
- každá častica je príťahovaná iba najbližšími časticami v okolí – pôsobia na ňu iba silové polia najbližších častíc
- sily, ktorými na seba pôsobia častice, určujú aj vzájomnú polohu častíc
- potenciálna energia sústavy častíc sa dá určiť z ich vzájomnej polohy
- pri rovnovážnej polohe častíc sa táto energia nazýva väzbová energia

### ***Modely štruktúr látok rozličných skupenstiev***

- idealizácia
- plyny:
  - nestály tvar a objem
  - prevládajú odpudivé sily
  - 100 x väčšia vzdialenosť medzi časticami než rozmery častíc
  - pohyb prevláda posuvný; v 2-atómových molekulách sa vyskytuje aj otáčavý (okolo väzby)
  - zrážky – prebiehajú bez dotyku častíc – častice sa k sebe približia a menia smer prostredníctvom odpudivých síl
  - zvýšením energie sa zvýši kinetická energia častíc, tlak, počet zrážok, ...
  - energia prevláda kinetická
- pevné látky:
  - stály tvar a objem (nestlačiteľné)
  - rozdeľujeme ich na kryštalické a amorfné (na malé vzdialenosti sú častice rovnaké a nemajú presný bod topenia)
  - prevládajú príťažlivé sily
  - prevláda kmitavý pohyb
  - prevláda potenciálna energia
  - o zrážkach neuvažujeme
  - zvýšenie energie – zvýšenie teploty – topenie
- kvapaliny:
  - nestály tvar, stály objem
  - prirovnávané k amorfným látkam
  - vykompenzované príťažlivé a odpudivé sily
  - energia – kinetická aj potenciálna
  - zvýšenie energie – molekula sa dostáva na povrch a ak má už dostatočnú energiu, vyparí sa
- plazma:
  - vysoko ionizovaný plyn, ktorý je navonok ako celok neutrálny
  - príklady – blesk, plameň, polárna žiara, ...

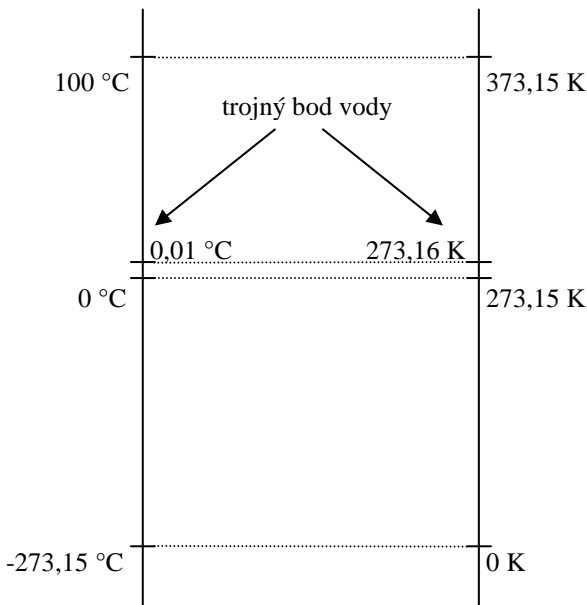
### ***Rovnovážny stav termodynamického systému***

- skúmané telesá sa môžu nachádzať v rozličných stavoch
- stavové veličiny (určujú stav) – p, T, V – ak sa nemenia, nastáva rovnovážny stav
- teleso alebo skupina telies, ktorých stav skúmame, nazýva sa (termodynamická) sústava
- izolovaná sústava – sústava, v ktorej neprebíha výmena energie s okolím a ktorej chemické zloženie a hmotnosť zostávajú konštantné
- každá sústava, ktorá je od istého okamihu v nemenných vonkajších podmienkach, prejde po istom čase samovoľne do rovnovážneho stavu a zotrúva v ňom, kým sa podmienky nezmenia

- počas rovnovážneho stavu prebiehajú vo vnútri sústavy mikroskopické deje, ktorých sa zúčastňujú obrovské množstvá častíc (neustály pohyb, zrážky, ...)
- keď istý dej prebieha tak, že sústava pri tomto deji prechádza niekoľkými na seba nadväzujúcimi rovnovážnymi stavmi, potom sa tento dej volá rovnovážny dej (sú veľmi pomalé)
- ostatné deje sú nerovnovážnymi dejmi

### **Termodynamická teplota**

- Celsius:
  - ponáral ortuť v rúrke do vody a označil si jej výšku pri vare a pri mrznutí
  - var vody = 0 °C
  - mrznutie vody = 100 °C
- Strömer – obrátil označenie teplôt varu a tuhnutia vody (var = 100 °C; mrznutie = 0 °C)
- Kelvin – vypočítal absolútnu nulu a zrušil záporné teploty:



- termodynamická teplotná stupnica:
  - základná teplotná stupnica
  - teplota v nej vyjadrená sa nazýva **termodynamická teplota T**, ktorej jednotkou je **kelvin K** (základná jednotka SI sústavy)
  - 1 základná teplota – teplota rovnovážneho stavu sústavy ľad + voda + nasýtená para – tento rovnovážny stav sa volá trojný bod vody a má teplotu  **$T_r = 273,16 \text{ K}$**
  - **kelvin** potom definujeme ako **273,16 časť termodynamickéj teploty trojného bodu vody**
- na meranie termodynamickéj teploty sa používa plynový teplomer:
  - nádoba A s plynom a kvapalinový manometer (pohyblivé rameno – gumená trubica – kompenzuje sa pomocou neho zväčšenie objemu plynu, ku ktorému potom nedochádza, ale výška kvapaliny a s ňou aj jej tlak sa mení)
  - pri meraní zisťujeme, že **tlak p plynu v nádobe plynového teplomera je priamo úmerný jeho termodynamickéj teplote T za stáleho objemu**
  - keď nádobu plynového teplomera ponoríme do rovnovážnej sústavy ľad + voda + nasýtená para, má plyn v nádobe po dosiahnutí rovnováhy termodynamickú teplotu  $T_r = 273,16 \text{ K}$  (podľa dohody) a tlak  $p_r = p_a + h_r \cdot \rho$ , kde  $p_a$  je atmosferický tlak a  $h_r \cdot \rho$  je hydrostatický tlak kvapaliny zodpovedajúci vzdialenosti  $h_r$  hladín kvapaliny v oboch ramenách. Ak je nádoba plynového teplomera v rovnováhe so sústavou, ktorej teplotu T meriame, má plyn v nádobe termodynamickú teplotu T a tlak  $p = p_a + h \cdot \rho$ . Z priamej úmernosti medzi veličinami p a T dostaneme vzťah  $\frac{T}{T_r} = \frac{p}{p_r}$  odkiaľ  $T = \frac{T_r}{p_r} p$
  - $t = (T - 273,15) \text{ °C}$
- teplota 0 K je začiatkom termodynamickéj teplotnej stupnice a podľa poznatkov dnešnej fyziky ju nikdy nemôžeme dosiahnuť
- pri tejto teplotách blížiacich sa tejto teplote sa menia vlastnosti látok (supravodivosť, supratekutosť, ...) kvôli rapídne znižujúcej sa kinetickej energii častíc

## **VNÚTORNÁ ENERGIA, PRÁCA, TEPLA**

- vnútornou energiou  $U$  telesa (sústavy) budeme nazývať súčet celkovej kinetickej energie neusporiadane sa pohybujúcich častíc telesa (molekúl, atómov a iónov) a celkovej energie vzájomnej polohy týchto častíc
- $\Delta U \sim \Delta T$
- vnútorná energia sa môže meniť dvoma spôsobmi:
  - a) konaním práce:
    - $\Delta U = W$
    - $\Delta U = \Delta E_p$
    - $\Delta U = \Delta E_k$
  - b) tepelnou výmenou:
    - $\Delta U_1 = \Delta U_2 = Q$

### **Merná tepelná kapacita**

- tepelná kapacita telesa  $= C = \frac{Q}{\Delta T}$  – je daná podielom dodaného (odovzdaného) tepla a zmeny teploty sústavy
- merná tepelná kapacita telesa  $= c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \Rightarrow Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- $c_{(H_2O)}$  = najväčšia  $c = 4,186 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $c$  udáva množstvo tepla, ktoré treba dodať 1 kg látky, aby sa jej teplota zmenila o 1 K

### **Kalorimeter**

- kalorimetrická rovnica:
  - $Q_1 = Q_2 \Rightarrow c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t) = c_2 \cdot m_2 \cdot (t - t_2)$  – najjednoduchší tvar
  - $Q_1 = Q_2 + Q_K$  – započítava sa aj zmena teploty kalorimetra
  - $c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t) = c_2 \cdot m_2 \cdot (t - t_2) + \frac{Q}{t - t_2}$

### **Prvý termodynamický zákon**

1.  $\Delta U = W + Q$
2.  $Q = 0 \Rightarrow$  adiabatický dej – buď kompresia alebo expanzia;  $\Delta U = W$
3.  $W = 0 \Rightarrow \Delta U = Q$

## **ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI PLYNNÉHO SKUPENSTVA LÁTOK**

### **Ideálny plyn**

- od reálneho sa líši:
  1. uvažujeme iba odpudivé sily medzi jeho molekulami
  2. rozmery molekúl sú v porovnaní s ich vzdialenosťou
  3. zrážky sú dokonale pružné
- pri teplote  $0^\circ\text{C}$  a normálnom tlaku (101 325 Pa) sa takto správajú aj ostatné plyny

### **Stredná kvadratická rýchlosť**

- štatistická veličina
- častice v sústave sa pohybujú rôznymi rýchlosťami,  $v_k$  je priemerná rýchlosť, ktorou sa pohybujú
- $$v_k^2 = \frac{\Delta N_1 v_1^2 + \Delta N_2 v_2^2 + \dots + \Delta N_i v_i^2}{N}$$
- druhá mocnina kvadratickej rýchlosti sa rovná súčtu druhých mocnín rýchlostí všetkých molekúl delených počtom molekúl

### **Teplota plynu z hľadiska molekulovej fyziky**

- so zvyšujúcou teplotou sa zvyšuje rýchlosť pohybu častíc  $\Rightarrow$  zvyšuje sa aj stredná kvadratická rýchlosť
- z teoretických úvah vyplýva, že vzťah pre ňu je:

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}, \text{ kde } m_0 \text{ je hmotnosť molekuly a } k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} \text{ je Boltzmanova konštanta (udáva aké množstvo}$$

tepla treba dodať (odovzdať), aby sa jedna molekula plynu zohriala o 1 K

- stredná kinetická energia, ktorú má molekula ideálneho plynu v dôsledku svojho neusporiadaného posuvného pohybu, určíme zo vzťahu  $E_k = \frac{1}{2} m_0 v_k^2 = \frac{3}{2} kT \Rightarrow E_k$  plynu závisí iba na teplote plynu  $\Rightarrow$  rôzne plyny s rovnakou teplotou majú rovnakú  $E_k$

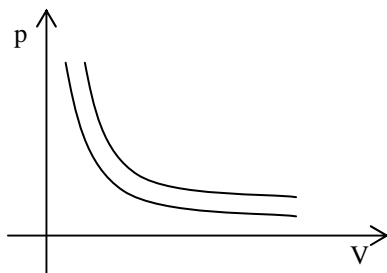
### ***Stavová rovnica ideálneho plynu***

- určuje vzťah medzi stavovými veličinami (V,T,p)
- $p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_k^2$
- $v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$
- $E_k = \frac{1}{2} m_0 v_k^2 = \frac{3}{2} kT$
- $p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \frac{m_0 v_k^2}{2} = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E_k = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \frac{3}{2} kT = \frac{N}{V} kT \Rightarrow \boxed{pV = NkT}$  – 1. tvar stavovej rovnice
- $n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M_m}$
- $pV = nN_A kT$
- $N_A k = R_m = 8,31 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  – molová plynová konštanta (určuje, koľko tepla je treba na zohriatie 1 molu látky o 1 K)
- $pV = nR_m T = \frac{m}{M_m} R_m T$  – 2. tvar stavovej rovnice
- $\frac{pV}{T} = \frac{m}{M_m} R_m = \text{konšt.}$  – 3. tvar stavovej rovnice (platí iba bez zmien hmotnosti)

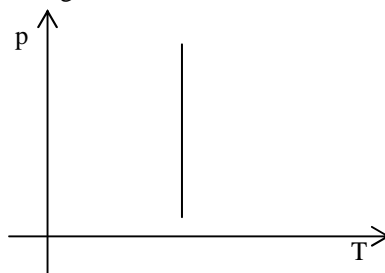
### ***Izotermický dej s ideálnym plynom***

- T = konšt.
- Boylov-Mariotov zákon:  
Súčin tlaku a objemu je pri nemeňajúcej sa hmotnosti a konštantnej teplote rovnaký.  
 $p \cdot V = \text{konšt.}$
- grafy na diagramoch sa nazývajú izotermy

pV diagram:



pT diagram:



VT diagram:



- zmeny z energetického hľadiska:
  - $\Delta U = Q + W$
  - $\Delta U$  priamo úmerná  $\Delta T \rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$
  - $0 = Q + W \Rightarrow Q = -W$
  - teplo prijaté ideálnym plynom pri izotermickom deji sa rovná práci, ktorú plyn vykoná

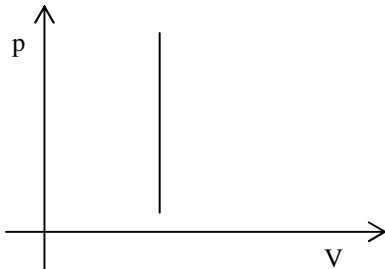
### ***Izochorický dej s ideálnym plynom***

- V = konšt.

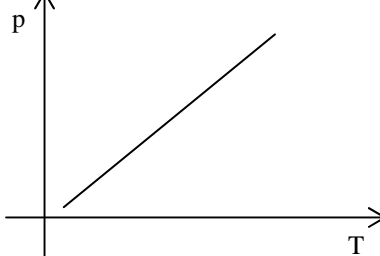
- Charlov zákon:  
Podiel tlaku a termodynamickej teploty je pri nemiacej sa hmotnosti a konštantnom objeme rovnaký.  
 $\frac{p}{T} = \text{konšt.}$

- grafy na diagramoch sa nazývajú izochory

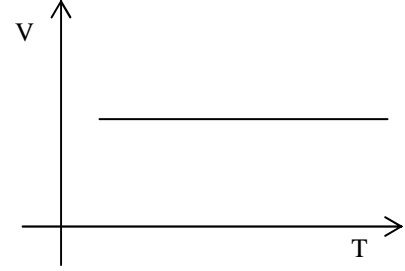
pV diagram:



pT diagram:



VT diagram:



- zmeny z energetického hľadiska:

- $\Delta U = Q + W$
- $W = F \Delta s = p \Delta s = p \Delta V \rightarrow \Delta V = 0 \Rightarrow W = 0$
- $\Delta U = Q$
- pri izochorickom deji sa zmena vnútornej energie rovná prijatému teplu

### Izobarický dej s ideálnym plynom

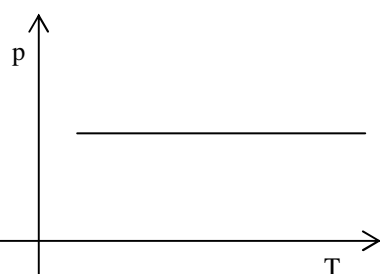
- $p = \text{konšt.}$
- Gay-Lussacov zákon:  
Podiel objemu a termodynamickej teploty je pri nemiacej sa hmotnosti a konštantnom tlaku rovnaký.  
 $\frac{V}{T} = \text{konšt.}$

- grafy na diagramoch sa nazývajú izobary

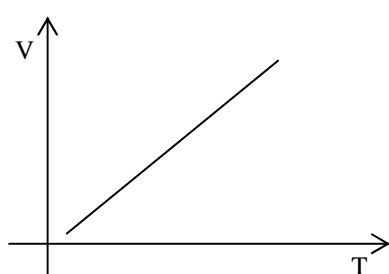
pV diagram:



pT diagram:



VT diagram:



- Van der Walsova rovnica:

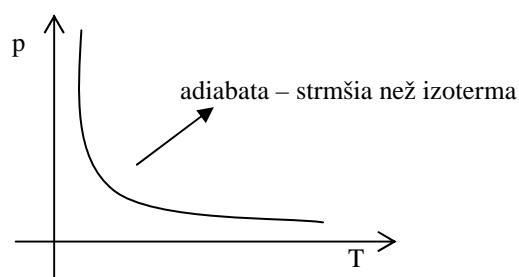
- stavová rovnica na 1 mol:  $pV = R_m T$
- $\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m + b) = R_m T$  m – upravená rovnica pre reálny plyn

- energetické hľadisko:

- $\Delta U = Q + W$
- izochorický dej –  $Q_V = m c_V \Delta T$
- izobarický dej –  $Q_P = m c_P \Delta T$
- $Q_V = \Delta U$
- $Q_P = \Delta U + W'$
- $\Downarrow$
- $c_P > c_V$  o prácu

### Adiabatický dej s ideálnym plynom

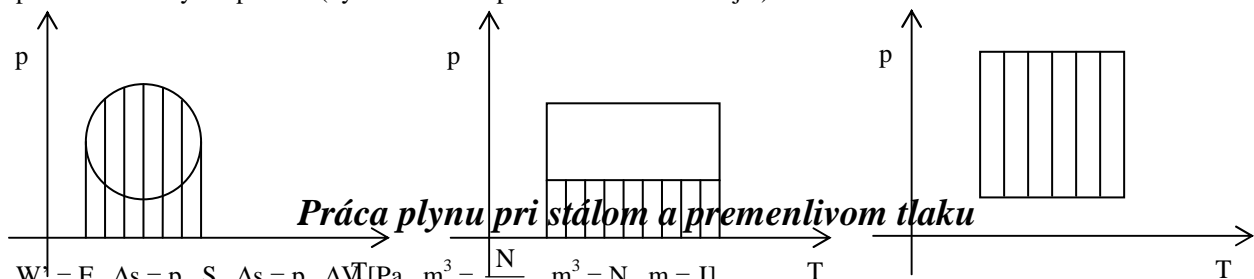
- $\Delta U = W$
- adiabatická expanzia –  $\Delta U = W'$



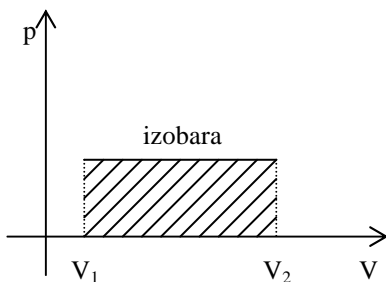
- adiabatická kompresia –  $\Delta U = W$
- $p V^\chi = \text{konšt.}$  – Poissonov zákon
- $\chi = \frac{c_p}{c_v}$ ;  $c_p > c_v \Rightarrow \chi > 1$
- $\frac{pV}{T} = \text{konšt} \Rightarrow p = \frac{T}{V} \text{konšt.}$
- $p V^\chi = \text{konšt.}$
- $\frac{T}{V} V^\chi = \text{konšt.}$
- $T V^{\chi-1} = \text{konšt.}$
- stredná voľná dráha  $\lambda$  je priemerná dĺžka dráhy medzi 2 za sebou nasledujúcimi zrážkami

### KRUHOVÝ DEJ S IDEÁLNYM PLYNOM

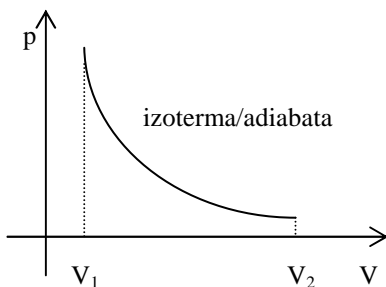
- aby fungovali motory a zvyšovala sa ich účinnosť, musí sa dej neustále (cyklicky) opakovať
- priebeh môže byť napríklad (vyšrafovanie si prosím zatiaľ nevšímajte):



- $W' = F \cdot \Delta s = p \cdot S \cdot \Delta s = p \cdot \Delta V$  [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$ ]
- izochorický dej – plyn nekoná prácu
- izobarický dej:



- $\Delta V = V_2 - V_1$
- $W' = p \cdot \Delta V = \text{plocha vyšrafovanej časti}$
- izotermický/adiabatický dej:

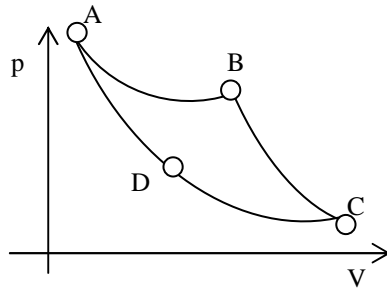


- $W' = p_1 \Delta V + p_2 \Delta V + p_3 \Delta V + \dots + p_n \Delta V$

### Carnotov cyklus

- pri kruhovom deji (pozri grafy na začiatku celku) sa dej musí neustále opakovať
- prebieha tak, že najprv koná prácu plyn (vyšrafovaná časť prvého obrázka), potom vonkajšia sila (2. obrázok), aby sa plyn mohol dostať do pôvodných podmienok

- výsledná práca sa teda rovná obsahu obrazca samotného  $\Rightarrow$  čím je obrazec väčší, tým je väčšia efektívnosť



- A  $\rightarrow$  B – izotermická expanzia:
    - $T_1 = \text{konšt.} \Rightarrow \Delta U = 0$
    - $V_1 \rightarrow V_2 (V_2 > V_1)$
    - $Q_1 = W' = \text{teplo dodané ohrievačom}$
  - B  $\rightarrow$  C – adiabatická expanzia:
    - $Q_2 = 0 \text{ J}$
    - $V_2 \rightarrow V_3 (V_3 > V_2)$
    - plyn koná prácu na úkor svojej vnútornej energie:  $W' = \Delta U \Rightarrow T_1 \rightarrow T_2 (T_2 < T_1)$
  - C  $\rightarrow$  D – izotermická kompresia:
    - $T_2 = \text{konšt.} \Rightarrow \Delta U = 0$
    - $V_3 \rightarrow V_4 (V_4 < V_3)$
    - $Q_3 = W = \text{teplo odobraté chladičom}$
  - D  $\rightarrow$  A – adiabatická kompresia:
    - $Q_4 = 0 \text{ J}$
    - $V_4 \rightarrow V_1 (V_4 < V_1)$
    - vonkajšia sila koná prácu a vnútorná energia plynu sa zvyšuje:  $W = \Delta U \Rightarrow T_2 \rightarrow T_1 (T_2 < T_1)$
- účinnosť  $= \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta W}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$
  - 2. termodynamický zákon:  
Nie je možné zostaviť perpetuum mobile, lebo pri každej činnosti dochádza k stratám.  
V prírode ešte nebol taký jav, pri ktorom by chladnejšie teleso odovzdávalo teplo teplejšiemu telesu.

## ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTOK

### Kryštalické a amorfné látky

- kryštalické:
  - 7 základných typov kryštálovej mriežky (jednoklonná, trojklonná, kosoštvorcová, kubická (kocková), šesťuholníková, klencová)
  - ďalekosahové usporiadanie – častice sú aj na väčšie vzdialenosti usporiadané pravidelne
  - monokryštalické – isté usporiadanie častíc sa periodicky opakuje v celom kryštále
  - polykryštalické – skladajú sa z veľkého počtu malých kryštálikov
  - polykryštalické látky sú zväčša izotropné – vlastnosti týchto látok sú vo všetkých smeroch vnútri kryštálu rovnaké
  - monokryštalické látky sú naproti tomu anizotropné (rozdelenie sľudy je v niektorých smeroch ľahké, v iných ťažšie)
  - príklady:  $\text{SiO}_2$ , NaCl
- amorfné:
  - krátkodosahové usporiadanie – častice sú usporiadané pravidelne iba na kratšie vzdialenosti
  - sú zväčša izotropné; lámavosť je vo všetkých smeroch rovnaká
  - osobitná skupina – polyméry (drevo, kaučuk, koža, plasty) – používané hlavne v chemickom priemysle a technike
  - príklady: jantár, sklo, vosk, asfalt

### Ideálna kryštálová mriežka

- trojrozmerná sústava rovnobežiek tvorí geometrickú mriežku
- priesečníky priamok sú uzlové body
- získame opakovaným posúvaním základného rovnobežnostena ABCDEFGH

- tento poznatok sa využíva na opis geometrického usporiadania častíc v kryštáli – keď poznáme rozmery a tvar základného rovnobežnostena a rozmiestenie častíc v ňom, potom je určená stavba kryštálu ako celku
- základný rovnobežnosten nazývame základná alebo elementárna bunka kryštálu
- ideálnou kryštálovou mriežkou nazývame sústavu pravidelne zloženú z veľkého počtu základných buniek
- mriežky kocková (kubická) sústava:
  - $a$  = dĺžka strany kocky = mriežková konštanta
  - primitívna (prostá) – osem atómov vo vrcholoch kocky – iba výnimočná v prírode (polónium)
  - plošne centrovaná – osem atómov vo vrcholoch kocky + 6 atómov v stredoch strán kocky (Ni, Cu, Ag, Au, Fe $\gamma$ )
  - priestorovo centrovaná – osem atómov vo vrcholoch kocky + atóm v strede kocky (Li, Na, K, Cr, W, Fe $\alpha$ )
  - zložitejšie:
    - NaCl, AgBr, MgO, KCl, PbS (rovnaká mriežka)
    - Si, diamant, Ge, sivý Sn

### ***Prehľad hlavných typov väzby v pevných látkach***

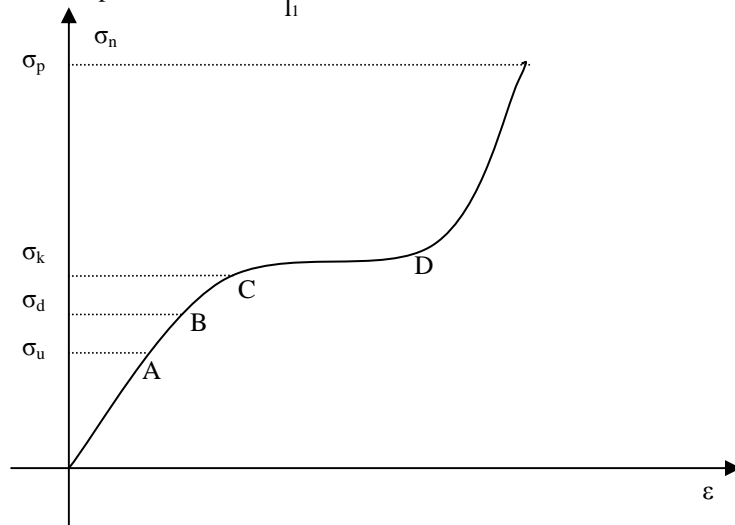
- iónová väzba:
  - v soliach
  - je veľmi pevná, látky sú tvrdé, vysoká teplota topenia, dobrá rozpustnosť
  - rozdiel elektronegativít je väčší než 1,7
  - pevný stav – izolanty; taveniny, rozpustené – vodiče
- vodíková väzba:
  - vo vode, tam kde sú prvky O, N a F
  - v organických látkach
  - slabá
- kovová väzba:
  - Cu, Fe, Al, W
  - vodivosť – tepelná, elektrická, kovový lesk, štiepateľné, kujné, ťažné, v hrubších vrstvách nepriehľadné
  - medzi kladnými iónmi sa nachádzajú chaoticky sa pohybujúce valenčné elektróny, čiže elektrónový plyn
- kovalentná väzba:
  - veľmi pevná, tvrdé látky (diamant, germánium, kremík)
  - polovodiče – sú vodivé iba za špeciálnych podmienok
- Van der Waalsova väzba:
  - veľmi slabá
  - v inertných plynch, halogénoch, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, organických zlúčeninách
  - grafit – medzi vrstvami šesťuholníkov

### ***Poruchy kryštálovej mriežky***

- na reálnych kryštáloch
- bodové poruchy:
  1. vakancia – častica chýba  $\Rightarrow$  porušená silová rovnováha  $\Rightarrow$  kaz (vakancia)
  2. intersticiálna poloha – častica je navyše
  3. prímiesy:
    - výmena častice za inú
    - využitie – v korunde (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) vymeníme niektoré Al<sup>3+</sup> za Cr<sup>3+</sup> a dostaneme rubín (drahokam, ušľachtilý, rubínový laser)
- dislokácia – celý rad častíc je zošikmený
- deformácia:
  - trvalá (plastická):
    - 5 spôsobov: ťahom (zúženie, predĺženie telesa), tlakom (zhrubnutie, skrátenie telesa), ohybom (do oblúka – vonkajší polomer je väčší), šmykom (ako ťahom, ale sily pôsobia v rôznych rovinách) a krútením (dve dvojice síl)
  - dočasná (elastická, pružná):
    - ťah – proti silám pôsobia väčšie príťažlivé sily častíc – sily pružnosti
    - vzniká normálové napätie –  $\sigma_n = \frac{F_p}{S}$  [Pa], kde  $F_p$  sú sily pružnosti

## *Krivka deformácie*

- na zistenie odolnosti materiálu sa používa trhací stroj
- výsledky – krivka deformácie
- predĺženie =  $\Delta l$  = výsledná dĺžka – pôvodná dĺžka =  $l - l_1$
- relatívne predĺženie =  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_1}$



- $\sigma_u$  – medza úmernosti:
  - po ňu platí Hookov zákon:
    - $\sigma_n = E \cdot \varepsilon$ , čiže normálové napätie je priamo úmerné relatívnemu predĺženiu
    - E:
      - Yongov modul pružnosti v ťahu
      - vyjadruje akou silou treba pôsobiť, aby sa teleso predĺžilo o pôvodnú dĺžku
      - teoretická veličina (teleso sa skôr pretrhne, než predĺži o svoju dĺžku)
      - v tabuľkách
- $\sigma_d$  – medza dopružovania:
  - po ňu – keď sila prestáva pôsobiť, je látka schopná vrátiť sa do pôvodného stavu, ale nemusí to byť hneď  $\Rightarrow$  elastická deformácia tu končí a začína trvalá deformácia
- $\sigma_k$  – medza klzu:
  - tečenie materiálu (C  $\rightarrow$  D)
  - rýchle predĺženie
  - spevnenie materiálu (od bodu D)
- $\sigma_p$  – medza pevnosti:
  - za ňou sa materiál pretrhne
- krehké látky –  $\sigma_d = \sigma_p$
- pružné látky –  $\sigma_n < \sigma_u$

## *Teplotná rozťažnosť pevných telies*

- zmena dĺžky tyče je priamo úmerná začiatkovej dĺžke a zmene teploty:
  - $\Delta l = \alpha l_1 \Delta t$  (veličina  $\alpha$  sa nazýva súčiniteľ teplotnej dĺžkovej rozťažnosti a jej jednotkou je  $K^{-1}$ )
  - $l - l_1 = \alpha l_1 \Delta t \Rightarrow l = l_1 (1 + \alpha \Delta t)$
- pre zmenu objemu platí obdobný vzorec:
  - $\Delta V = \Delta a \cdot \Delta b \cdot \Delta c \Rightarrow V = a \cdot b \cdot c (1 + \alpha \Delta t)^3 = V_1 (1 + \alpha \Delta t)^3 = V_1 (1 + 3\alpha \Delta t)$  (zanedbali sme členy  $3\alpha^2 \Delta t^2$  a  $\alpha^3 \Delta t^3$ ) =  $V_1 (1 + \beta \Delta t)$
- hustota sa so zväčšovaním objemu znižuje  $\Rightarrow \rho = \rho_1 (1 - \beta \Delta t)$
- použitie: mosty, železnice, bimetalický teplomer

## *ŠTRUKTÚRA A VLASTNOSTI KVAPALÍN*

- majú stály objem a nestály tvar
- sú v nich viac-menej vykompenzované príťažlivé a odpudivé sily

- častice vykonávajú hlavne posuvný pohyb a energia teda prevláda kinetická
- potenciálna energia je tiež dosť intenzívna, no trvá iba niekoľko nanosekúnd

### ***Povrchová vrstva kvapaliny***

- voľný povrch kvapaliny sa správa podobne ako **tenká pružná blana**
- vysvetlenie:
  - molekuly vo vnútri kvapaliny na seba navzájom pôsobia príťažlivými silami
  - okolo každej molekuly možno myšlienково opísať guľu s takým polomerom (približne 1 nm), že sily, ktorými na túto vybranú molekulu pôsobia molekuly ležiace mimo tejto gule, sú zanedbateľné
  - túto myšlenú guľu nazývame **sféra molekulového pôsobenia**
  - keď je molekula a jej sféra molekulového pôsobenia vnútri kvapaliny, potom výslednica príťažlivých síl, ktorými molekuly v tejto sfére pôsobia na uvažovanú molekulu, je nulová
  - keď je však molekula bližšie k povrchu kvapaliny než je polomer jej sféry molekulového pôsobenia, potom je výslednica príťažlivých síl kolmá na voľný povrch kvapaliny a má smer dovnútra kvapaliny (molekuly plynu nad povrchom kvapaliny síce tiež pôsobia na vybranú molekulu príťažlivými silami, no menšími)
- vrstva molekúl, ktorých vzdialenosť od voľného povrchu kvapaliny je menšia než polomer sféry molekulového pôsobenia, nazýva sa **povrchová vrstva kvapaliny**
- platí teda: na každú molekulu, ktorá leží v povrchovej vrstve kvapaliny, pôsobia susedné molekuly výslednou príťažlivou silou, ktorá má smer dovnútra kvapaliny  $\Rightarrow$  pri posunutí molekuly do povrchovej vrstvy kvapaliny treba vykonať prácu  $\Rightarrow$  molekula v povrchovej vrstve kvapaliny má väčšiu potenciálnu energiu vzhľadom na ostatné molekuly  $\Rightarrow$  povrchová vrstva má energiu, ktorá sa nazýva **povrchová energia E** a je jednou zo zložiek potenciálnej energie kvapaliny
- keď sa zmení povrch kvapaliny daného objemu o hodnotu  $\Delta S$ , zmení sa povrchová energia o hodnotu  $\Delta E = \sigma \Delta S$
- veličina  $\sigma$  [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ] sa nazýva **povrchové napätie** a závisí od druhu kvapaliny a prostredia nad voľným povrchom kvapaliny (so zvyšujúcou sa teplotou sa povrchové napätie znižuje)
- kvapalina daného objemu má snahu nadobúdať tvar, ktorého povrch je čo najmenší, aby bola aj povrchová energia čo najmenšia  $\Rightarrow$  nadobúdajú tvar gule (napr. kvapky)

### ***Povrchová sila a povrchové napätie***

- Pokus:  
Z mydlového roztoku alebo kvapalinového saponátu utvoríme na drôtenom rámečku, ktorého jedna strana je pohyblivá, kvapalinovú blanu. Pozorujeme, že sa blana sťahuje a ťahá za sebou aj pohyblivú časť rámečka. Na pohyblivú priečku pôsobí v každom povrchu (blana má dva povrchy) sila  $F$ , ktorá sa nazýva **povrchová sila**. Jej veľkosť určíme tak, že pohyblivú priečku zaťažíme závažím tak, aby sústava bola v rovnováhe. Na priečku potom pôsobí tiež závažie a drôťka  $G$  zvislo nadol a výsledná povrchová sila  $2F$  zvislo nahor. Keďže priečka je v pokoji,  $F = \frac{G}{2}$ .
- keď izotermicky zväčšíme pôsobením vonkajšej sily povrch blany, prechádza časť molekúl znútra kvapaliny na oba jej povrchy a povrchová energia sa zväčšuje
- posunutím priečky s dĺžkou  $l$  o vzdialenosť  $\Delta x$  sa zväčší obsah oboch povrchov blany o  $2 \Delta S = 2 l \Delta x \Rightarrow \Delta E = 2 \sigma \Delta S = 2 \sigma l \Delta x \wedge W = 2 F \Delta x \wedge W = \Delta E \Rightarrow 2 \sigma l \Delta x = 2 F \Delta x \Rightarrow F = \sigma l$
- **veľkosť povrchovej sily pri danom povrchovom napätí je priamo úmerná dĺžke okraja povrchovej blany**

### ***Javy na rozhraní pevného telesa a kvapaliny***

- keď máme v nádobe kvapalinu, potom na časticu na rozhraní kvapaliny, vzduchu a steny nádoby pôsobia 4 sily: sila  $F_1$ , ktorou pôsobia na časticu molekuly steny nádoby smerom kolmo na povrch steny nádoby von; sila  $F_2$ , ktorou pôsobia na časticu častice kvapaliny smerom dovnútra kvapaliny; sila  $F_3$ , ktorou na časticu pôsobia molekuly vzduchu a tiažová sila  $F_G$
- sily  $F_3$  a  $F_G$  sú v porovnaní s ostatnými silami veľmi malé, a preto ich môžeme zanedbať
- ak výslednica síl  $F_1$  a  $F_2$  smeruje von z nádoby, potom je voľný povrch zaoblený smerom nahor – kvapalina nádobu **zmáča** (týchto kvapalín je väčšina a typickým zástupcom je voda)
- ak výslednica síl  $F_1$  a  $F_2$  smeruje do nádoby, potom je voľný povrch zaoblený smerom nadol – kvapalina nádobu **nezmáča** (typickým zástupcom týchto kvapalín je ortuť)

## *Kapilarita*

- ak do kvapaliny v nádobe dáme kapiláru, tak výška hladiny v kapiláre je pre kvapaliny, ktoré povrch nádoby zmáčajú, vyššia (**kapilárna elevácia**) a pre kvapaliny, ktoré povrch nádoby nezmáčajú, nižšia (**kapilárna depresia**)
- tento jav je spôsobený **kapilárnym tlakom**, ktorý sa vždy „snaží“ tlačiť tak, aby bola hladina vodorovná (i v kapilárach je však vidieť zaoblenie hladiny)
- kapilárny tlak je daný vzťahom:  $p_k = \frac{2\sigma}{R}$
- pri tenkej guľovej mydlovej bubline s polomerom R sa kapilárny tlak vnútri bubliny rovná  $\frac{4\sigma}{R}$ , lebo bublina má dva povrchy
- platí vzťah:  $p_h = p_k \Rightarrow h \cdot \rho \cdot g = \frac{2\sigma}{R} \Rightarrow h = \frac{2\sigma}{\rho \cdot g \cdot R}$

## *Teplotná objemová rozťažnosť kvapalín*

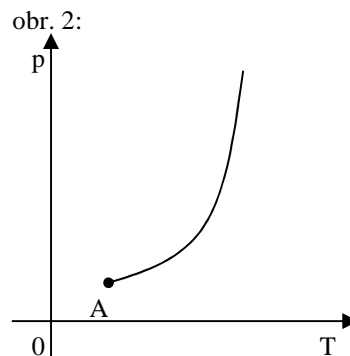
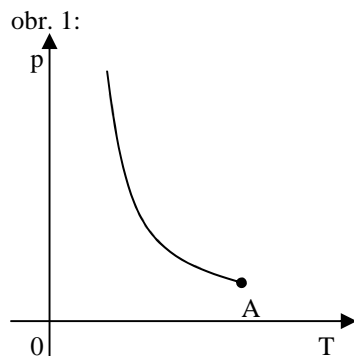
- platia tie isté vzorce ako pri pevných telesách, ale sú menej presné
- $V = V_1 (1 + \beta \Delta t)$
- $\rho = \rho_1 (1 - \beta \Delta t)$
- presnejší vzorec je:  $V = V_1 (1 + \beta_1 \Delta t + \beta_2 (\Delta t)^2)$
- anomália vody – voda má najväčšiu hustotu pri 3,98 °C (až od tejto teploty spĺňa vzťahy)
- vysvetlenie – až pri teplote 3,98 °C sa nadobro rozpadne štruktúra ľadu

## *ZMENY SKUPENSTVA LÁTOK*

- fáza – sústava má v rovnovážnom stave vo všetkých časticiach rovnaké fyzikálne a chemické vlastnosti
- fázová premena  $\Leftrightarrow$  zmena skupenstva (skoro)

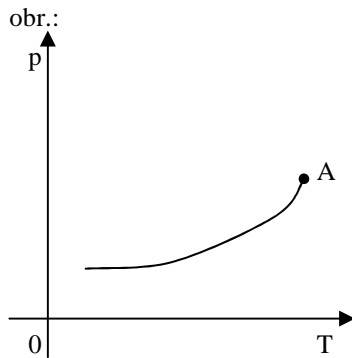
## *Topenie a tuhnutie*

- $L_t$  – skupenské teplo topenia, ktoré prijme teleso pri topení
- $l_t = \frac{L_t}{m} [J \cdot kg^{-1}]$
- $l_t$  je merné skupenské teplo topenia, čo je množstvo tepla, ktoré treba dodať jednému kg pevnej látky teploty topenia, aby sa zmenila na kvapalinu tej istej teploty
- teplota tuhnutia = teplota topenia; merné skupenské teplo topenia = merné skupenské teplo tuhnutia
- amorfné látky – mäknú až sa premenia na kvapalinu
- vznik polykryštalických látok:
  - pri tuhnutí sa narúšajú väzby
  - vznikajú kryštalizačné jadrá
  - k nim sa pripájajú ďalšie častice látky
  - vznikajú kryštáliky a z nich zrná
- vznik monokryštalických látok – iba jedno jadro  $\Rightarrow$  jeden kryštál
- krivka topenia:
  - teploty topenia závisia od tlaku  $\rightarrow$  krivka topenia
  - teplota topenia jednej skupiny látok (napr. voda) sa so zvyšujúcim sa tlakom znižuje (obr. 1)
  - teplota topenia druhej skupiny látok (napr. olovo) sa so zvyšujúcim sa tlakom zvyšuje (obr. 2)
  - krivka topenia znázorňuje závislosť tlaku od teploty topenia a zároveň aj rovnovážny stav tuhej a kvapalnej fázy istej látky



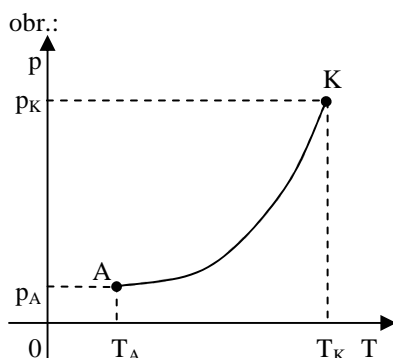
## *Sublimácia*

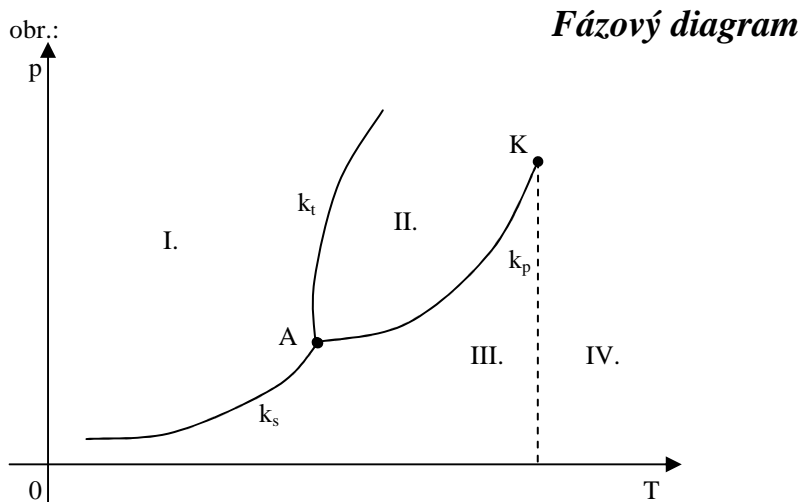
- premena látky z pevného skupenstva priamo na plynné skupenstvo
- opačný dej – desublimácia
- $l_s = \frac{L_s}{m} [J.kg^{-1}]$
- príklady – jód, gáfor, naftalín, tuhý oxid uhličitý
- **sublimačná krivka** znázorňuje rovnovážne stavy tuhej a plynnej fázy istej látky (obr.)



## *Vyparovanie, var a kvapalnenie*

- **vyparovanie** z voľného povrchu kvapaliny prebieha pri každej teplote
- $l_v = \frac{L_v}{m} [J.kg^{-1}]$
- so zvyšujúcou sa teplotou sa merné skupenské teplo vyparovania znižuje
- **var** je osobitný prípad vyparovania, pri ktorom sa kvapalina vyparuje nie len z povrchu, ale aj vnútri
- var nastáva, keď sa tlak bubliniek vyrovná tlaku prostredia
- teplota  $t_v$ , pri ktorej nastáva var sa nazýva teplota varu a závisí od vonkajšieho tlaku
- opačný dej k vyparovaniu je **kvapalnenie** (kondenzácia)
- **krivka nasýtenej pary:**
  - kvapalina v uzavretej nádobe sa vyparuje a po čase sa dostane do stavu, kedy počet molekúl, ktoré sa do kvapaliny za istý čas vracajú, rovná sa počtu molekúl, ktoré povrch za rovnaký čas opúšťajú  $\Rightarrow$  objemy kvapaliny a pary sa nemenia a zostáva konštantný aj tlak
  - sústava je teda v **dynamickej rovnováhe**
  - para, ktorá je v rovnovážnom stave so svojou kvapalinou, nazýva sa **nasýtená para** (už nemôže prijať ďalšie molekuly kvapaliny)
  - tlak nasýtenej pary nezávisí pri stálej teplote od objemu pary ( $\Rightarrow$  neplatí Boylov-Mariotov zákon)
  - tlak nasýtenej pary so zvyšovaním teploty stúpa
  - závislosť tlaku nasýtenej pary od teploty – krivka nasýtenej pary (obr.)
  - za **kritickou teplotou**  $T_K$  sa hustota kvapaliny rovná hustote pary a pri vyššej teplote už neexistuje látka v kvapalnej fáze
  - bod K sa volá **kritický bod** a je určený kritickou teplotou  $T_K$ , kritickým tlakom  $p_K$  a kritickou hustotou  $\rho_K$





- I. – pevná fáza
- II. – kvapalná fáza
- III. – plynná fáza
- IV. – plazma
- $k_s$  – sublimačná krivka
- $k_p$  – krivka nasýtenej pary
- $k_t$  – krivka topenia
- A – trojný bod (rovnováha všetkých troch fáz) – pre vodu –  $T = 273,16 \text{ K}$ ;  $p = 610 \text{ Pa}$
- prehriata para – za krivkou nasýtenej pary

### Vodná para v atmosfére

- **absolútna vlhkosť** –  $\Phi = \frac{m}{V} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
- meriame ju – pomocou hygroskopických látok –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ , ... (menia svoju hmotnosť po prijatí vody)
- každá látka má pri určitej teplote svoju maximálnu absolútnu vlhkosť ( $\Phi_m$ ) – je v tabuľkách
- **relatívna vlhkosť** –  $\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_m}$  (pre človeka je najlepšia 50 – 70 %-ná)
- keď sa znižuje teplota vzduchu, potom pri istej teplote  $t_r$ , nazvanej teplota rosného bodu, vodná para sa stane nasýtenou a pri ďalšom znížení teploty začne kvapalnieť ( $\rightarrow$  rosa, hmla, mraky, inovať, prípadne sneh)
- **vlhkomery:**
  - vlasový vlhkomer – vlas (musí byť zbavený tuku, čistý) pohlcuje vlhkosť a mení sa jeho dĺžka
  - **Assmanov aspiračný psychrometer:**
    - dva rovnaké teploměry a ventilátor, ktorý cez ne preháňa vzduch
    - nádobka jedného teplomera je suchá, v druhej je vlhko (napr. vlhká vata)
    - keďže sa voda z vaty odparuje, je teplota na vlhkom teplomeri nižšia než na suchom
    - vyparovanie vody však zároveň závisí od relatívnej vlhkosti okolitého vzduchu  $\Rightarrow$  čím je rozdiel na teplomeroch väčší, tým je relatívna vlhkosť vzduchu menšia
  - registračný prístroj, ktorý zaznamenáva graf vyjadrujúci relatívnu vlhkosť vzduchu ako funkciu času sa nazýva **hydrograf**

## ELEKTRINA

- delíme ju na:
  1. dynamickú – elektrický prúd:
    - a) jednosmerný
    - b) striedavý:
      - 1) jednofázový
      - 2) trojfázový
  2. statickú – výmena elektrického náboja (elektrónov) z povrchu telies

## *ELEKTRICKÉ POLE*

### *Elektrický náboj a jeho vlastnosti*

- okolo každého telesa s elektrickým nábojom je elektrické pole (ak je kladne nabité, značí sa šípkami od telesa a ak je záporne nabité, značí sa šípkami smerom k telesu)
- telesá s rovnakým elektrickým nábojom sa odpudzujú a telesá s opačnými nábojmi sa priťahujú
- elektrický náboj sa označuje  $Q$  a meriame ho v **coulomboch** (C)
- $1 e^- = 1,602 \cdot 10^{-19} C$
- $1 C = 6,24 \cdot 10^{18} e^-$
- **zákon zachovania elektrického náboja** – v izolovanej sústave nemôžeme elektrický náboj z ničoho vyrobiť ani ho zničiť – iba sa premiestňuje
- **elektrostatická indukcia** – vyvolávame elektrický stav na základe presunu elektrického náboja
- **elektroskop, elektrometer:**
  - k elektroneutrálnemu kovu s prichytenou ručičkou priblížime záporne nabité teleso
  - vrch kovu sa kladne nabije, lebo elektróny odpudzované záporným poľom telesa sa presunú do dolnej časti telesa
  - preto sa ručička i kov za ňou nabijú záporne, odpudzujú sa a preto sa ručička vychýli
  - takýto prístroj na zisťovanie prítomnosti elektrického náboja sa nazýva elektroskop
  - ak má aj stupnicu na zisťovanie veľkosti náboja, je to elektrometer
- látky, ktoré ľahko vedú elektrický náboj sa nazývajú **elektrické vodiče**
- látky, ktoré vedú elektrický náboj len veľmi ťažko sa nazývajú **elektrické izolanty**

### *Coulombov zákon*

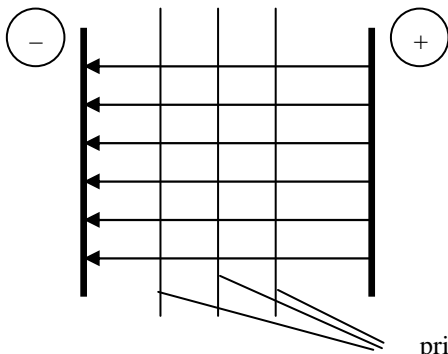
- hovorí o veľkosti sily, ktorou na seba pôsobia elektricky nabité častice
- elektrická sila  $= F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$
- 2 telesá s elektrickým nábojom na seba vzájomne pôsobia silou, ktorá je priamo úmerná súčinu bodových nábojov  $Q_1$  a  $Q_2$  a nepriamo úmerná druhej mocnine ich vzdialenosti  $r$
- $k = \frac{1}{4\pi\epsilon} [N \cdot m^2 \cdot C^{-2}]$
- $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r [C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}]$
- $\epsilon$  – permitivita prostredia
- $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$  – permitivita vákua
- $\epsilon_r$  – relatívna permitivita (pre vákuum a vzduch je to 1)
- pre vzduch a vákuum platí  $k = 9 \cdot 10^9 N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$
- $F_e$  môže byť príťažlivá aj odpudivá sila a meriame ju pomocou torzných váh

### *Intenzita elektrického poľa*

- $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q} [N \cdot C^{-1}]$  – táto jednotka nie je základná
- elektrické polia delíme na centrálna (radiálne – 1 náboj) a rovnomerné (homogénne – od jedného náboja k druhému  $\Rightarrow$  siločiaru sú rovnobežky a veľkosť aj smer intenzity poľa je vo všetkých miestach rovnaká)
- $|\vec{E}| = k \frac{Q}{r^2}$

## *Elektrický potenciál*

- $W = F \cdot s = F_e \cdot \Delta d = F_e \cdot (d_2 - d_1) = E \cdot Q \cdot \Delta d$
- elektrická potenciálna energia  $E_P$  náboja  $Q$  v istom mieste elektrického poľa je určená prácou, ktorú vykoná elektrická sila pri premiestnení náboja z daného miesta na povrch Zeme
- $\varphi_e = \frac{W}{Q} = \frac{E_P}{Q} [J \cdot C^{-1} = V]$
- elektrický potenciál je rovný práci, ktorú treba vykonať na premiestnenie kladného bodového náboja z miesta s určitým potenciálom na miesto s nulovým potenciálom (na Zemský povrch)
- vykonaná práca nezávisí od trajektórie, ale od vzájomnej vzdialenosti  $d$  miest A a B
- $\varphi_e = \frac{W}{Q} = \frac{E \cdot Q \cdot \Delta d}{Q} = E d \Rightarrow E = \frac{\varphi_e}{d} [V \cdot m^{-1} - \text{základná jednotka}]$
- ekvipotenciálne hladiny – v rámci jednej hladiny v elektrickom poli je potenciál všade rovnaký:



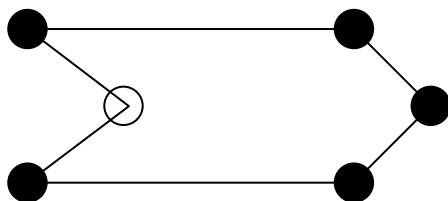
priamky naznačujúce ekvipotenciálne hladiny

## *Elektrické napätie a Millikanov pokus*

- $U = |\varphi_2 - \varphi_1|$
- neodborné vysvetlenie rozdielu medzi napätím ( $U$ ) a potenciálom ( $\varphi$ ): jedno teleso má potenciál a medzi dvoma telesami je napätie, ktoré vypočítame ako rozdiel potenciálov oboch telies
- $W = F_e \cdot d = |\vec{E}| \cdot Q \cdot \Delta d = \frac{U}{d} \cdot Q \cdot d = U \cdot Q$
- Millikanov pokus:
  - americký fyzik, dostal Nobelovu cenu za zmeranie veľkosti elementárneho elektrického náboja (1923)
  - vstrekoval kladne nabitú olejovú kvapôčku do rovnomerného poľa medzi dvoma vodorovnými platňami, pričom spodná mala kladný náboj
  - niektoré kvapôčky sa chvíľu udržali v poli – nešli hore ani nespadli dole  $\Rightarrow F_g = F_e \Rightarrow m \cdot g = |\vec{E}| \cdot Q = \frac{U}{d} \cdot Q \Rightarrow$   
 $\Rightarrow Q = \frac{m \cdot g \cdot d}{U}$
  - menil napätie a keď bol náboj celočíselným násobkom  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , kvapôčky sa zase dostali do rovnovážneho stavu  $\Rightarrow 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  je veľkosť elementárneho náboja

## *Rozmiestnenie náboja na vodiči*

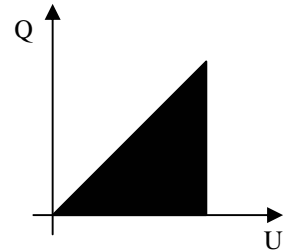
- kamkoľvek nanášame na teleso elektrický náboj, vždy sa dostane na povrch
- na guľi je rovnomerne rozmiestnený
- na iných telesách nemusí byť rovnomerne rozložený – na rohoch (čierne rohy) je veľa, na stranách je tiež nejaký a vo vnútorom rohu nie je žiaden (prázdny kruh):



- hustota elektrického náboja na kovovom telese =  $\sigma = \epsilon \cdot E$

### Kapacita vodiča, kondenzátor

- $C = \frac{Q}{U} [C \cdot V^{-1} = F]$
- kondenzátor sa skladá z dvoch nabitých platničiek, medzi ktorými je nejaká nevodivá látka – dielektrikum (vákuum, vzduch, parafín, olej)
- kondenzátor má kapacitu 1 F (farad) práve vtedy, keď sa nábojom 1 C zmení jeho napätie medzi platničkami o 1 V
- farad je príliš veľká jednotka  $\Rightarrow$  používa sa mF,  $\mu$ F, nF alebo pF
- čím je vzdialenosť medzi platničkami väčšia, tým je kapacita kondenzátora menšia a čím je ich plocha väčšia, tým je kapacita väčšia (otočný kondenzátor)  $\Rightarrow C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$  ( $\epsilon$  – permitivita dielektrika)
- z grafu: práca potrebná na nabitie kondenzátora =  $W = E_e = \frac{1}{2} UQ = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{Q^2}{2C}$

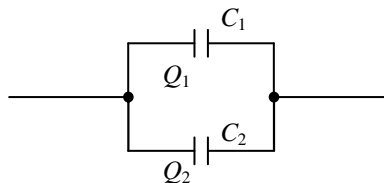


### Spájanie kondenzátorov

1. paralelne:

- $U = \text{konšt.}$
- $Q = Q_1 + Q_2$
- $C = C_1 + C_2$
- zvýšenie celkovej kapacity

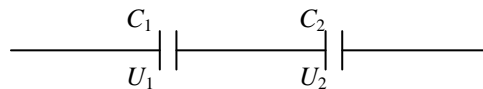
obr. 1 (paralelné zapojenie):



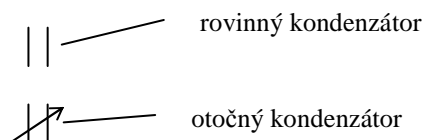
2. sériovo:

- $Q = \text{konšt.}$
- $U = U_1 + U_2$
- $U = \frac{Q}{C} \Rightarrow \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
- zníženie celkovej kapacity

obr. 2 (sériové zapojenie):



obr. 3 (elektrické značky):



### Statické silové polia

- porovnanie gravitačného a elektrického poľa:

Gravitačné pole	Elektrické pole
$F_g = \chi \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	$F_e = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$
pôvod sily sa viaže na hmotnosť telesa	pôvod sily sa viaže na elektrický náboj telesa
neporovnateľne menšia ( $\chi = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ )	neporovnateľne väčšia ( $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ )
môže byť iba príťažlivá	môže byť príťažlivá aj odpudivá
vzťah platí všeobecne pre všetky telesá	vzťah platí len pre bodový náboj
nezávisí od prostredia ( $\chi$ je univerzálna konštanta)	závisí od prostredia ( $k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ )

## ***ELEKTRICKÝ PRÚD***

- elektrický prúd je usporiadaný tok voľných elektrónov

### ***Vodič v elektrickom poli***

- elektrostatická indukcia je jav, pri ktorom sa protilahlé časti povrchu vodiča vloženého do elektrického poľa zelektrizujú nábojom s rovnakou veľkosťou, ale opačným znamienkom (takto vzniknuté náboje častíc nazývame indukované náboje)
- elektrické tienenie – ak dáme do homogénneho poľa vodivý krúžok, v jeho vnútri sa nebude nachádzať elektrické pole (krúžok zároveň zdeformuje pole – **kvalitatívne ho zmení** a už to nie je homogénne pole)

### ***Izolant v elektrickom poli***

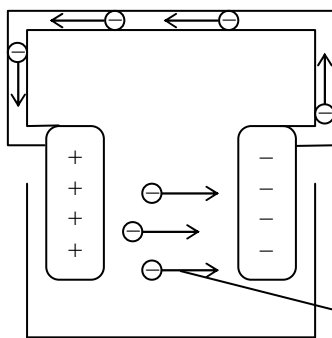
- zoslabuje elektrické pole
- izolanty (plasty, sklo, drevo, keramika) – valenčné elektróny sú oveľa pevnejšie viazané  $\Rightarrow$  je oveľa ťažšie ich stáda dostať
- 100 % izolant ani vodič neexistuje
- v elektrickom poli nastáva polarizácia dielektrika (častice izolantu sa tak natočia, aby mali kladný a záporný pól)  $\Rightarrow$  každá častica izolantu má vlastné elektrické pole, ktorého intenzita smeruje opačne než intenzita veľkého poľa  $\Rightarrow$  zoslabuje výsledné pole
- relatívna permitivita -  $\epsilon_r = \frac{\vec{E}_e}{E}$  ( $E_e$  je intenzita pôvodného poľa,  $E$  je intenzita výsledného poľa)

## ***Elektrický prúd***

- $I$  [1 A]
- usporiadaný tok voľných elektrónov
- $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
- dočasný prúd – iba nabitie platničky, ktoré sa po krátkom čase vybijú – nemá praktický význam
- technický smer toku elektrického prúdu – opačne než v skutočnosti – od kladného náboja k zápornému
- meriame ho ampérmetrom

## ***Elektrický zdroj***

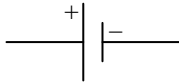
- vznik trvalého elektrického prúdu
- monočlánok alebo akumulátor



tento pohyb záporne nabitých častíc k zápornej elektróde spôsobujú neelektrostatické sily a zabezpečujú tak obnovovanie prúdu

- elektromotorické napätie =  $U_e = \frac{\text{práca neelektrostatických síl}}{\text{náboj}} = \frac{W_z}{Q}$
- pôvod neelektrostatických síl:
  - elektrochemický zdroj – galvanické články – je tu elektrolyt ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), kladná elektróda (uhlík) a záporná elektróda (zinkový obal) a prebieha tu chemická reakcia
  - fotoelektrický zdroj – fotočlánok – pri osvetlení sa dodáva energia a nastáva rozdiel potenciálov  $\Rightarrow$  napätie
  - termoelektrický zdroj – termočlánok – na základe rozdielu teplôt sa uvoľňuje rôzne množstvo elektrónov  $\Rightarrow$  rôzne napätie (nádoby s vodou a ľadom spojené med'ovým drôtom a konštantánom, ktoré sú na koncoch spojené)

- d) elektrodynamický zdroj – princíp elektromagnetickej indukcie (alternátory, dynamá – generátory) – stator a rotor
- e) van de Graaffov generátor – nemá praktické využitie
- v elektrických schémach značíme elektrický zdroj takto (ak je silnejší, alebo je to akumulátor, symbol je tri krát za sebou):



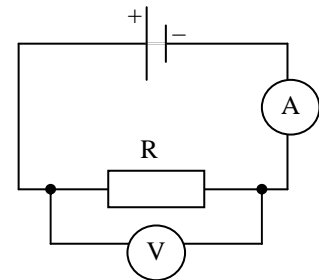
## ***ELEKTRICKÝ PRÚD V KOVOCH***

### ***Elektrónová vodivosť kovov***

- v kovoch sa nachádza elektrónový plyn (voľné rozptýlené elektróny), ktorý umožňuje tok elektrického prúdu
- obyčajne prebieha v kovoch tepelný pohyb – častice sa chaoticky pohybujú rýchlosťou  $10^5 - 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- keď dáme kov do poľa, elektróny sa začínajú usporiadať pohybovať smerom ku kladnej elektróde rýchlosťou  $10^{-6} - 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- tok elektrónov v kovoch však ešte nie je úplne objasnený (svetlo sa predsa zapáli skoro hneď po zapnutí vypínača  $\Rightarrow$  elektróny netečú vodičom ako prúd vody v potrubí, ale iba odovzdávajú impulz a uvedú do pohybu ostatné elektróny alebo niečo v tom zmysle)

### ***Ohmov zákon***

- pri toku elektrického prúdu musíme sledovať 3 veličiny – elektrické napätie ( $U$  [1 V]), elektrický prúd ( $I$  [1 A]) a elektrický odpor ( $R$  [ $\Omega$ ])
- elektrický odpor vysvetľujeme tým, že elektrický plyn pri svojom pohybe naráža na ióny kryštálovej mriežky kovu a elektrická energia sa mení na nežiaduce teplo  $\Rightarrow$  vyjadruje straty
- vzťah medzi 3 základnými veličinami vyjadruje Ohmov zákon:
  - $R = \frac{U}{I}$
  - elektrický prúd  $I$  je priamo úmerný napätiu  $U$  medzi koncami vodiča

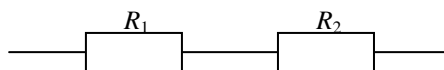


- Davyho zákon:  $R = \rho \frac{l}{S}$
- merný elektrický odpor  $\rho$  [ $\Omega \cdot \text{m}$ ] určuje aký elektrický odpor kladie vodič dĺžky 1 m s prierezom  $10^{-6} \text{ m}^2$  ( $1 \text{ mm}^2$ )
- závislosť elektrického odporu od teploty –  $R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$
- vodivosť –  $G = \frac{1}{R}$  [ $1 \Omega^{-1} = 1 \text{ Siemens} = 1 \text{ S}$ ]
- merná elektrická vodivosť –  $\gamma = \frac{1}{\rho}$  [ $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ ]
- zapojenia odporov:

A. sériové:

- zvyšovanie celkového odporu

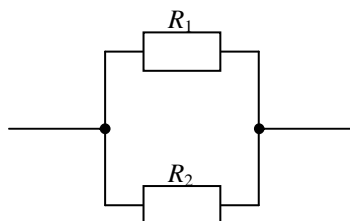
1.  $R = R_1 + R_2$
2.  $I = \text{konšt.}$
3.  $U = U_1 + U_2$
4.  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_1}{U_2}$



B. paralelné:

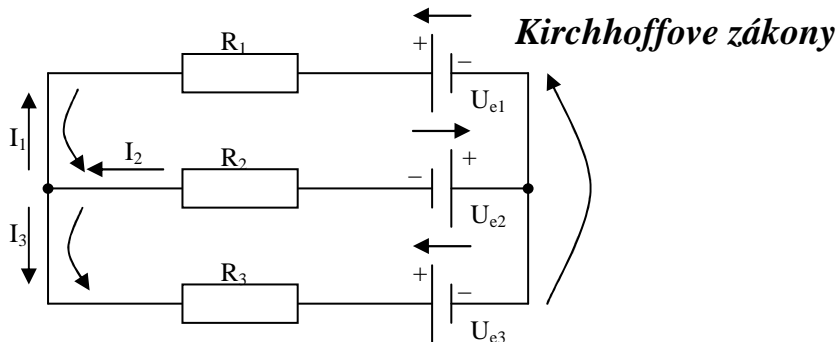
- znižovanie výsledného odporu

1.  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
2.  $U = \text{konšt.}$
3.  $I = I_1 + I_2$
4.  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1}$



### Ohmov zákon pre uzavretý obvod

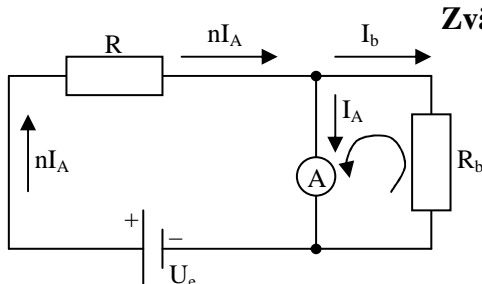
- každý zdroj má svoj vnútorný odpor  $\Rightarrow E_z = E + E_i \Rightarrow U_e \cdot Q = U \cdot Q + U_i \cdot Q \Rightarrow U_e = U + U_i$  ( $U$  je svorkové napätie)
- $I = \frac{U_e}{R + R_i}$
- iba ak  $R_i \ll R$ , môžeme povedať  $U_e = U$
- skratový prúd  $= I_{\max} = \frac{U_e}{R_i}$



1. súčet prúdov do uzla vtekajúcich sa rovná súčtu prúdov z uzla vytekajúcich  $\Rightarrow I_2 = I_1 + I_3$  ( $-I_1 - I_3 + I_2 = 0$  A – prúdy vtekajúce sa značia kladným znamienkom a prúdy vytekajúce záporným znamienkom)
2. súčet elektromotorických napätí zdrojov sa rovná súčtu úbytku napätí na jednotlivých spotrebičoch:
  - $U_{e1} + U_{e2} = -I_1R_1 - I_2R_2$
  - $-U_{e2} - U_{e3} = I_2R_2 + I_3R_3$
  - dostávame (aj s prvým zákonom) tri rovnice, s ktorých môžeme vypočítať tri neznáme

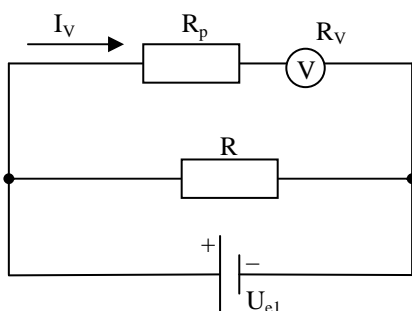
### Praktické aplikácie Kirchhoffových zákonov

#### Zväčšenie rozsahu ampérmetra



- $nI_A - I_A - I_b = 0 \text{ A} \Rightarrow I_b = (n - 1)I_A$
- $R_A I_A - R_b I_b = 0 \text{ V} \Rightarrow R_A I_A - I_A (n - 1)R_b = 0 \text{ V} \Rightarrow R_A = (n - 1)R_b \Rightarrow R_b = \frac{1}{n - 1} R_A$
- $R_b$  je odpor bočníka

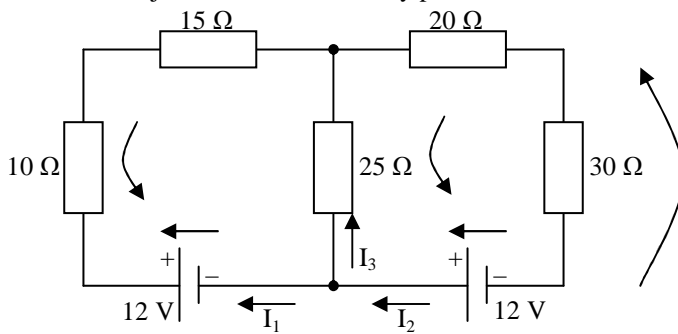
#### Zväčšenie rozsahu voltmetra



- $U_V = I_V R_V$
- $nU_V = I_V (R_p + R_V) \Rightarrow n(I_V R_V) = I_V R_p + I_V R_V \Rightarrow (n - 1)R_V = R_p$

**Príklady na Kirchhoffove zákony**

1. Sformulujte Kirchhoffove zákony pre tento obvod:



$$\begin{aligned} -I_1 - I_3 + I_2 &= 0 \text{ A} \\ -12 &= 25 I_3 - 15 I_1 - 10 I_1 \\ -12 &= -30 I_3 - 20 I_2 - 25 I_3 \end{aligned}$$

**Práca a výkon v obvode s konštantným prúdom**

- usporiadaný pohyb voľných častíc s nábojom v uzavretom obvode súvisí s konaním práce neelektrostatických síl vnútri zdroja a elektrostatických síl vo vonkajšej časti obvodu
- keď sa z jednej svorky premiestnia častice s celkovým nábojom  $Q$  vonkajšej časti obvodu na druhú svorku zdroja, vykonajú sily elektrického poľa prácu  $W = U Q$
- ak je prúd v obvode konštantný, platí  $Q = I t$ , a teda aj  $W = U I t$  (táto práca sa nazýva práca vo vonkajšej časti obvodu)
- keď má vonkajšia časť obvodu celkový odpor  $R$ , platí aj  $W = R I^2 t = \frac{U^2}{R} t$
- práca spojená s prenosom častíc vo vonkajšej časti obvodu sa prejaví zahriatím vodiča, jeho pohybom alebo inou zmenou
- za predpokladu, že je vodič je v relatívnom pokoji, pozorujeme iba teplotné zmeny – zmeny vnútornej energie vodiča
- mierou zmeny tejto vnútornej energie je Joulovo teplo:  $Q = W = U I t = R I^2 t = \frac{U^2}{R} t$
- Joulovo teplo sa v praxi využíva napr. v konštrukcii meracích prístrojov, tavných poističiek, elektrických pecí, žehličiek, infražiaričov a kde je nežiadúce, používa sa účinné chladenie
- pri premiestnení častíc s celkovým nábojom  $Q$  vo vnútri zdroja vykonávajú neelektrostatické sily prácu  $W_z = U_e Q$ , kde  $U_e$  je elektromotorické napätie zdroja
- $W_z = U_e Q = U_e I t = R I^2 t = \frac{U_e^2 t}{R + R_i}$
- výkon zdroja  $P_z = \frac{W_z}{t} = U_e I = \frac{U_e^2}{R + R_i} = (R + R_i) I^2$
- výkon konštantného prúdu  $I$  vo vodiči  $P = \frac{W}{t} = U I = \frac{U^2}{R} = R I^2$  – tento výkon sa tiež nazýva príkon spotrebiča [W]
- účinnosť konštantného prúdu  $\eta = \frac{W}{W_z} = \frac{P}{P_z}$
- $W = P t \Rightarrow 1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$  (wattsekunda);  $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \cdot \text{h} = 3\,600\,000 \text{ W} \cdot \text{s}$

**ELEKTRICKÝ PRÚD V POLOVODIČOCH****Polovodič**

- za normálnych podmienok sú nevodiče, ale za špecifických podmienok (dodanie energie – röntgenové žiarenie, UV žiarenie, slnečné žiarenie, rádioaktívne žiarenie, zahriatie – alebo prímesy) sa stávajú vodivými
- prvými polovodičmi sú prvky IV.A skupiny – C, Si, Ge
- v súčasnosti sú polovodičmi najrôznejšie zlúčeniny (oxidy, sulfidy, ...), dokonca aj organické (hemoglobín, chlorofyl)
- merný elektrický odpor kovov sa zvyšuje spolu s teplotou (dost' pomaly), zatiaľ čo u polovodičov sa so zvyšujúcou sa teplotou merný elektrický odpor prudko znižuje (tým pádom sa zvyšuje vodivosť  $G$ )
- termistor:
  - súčiastka, v ktorej sa meraním odporu dá určiť teplota (presnosť až  $10^{-3}$  K)

- dá sa ním merať napr. aj rýchlosť prúdenia tekutín (rýchlosť jeho ochladzovania závisí od rýchlosti pretekania tekutín)
- používa sa na ochranu niektorých spotrebičov – so zahrievaním spôsobeným pretekaním prúdu sa jeho odpor znižuje, a preto sa napätie na spotrebiči zvyšuje pomalšie a spotrebič je chránený
- rozdelenie polovodičov:
  - vlastné – sú čisté, nemajú žiadnu prímies
  - nevlastné (prímiesové) – sú do nich v malom percente primiešané atómy iných prvkov

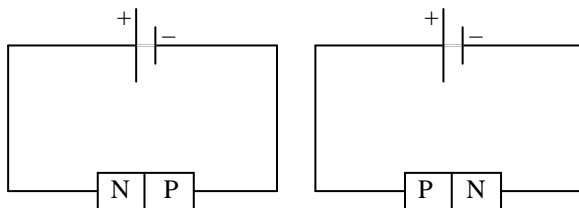
### *Vlastné polovodiče*

- napr. čistý C, Si, Ge
- je tu kovalentná väzba, už pri izbovej teplote sa môžu uvoľniť elektróny, ale je ich málo
- generácia – vznik páru voľný elektrón – diera (elektrón sa odtrhne, má záporný náboj, ale zanechá za sebou diery, ktorá má v podstate kladný náboj a tiež pôsobí ako prenášať elektrického prúdu  $\Rightarrow I = I_e + I_d$ )
- rekombinácia – zánik páru voľný elektrón – diera

### *Nevlastné (prímiesové) polovodiče*

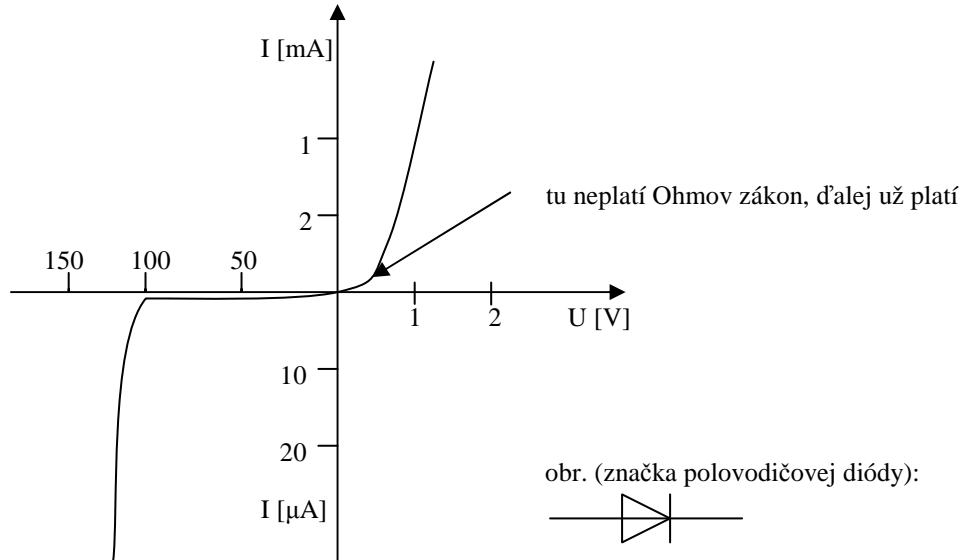
- dôležitejšia skupina, viac sa využíva
- podstata:
  - do čistých prvkov IV.A skupiny primiešame prvky III.A (In, Ga) alebo V.A skupiny (Sb, P)
  - získame tak zliatiny s prevládajúcimi dierami alebo prevládajúcimi elektrónmi:
    - prvky III.A skupiny majú len 3 valenčné elektróny, a preto im bude chýbať na väzbu s prvkom IV.A skupiny 1 elektrón, čo sa prejaví vznikom diery  $\Rightarrow$  majoritné sú diery  $\Rightarrow I_d > I_e \Rightarrow$  typ polovodiča P (pozitívny)
    - prvky V.A skupiny majú až 5 valenčných elektrónov, a preto im bude pri väzbe s prvkom IV.A skupiny 1 elektrón prevyšovať  $\Rightarrow$  majoritné sú elektróny  $\Rightarrow I_e > I_d \Rightarrow$  typ polovodiča N (negatívny)
  - donory sú buď elektróny alebo diery – vždy to, čo prevažuje
- pokiaľ k sebe pripojíme P a N polovodič, na ich prechode je značný odpor:
  - pri difúzii voľných elektrónov z N do P zostanú v časti N v okolí prechodu nevykompenzované kladné ióny donorov a v časti P sa vytvárajú nevykompenzované záporné ióny akceptorov
  - prítomnosť týchto iónov vytvára elektrické pole, ktoré pri určitej intenzite zabraňuje prechodu ďalších voľných nabitých častíc  $\Rightarrow$  je tu veľký odpor
  - praktické využitie – polovodičová dióda:
    - ak ju zapojíme do obvodu N časťou na kladnú elektródu, neprepúšťa elektrický prúd, lebo potenciálová bariéra sa ešte viac zväčšuje vplyvom elektrického poľa zdroja  $\rightarrow$  **záverný smer**  $\rightarrow$  **záverný prúd (prevláda rekombinácia)**
    - pokiaľ ju zapojíme N časťou na zápornú elektródu, potenciálová bariéra sa veľmi zmenší vplyvom elektrického poľa zdroja a dióda prepúšťa prúd  $\rightarrow$  **priepustný smer**  $\rightarrow$  **priepustný prúd (prevláda generácia)**

obr. (vľavo je **záverný smer** a vpravo je **priepustný smer**):

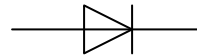


- ak vonkajšie napätie prekročí istú kritickú hodnotu danú kvalitou prechodu PN, nastane lavínové tvorenie voľných častíc s nábojom  $\Rightarrow$  prudký pokles elektrického odporu  $\Rightarrow$  prudké zväčšenie elektrického prúdu (tento jav môže spôsobiť prehriatie a tým aj poškodenie prechodu PN)
- využitie – **nelineárna závislosť napätia od prúdu** (neplatí ohmov zákon)
- graf závislosti prúdu prechádzajúceho polovodičovou diódou a napätia na dióde sa nazýva **voltampérová charakteristika polovodičovej diódy** (môžeme ju tiež nazvať usmerňovačom):
  - zvyšovaním napätia na dióde zapojenej v priepustnom smere sa prúd rýchlo zväčšuje, ale dióda sa môže prechodom príliš veľkého prúdu poškodiť  $\Rightarrow$  vyznačuje sa na nej maximálna hodnota priepustného prúdu
  - pri zapojení diódy v **závernom smere** prechádza diódou malý **záverný prúd** a po prekročení kritickej hodnoty sa prúd prudko začne zväčšovať

obr. (voltampérová charakteristika polovodičovej diódy):



obr. (značka polovodičovej diódy):



### Tranzistorový jav

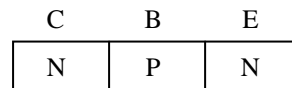
- tranzistor je polovodičová súčiastka s dvoma PN prechodmi
- môžeme ju inak nazvať aj zosilňovač
- báza tranzistora je veľmi tenká
- so spoločným:

1. emitorom (E) – zosilňuje napätie
2. kolektorom – zosilňuje prúd
3. bázou – zosilňuje výkon

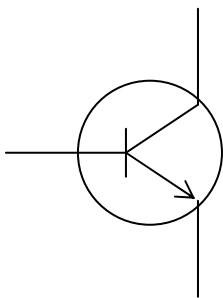
- tranzistor so spoločným emitorom (najčastejšie zapojenie):

- elektróny sú z báze obvodu priťahované kladným potenciálom do kolektorového obvodu injekciou cez tenkú bariéru P a podieľajú sa na prechode prúdu tu
- malým báзовým prúdom  $I_B$  ovládame veľký kolektorový prúd  $I_C$
- prúdový zosilňovací činiteľ -  $\beta = \left( \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right)_{U_{CE} = \text{konšt.}}$

obr. (tranzistor):

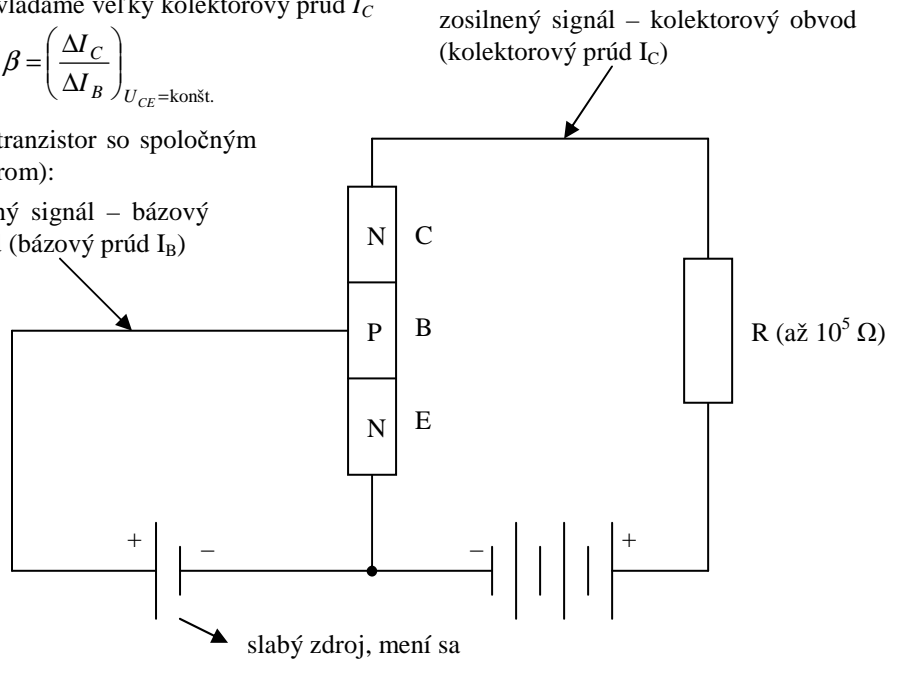


obr. (značka tranzistora):



obr. (tranzistor so spoločným emitorom):

vstupný signál – báзовý obvod (báзовý prúd  $I_B$ )

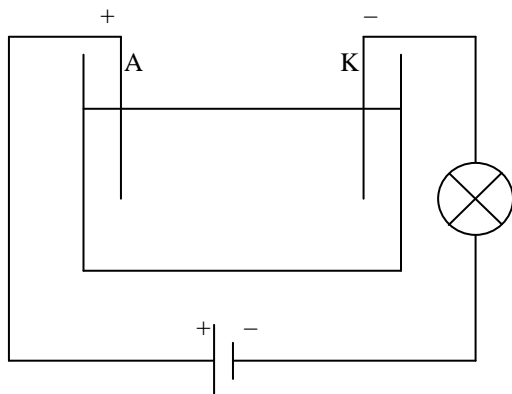


## **ELEKTRICKÝ PRÚD V ELEKTROLYTOCH**

### **Elektrolytický vodič**

- v kovoch **vedú elektrický prúd** elektróny, v polovodičoch elektróny a diery a v kvapalinách **voľné ióny – katióny a anióny**
- kladná elektróda sa nazýva anóda a záporná elektróda sa nazýva katóda
- pokiaľ zapojíme do elektrického obvodu destilovanú vodu, prúd neprechádza, ale keď do nej pridáme kyselinu, soľ alebo hydroxid, prúd začne po krátkom čase prechádzať (obr.)
- v kvapaline dochádza k elektrolytickej disociácii pridanej látky:
  - $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
  - $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^- \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$
  - $\text{KOH} \rightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$
- po pridaní príslušnej látky sa kvapalina naďalej nazýva elektrolyt a vedie elektrický prúd

obr.:

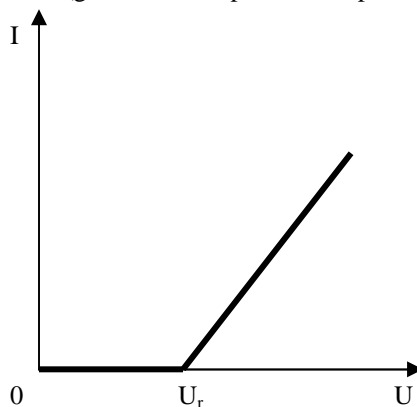


### **Závislosť prúdu v elektrolyte od napätia**

- trvalý prúd v elektrolyte vzniká až keď prekročíme isté medzné napätie  $U_r$ , nazvané **rozkladné napätie**, potom sa prúd s napätím lineárne zväčšuje
- rozkladné napätie je pre každý elektrolyt rozdielne, nastáva, keď sa elektródy obalia iónmi s opačným nábojom

$$I = \frac{U - U_r}{R}$$

Obr. (graf závislosti prúdu od napätia v elektrolyte):



### **Faradayove zákony elektrolýzy**

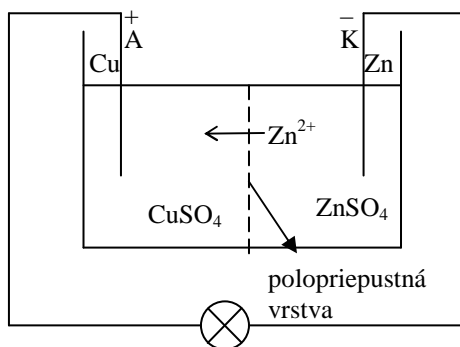
- hmotnosť vylúčenej látky je priamo úmerný prechádzajúcemu prúdu a času, za ktorý prechádza
- $m = A \cdot Q = A \cdot I \cdot t$  (prvý Faradayov zákon)
- $A$  [ $\text{kg} \cdot \text{C}^{-1}$ ] – elektrochemický ekvivalent látky
- $A = \frac{1}{F} \frac{M_m}{\nu}$  (druhý Faradayov zákon)
- $\nu$  – mocnosť
- $F = 96\,520 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$  – Faradayova konštanta – hovorí, že treba 96 520 C náboja, aby sa vylúčil 1 mol látky

- po dosadení získavame:  $m = \frac{M_m}{F \cdot \nu} \cdot I \cdot t$

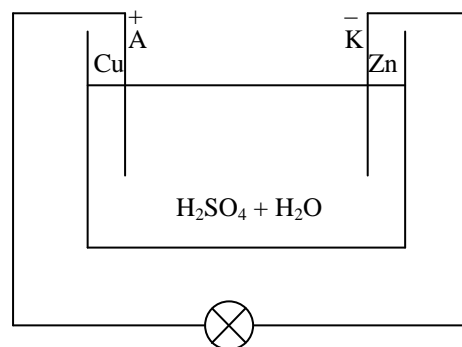
## Galvanické články

- sú to zdroje jednosmerného napätia
- 2 elektródy (rôzny materiál) + elektrolyt
- **Voltov článok:**
  - elektrolyt je  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ , jedna elektróda je zinková a druhá medená
  - zinok reaguje rýchlejšie (rýchlo sa uvoľňuje  $\text{Zn}^{2+}$ )  $\Rightarrow$  zinková elektróda je katóda
  - meď reaguje oproti zinku pomalšie (ušľachtilý kov)  $\Rightarrow$  medená elektróda je anóda
  - zápis:  $\text{Zn}^- (\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}) \text{Cu}^+$
  - tento článok je **polarizačný** – po zapojení do elektrického obvodu sa zmení jeho polarita, lebo elektrolýzou, ktorá prebieha v jeho vnútri, sa medená elektróda pokrýva vodíkovými bublinami a vzniká **polarizovaný článok**, ktorého zápis je:  $\text{Zn}^+ (\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}) \text{H}_2^-$
  - napätie klesá, prúd je nestály  $\Rightarrow$  nemá praktické využitie
- **Daniellov článok:**
  - vznik **elektrickej dvojvrstvy:**
    - roztok  $\text{Zn} + \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ : do roztoku sa uvoľňujú ďalšie ióny  $\text{Zn}^{2+} \Rightarrow$  kov sa nabíja záporne a roztok kladne
    - roztok  $\text{Cu} + \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ : z roztoku sa na kov vylučujú ióny  $\text{Cu}^{2+} \Rightarrow$  kov sa nabíja kladne a roztok záporne
  - zinok sa rozpúšťa v roztoku  $\text{ZnSO}_4$ , preniká polopriepustnou vrstvou a reaguje s  $\text{CuSO}_4$
  - $\text{CuSO}_4 + \text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{Cu}^{2+}$
  - A:  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0$  (redukcia)
  - K:  $\text{Zn}^0 - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}^{2+}$  (oxidácia)
- **suchý (salmiakový) článok:**
  - $\text{C}^+$  ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  v škrobovom maze)  $\text{Zn}^-$
  - uhlíková anóda je obalená zmesou burelu a koksu
  - v asfalte, aby nevytiekla
  - $\text{MnO}_2 + \text{C}$  – depolarizátory
- **olovený akumulátor:**
  - 2 olovené elektródy v  $\text{H}_2\text{SO}_4$
  - $\text{Pb}^- (\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}) \text{PbO}_2^+$
  - nabíjanie:  $2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Pb}^0 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{PbO}_2$
  - vybíjanie – opačná reakcia
  - $\text{PbO}_2$  je červený
  - hustota  $\text{H}_2\text{SO}_4$  je mierou nabitia akumulátora
- **Ni, Fe akumulátor:**
  - nabíjanie:  $\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{Ni}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}^0 + 2\text{Ni}(\text{OH})_3$
  - napätie nesmie klesnúť pod 1,8 V, lebo sa už nedá dobiť
- metalurgia – výroba kovov
- galvanostégia – pokovovanie
- elektrolýza – rozklad látok prechodom elektrického prúdu
- korózia – porušenie povrchu kovu chemickým alebo elektrochemickým pôsobením

obr. (Daniellov článok):



obr. (Voltov článok):



## **ELEKTRICKÝ PRÚD V PLYNOCH A VO VÁKUU**

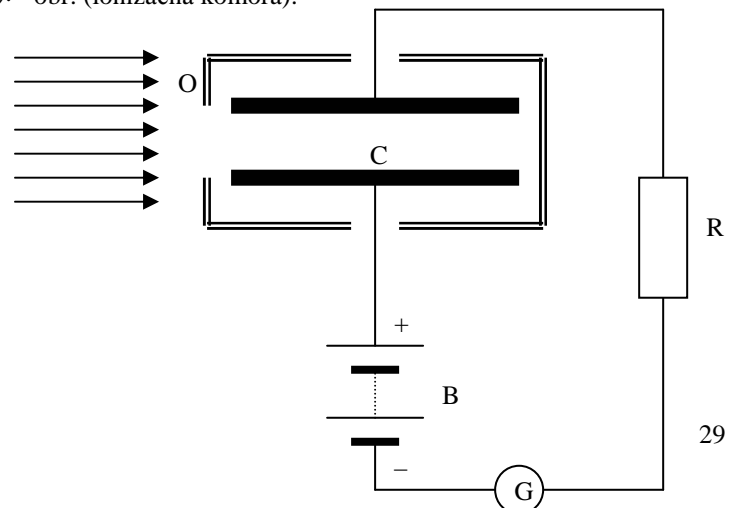
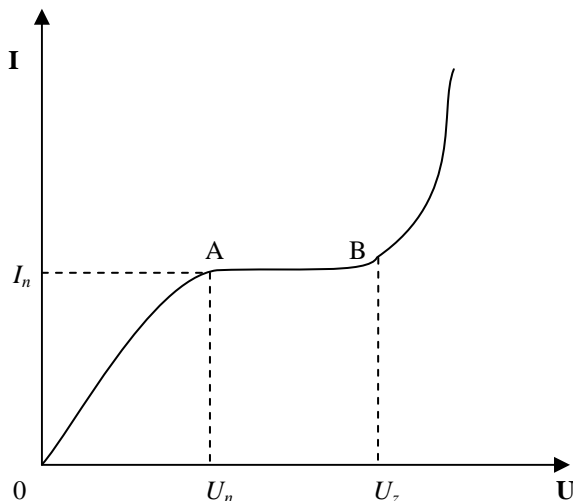
### **Ionizácia plynov**

- elektrický prúd môžu viesť aj plyny za predpokladu, že budú obsahovať voľné častice s nábojom
- ionizácia:
  - uvoľnenie elektrónov z neutrálnych atómov pridaním energie (vyvoláva sa nárazom)
  - ionizačná energia  $I$  [eV] ( $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ )
  - okrem dvojice kladný ión-elektrón sa môžu tvoriť aj záporné ióny ( $\rightarrow$  elektronegatívne prvky)
- rekombinácia – dvojice opačne nabitých častíc sa spájajú do neutrálnych molekúl
- aby bol plyn vodivý, musí prevládať ionizácia nad rekombináciou
- elektrický prúd v plynach je spôsobený usporiadaným pohybom voľných elektrónov a iónov a nazýva sa výboj:
  1. nesamostatný – po odstránení ionizátora prúd zaniká
  2. samostatný:
    - elektrické pole urýchľuje utvorené ióny, a tie ionizujú samostatne ďalej
    - nastáva pri zápalnom napätí
- výboj je buď tlejivý (málo intenzívny), alebo iskrivý (na základe elektrostatickej indukcie – napr. blesk)

### **Voltampérová charakteristika výboja**

- **ionizačná komora:**
  - platňový kondenzátor  $C$ , ktorý je izolovane umiestnený v kovovej škatuli s okienkom  $O$  pre pôsobiaci ionizátor a pripojený cez galvanometer  $G$  a ochranný rezistor  $R$  na zdroj napätia  $B$
  - so zväčšovaním napätia na platniach kondenzátora sa zväčšuje aj prúd
  - pri malých napätiach prevláda rekombinácia a iba malé percento iónov sa dostane na platne kondenzátora; keď sa napätie zväčšuje, elektrické pole urýchli ióny a elektróny tak, že nestačia rekombinovať, ale čoraz vo väčšom počte zanikajú zachytením sa na platničkách
  - pri napätí  $U_n$ , keď sú všetky ióny utvorené ionizátorom zachytené platňami, nazývame prúd  $I_n$  nasýteným
  - ďalšie pozvoľné zvyšovanie napätia nespôsobuje zvyšovanie prúdu, samostatný výboj nastáva pri oveľa vyššom napätí – pri zápalnom napätí
  - prechod z nesamostatného na samostatný výboj nazývame elektrický prizeraz plynu
- **voltampérová charakteristika elektrického náboja** – graf závislosti prúdu  $I$  elektrického výboja od napätia  $U$  medzi elektródami
- charakter samostatného výboja v plynach závisí od chemického zloženia plynu, jeho teploty, tlaku, kvality elektród, od ich vzdialenosti, od stupňa ionizácie a parametrov obvodu, v ktorom je vodivý plyn zapojený
- elektrický výboj býva väčšinou sprevádzaný svetelnými a zvukovými efektmi
- elektrický výboj prebieha odlišne v závislosti od hodnoty prúdu:
  - nízke hodnoty prúdu  $\rightarrow$  **tlejivý elektrický výboj** (slabé svetielkovanie plynu)  $\rightarrow$  tlejivky
  - väčšie hodnoty prúdu – elektródy sa dopadaním iónov rozžeravia, stávajú sa ionizátormi (tepelná ionizácia), teplota sa zvyšuje až na 6000 K a napätie medzi elektródami klesá  $\rightarrow$  **oblúkový výboj** (elektrický oblúk)  $\rightarrow$  žiarivky
- najintenzívnejšie výboje – krátkodobé, tlak sa zvyšuje na desiatky Mpa a teplota na  $10^5 \text{ K}$   $\rightarrow$  **iskrový výboj** (elektrická iskra)
- **koróna** – v blízkosti vodičov vo vzduchu, ktoré sú pod vysokým napätím a dostatočne od seba vzdialené

obr. (voltampérová charakteristika elektrického výboja):    obr. (ionizačná komora):



### ***Katódové žiarenie***

- vývoj elektrického výboja môžeme sledovať vo výbojovej trubici, ktorá je pripojená k výveve, aby sa mohol tlak spojiť meniť
- pri dosiahnutí tlaku asi 670 Pa sa v trubici objaví tlejivý výboj s charakteristickými znakmi:
  - takmer celá trubica je zaplnená svietiacim plynom červenej farby (tzv. **anódové svetlo**), ktoré je od modrastého **katódového svetla** oddelené tmavým priestorom
  - v tesnej blízkosti katódy je tenká svietiaci vrstva a pred ňou slabo svietiaci vrstva, ktorá sa kontrastne javí ako tmavá
- výboje sa tvoria v oblasti katódy, kde je prudká zmena elektrického potenciálu, kladné ióny sa veľmi rýchlo urýchľujú a dopadom na katódu vyvolávajú uvoľnenie elektrónov z kovu katódy
- elektróny postupujú k anóde a ionizujú molekuly zriadeného plynu, čím sa tvoria nové elektróny a kladné ióny
- počet voľných sa vzdialenosťou od katódy k anóde zväčšuje (elektrónová lavína)
- anódové svetlo vzniká pôsobením voľných elektrónov na atómy plynu a jeho farba závisí od použitého plynu a jeho tlaku v trubici
- vývojové trubice (uprostred vhodne zúžené) s anódovým svetlom sú vhodnými zdrojmi svetla na spektrálne účely; rovnako sa používajú na reklamu, lebo anódové svetlo sleduje všetky zakrivenia trubice
- pri ďalšom zriedovaní vzduchu v trubici sa tmavé priestory rozširujú, intenzita svetla sa znižuje, až pri tlaku asi 2,5 Pa anódové svetlo zmizne
- trubicou však ďalej preteká elektrický prúd, ale elektróny vyletujú takmer kolmo z katódy a takmer bez zrážok dopadajú na anódu, ktorú zohrievajú a spôsobujú žltozelené svetielkovanie sklenenej trubice
- **tok elektrónov z katódy vo vyčerpanej trubici nazývame katódové žiarenie**
- v praxi sa zo súboru letiacich elektrónov vymedzuje úzky zväzok, ktorý sa nazýva **elektrónový lúč**
- s elektrónovými lúčmi sa pracuje takmer výlučne vo vákuu, majú špecifické vlastnosti a mnohostranné praktické využitie:
  1. ionizujú vzduch a ostatné plyny (tak sa získavajú ióny pre urýchľovače)
  2. miesto dopadu sa zohrieva (tavenie kovov, zváranie elektrónovým lúčom)
  3. prenikajú veľmi tenkými materiálmi a rozptyľujú sa (niektoré sa tiež odrážajú od povrchu  $\Rightarrow$  skúmanie povrchu pevných látok)
  4. spôsobujú svetielkovanie látok ( $\rightarrow$  obrazovky, pôsobia chemicky na fotografický materiál)
  5. vyvolávajú neviditeľné röntgenové žiarenia, ak dopadajú na kovové materiály s veľkou relatívnou atómovou hmotnosťou ( $\rightarrow$  vyšetrenia častí ľudského tela, zisťovanie štruktúry kryštálov, ...)
  6. vychyľujú sa v elektrickom a magnetickom poli ( $\rightarrow$  prístroje s obrazovkou na záznam dynamických procesov)

### ***Termoemisija elektrónov***

- **uvoľňovanie elektrónov z povrchu pevných alebo kvapalných telies pri vysokej teplote nazývame termoemisija** (uvoľňujú sa, lebo dostanú ožiarením kinetickú energiu potrebnú na opustenie povrchu)
- mierou najmenej energie potrebnej na uvoľnenie elektrónu z kovu je **výstupná práca  $W$** ; hodnota tejto veličiny závisí od druhu kovu, čistoty jeho povrchu a môže ju ovplyvniť aj elektrické pole, v ktorom je kov
- termoemisija elektrónov sa prakticky využíva pri činnosti elektrónok – v nich sa priamo alebo nepriamo žeraví katóda a prúd elektrónov od katódy k anóde v elektrickom poli sa riadi mriežkami, čo sú elektródy, ktoré sa vkladajú medzi anódu a katódu
- najvýznamnejšou vákuovou elektrónkou je **obrazová elektrónka (obrazovka)**:
  - dokonale vyčerpaná sklenená trubica, ktorá má prednú stenu zvnútra pokrytú vrstvou ZnS s nepatrným množstvom Ag – to je **tiendidlo obrazovky**
  - zdrojom elektrónov je rozžeravené vlákno katódy obklopené radiacou elektródou obrazovky (tzv. Wehneltov valec) s malým kruhovým otvorom
  - elektróny vyletujú cez valec v podobe elektrónového lúča a sú urýchľované elektrickým poľom, ktoré je medzi katódou a dvoma anódami
  - potom sa elektrónový lúč dostáva do priestoru vychyľovacieho systému obrazovky, čo sú dva páry vychyľovacích doštičiek, ktoré postupne svojím elektrickým poľom vychyľujú elektrónový lúč do zvislého smeru a vodorovného smeru

- takto upravený lúč sa ešte urýchlíuje urýchľovacou anódou a dopadá na tienidlo obrazovky, kde vyvolá svetielkovanie zasiahnutého miesta
- použitie obrazovky je veľmi rozmanité – umožňuje nám každodenne sledovať dianie na Zemi aj mimo nej
- časť fyziky, ktorá využíva poznatky o vlastnostiach elektrónu a jeho pohyboch v elektrickom a magnetickom poli, dostala priliehavý názov **elektronika**