

Elektrický proud v kapalinách a plynech



25. Elektrolýza a její využití v praxi



➤ sledujme vedení elektrického proudu v různých typech vody

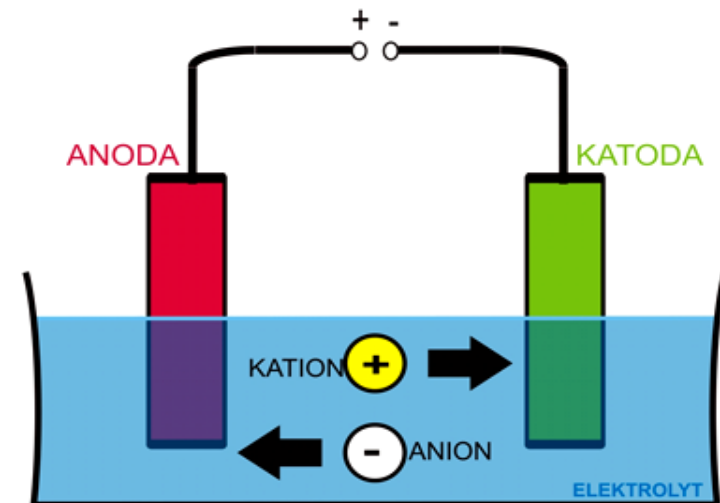
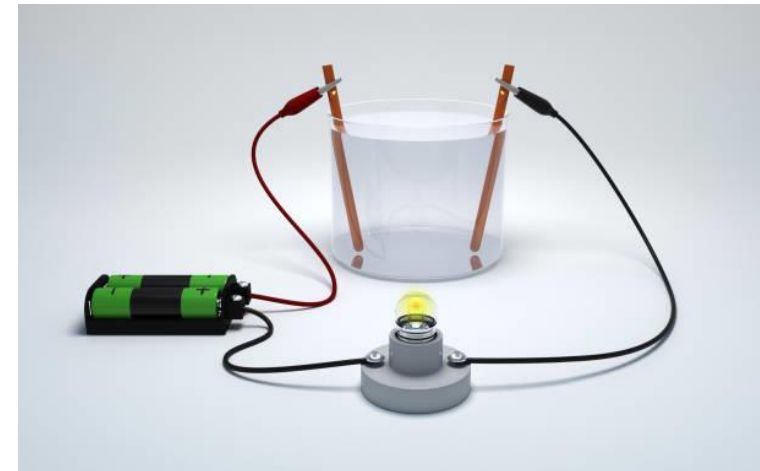
<https://www.youtube.com/watch?v=a1c-vkNdvlg>

Elektrolyt – je roztok

- solí: např. NaCl
- kyselin: HCl, H₂SO₄
- zásad: KOH, NaOH
- tavenin výše uvedených látek

Elektrolýza

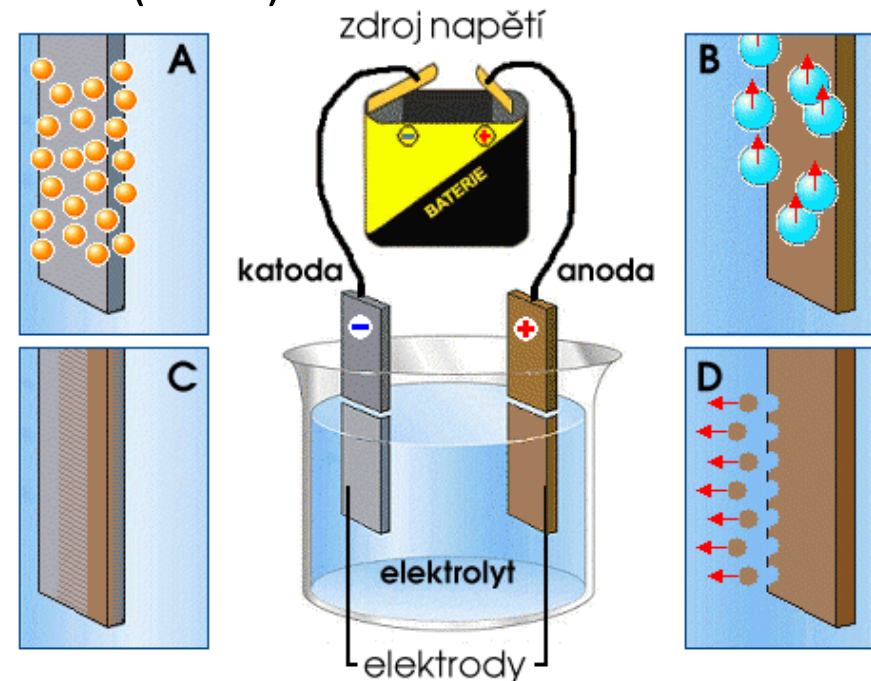
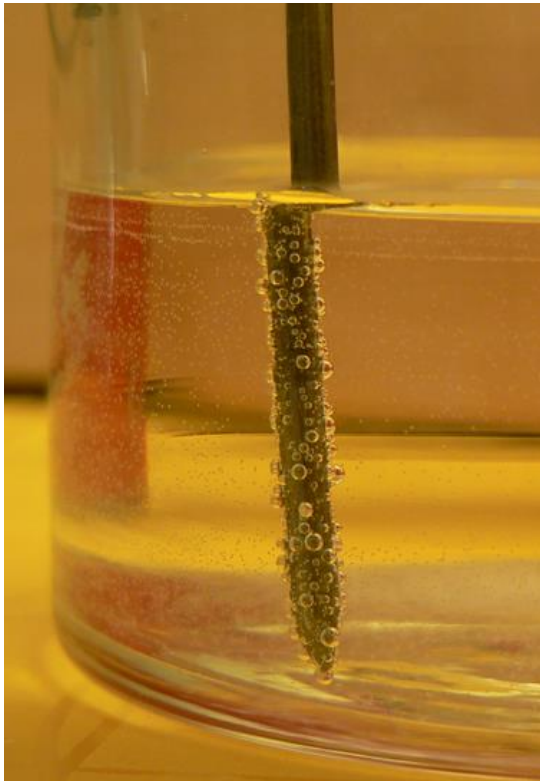
- rozštěpení látky na ionty průchodem ss elektrického proudu
- vznikají kladné ionty (**kationty**) a záporné ionty (**anionty**)
- **Anoda** → kladná elektroda vložená do elektrolytu
- **Katoda** → záporná elektroda



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

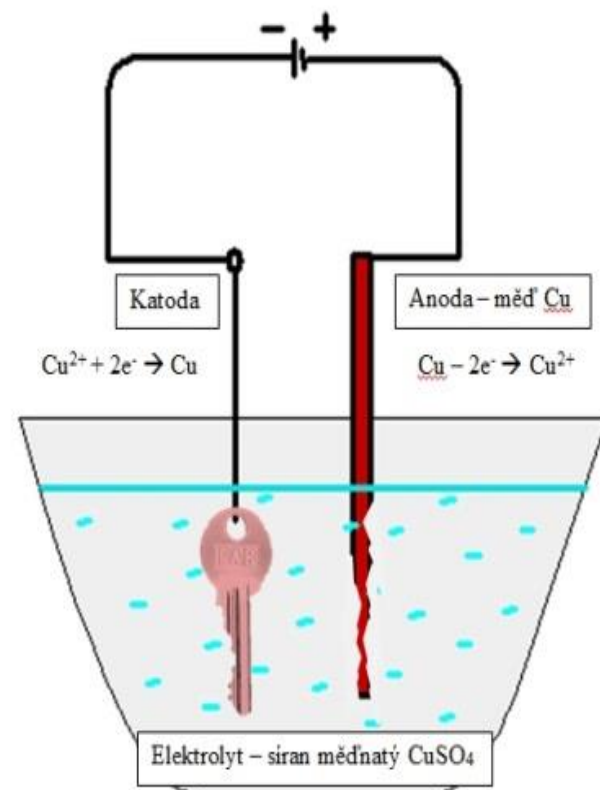


Při elektrolýze se mohou částice na elektrodách usazovat (A), ve formě bublinek plynu unikat ven (B), vytvářet na povrchu vrstvu sloučenin (C), odebírat z elektrody materiál (D)

25. Elektrolýza a její využití v praxi

Využití elektrolýzy v praxi

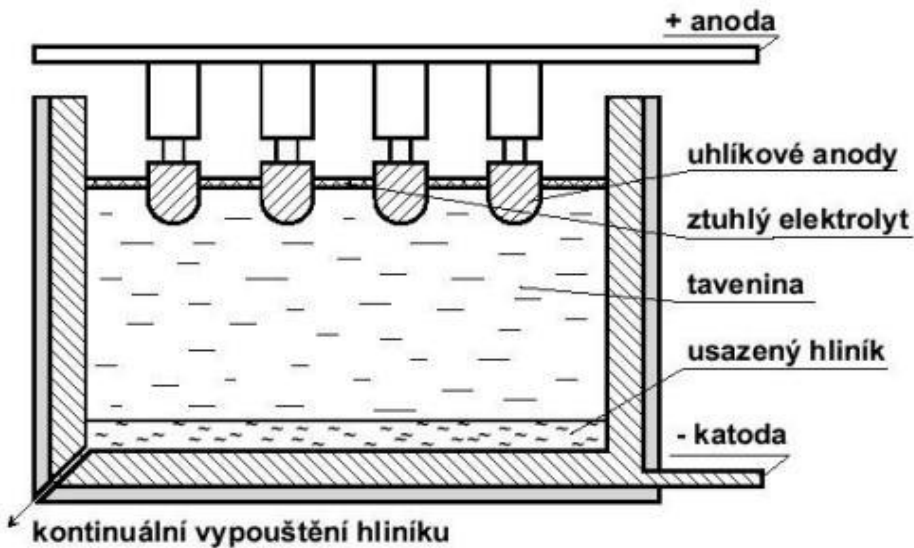
- galvanické pokovování – ochrana proti korozi



25. Elektrolýza a její využití v praxi

Využití elektrolýzy v praxi

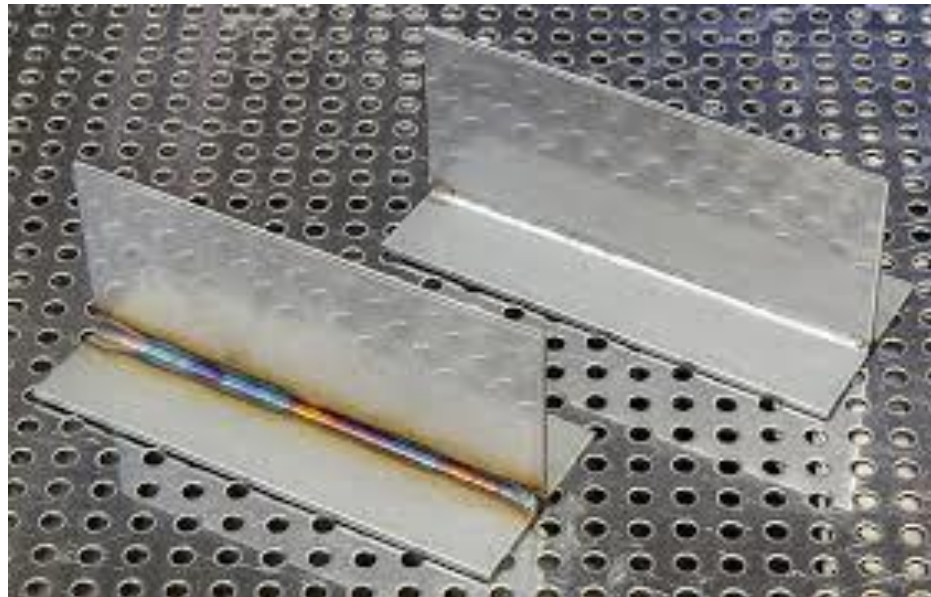
- elektrolytická výroba kovů – náročná na spotřebu energie, proud 200 000 A
- Příklad: hliník



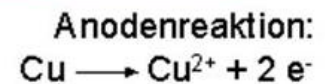
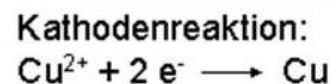
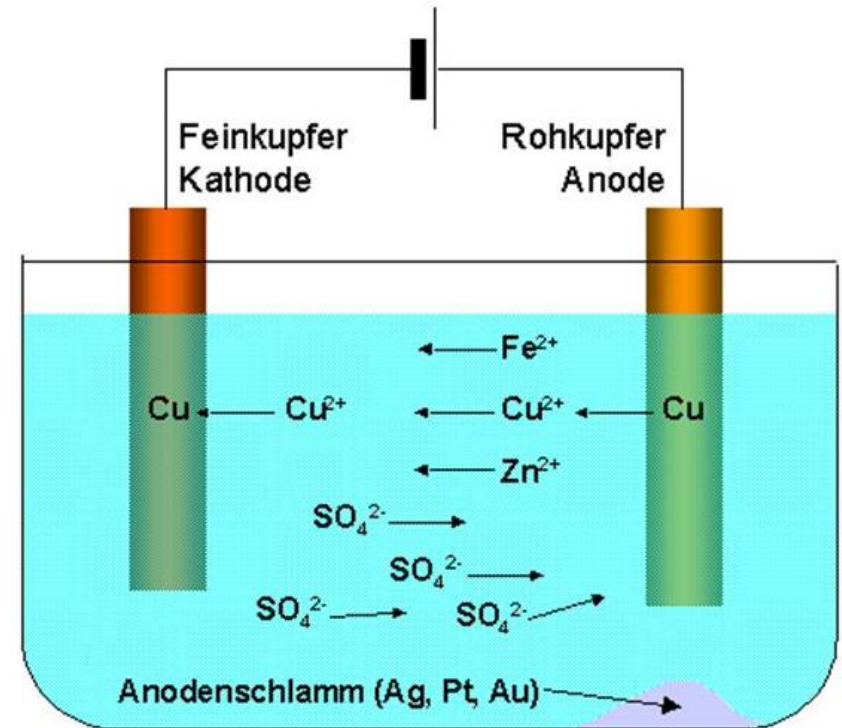
25. Elektrolýza a její využití v praxi

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



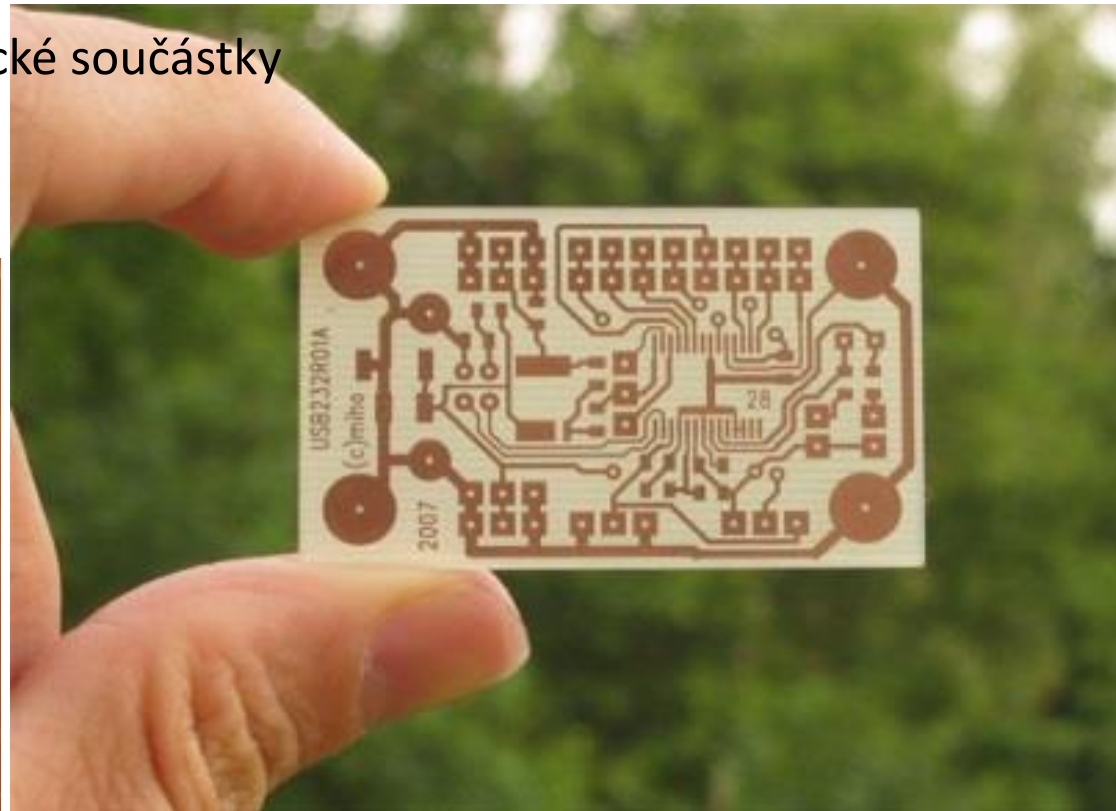
Rafinace elektrolýsou – rafinace mědi



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

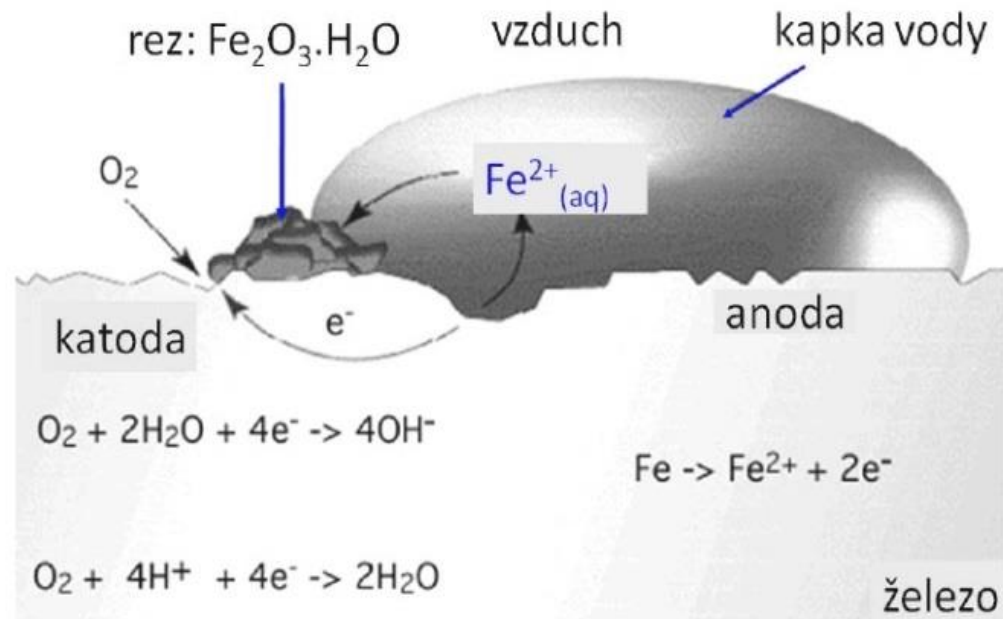
Využití elektrolýzy v praxi

- **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 antikorozní 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 – Avogadrova 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 CuSO_4 prochází proud 1 A, Určete, kolik atomů kovu se vyloučí na katodě za 1 s.

- 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:

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

$$m = AIt$$

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

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

26. Faradayovy zákony. VA charakteristika elektrolytu

Vzorové úlohy

Př. 2: Vypočtete, jaké množství hliníku se vyloučilo z roztoku Al(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:

$$m = AIt$$

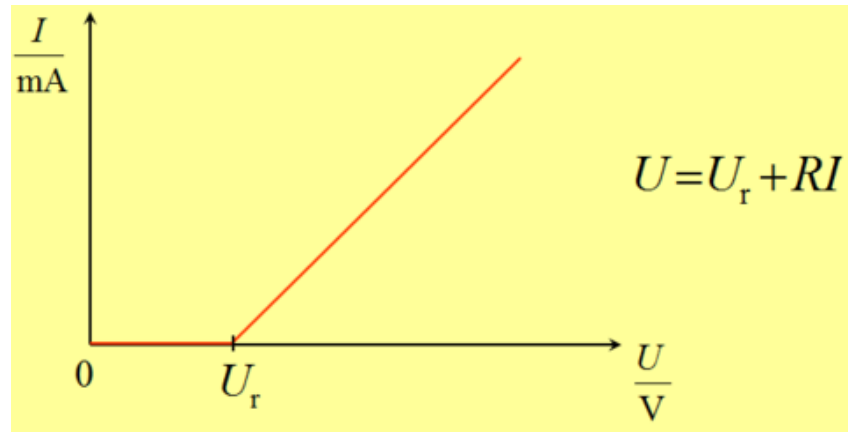
$$m = 0,0932 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 86400 \text{ kg}$$

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

26. Faradayovy zákony. VA charakteristika elektrolytu

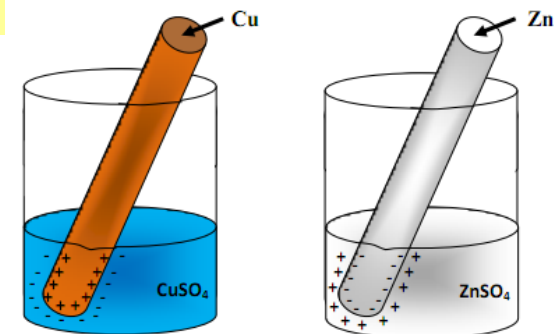
VA charakteristika elektrolytu

- Typ 1 – chová se podle Ohmova zákona, závislost proudu na napětí je lineární
Př.: 2 Cu elektrody v roztoku 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 H_2SO_4
 U_r – rozkladné napětí: po jeho překročení je již závislost I na U lineární



Elektrická dvojvrstva

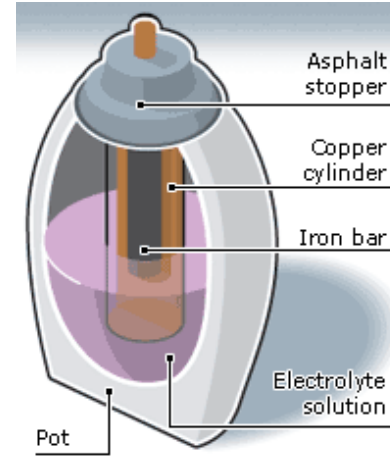
- vznik na rozhraní kovu a elektrolytu
- generuje určité **polarizační napětí**, které má **opačný směr** než elektromotorické napětí vnějšího zdroje



27. Galvanické články a akumulátory

Galvanické články ve starověku

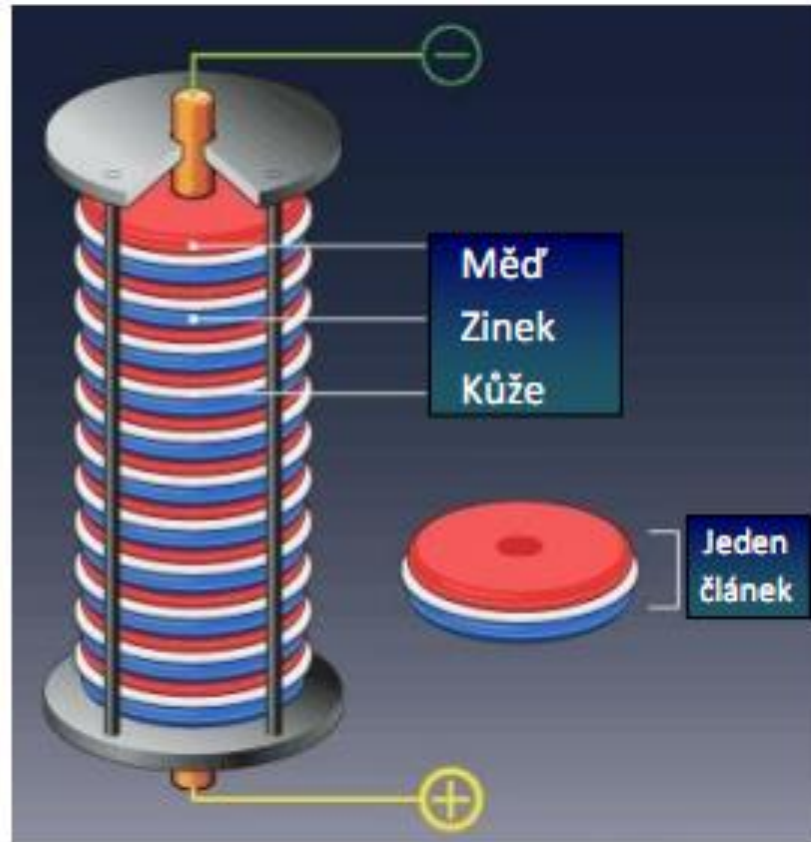
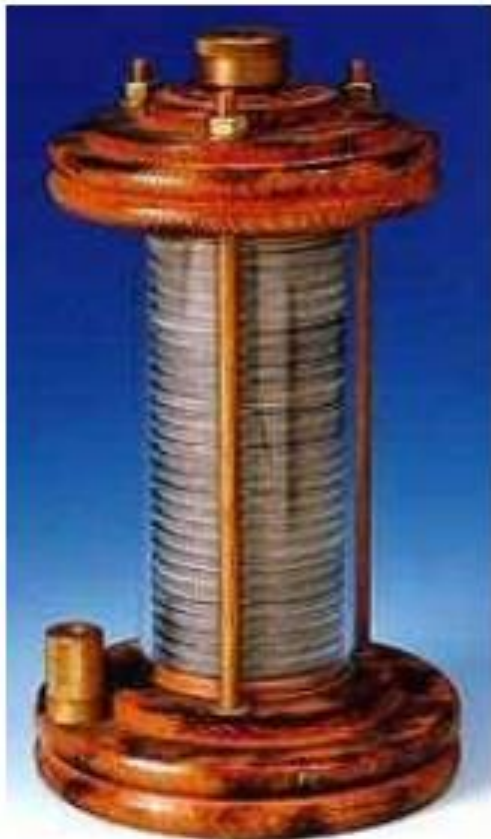
- využívají vznik elektrické dvojvrstvy
- starověká **Mezopotámie**
 - první galvanické články už 200 př.n.l.
 - známá jako **bagdádská baterie**
- **starověký Egypt 2500 př.n.l.**
 - reliéfy v pyramidách a chrámech připomínají žárovky a izolátory (Dendera a Abydos)
 - sloupy dřev



27. Galvanické články a akumulátory

Galvanické články – Voltův článek

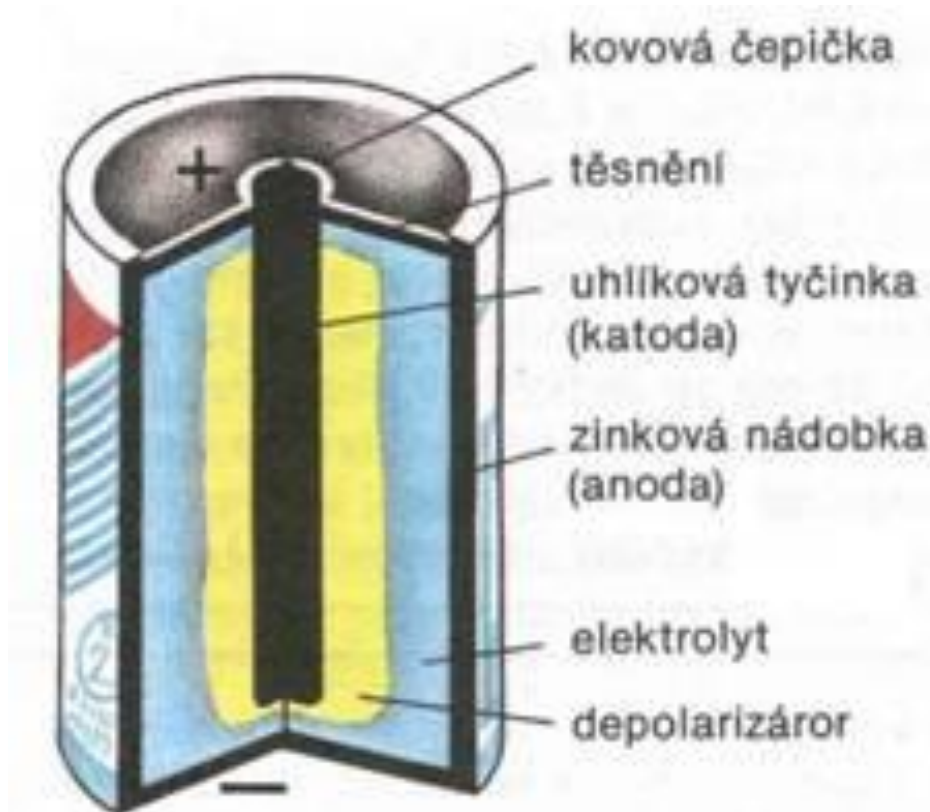
- **Alessandro Volta (1745 – 1827)**, italský fyzik
 - r. 1800 sestavil novodobý galvanický článek zvaný **Voltův sloup**
 - elektrolyt: zředěná kyselina sírová
 - napětí jednoho článku je cca 0,76 V
 - zdokonalil kondenzátor



27. Galvanické články a akumulátory

Galvanické články – suchý článek

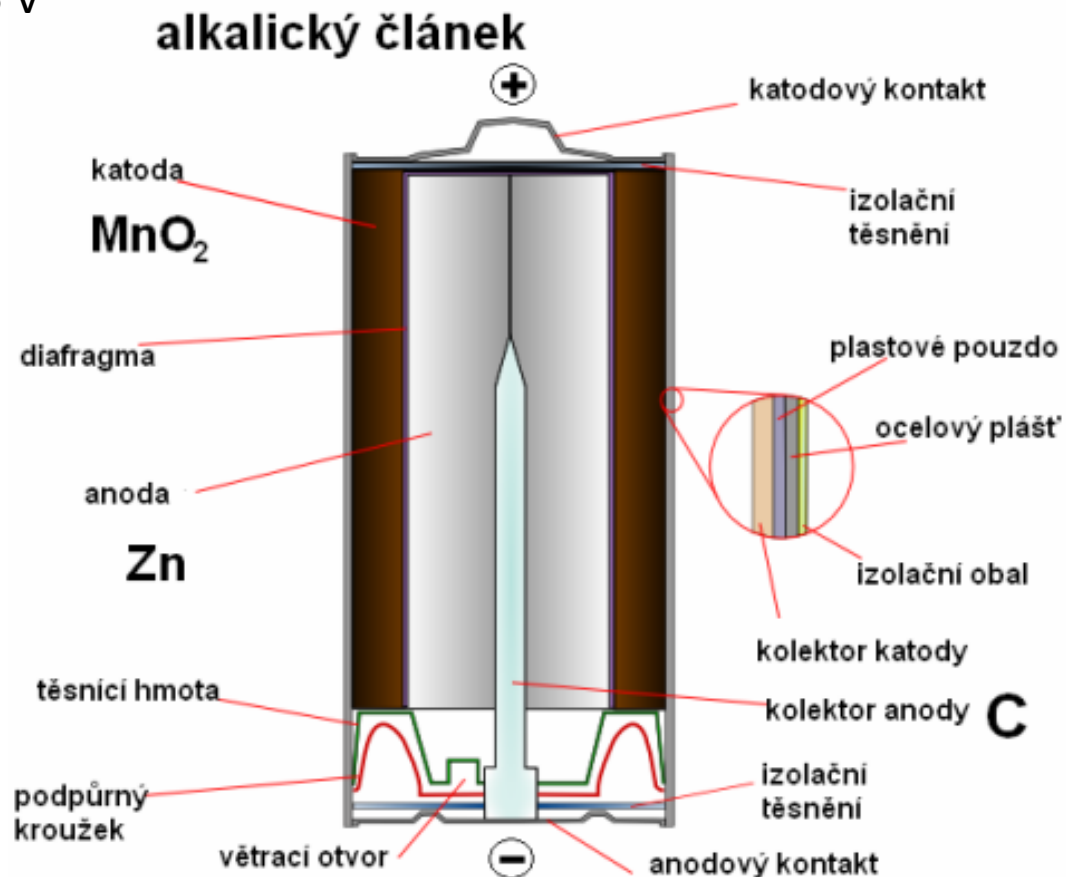
- **katoda:** uhlíková tyčinka, **anoda:** zinková nádoba
- **elektrolyt:** salmiak (koncentrovaný vodný roztok chloridu amonného NH_4Cl)
- **depolarizátor:** burel (oxid manganičitý MnO_2), zabraňuje polarizaci elektrod
- napětí článku: 1,5 V



27. Galvanické články a akumulátory

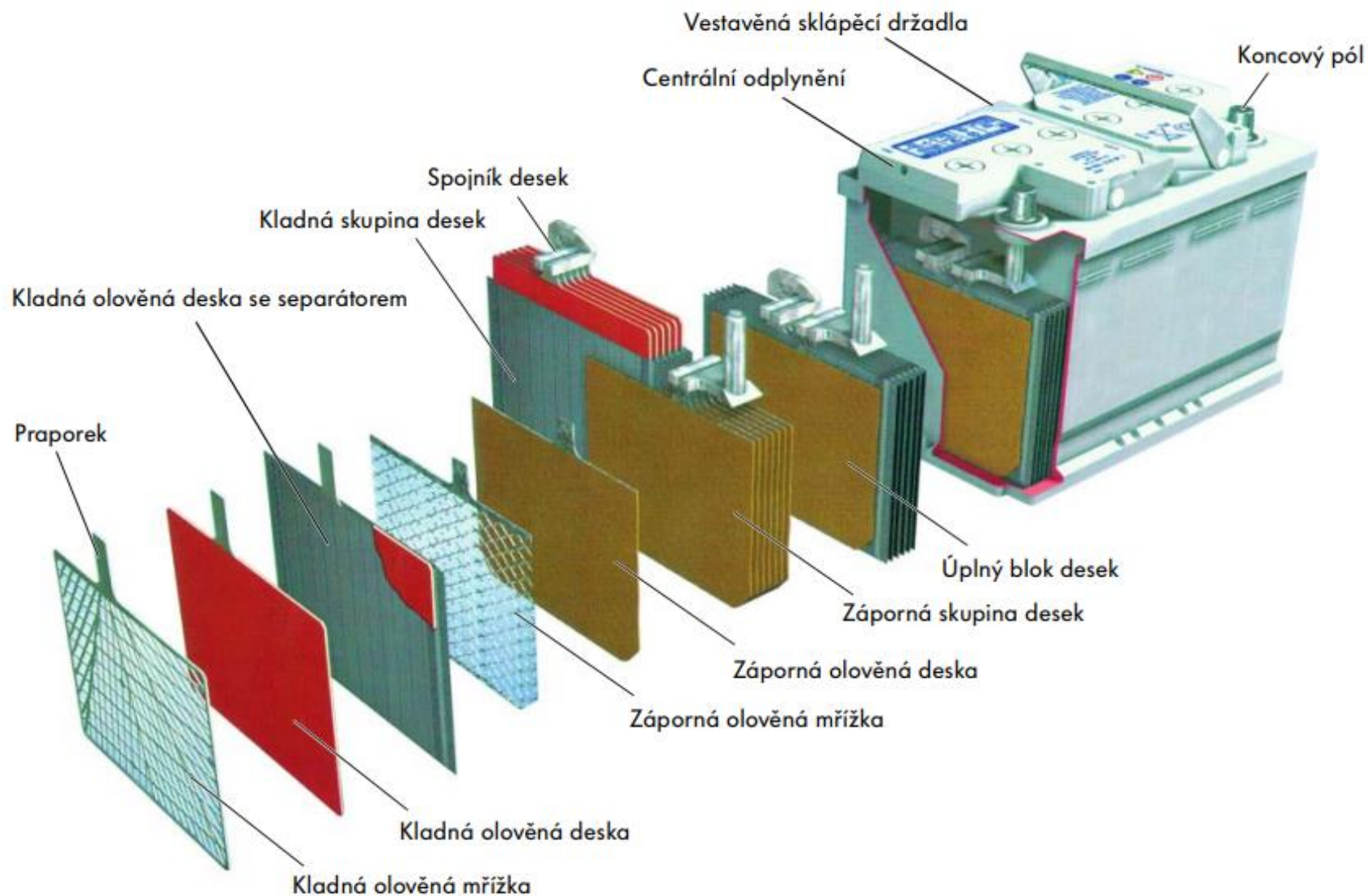
Galvanické články – alkalický článek

- **katoda:** směs 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:** H_2SO_4
- **po ponoření elektrod do kyseliny sírové se jejich povrch pokryje vrstvou PbSO_4**
- napětí akumulátoru: $12\text{ V} = 6 \times 2\text{ V}$

Nabíjení akumulátoru

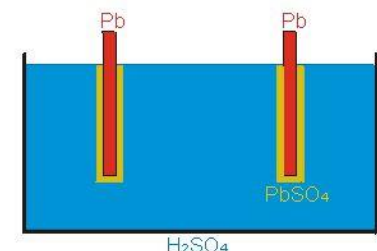
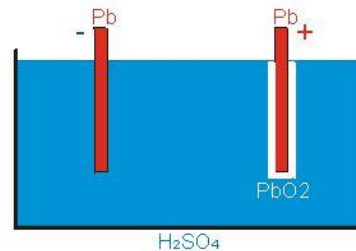
- **katoda:** vylučuje se PbO_2
- **anoda:** tvoří se Pb
- při reakci vzniká i H_2SO_4 → zvětšuje se hustota elektrolytu

Vybíjení akumulátoru

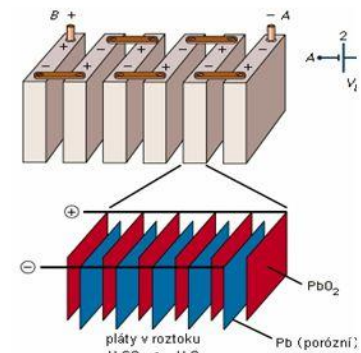
- **Katoda i anoda:** vylučuje se PbSO_4
- při reakci vzniká i H_2O → zmenšuje se hustota elektrolytu

Olověný akumulátor

Reakce:



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

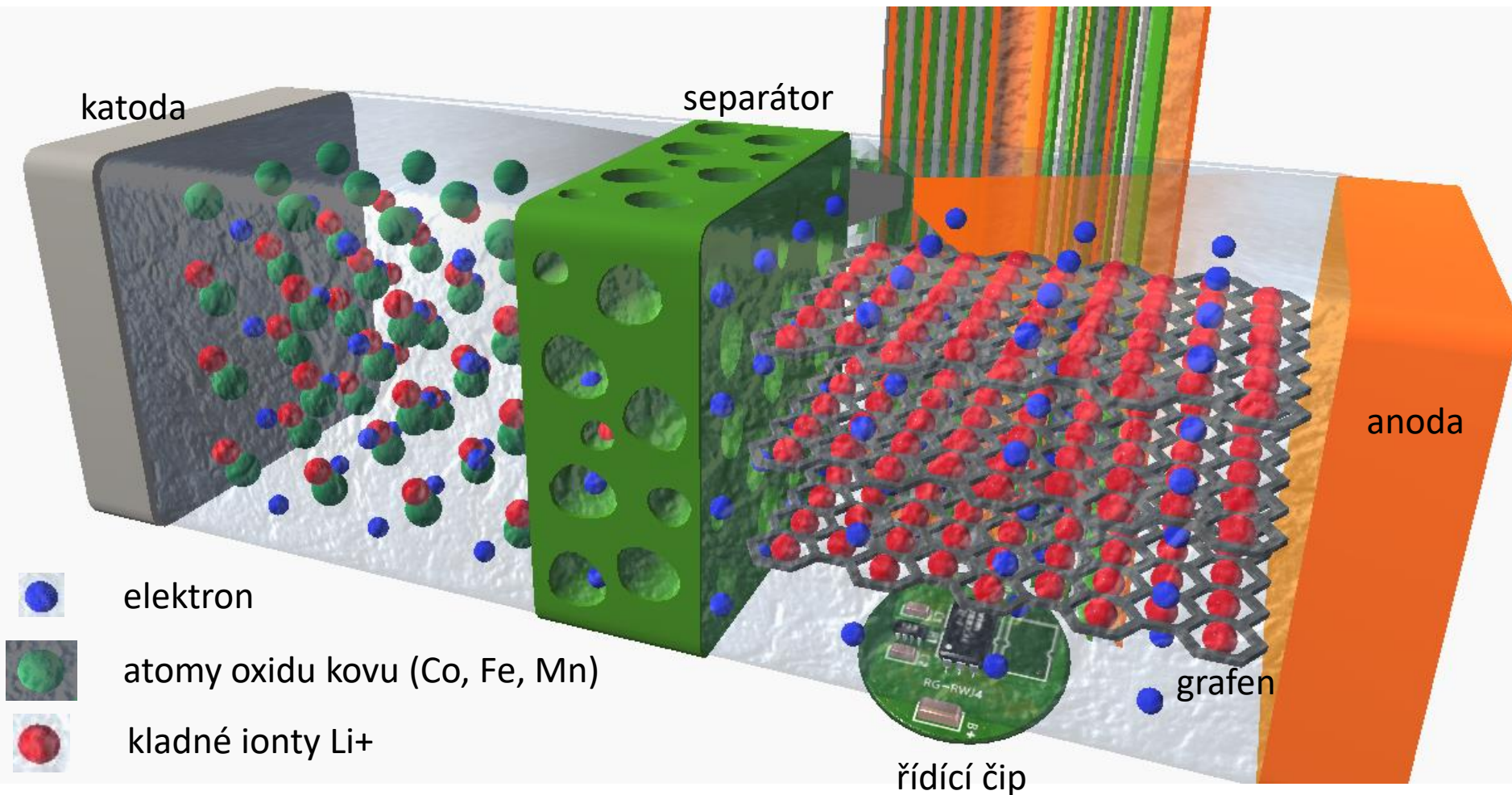


27. Galvanické články a akumulátory

Sekundární články – Li-ion baterie



https://online.corinth3d.com/app/scene/f_vyna_baterie_detail?p=part_detail_rezu



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. LiCoO_2) nebo polymerové polyaniony (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:

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

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

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

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

$$P = UI$$

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

$$Q = It$$

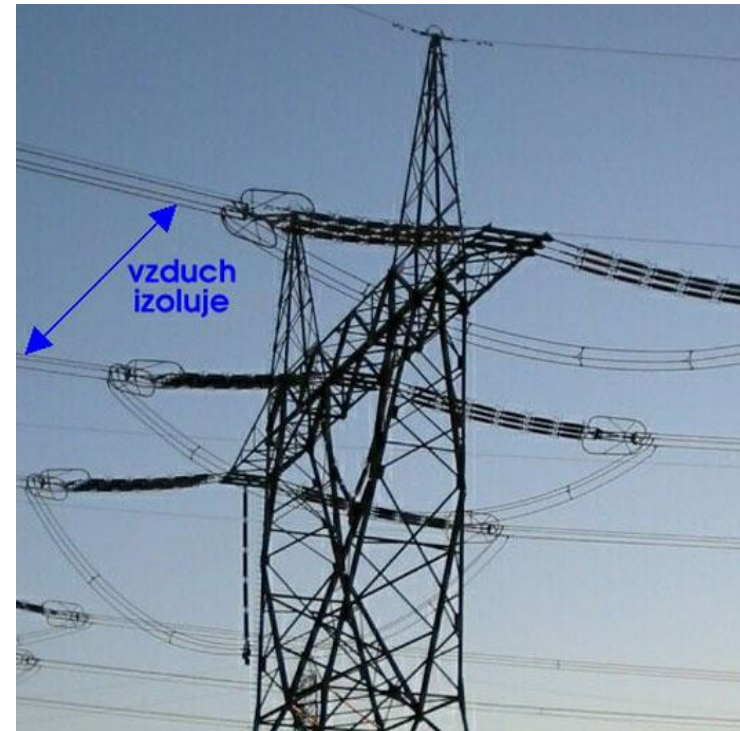
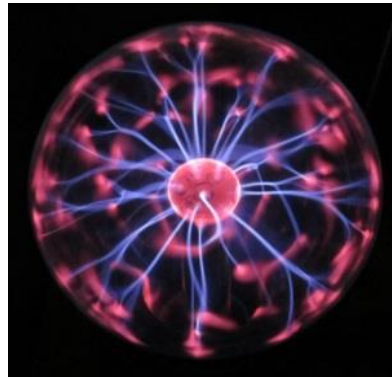
$$t = \frac{Q}{I} = \frac{60}{0,83} \text{ hod} = \mathbf{72 \text{ hodin}}$$

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

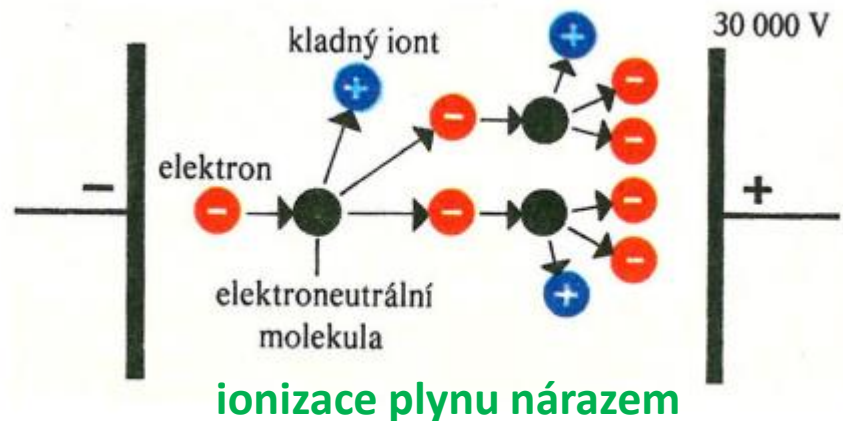
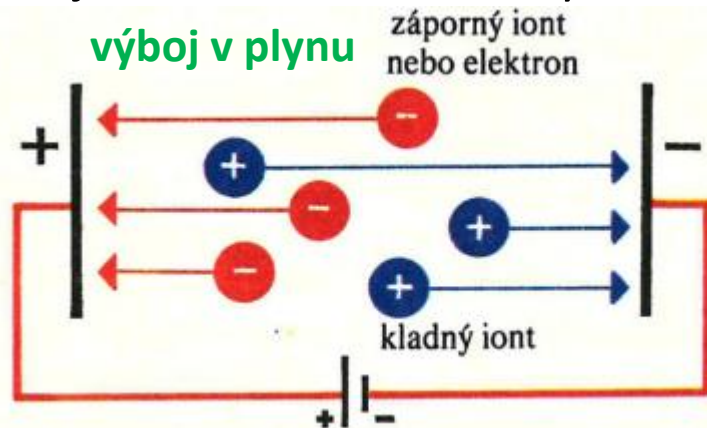


28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

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

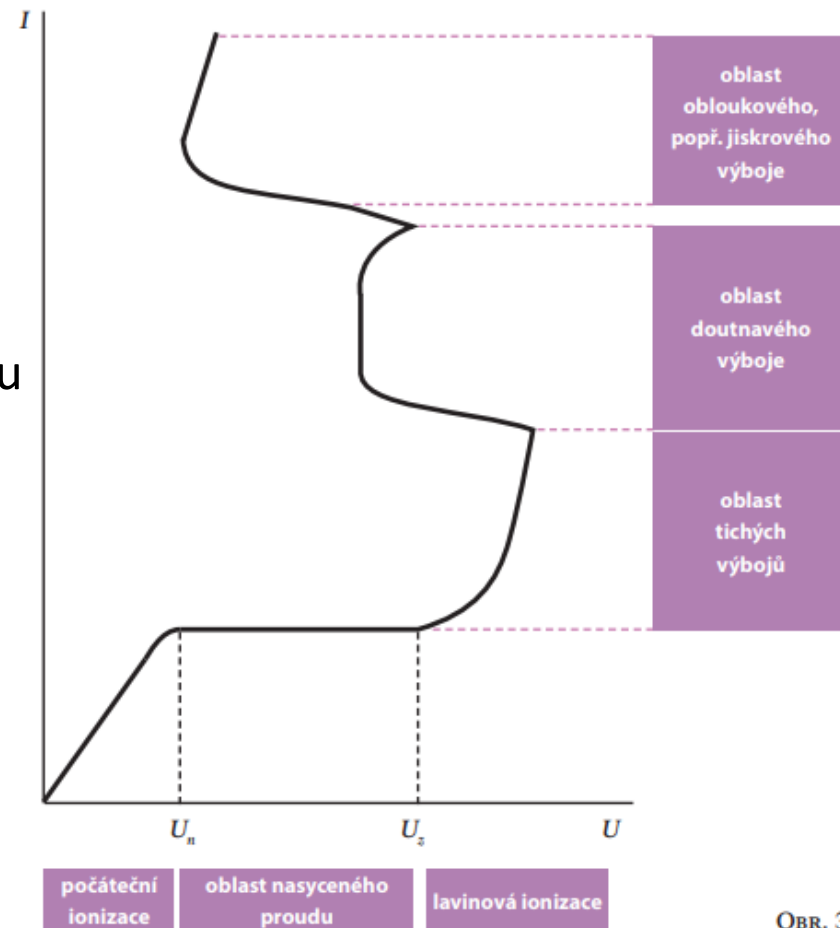
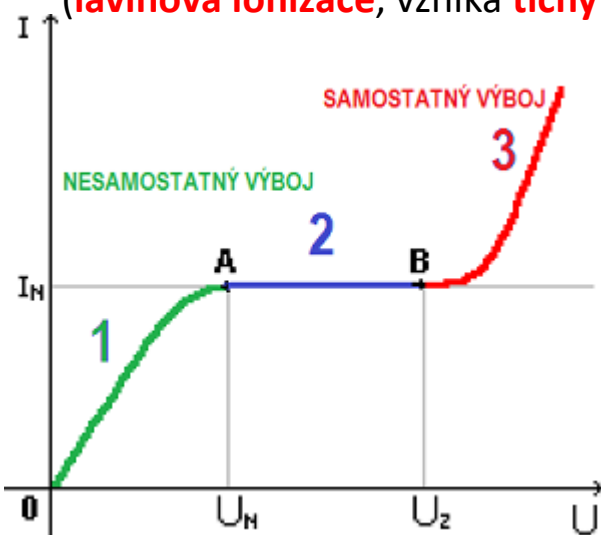


28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

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**)

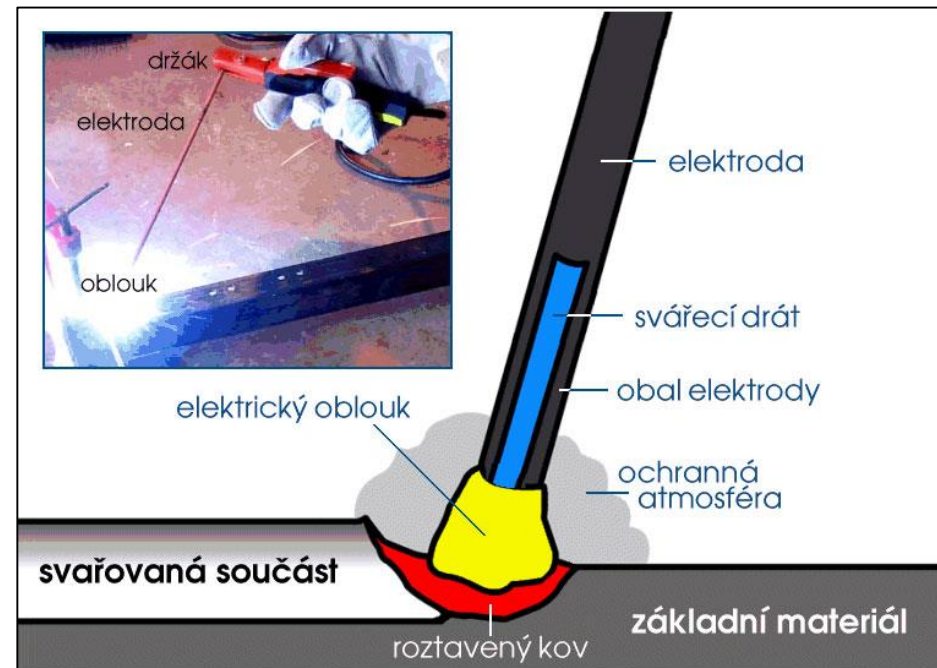
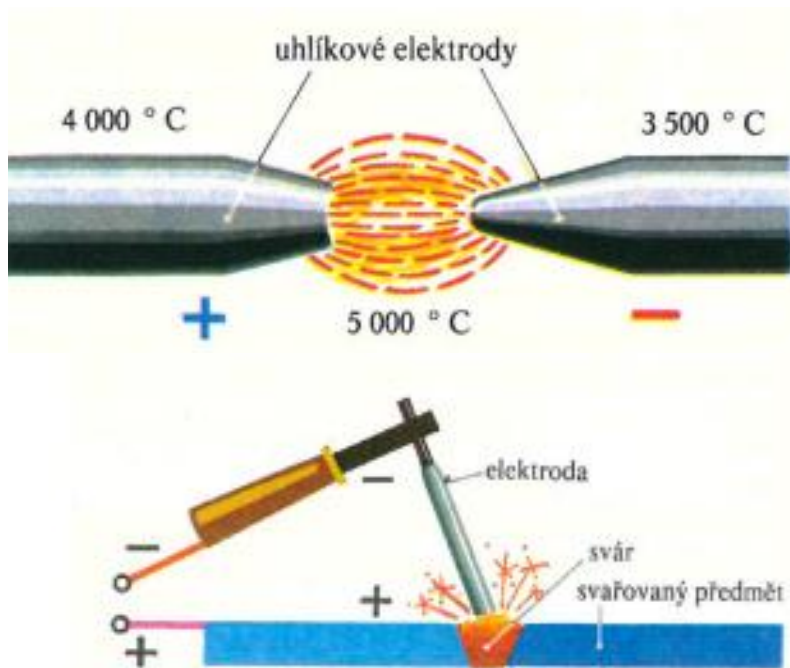


28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

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

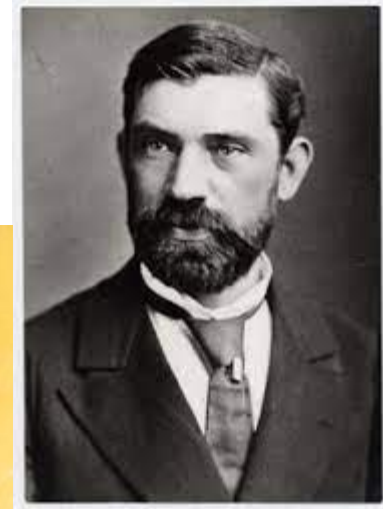
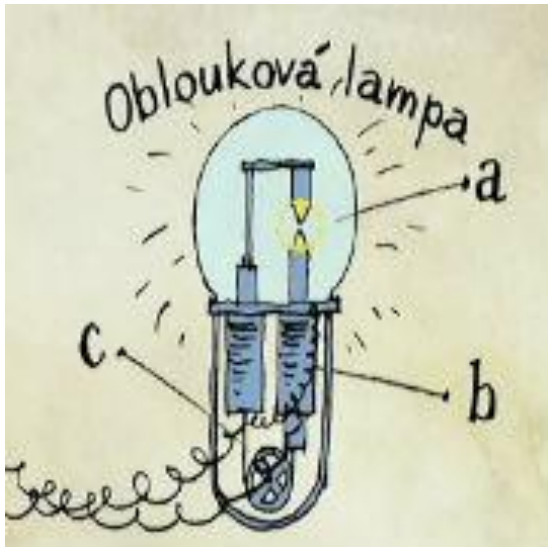


28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

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



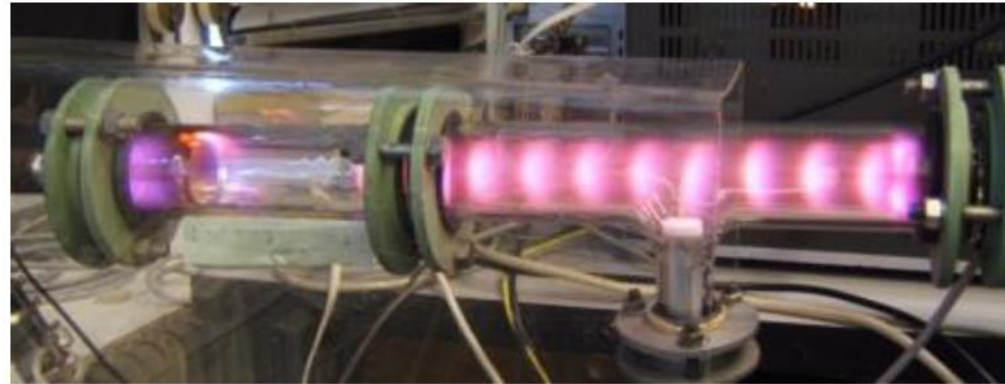
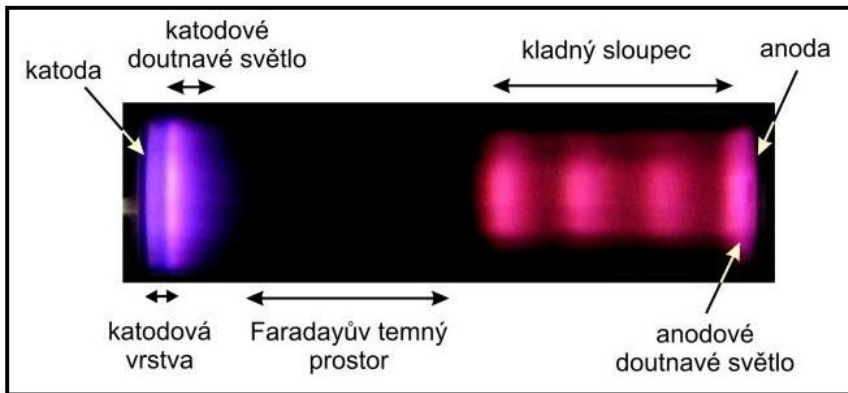
Eliášův oheň

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.

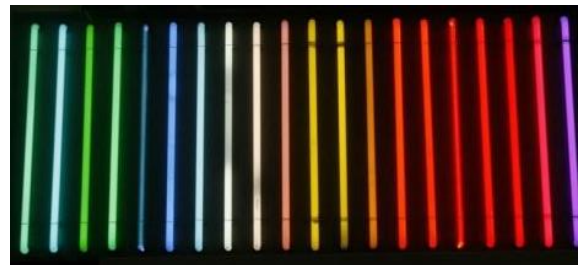
28. Elektrický proud v plynech a ve vakuu

Výboj za sníženého tlaku – doutnavý výboj

Anodový a katodový sloupec



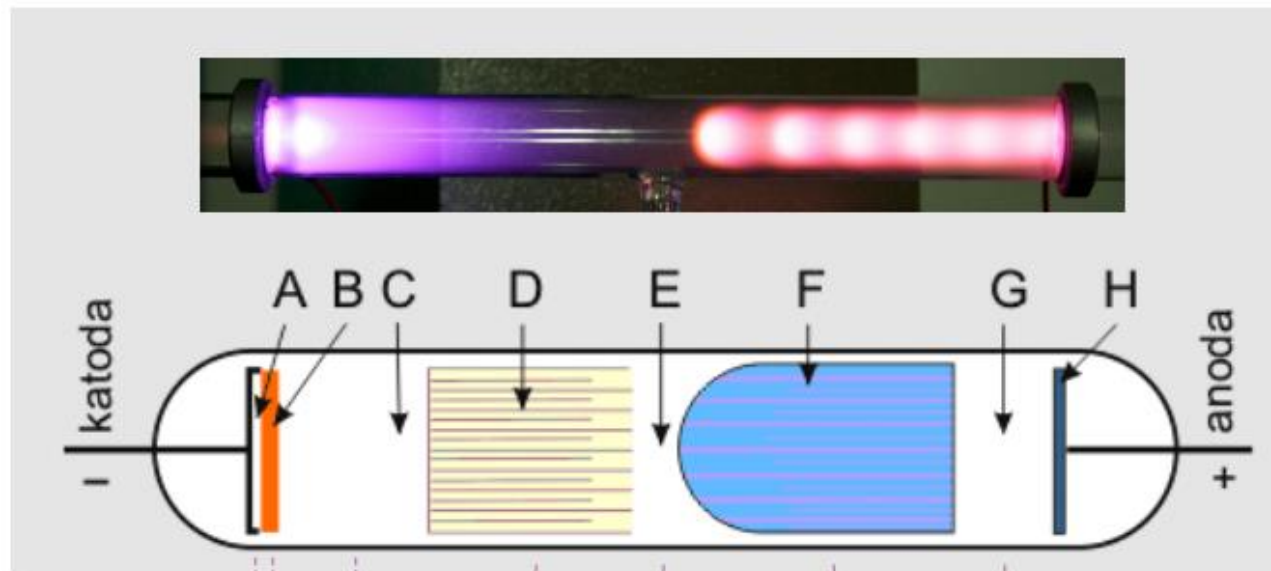
- **doutnavý výboj** - vznik za sníženého tlaku pod 5 kPa
- **Anodový sloupec**
 - vzniká při tlaku cca 100 Pa
 - oddělen od katody Faradayovým tmavým prostorem
 - využití anodového světla: reklamní zářivky a trubice



- **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

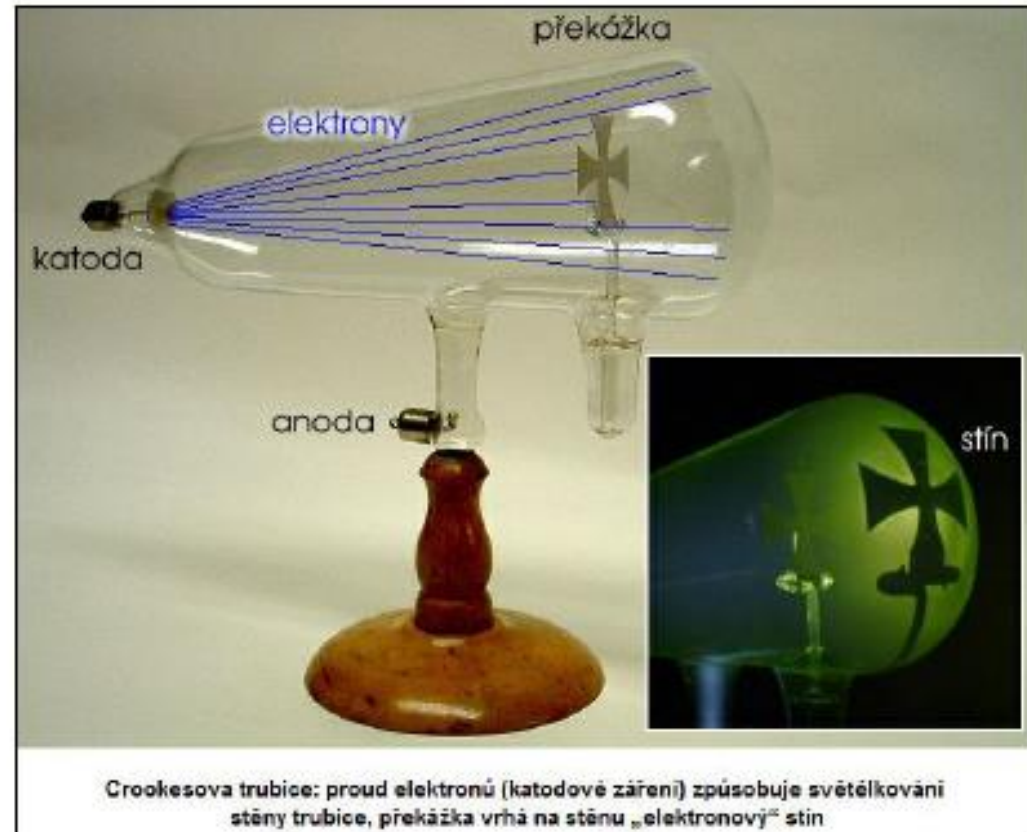
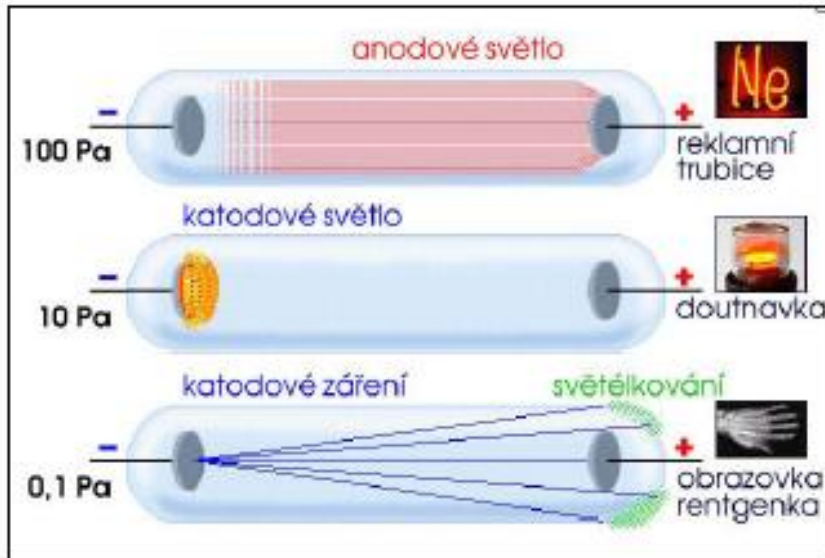
slopec anodového světla, „kladný sloupec“
nové urychlení elektronů, znovu vzniká světlo – jasné světlo charakteristické barvy podle plynu, který trubici vyplňuje; ve sloupci je plasma

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.

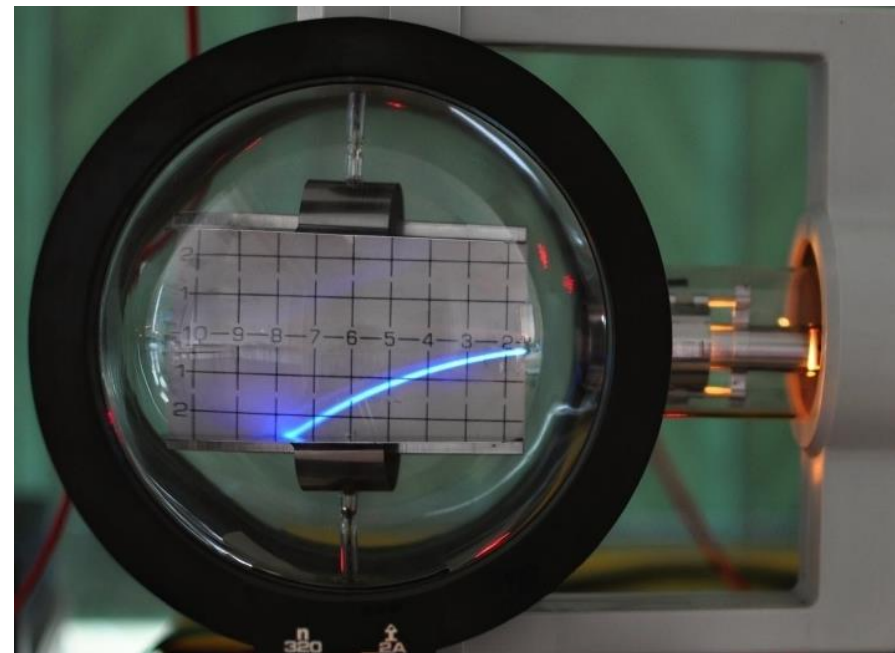
Katodové záření

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)



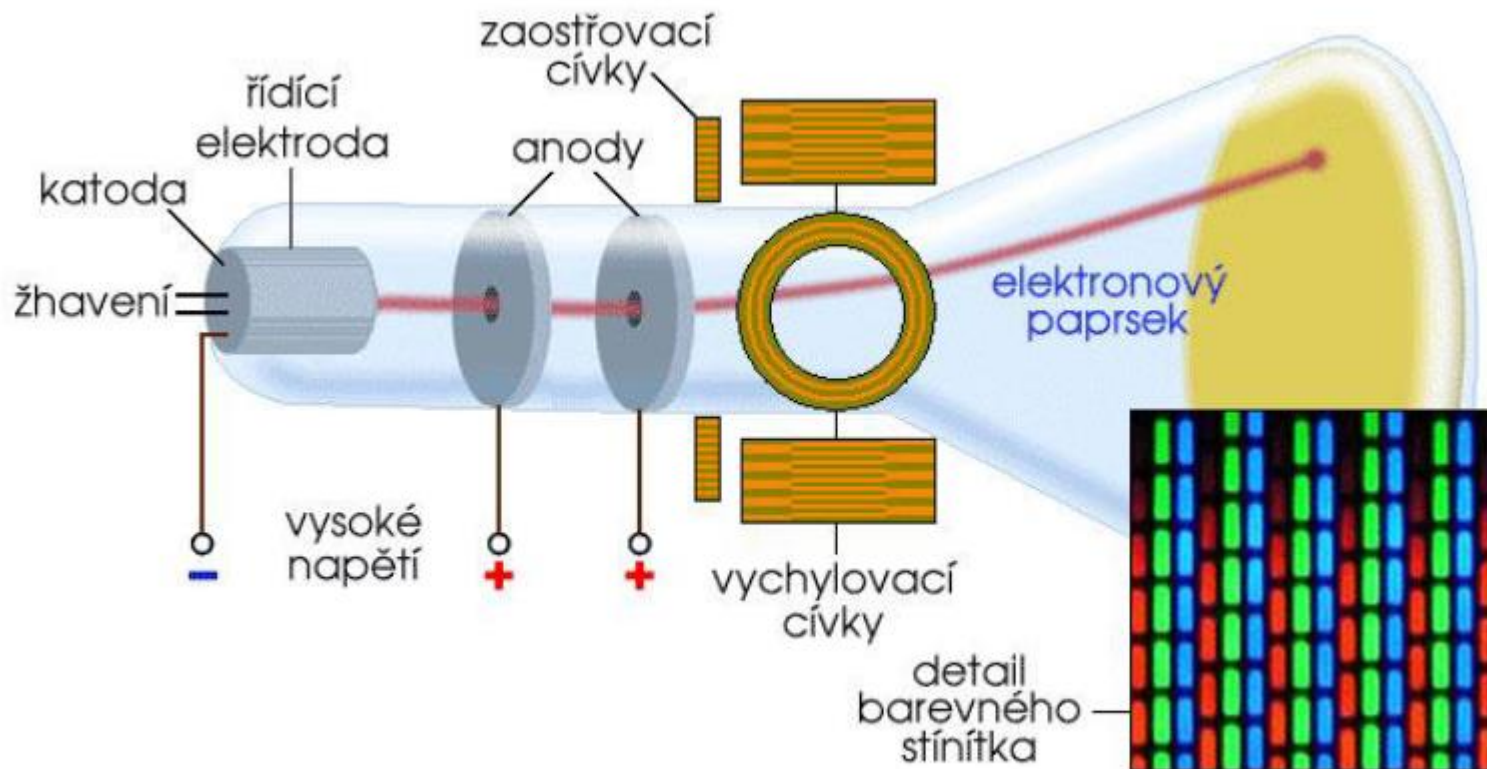
Crooksův mlýnek



29. Katodové záření. Obrazovka. Plazmová TV.

Obrazovka

Princip klasické obrazovky



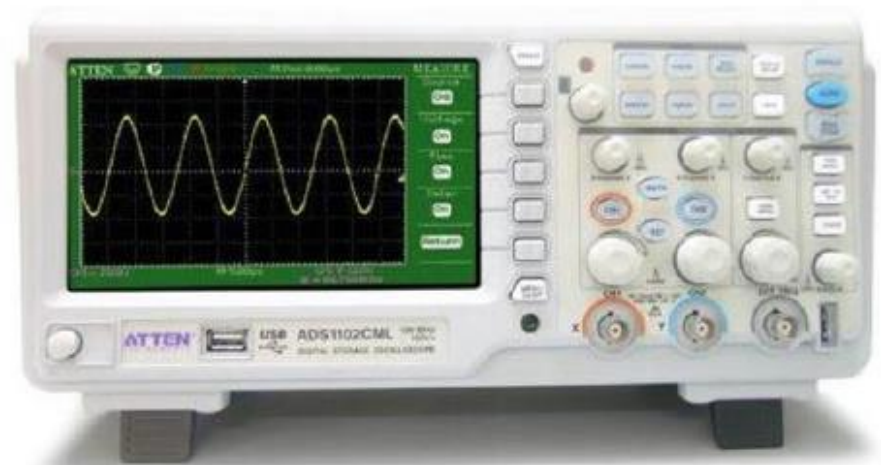
Zjednodušené uspořádání elektrod ve vakuové obrazovce s magnetickým vychylováním

29. Katodové záření. Obrazovka. Plazmová TV.

Obrazovka

Princip klasické obrazovky

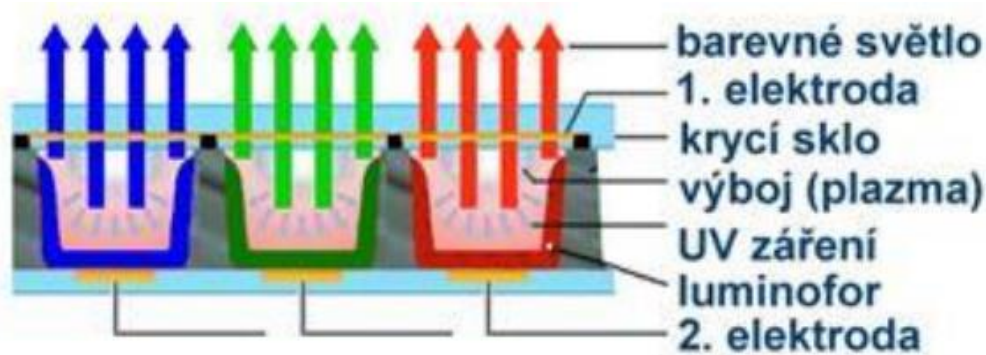
- vychýlení elektronového paprsku pomocí **vertikálních a horizontálních destiček** (el. pole) nebo **vychylovacích cívek** (mag. pole)
- stínítko pokryté vrstvou **luminoforu (např. ZnS)**
- **využití: osciloskop, klasická TV obrazovka**
- **termoemise** elektronů z **katody** – součástí katody je žhavicí 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