

# Elektrický proud v kapalinách a plynech



# 25. Elektrolýza a její využití v praxi



➤ sledujme vedení elektrického proudu v různých typech vody

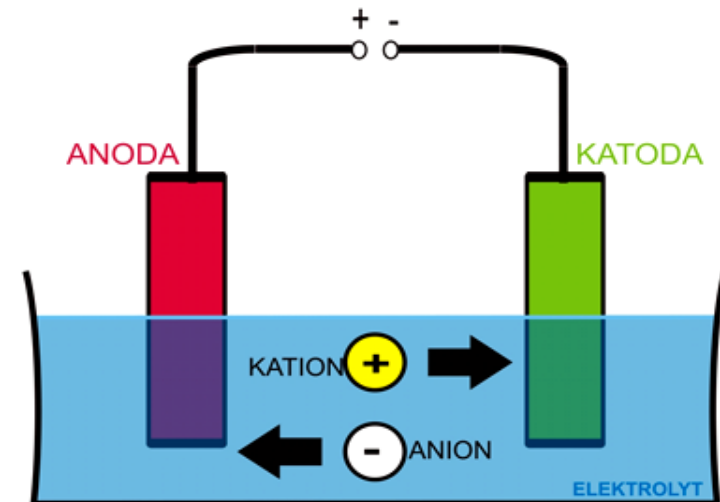
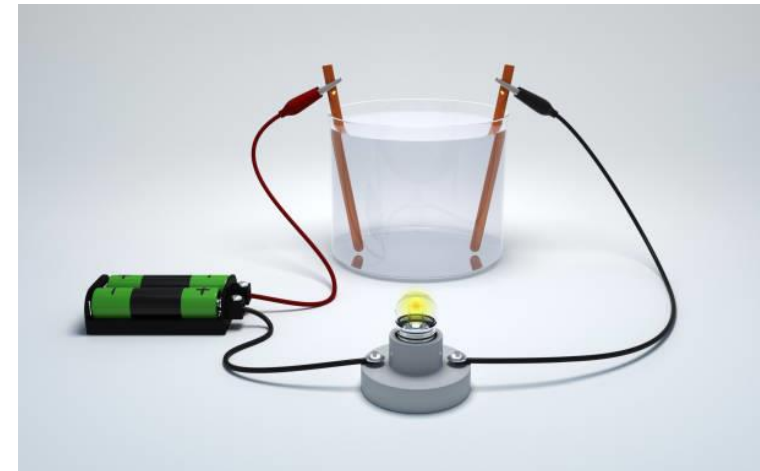
<https://www.youtube.com/watch?v=a1c-vkNdvlg>

**Elektrolyt** – je roztok

- solí: např. NaCl
- kyselin: HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- zásad: KOH, NaOH
- tavenin výše uvedených látek

**Elektrolýza**

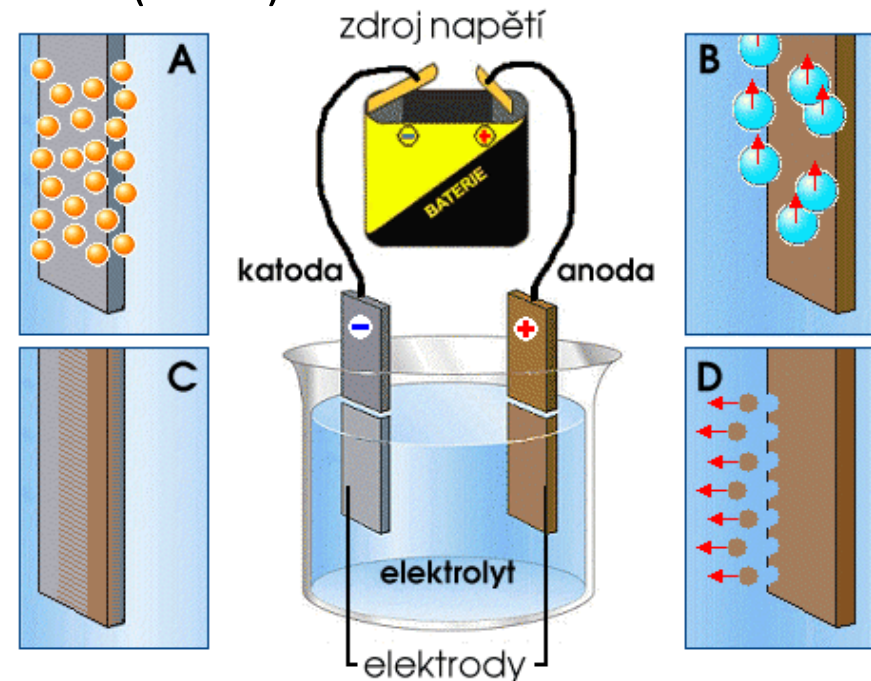
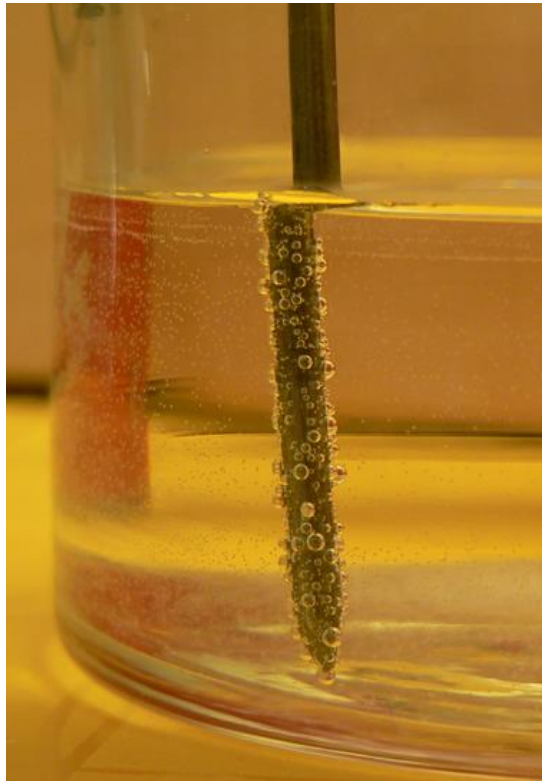
- rozštěpení látky na ionty průchodem ss elektrického proudu
- vznikají kladné ionty (**kationty**) a záporné ionty (**anionty**)
- **Anoda** → kladná elektroda vložená do elektrolytu
- **Katoda** → záporná elektroda



# 25. Elektrolýza a její využití v praxi

## Jevy probíhající na elektrodách

- podle typu elektrolytu a elektrod může docházet na elektrodách k následujícím jevům:
- částice se na elektrodě usazuje (měď)
- vzniklé molekuly unikají pryč ve formě bublinek (vodík, kyslík)
- částice reagují s elektrodou a vytváří sloučeninu (olovo)
- materiál elektrody se rozpouští

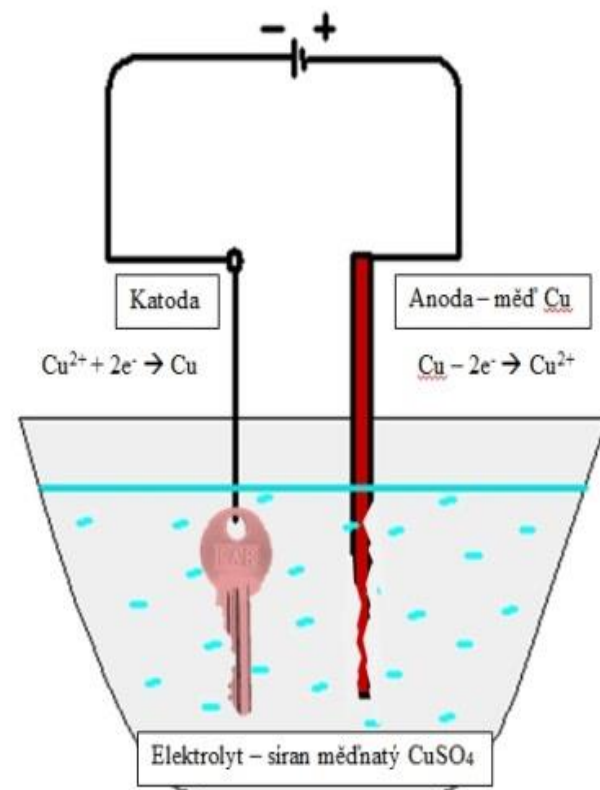
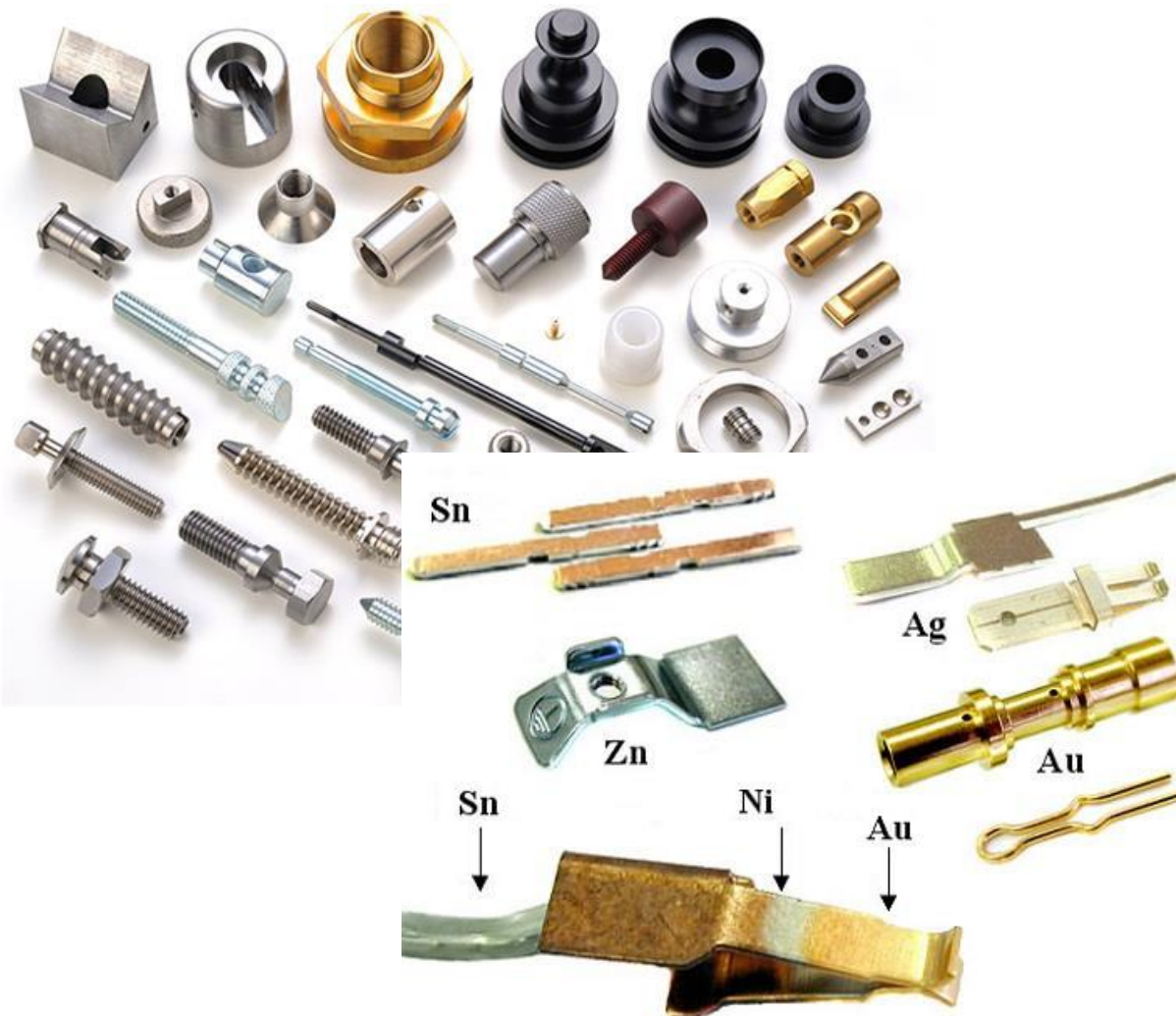


Při elektrolýze se mohou částice na elektrodách usazovat (A), ve formě bublinek plynu unikat ven (B), vytvářet na povrchu vrstvu sloučenin (C), odebírat z elektrody materiál (D)

# 25. Elektrolýza a její využití v praxi

## Využití elektrolýzy v praxi

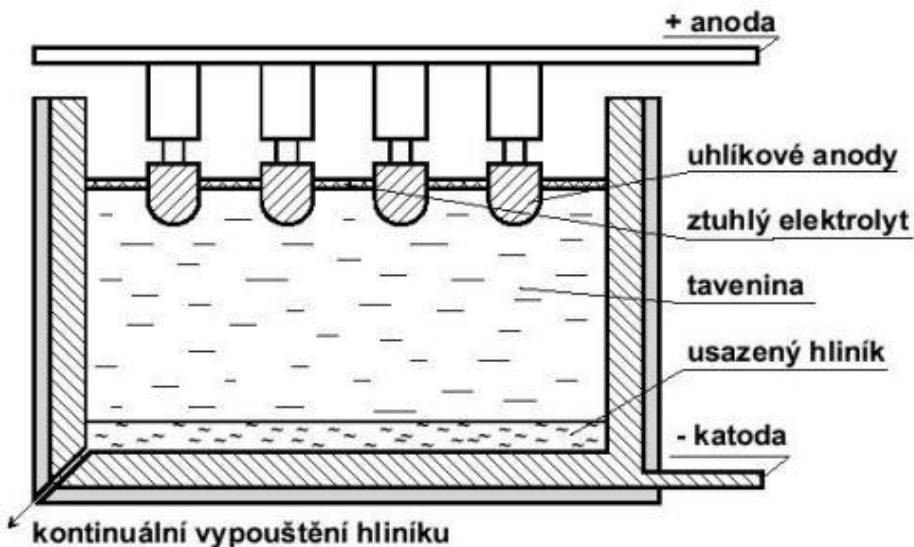
- galvanické pokovování – ochrana proti korozi



# 25. Elektrolýza a její využití v praxi

## Využití elektrolýzy v praxi

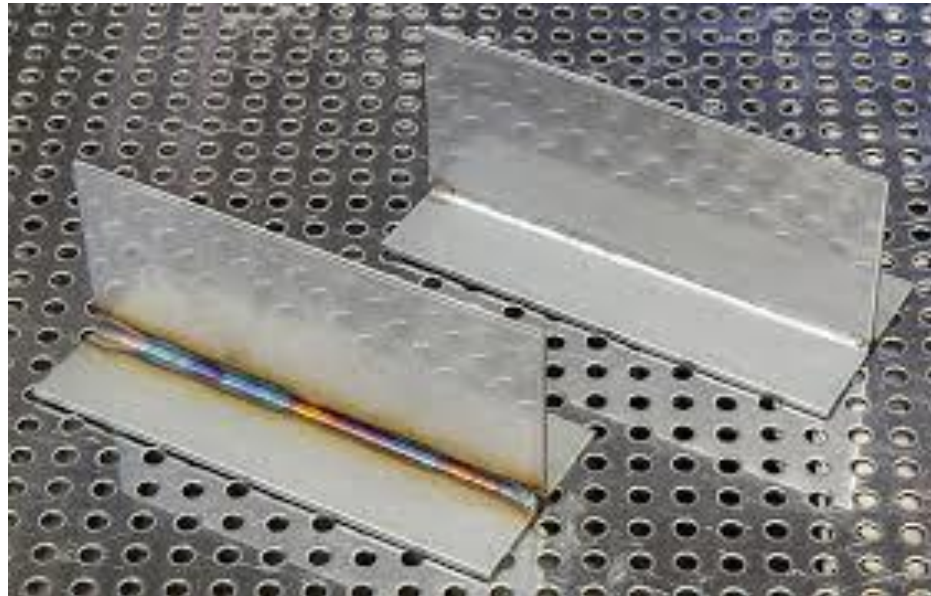
- elektrolytická výroba kovů – náročná na spotřebu energie, proud 200 000 A
- Příklad: hliník



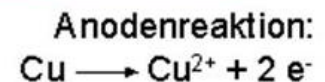
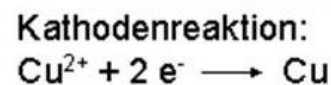
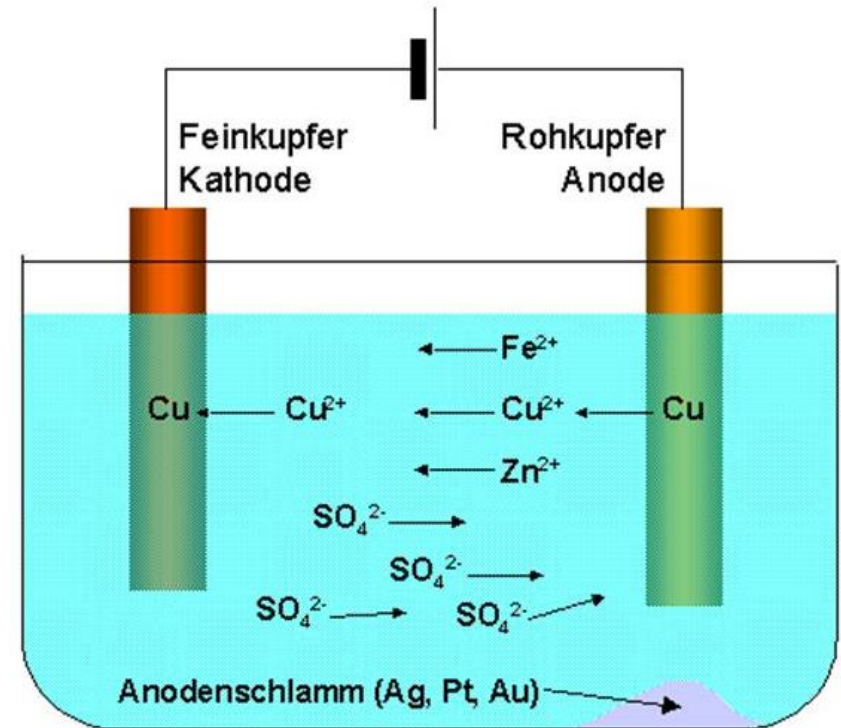
# 25. Elektrolýza a její využití v praxi

## Využití elektrolýzy v praxi

- **elektrolytické čištění kovů** – kovy z hutí obsahují velké množství nežádoucích příměsí
- Př. Měď, zinek, nikl
- **anoda = kov s příměsemi**
- **elektrolyt** je roztok soli tohoto kovu
- **katoda** = vylučuje si **čistý kov** bez příměsí



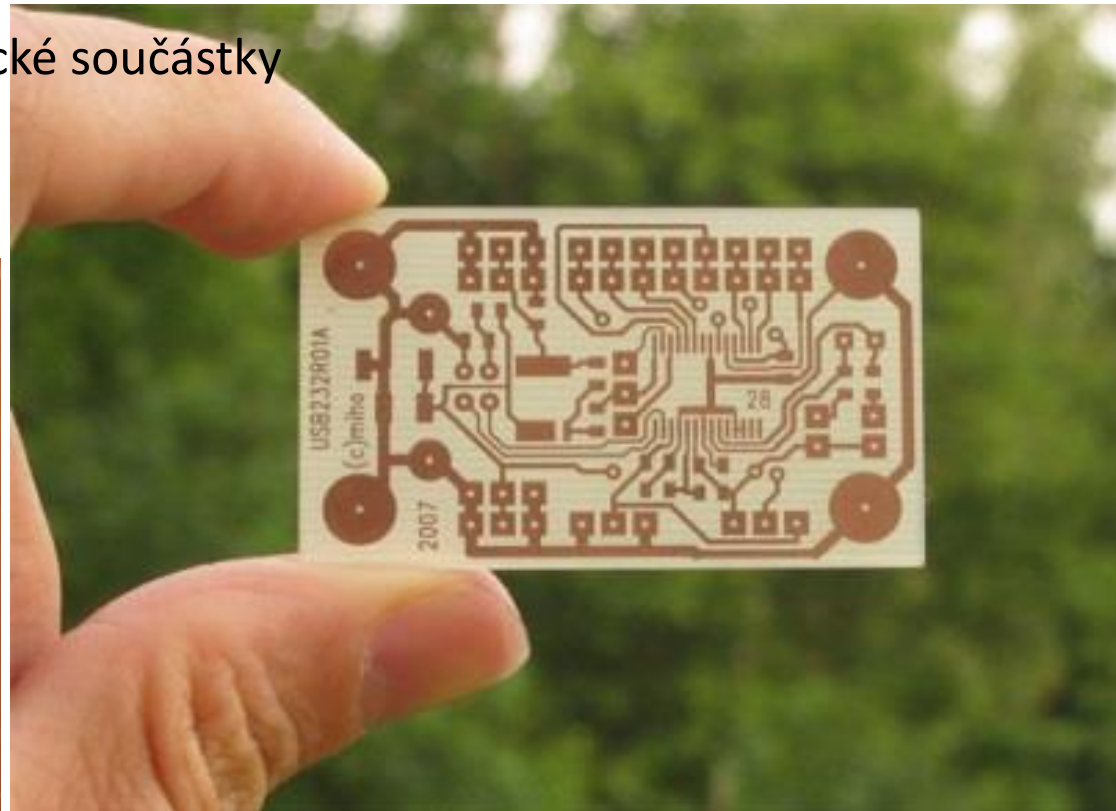
## Rafinace elektrolýsou – rafinace mědi



# 25. Elektrolýza a její využití v praxi

## Využití elektrolýzy v praxi

- galvanické leptání kovů – kovová destička se pokryje lakem nebo barvou, do které se pak vyryje příslušný obrazec
- PŘ. **výroba plošných spojů**
- anoda = deska s vyrytým obrazcem
- elektrolyt je nějaká kyselina, která vyleptá odkrytá místa a ponechá vodivé spoje pod lakem nebo barvou
- do desky se pak zapájí elektronické součástky



# 25. Elektrolýza a její využití v praxi

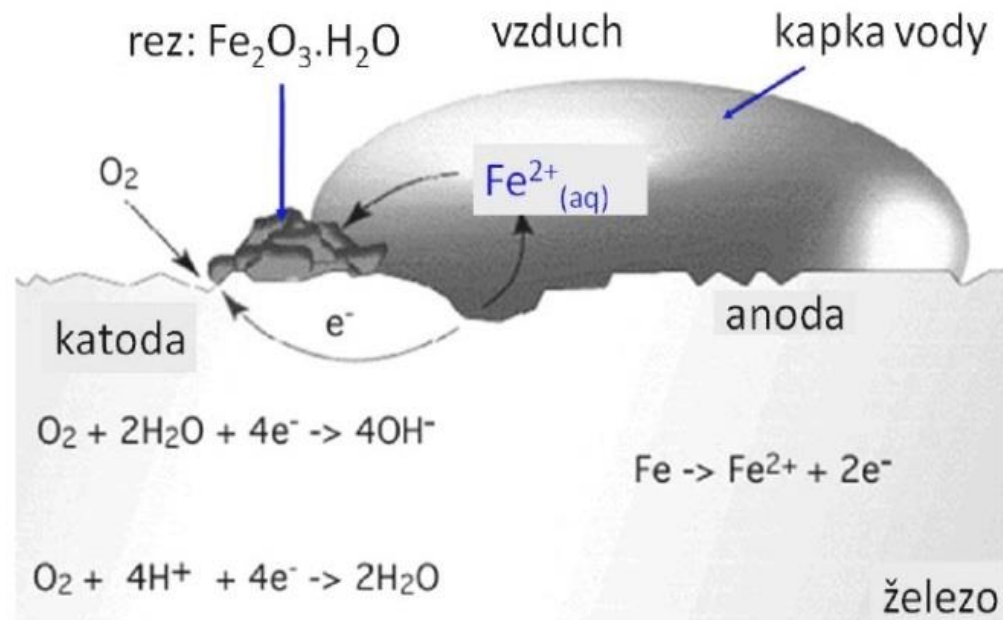
## Využití elektrolýzy v praxi

- **koroze kovů** – negativní (většinou) působení okolního prostředí (vzdušný kyslík a vlhkost) na kov
- **pozitivní koroze** – oxidace mědi na střechách budov, při které vzniká naopak ochranná vrstva zeleného oxidu měďnatého
- **Korodovaný kov** – tvoří při vzniklé elektrochemické reakci **anodu**, vzniklá rez pak tvoří **katodu**
- **Ochrana proti korozi:**
  - nátěry speciální antikorozi barvou
  - galvanické zinkování
  - eloxace hliníku
  - plastifikace povrchu



## Schéma koroze

Katedra chemie FP TUL | www.kch.tul.cz



# 26. Faradayovy zákony. VA charakteristika elektrolytu

## Faradayovy zákony

- **katoda** – při elektrolýze se na katodě VŽDY vylučuje buď **kov nebo vodík**
- **celková hmotnost vyloučené látky  $m$**

$$m = m_0 N = \frac{M_m}{N_A} \cdot \frac{Q}{z \cdot e} = \frac{M_m}{F \cdot z} Q = \frac{M_m}{F \cdot z} It = AIt$$

- $m_0$  - hmotnost jedné molekuly,  $N$  – počet vyloučených molekul
- $z$  – počet elementárních nábojů potřebných pro vyloučení jedné molekuly
- **$F$  – Faradayova konstanta**

$$F = N_A e \cong 9,6485 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

## 1. Faradayův zákon

Hmotnost  $m$  vyloučené látky je přímo úměrná součinu stálého proudu  $I$  a času  $t$ , po který proud procházel elektrolytem.

$$m = AIt$$

- **$A$  – elektrochemický ekvivalent látky**  $[A] = \text{kg} \cdot \text{C}^{-1}$
- Příklad:  $A(\text{Cu}) = 0,329 \text{ mg C}^{-1} \rightarrow$  proudem 1A se za 1s vyloučí na katodě 0,329 mg mědi

# 26. Faradayovy zákony. VA charakteristika elektrolytu

## 2. Faradayův zákon

Látková množství různých látek vyloučených při elektrolýze týmž nábojem jsou chemicky ekvivalentní. Elektrochemický ekvivalent  $A$  látky je přímo úměrný molární hmotnosti látky  $M_m$  a nepřímo úměrný součinu Faradayovy konstanty  $F$  a počtu elektronů  $z$  potřebných k vyloučení jedné molekuly.

$$A = \frac{M_m}{F \cdot z}$$

- $A$  – elektrochemický ekvivalent látky  $[A] = \text{kg} \cdot \text{C}^{-1}$
- $M_m$  – molární hmotnost  $[M_m] = \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

# 26. Faradayovy zákony. VA charakteristika elektrolytu

## Vzorové úlohy

**Př. 1: Roztokem  $\text{CuSO}_4$  prochází proud 1 A, Určete, kolik atomů kovu se vyloučí na katodě za 1 s.**

- $\text{CuSO}_4$   
 $I = 1 \text{ A}$   
 $t = 1 \text{ s}$   
 $N = ?$
- Nejprve provedeme výpočet elektrochemického ekvivalentu mědi  $A(\text{Cu})$
  - $M_m(\text{Cu}^{2+}) = 63,548 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$
  - $z = 2$  (oxidační číslo mědi)

$$A = \frac{M_m}{F \cdot z} = \frac{63,548 \cdot 10^{-3}}{96,5 \cdot 10^3 \cdot 2} = 0,329 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}$$

- dále platí:

$$M_m = \frac{m}{n} = \frac{m N_A}{N}$$

$$m = A I t$$

$$N = \frac{m N_A}{M_m} = \frac{A I t N_A}{M_m} = \frac{0,329 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 6,023 \cdot 10^{23}}{63,548 \cdot 10^{-3}}$$

$$\underline{N = 3,12 \cdot 10^{18} \text{ částic}}$$

# 26. Faradayovy zákony. VA charakteristika elektrolytu

## Vzorové úlohy

**Př. 2: Vypočtete, jaké množství hliníku se vyloučilo z roztoku  $\text{Al}(\text{OH})_3$  na katodě při proudu 10 A za dobu 24 hodin.**



$$I = 10 \text{ A}$$

$$t = 24 \text{ h} = 86400 \text{ s}$$

$$m = ? \text{ (kg)}$$

- nejprve provedeme výpočet elektrochemického ekvivalentu hliníku
- $M_m(\text{Al}^{3+}) = 26,982 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$
- $z = 3$  (oxidační číslo hliníku)

$$A = \frac{M_m}{F \cdot z} = \frac{26,982 \cdot 10^{-3}}{96,5 \cdot 10^3 \cdot 3} = 0,0932 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}$$

- dále platí:

$$m = AIt$$

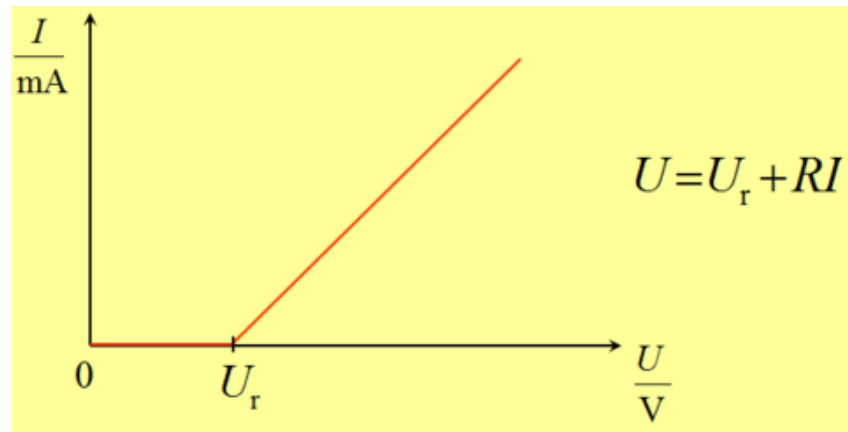
$$m = 0,0932 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 86400 \text{ kg}$$

$$\underline{m = 0,0805 \text{ kg} = 80,5 \text{ g}}$$

# 26. Faradayovy zákony. VA charakteristika elektrolytu

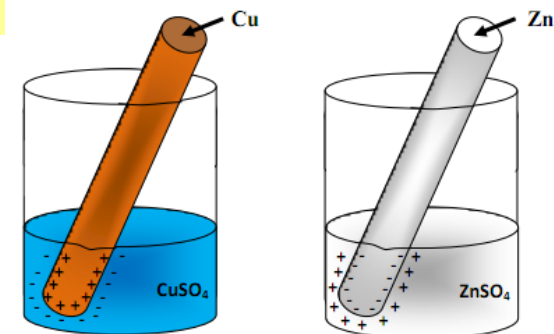
## VA charakteristika elektrolytu

- Typ 1 – chová se podle Ohmova zákona, závislost proudu na napětí je lineární  
Př.: 2 Cu elektrody v roztoku  $\text{CuSO}_4$   
Na katodě se vylučuje Cu, z anody přechází Cu do roztoku, koncentrace elitu se nemění
- Typ 2 – **polarizace elektrod**  
Př.: uhlíkové elektrody v roztoku  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
 **$U_r$  – rozkladné napětí:** po jeho překročení je již závislost  $I$  na  $U$  lineární



## Elektrická dvojvrstva

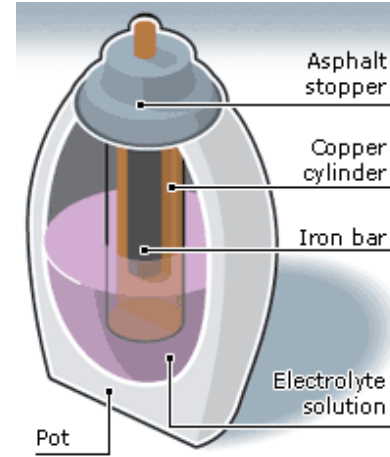
- vznik na rozhraní kovu a elektrolytu
- generuje určité **polarizační napětí**, které má **opačný směr** než elektromotorické napětí vnějšího zdroje



# 27. Galvanické články a akumulátory

## Galvanické články ve starověku

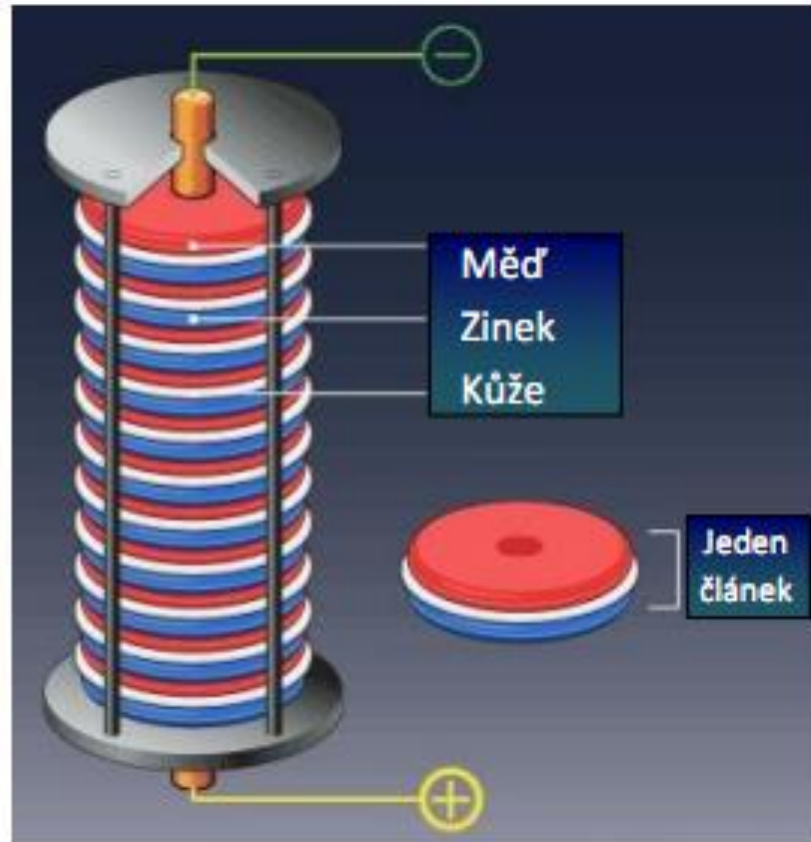
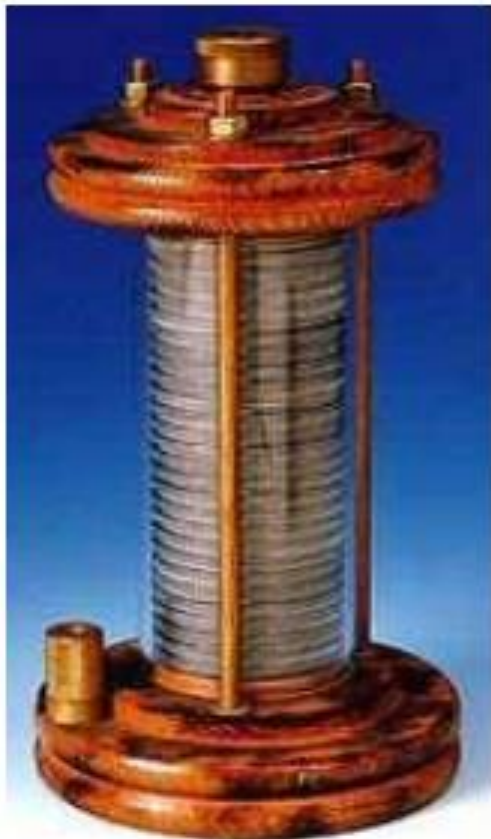
- využívají vznik elektrické dvojvrstvy
- starověká **Mezopotámie**
  - první galvanické články už 200 př.n.l.
  - známá jako **bagdádská baterie**
- **starověký Egypt 2500 př.n.l.**
  - reliéfy v pyramidách a chrámech připomínají žárovky a izolátory (Dendera a Abydos)
  - sloupy dřev



# 27. Galvanické články a akumulátory

## Galvanické články – Voltův článek

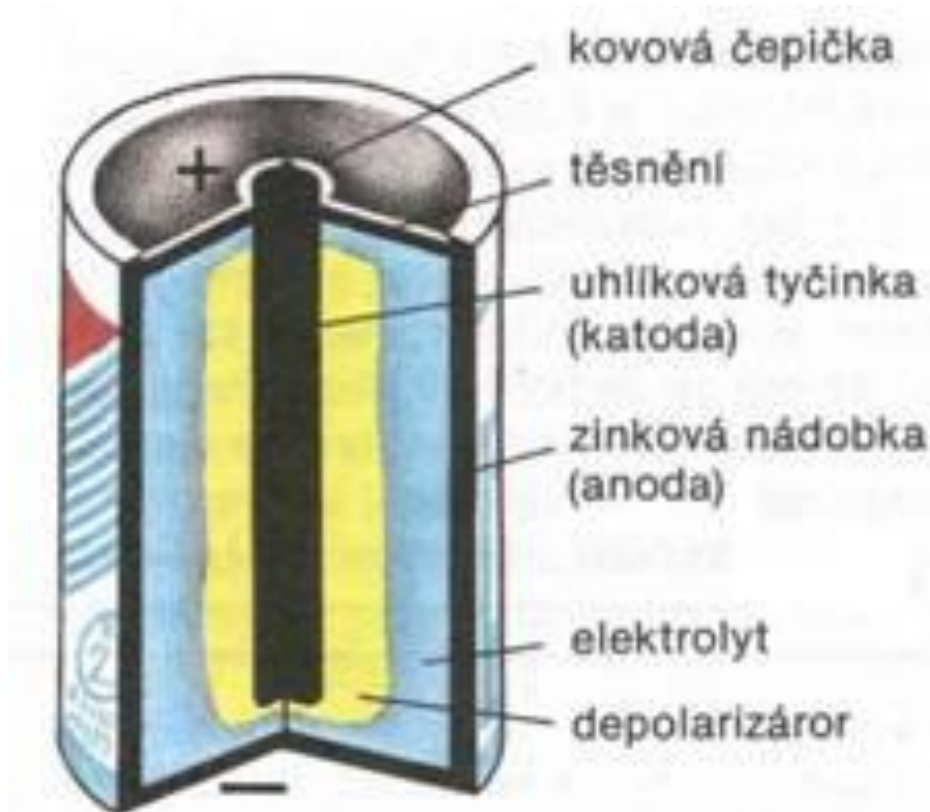
- **Alessandro Volta (1745 – 1827)**, italský fyzik
  - r. 1800 sestavil novodobý galvanický článek zvaný **Voltův sloup**
  - elektrolyt: zředěná kyselina sírová
  - napětí jednoho článku je cca 0,76 V
  - zdokonalil kondenzátor



# 27. Galvanické články a akumulátory

## Galvanické články – suchý článek

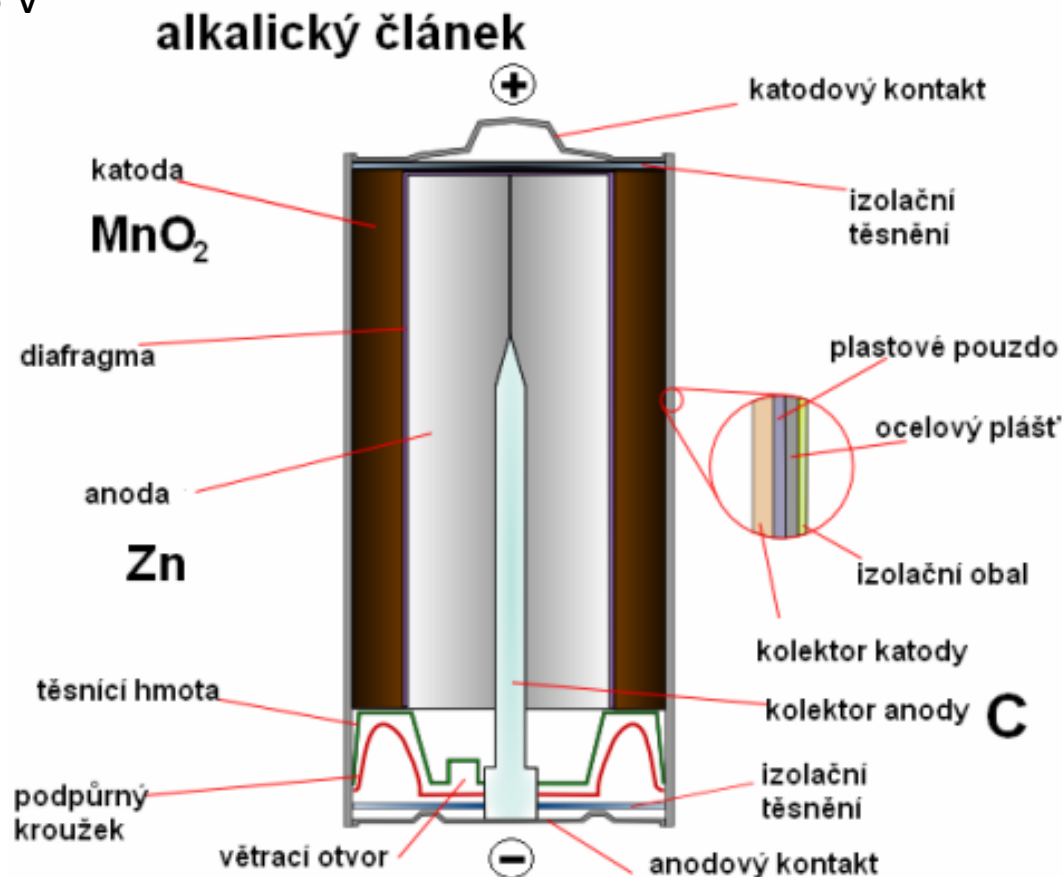
- **katoda:** uhlíková tyčinka, **anoda:** zinková nádoba
- **elektrolyt:** salmiak (koncentrovaný vodný roztok chloridu amonného  $\text{NH}_4\text{Cl}$ )
- **depolarizátor:** burel (oxid manganičitý  $\text{MnO}_2$ ), zabraňuje polarizaci elektrod
- napětí článku: 1,5 V



# 27. Galvanické články a akumulátory

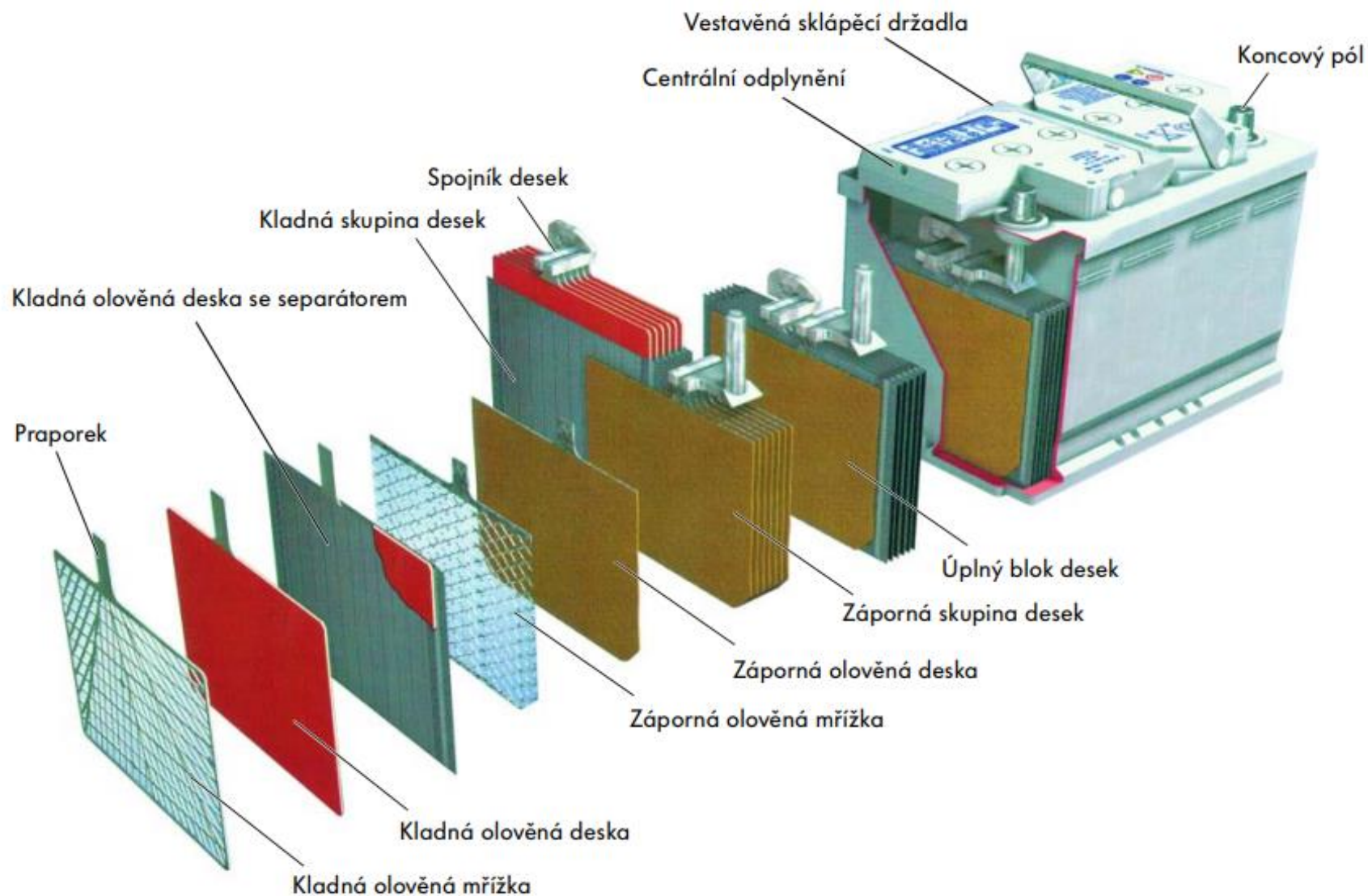
## Galvanické články – alkalický článek

- **katoda:** směs  $\text{MnO}_2$  a práškového uhlíku uzavřená v nerezové nádobě,
- **anoda:** práškový Zn v gelu, který obsahuje elektrolyt  $\text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$
- **elektrolyt:**  $\text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$
- **Sběrač proudu: mosazný nebo měděný hrot umístěný centrálně v anodě**
- napětí článku: 1,5 V



# 27. Galvanické články a akumulátory

## Sekundární články – olověný akumulátor



# 27. Galvanické články a akumulátory

## Sekundární články – olověný akumulátor

- **katoda i anoda:** Pb
- **elektrolyt:**  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- **po ponoření elektrod do kyseliny sírové se jejich povrch pokryje vrstvou  $\text{PbSO}_4$**
- napětí akumulátoru:  $12\text{ V} = 6 \times 2\text{ V}$

## Nabíjení akumulátoru

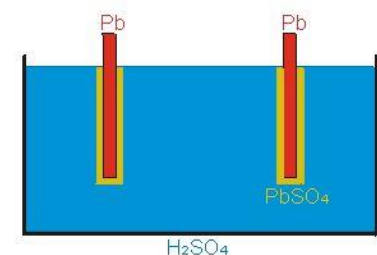
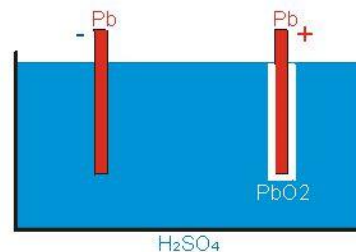
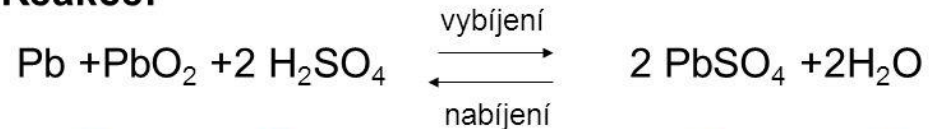
- **katoda:** vylučuje se  $\text{PbO}_2$
- **anoda:** tvoří se Pb
- při reakci vzniká i  $\text{H}_2\text{SO}_4$  → zvětšuje se hustota elektrolytu

## Vybíjení akumulátoru

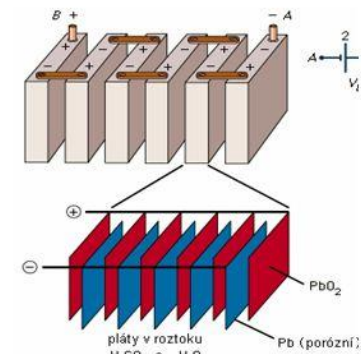
- **Katoda i anoda:** vylučuje se  $\text{PbSO}_4$
- při reakci vzniká i  $\text{H}_2\text{O}$  → zmenšuje se hustota elektrolytu

## Olověný akumulátor

### Reakce:



1 sada deskových elektrod dává 2 V  
→ napětí 6, 12, 24 V podle počtu sad

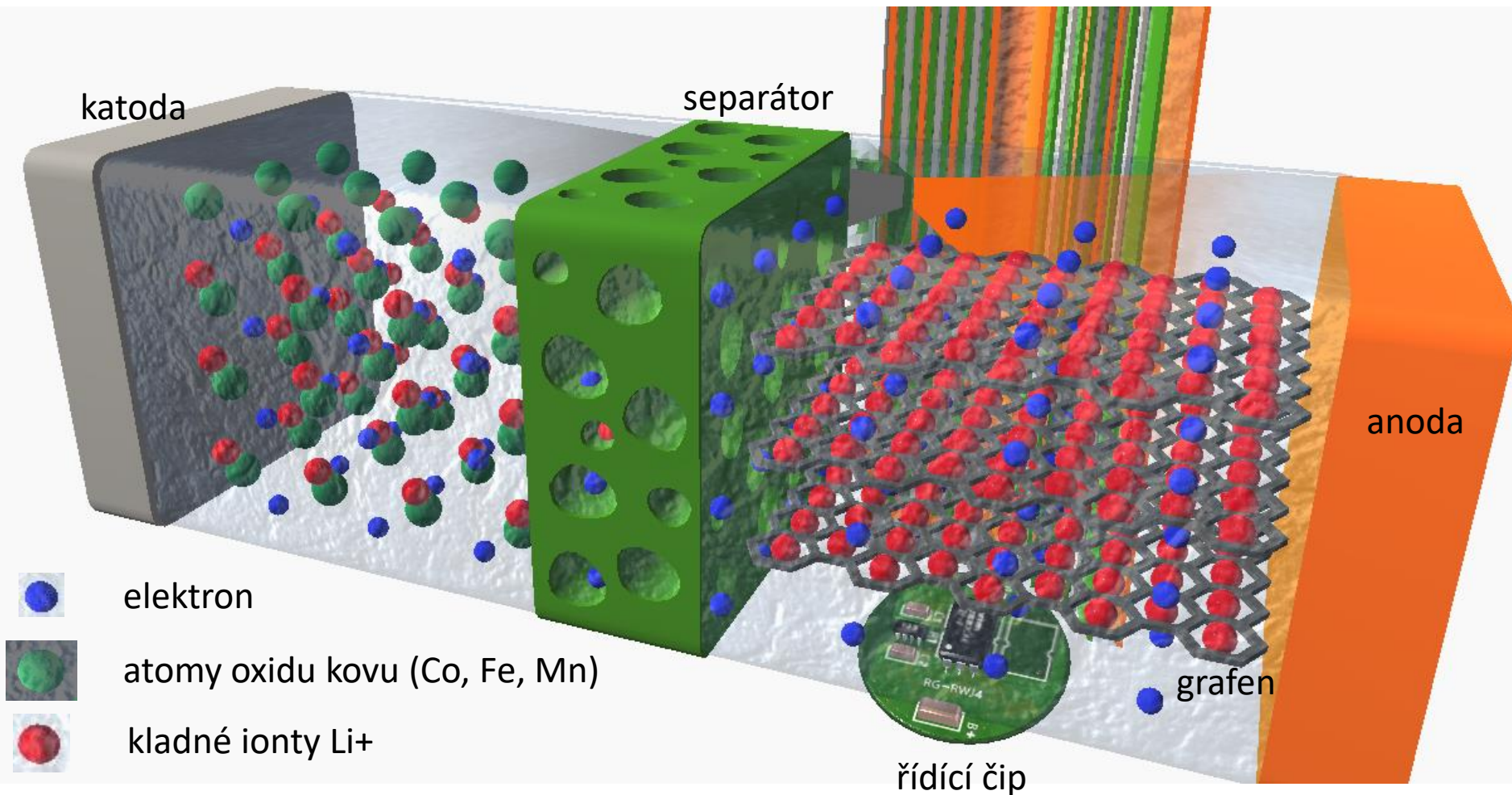


# 27. Galvanické články a akumulátory

## Sekundární články – Li-ion baterie



[https://online.corinth3d.com/app/scene/f\\_vyna\\_baterie\\_detail?p=part\\_detail\\_rezu](https://online.corinth3d.com/app/scene/f_vyna_baterie_detail?p=part_detail_rezu)



# 27. Galvanické články a akumulátory

## Sekundární články – Li-ion baterie

- dá se znovu nabíjet, počet nabíjecích cyklů 1000 až 1500 (pak výrazně klesá kapacita baterie)
- využití: telefony, tablety, aku vrtačky, elektromobily, FVE
- anoda: grafen (nanostruktura uhlíku)
- katoda: oxid kovu (např.  $\text{LiCoO}_2$ ) nebo polymerové polyaniony ( $\text{LiFePO}_4$ ) nebo spinely ( $\text{Li}_2\text{Mn}_2\text{O}_4$ )
- elektrolyt: lithiová sůl v organickém rozpouštědle
- elektrody vzájemně odděleny porézním separátorem – umožňuje pohyb iontů
- baterie vybavena **čipem, který řídí proces nabíjení i vybíjení**
- napětí článku: 3,6 – 3,7 V

## Využití akumulátorů v praxi

- automobilové baterie 12 V, motocyklové baterie 6 V
- aku vrtačky, šroubováky, nářadí
- mobilní telefony, notebooky, tablety
- baterie pro fotovoltaické elektrárny
- elektromobily, elektro kola



# 27. Galvanické články a akumulátory

## Kapacita akumulátoru

- udáváme ji v **ampérhodinách A · h**
- je určena celkovým nábojem, který může dát akumulátor při vybíjení
- Př. NiMH monočlánek s údajem 2700 umožňuje čerpat 2700 mA = 2,7 A po dobu jedné hodiny nebo adekvátní poměrnou část, např. 270 mA po dobu 10 hodin



## Vzorový příklad

Př. Akumulátor má napětí 12 V a kapacitu 60 A · h. Jak dlouho můžeme napájet 10 W LED žárovku?

**Zápis zadání:**

**Řešení:**

$$U = 12 \text{ V}$$

$$P = 10 \text{ W}$$

$$Q = 60 \text{ A} \cdot \text{h}$$

$$t = ? \text{ (h)}$$

$$P = UI$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{10}{12} \text{ A} = 0,83 \text{ A}$$

$$Q = It$$

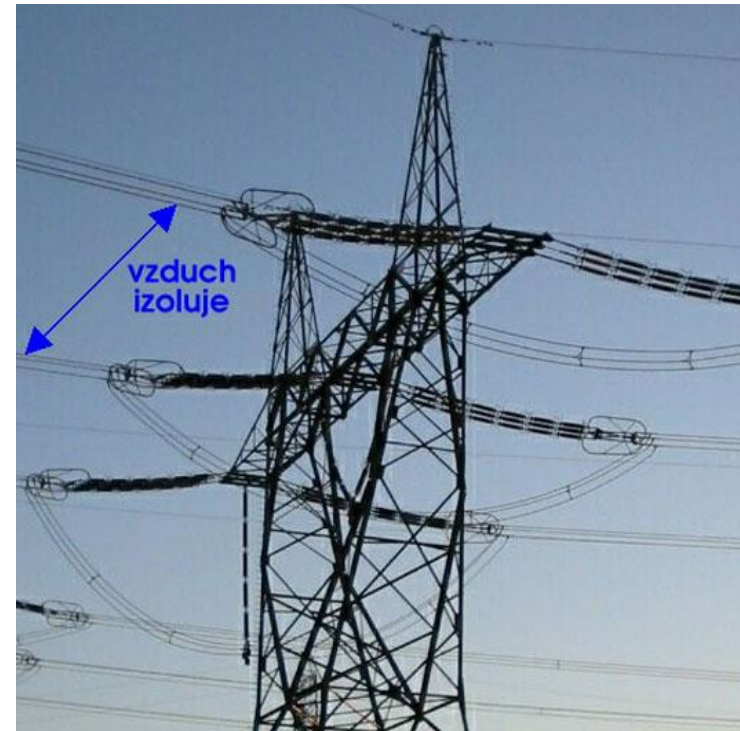
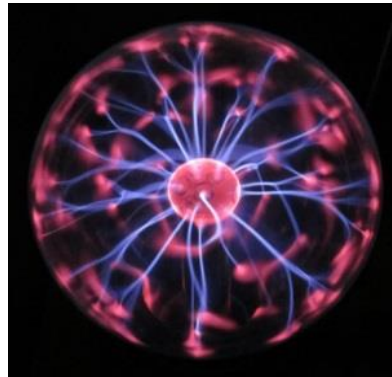
$$t = \frac{Q}{I} = \frac{60}{0,83} \text{ hod} = \mathbf{72 \text{ hodin}}$$

10 W LED žárovku můžeme z akumulátoru napájet 72 hodin.

# 28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

## Samostatný a nesamostatný výboj

- plyny se za běžných podmínek (teplota, tlak) chovají jako izolanty → nevedou el. proud
- dosáhne-li intenzita elektrického pole určitých hodnot, dojde k ionizaci plynu, následně průrazu dielektrika, plyn vede el. proud (vzduch  $E_{\text{krit}} = 3 \text{ MV/m} = 3 \text{ kV/mm}$ )
- Př. blesk, plazmová koule, reklamní trubice, zářivky

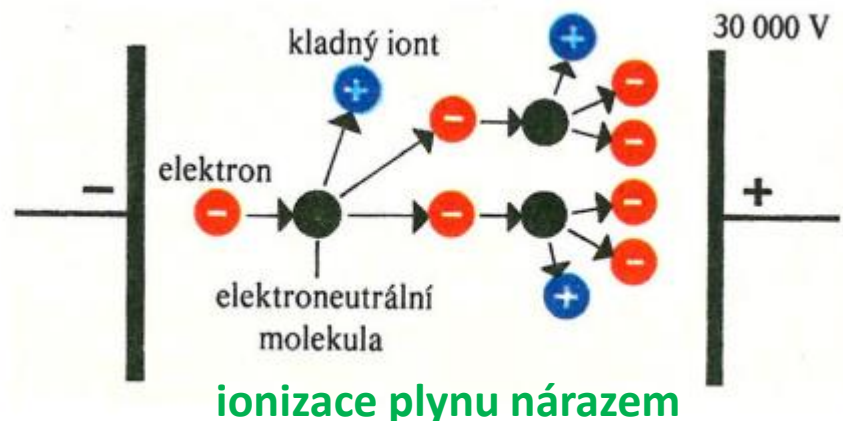
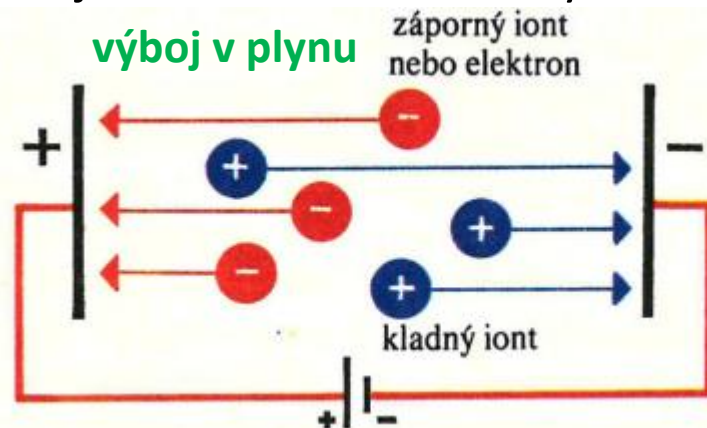


# 28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

## Samostatný a nesamostatný výboj

### Ionizace plynu

- **neutrální** molekuly a **atomy** plynu **se rozštěpí na kladné a záporné ionty** a volné elektrony
- **ionizátory**: vysoká teplota, sluneční vítr, náraz částic, silné elektrické pole, záření
- kationty se pohybují k záporně nabité elektrodě, anionty ke kladně nabité elektrodě
- **nesamostatný výboj** – elektrický proud v plynu je udržován jen po dobu působení ionizátoru
- **samostatný výboj** – elektrický proud v plynu je nezávislý na vnějším ionizátoru
- **plazma** – vysoce ionizovaný plyn
- **rekombinace iontů** – probíhá současně s ionizací plynu; opačně nabité ionty se slučují na neutrální molekuly

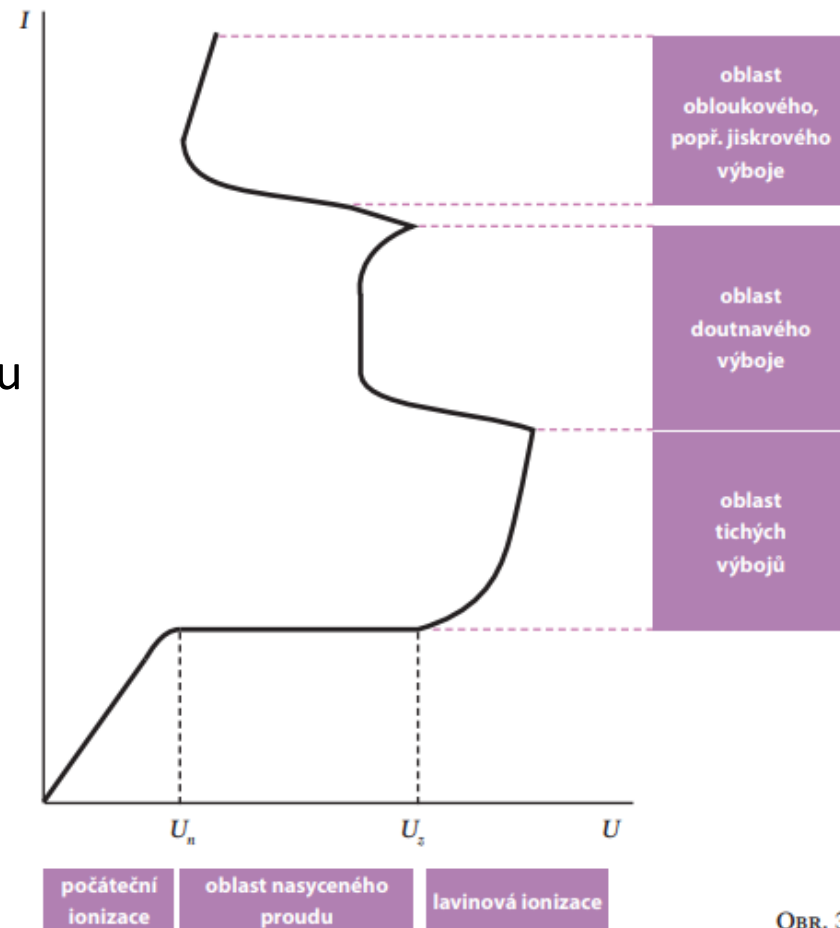
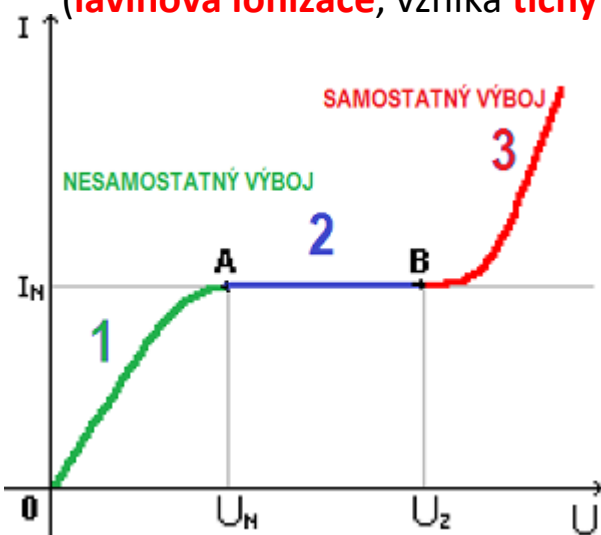


# 28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

## Samostatný a nesamostatný výboj

### VA charakteristika výboje

- **oblast nesamostatného výboje** – platí Ohmův zákon
- **oblast nasyceného proudu** –  
plynem prochází **nasycený proud  $I_N$**   
při konstantním napětí  $U_N$ , většina iontů  
nestačí rekombinovat, Ohmův zákon neplatí
- **oblast samostatného výboje** – při dosažení  
**zápalného napětí  $U_Z$**  dojde díky  
**ionizaci nárazem** k prudkému nárůstu proudu  
(**lavinová ionizace**, vzniká **tichý výboj**)

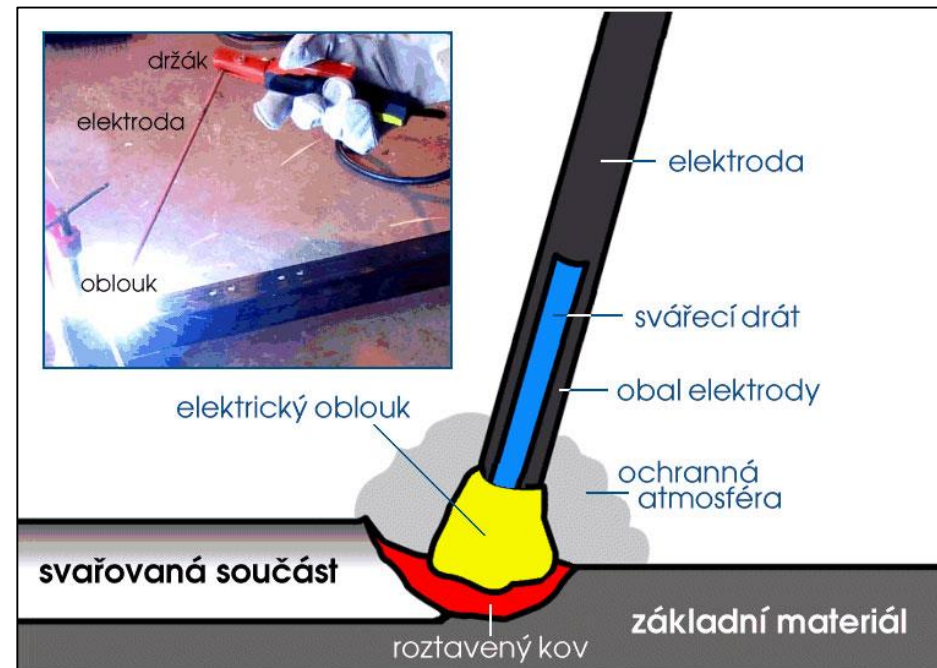
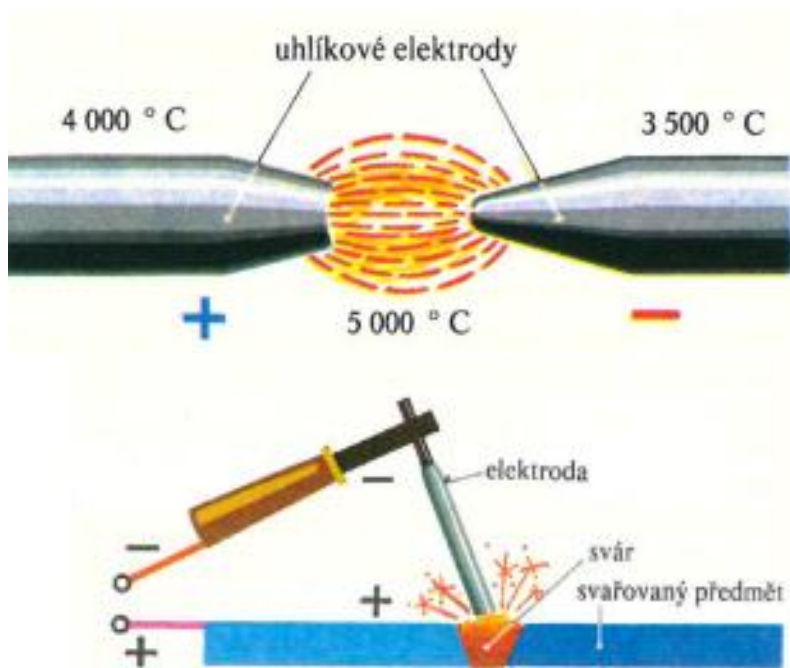


# 28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

## Druhy výbojů

### Obloukový výboj

- vzniká za **běžného atmosférického tlaku** při zkratu elektrod a jejich následném oddálení
- **teplota** mezi elektrodami dosáhne cca **5000 °C** – vzduch se silně ionizuje
- ke vzniku el. oblouku stačí **napětí řádově 100 V** a proud 80 – 120 A
- **obsahuje UV záření** – nutná ochrana očí
- využití: svařování kovů, vysokotlaké výbojky, obloukové pece

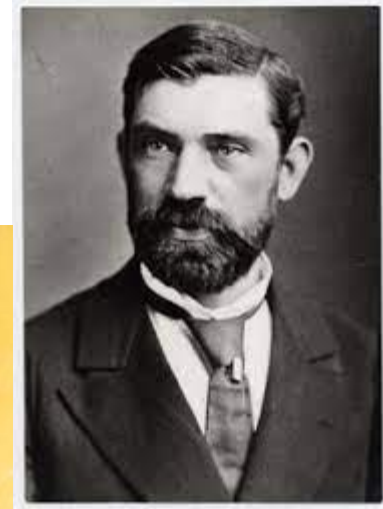
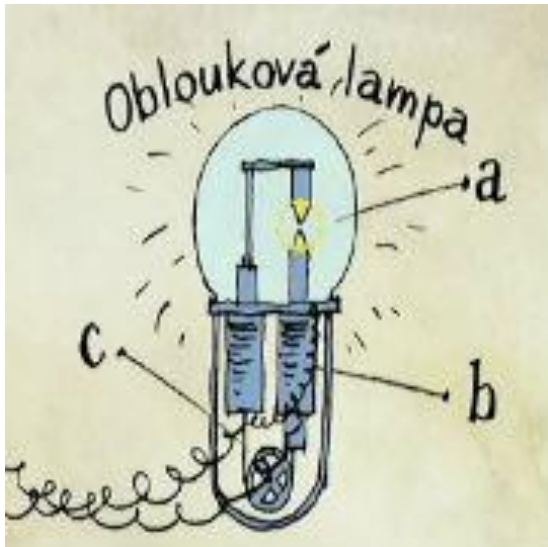


# 28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

## Druhy výbojů

### Oblouková lampa

- historický zdroj světla
- **František Křižík (1847 – 1941) – český technik, průmyslník, vynálezce**
  - vynalezl obloukovou lampu se samočinnou regulací vzdáleností elektrod
  - vynalezl světelnou fontánu
  - sestrojil elektromobil
  - postavil první elektrickou dráhu v Praze
  - elektrifikovaná trať Tábor-Bechyně



# 28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

## Tichý výboj - korona

### Eliášovo světlo

- výboj vzniká v okolí vodičů s velmi vysokým napětím, řádově  $10^2 - 10^4$  kV
- historicky pozorované v okolí hrotů stožárů lodí
- v přenosové soustavě VVN způsobuje energetické ztráty
- lze ho pozorovat např. u Teslova transformátoru



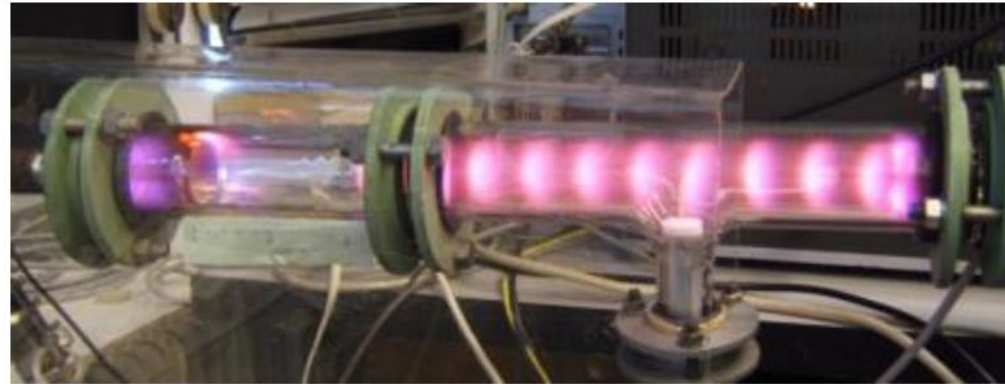
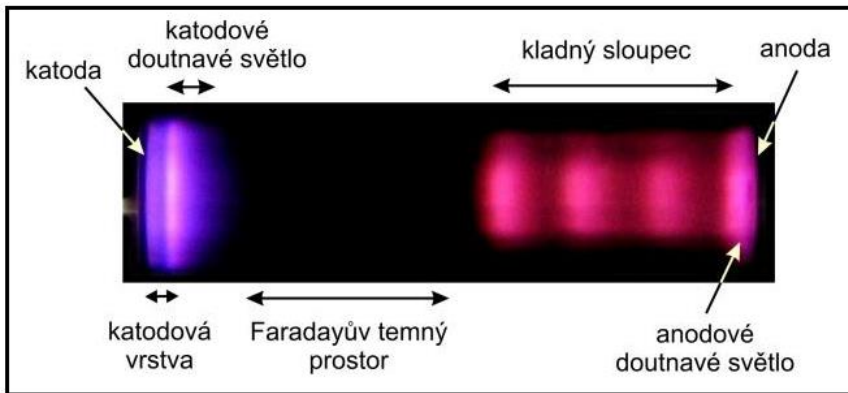
### Eliášův oheň

Úkaz na stěžni lodě a při pohledu z letadla. Český název je spojován s biblickým prorokem Eliášem, který „byl vzat do nebe na ohnivém voze s ohnivými koni“ (2 Král 2,11). Anglicky se úkaz nazývá *St. Elmo's fire*. Sv. Elmo, přesněji sv. Erasmus Formský byl křesťanský mučedník, patron námořníků. Právě námořníci tento typ výboje nejdříve a nejčastěji pozorovali.

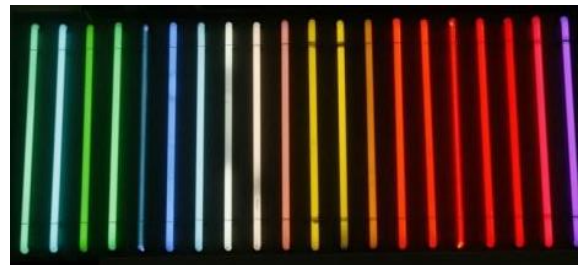
# 28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

## Výboj za sníženého tlaku – doutnavý výboj

### Anodový a katodový sloupec



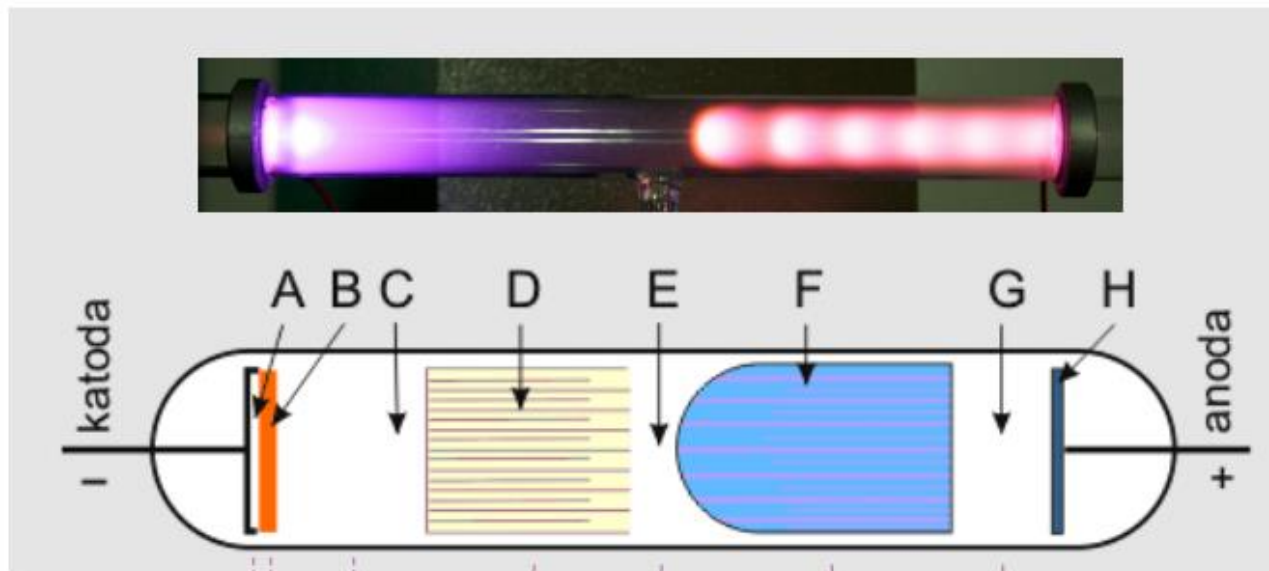
- **doutnavý výboj** - vznik za sníženého tlaku pod 5 kPa
- **Anodový sloupec**
  - vzniká při tlaku cca 100 Pa
  - oddělen od katody Faradayovým tmavým prostorem
  - využití anodového světla: reklamní zářivky a trubice



- **Katodový sloupec**
  - namodralé barvy
  - využití: **doutnavky** (schodišťové vypínače, kontrolky přístrojů)
  - plněné neonem: typicky oranžové světlo



# 28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu



**Astonův tmavý prostor**  
elektrony mají ještě nízkou energii pro excitování částic plynu  
vrstva je temná

**katodová svítící skvrna\***

**Crookesův tmavý prostor**  
největší urychlení elektronů

**slopec katodového světla, „záporný sloupec“**  
srážkami urychlených elektronů s neutrálními molekulami vzniká světlo – doutnavé katodové světlo

**anodová vrstva\***  
vzniká pouze v některých případech  
úplná teorie této vrstvy dosud není formulována

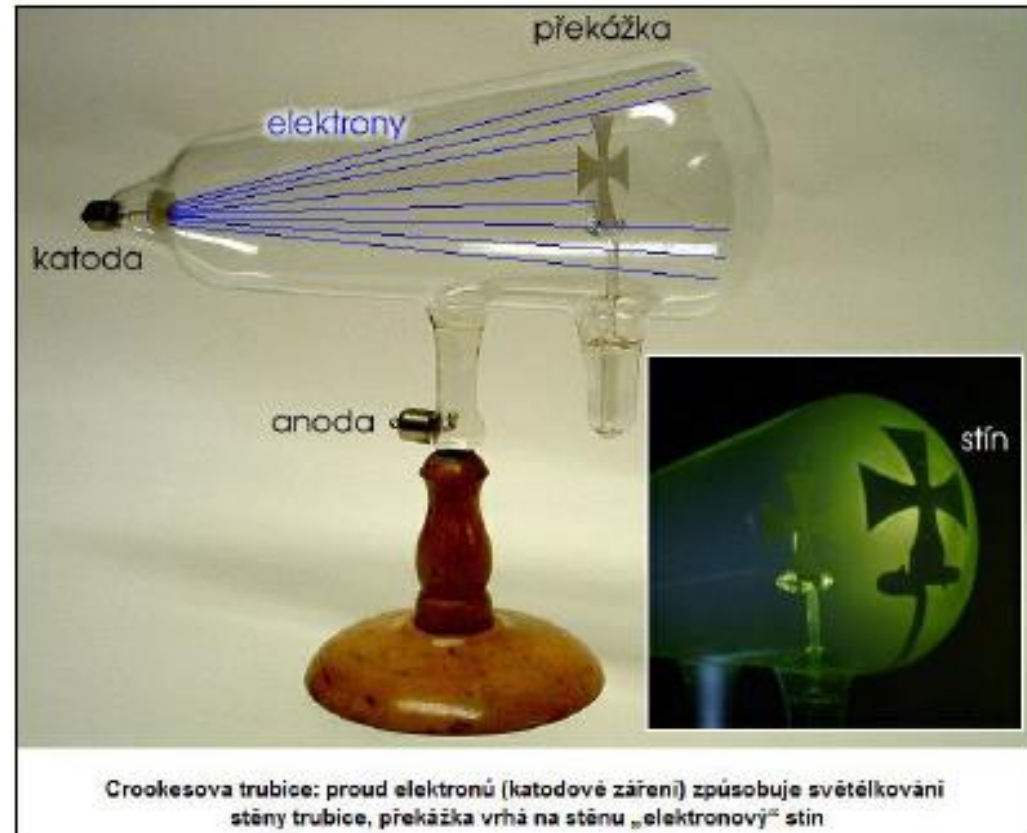
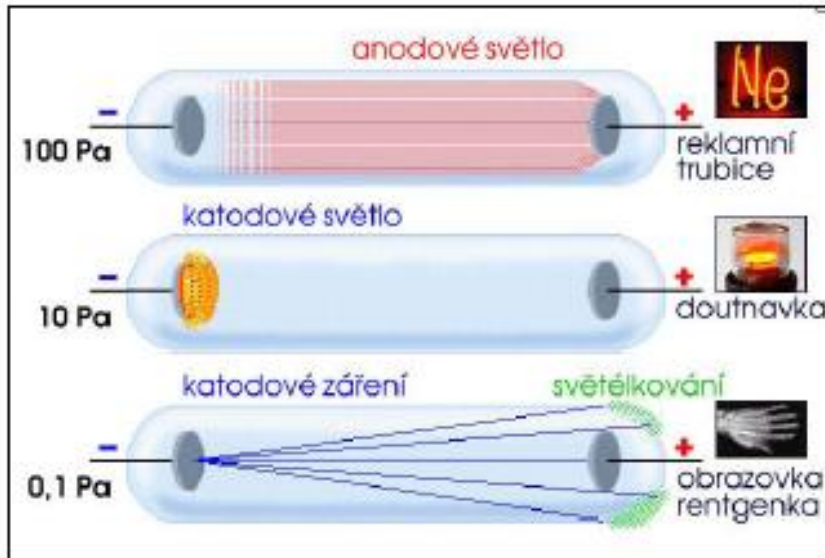
**slopec anodového světla, „kladný sloupec“**  
nové urychlení elektronů, znovu vzniká světlo – jasné světlo charakteristické barvy podle plynu, který trubici vyplňuje; ve sloupci je plasma

**Faradayův tmavý prostor**  
srážkami se elektrony značně zbrzdily, světlo ustává

# 29. Katodové záření. Obrazovka. Plazmová TV.

## Katodové záření

- **Katodové záření** - vznik při tlaku pod 2,67 Pa
- projevuje se zeleným světlem v místě dopadu **elektronů**, které **vylétávají z katody**



W.C. Röntgen

# 29. Katodové záření. Obrazovka. Plazmová TV.

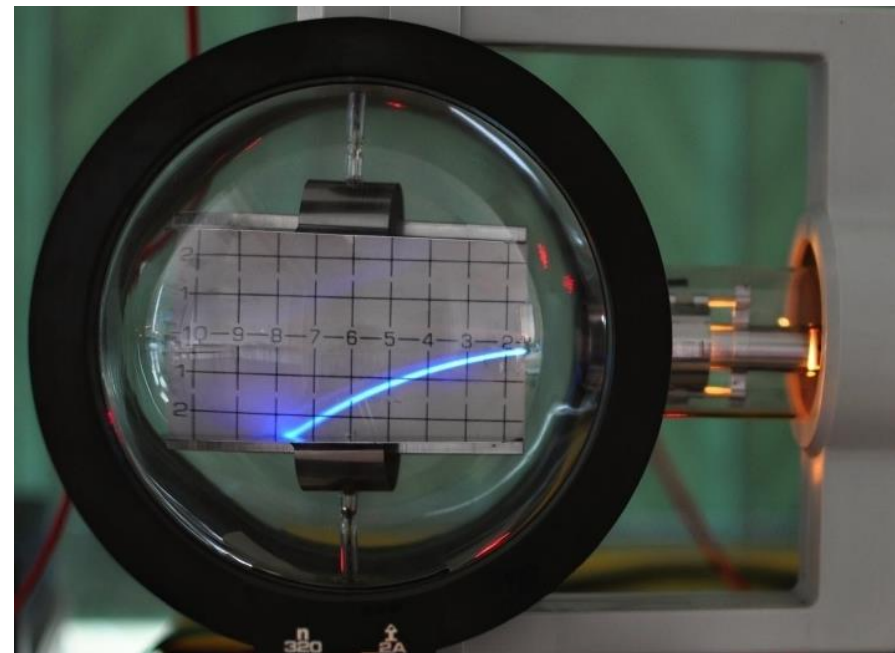
## Katodové záření

### Vlastnosti katodového záření

- způsobuje světelné efekty v místě dopadu
- po dopadu na kovovou anodu **může vyvolat RTG záření**
- vychýlení elektronového paprsku v magnetickém poli
- vychýlení paprsku silným elektrickým polem
- další účinky:
  - **mechanické** (Crooksův mlýnek)
  - **tepelné** (rozžhavení anody)
  - **chemické** (expozice fotografické desky)



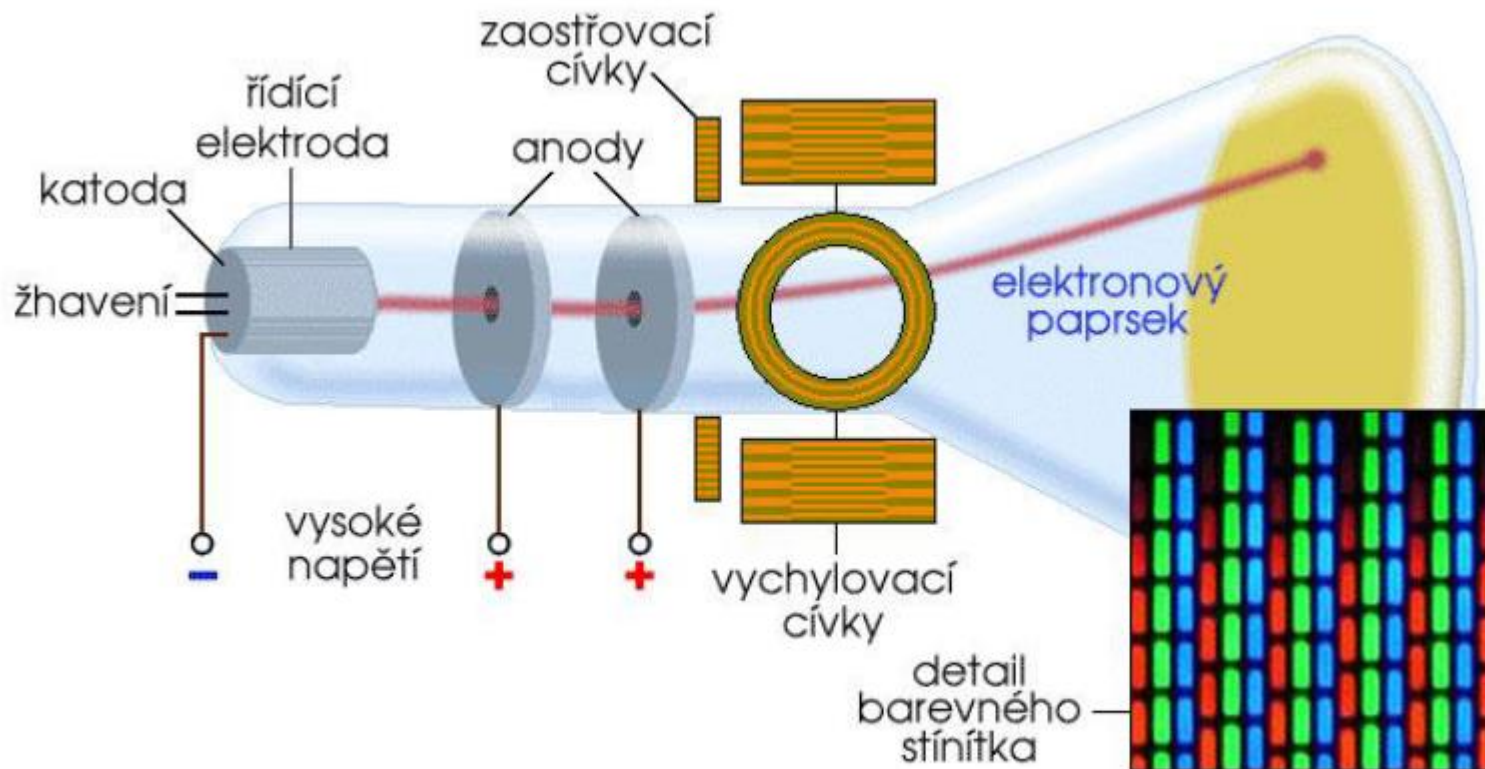
Crooksův mlýnek



# 29. Katodové záření. Obrazovka. Plazmová TV.

## Obrazovka

### Princip klasické obrazovky



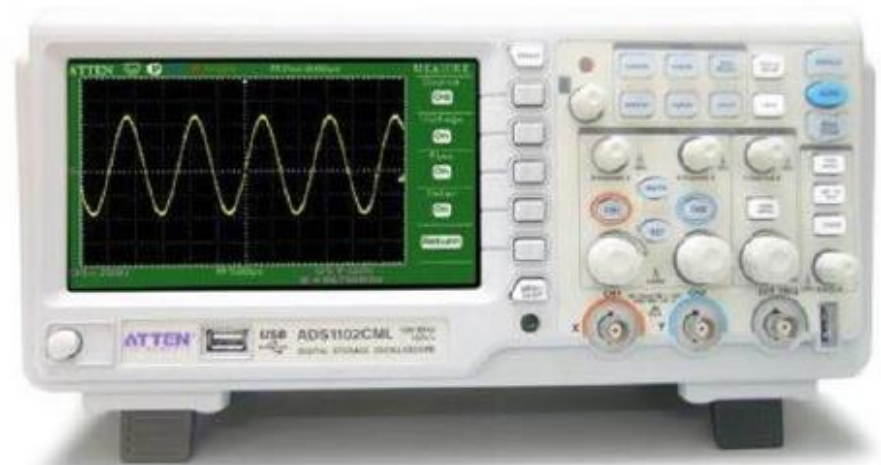
Zjednodušené uspořádání elektrod ve vakuové obrazovce s magnetickým vychylováním

# 29. Katodové záření. Obrazovka. Plazmová TV.

## Obrazovka

### Princip klasické obrazovky

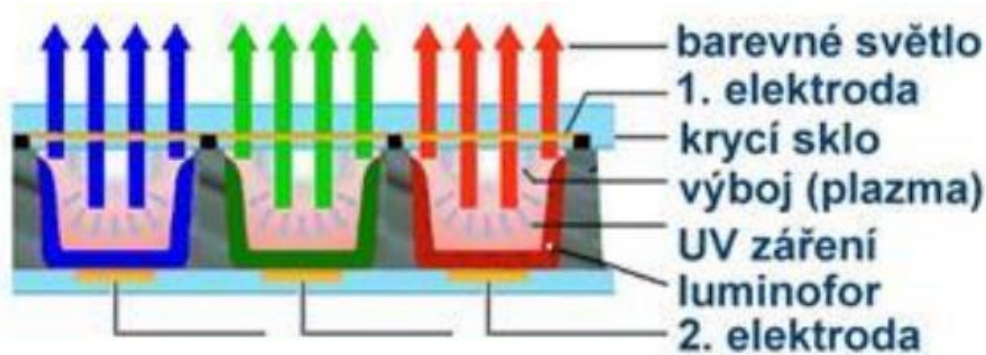
- vychýlení elektronového paprsku pomocí **vertikálních a horizontálních destiček** (el. pole) nebo **vychylovacích cívek** (mag. pole)
- stínítko pokryté vrstvou **luminoforu (např. ZnS)**
- **využití: osciloskop, klasická TV obrazovka**
- **termoemise** elektronů z **katody** – součástí katody je žhavicí vlákno uvolňující  $e^-$
- **Wehneltův válec**
  - řídicí elektroda
  - ovlivňuje **počet emitovaných elektronů** – ovládání **jasu** obrazovky
- **urychlovací napětí** – mezi A a K, velikost řádově  $10^4$  V
- **zaostřovací cívky** – soustředí elektrony do úzkého svazku → **ostrotu obrazu**
- elektronový paprsek postupně vykresluje shora dolů všechny obrazové body, během **1 s se vystřídá 25 snímků**, aby oko vnímalo plynulou změnu obrazu



# 29. Katodové záření. Obrazovka. Plazmová TV.

## Plazmová TV

### Princip plazmové obrazovky



- **luminofor excitován UV zářením** (místo elektronového paprsku)
- po připojení napětí na elektrody dojde k **ionizaci plynu** a vzniku UV záření
- **výhody:** ploché obrazovky s velkým rozměrem, lepší kontrast, jas a barvy než u LCD
- **nevýhody:** obrazovka je zdrojem tepla, vyšší spotřeba energie