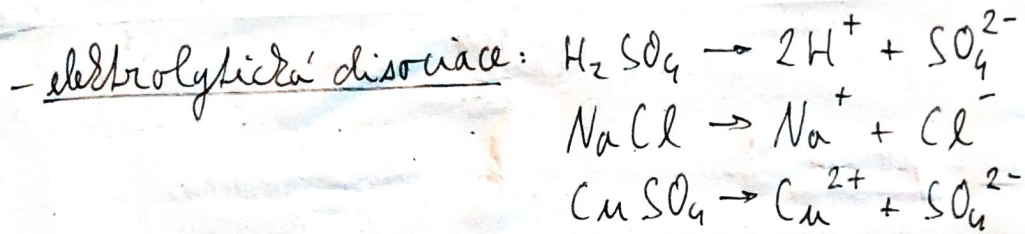


## → Elektrický proud v kapalinách

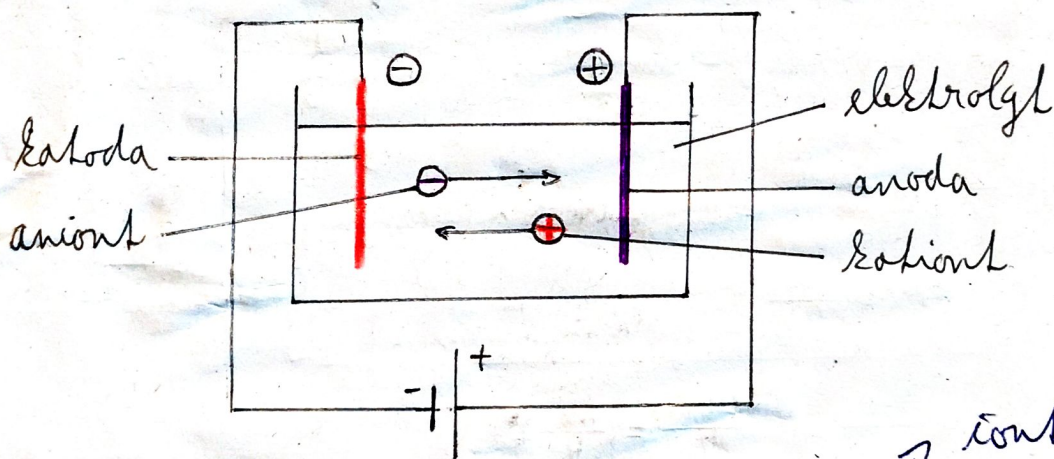
- elektrolyt = kapalina obsahující kladné a záporné ionty
- elektrolytická disociace = rozpad neutrálních molekul na kladné a záporné ionty
- kationty = kladné ionty → nedostatek  $e^-$
- anionty = záporné ionty → přebytek  $e^-$



→ pro vytvoření částic musí kationty přijmout  $e^-$  a anionty odevzdat  $e^-$

## - elektrolyza

- katoda = elektroda zapojená ke zápornému pólu zdroje
- anoda = elektroda zapojená ke kladnému pólu zdroje



↗ iontová vodivost

→ kationty (+) → katoda (-) } uspořádaný pohyb iontů  
→ anionty (-) → anoda (+) }

⇒ kapalinou prochází proud

⇒ mezi elektrodami vzniká elektrické pole

→ kationty přijmou  $e^-$  od katody } zneutralizují se

→ anionty odevzdají  $e^-$  anodě

→ pole se vyhladí na  $e^-$  / reagují s elektrolýtem...

## - Faradayovy zákony elektrolýzy

→ během elektrolýzy se na katodě vyloučí  $Zn$  nebo vodík

- po přijetí určitého počtu elementárních nábojů

kationty se na katodě vyloučí molekula dané látky

→ během elektrolýzy se na anodě vyloučí kyslík nebo  
dojde k reakci

- po odevzdání určitého počtu  $e^-$  anionty

-  $z$  = počet elementárních nábojů potřebných k vyloučení  
1 molekuly látky na elektrodě

← vždy známeno

$v$  - náj

- jestliže projde elektrolýzou celkový náboj  $Q$  za dobu  $t$   
tak se na elektrodě vyloučí  $N$  molekul

$$\rightarrow \underline{N = \frac{Q}{z \cdot e}} \rightarrow e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

### → 1. Faradayův zákon

$m = N \cdot m_m$  - hmotnost 1 molekuly → rovnáme

$$\left. \begin{array}{l} \text{látková} \rightarrow m = \frac{N}{N_A} \text{ - avogadrova konstanta} \\ \text{množství} \end{array} \right\} \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M_m}$$
$$\left. \begin{array}{l} n = \frac{m}{M_m} \text{ - molární hmotnost} \end{array} \right\}$$

$$a) \underline{m_m = \frac{m}{N}} \wedge \underline{\frac{M_m}{N_A} = \frac{m}{N}}$$

$$\Rightarrow m = N \cdot \frac{M_m}{N_A} = \frac{Q}{z \cdot e} \cdot \frac{M_m}{N_A}$$

$$b) \underline{m = \frac{N \cdot M_m}{N_A}} \wedge \underline{N = \frac{Q}{z \cdot e}}$$

$$\Rightarrow m = \frac{Q}{z \cdot e} \cdot \frac{M_m}{N_A}$$

$$m = Q \cdot \frac{M_m}{z \cdot e \cdot N_A}$$

$$\underline{m = Q \cdot \frac{M_m}{z \cdot F}}$$

### → Faradayova konstanta - $F$

$$F = z \cdot N_A \rightarrow \underline{F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$\Rightarrow \underline{m \sim Q}$$

→ hmotnost látky vyloučené nábojem  $Q$  při elektrolýze na katodě je přímo úměrná tomuto náboji

→ elektrochemický ekvivalent látky -  $A$

$$\rightarrow \underline{m = Q \cdot A} \quad \wedge \quad \underline{A = \frac{M_m}{z \cdot F}} \quad \wedge \quad \underline{[A] = \text{kg} \cdot \text{C}^{-1}}$$

→ 2. Faradayův zákon

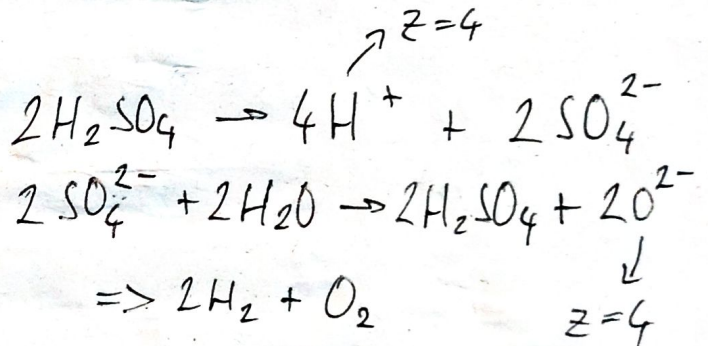
- elektrochemický ekvivalent látky je roven podílu její molární hmotnosti a součinu počtu ~~elektronů~~ potřebných k vyloučení 1 molekuly této látky a Faradayově konstantě

→ látková množství různých látek vyloučených při elektrolýze těchto náboje jsou chemicky ekvivalentní

→ příklady

$$4) \quad \begin{aligned} I &= 1 \text{ A} \\ t &= 300 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\underline{m(\text{H}_2), m(\text{O}_2) = ?}$$



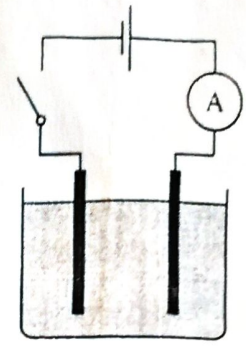
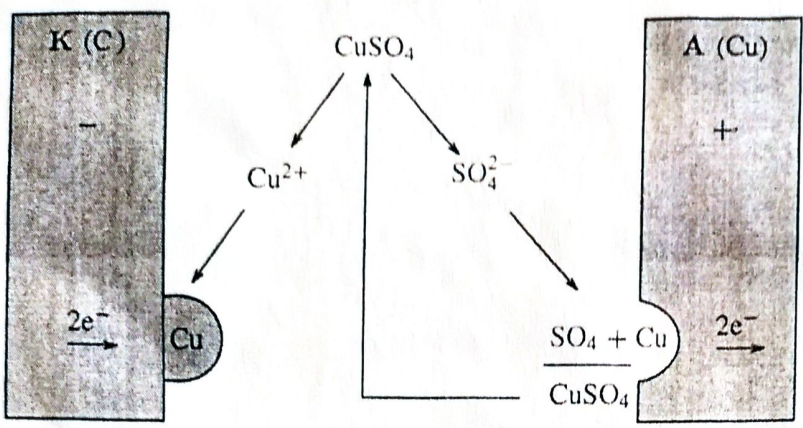
$$m = \frac{Q \cdot M_m}{z \cdot F} \rightarrow m(\text{H}_2) = \frac{I \cdot t \cdot M_m(\text{H}_2)}{z \cdot F} = \frac{300 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 9,65 \cdot 10^4} = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{9,65}$$

$$\underline{m(\text{H}_2) \doteq 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 3,1 \text{ mg}}$$

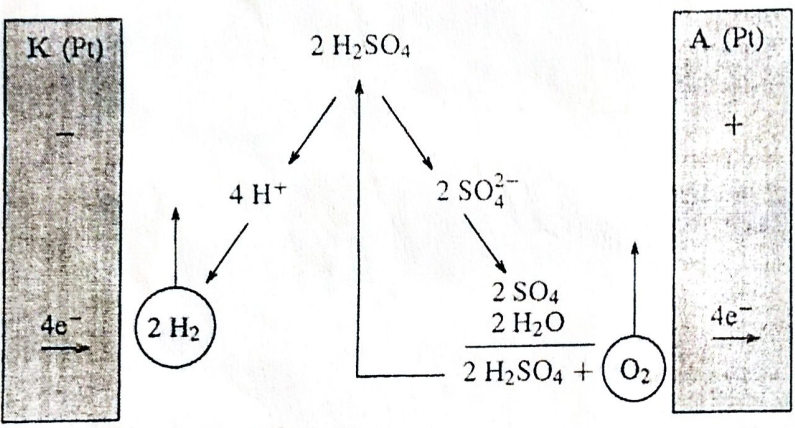
$$\rightarrow m(\text{O}_2) = \frac{I \cdot t \cdot M_m(\text{O}_2)}{z \cdot F} = \frac{300 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 9,65 \cdot 10^4} = \frac{24 \cdot 10^{-5}}{9,65}$$

$$\underline{m(\text{O}_2) \doteq 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = 2,5 \text{ mg}}$$

koncentrace roztoku se nemění  
 → přesun Cu z anody na katodu - nepřímý

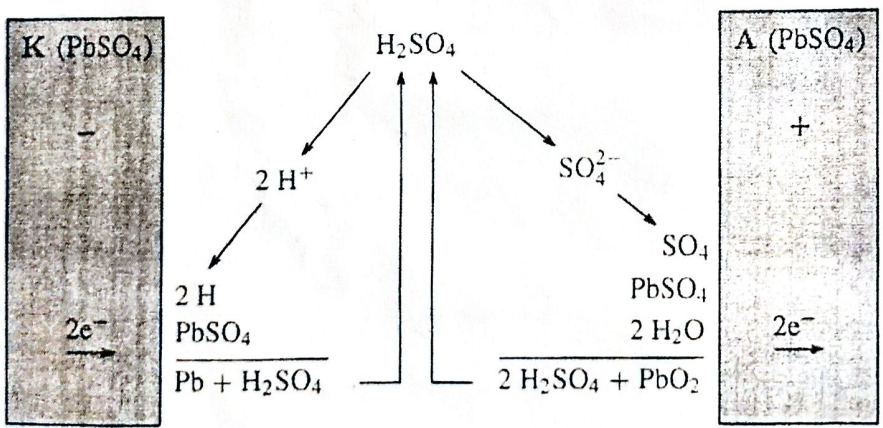


koncentrace roztoku se snižuje



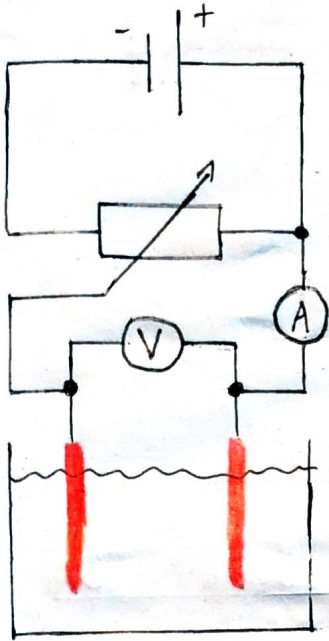
nepřímý přesun  
 elektronů z katody  
 na anodu

→ Hoffmannův přístroj



→ na katodě se vyvolají atomy, kovy nebo molekuly vodíku  
 → na anodě se vyvolají kyslík nebo dochází k reakci  
 mezi anionty a materiálem anody

→ Voltampérová charakteristika elektrolytického roztoku



→  $I = f(U)$

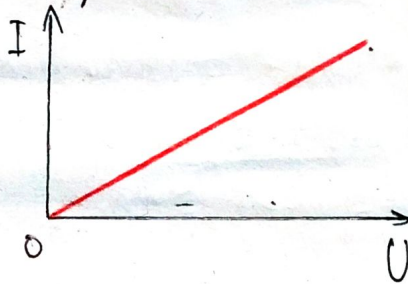
→ 2 různé chování pro různé situace

→ ukážu příklady

a) měděné elektrody v  $\text{CuSO}_4$

→  $I \sim U \rightarrow \underline{I = \frac{U}{R}}$

⇒ platí Ohmův zákon

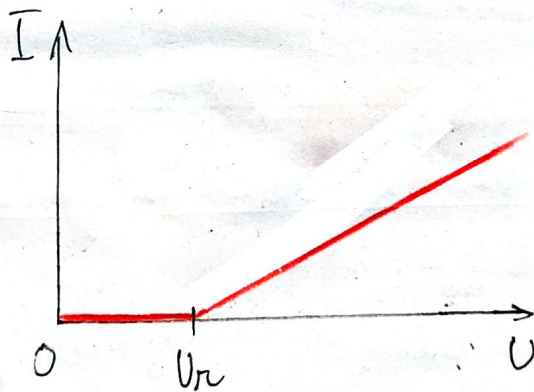


b) platinové / uhlíkové elektrody v  $\text{H}_2\text{SO}_4$

→ proud okamžitě klesá k nule

→ to probíhá až do rozkladného napětí

⇒ po opět lineární funkce



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

→ el. odpor elektrolytického roztoku

$R = \rho \frac{l}{S}$

→  $\rho$  = měrný elektrický odpor - tabulky

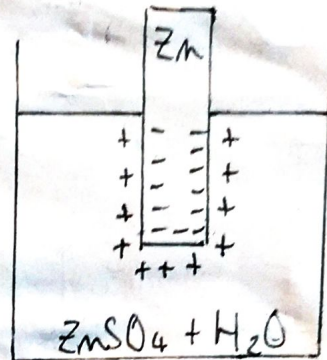
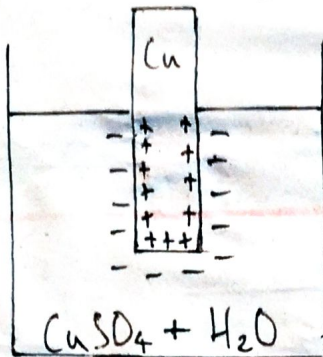
→  $l$  = vzdálenost elektrod

→  $S$  = plocha ve které se elektrody překrývají

→ elektrolytická dvojitá vrstva = příčina situace a, b

→ vrstva dvojitá vrstva - reakce materiálu E s elektrolytem

→ při ponoření elektrody do elektrolytu nastane 1 z následujících situací:



- R<sup>+</sup> se na E vylovcí ⊕ ionty Zn<sup>2+</sup>  
⇒ povrch E získá ⊕ náboj  
⇒ ⊖ v okolí E získá ⊖ náboj
- R<sup>-</sup> se do E vylovcí ⊕ ionty Zn<sup>2+</sup>  
⇒ povrch E získá ⊖ náboj  
⇒ ⊕ v okolí E získá ⊕ náboj

→ vytvorila se dvojitá vrstva, která obalila tu E

→ zabráňuje vyločování dalších iontů

⇒ zabráňuje dalším změnám

→ dvojitá vrstva je vlastně l. pole

- pole mezi elektrodou a elektrolytem

→ vykazuje napětí

→ má elektrolytický potenciál

a) pro obě elektrody nastala stejná situace

→ vrstva 2 stejných dvojitých vrstev → 2 stejné elektrody

⇒ mezi elektrodami není napětí

⇒ průd prochází od káždého

⇒ platí Ohmův zákon od káždého →  $I = \frac{U}{R}$

→ například 2 Cu elektrody v CuSO<sub>4</sub>

→ může nastat speciální případ → \*

→ např. 2 Pt elektrody v H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

b) pro elektrody nastaven různé situace nemusi byt

→ vznik 2 různých drojevster → 2 různé elektrody

⇒ 2 různé elektrolytické potenciály

⇒ meri  $E$  vzniká elektromotorické napětí  $U_e$

→ princip galvanického článku → baterie

→ pro připojení zdroje → \*

→  $U_e$  má stejnou polaritu než připojený zdroj

→ různé kombinace elektrod a elektrolytů

⇒ různé hodnoty  $U_e$

→ horní hranice  $U_e$  je rozkladné napětí

→ rozkladné napětí je největší

možné elektromotorické napětí

→ připojím zdroj napětí

•  $U < U_e$

→  $U_e$  „přebije“ napětí zdroje

⇒ proud klesá k nule

•  $U > U_e$

→  $U$  „přebije“  $U_e$

⇒ proud krouží prohadzí

⇒  $I = \frac{U - U_e}{R}$  → např. Zn a Cu  $E$  v  $\text{CuSO}_4$

\* pokud se po připojení zdroje změní napětí  
meri elektrodami, tak se nazývá polarizační

→ stejný princip jako u  $U_e$  a  $U_x$ , jen  $U_p$  a  $U_x$

→ napětí se může změnit změnou elektrod

→ např. 2 Pt elektrody v  $\text{H}_2\text{SO}_4$  →  $U_e = 0$

→ připojím zdroj → na K se vyvolá  $\text{H}_2$  + na A se vyvolá  $\text{O}_2$   
⇒ napětí už není 0 ⇒ polarizační napětí

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- 1) Kovová kulička o poloměru 15 mm byla elektrolyticky poniklována vrstvou silnou 0,05 mm. Elektrolýza stálým proudem trvala 1,5 h. Vypočítejte velikost proudu při elektrolýze a hmotnost niklové vrstvy na kuličce.

(elektrochemický ekvivalent niklu je  $0,304 \text{ mg} \cdot \text{C}^{-1}$ , hustota niklu  $8\,900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$$(I = \frac{4\pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho}{A \cdot t} \doteq 0,766 \text{ A } (= 766 \text{ mA}); m = 4\pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho \doteq 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ kg } (= 1,26 \text{ g}))$$

- 2) Roztokem modré skalice ( $\text{CuSO}_4$ ) prochází elektrický proud  $1 \mu\text{A}$ . Kolik atomů mědi se na katodě vyloučí za 1 ms? Jaká je hmotnost takto vyloučené mědi?

(elektrochemický ekvivalent mědi je  $3,29 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}$ , molární hmotnost mědi  $63,546 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ )

$$(N = \frac{A \cdot I \cdot t}{M_m} \cdot N_A \doteq 3 \cdot 10^9; m = A \cdot I \cdot t = 3,29 \cdot 10^{-16} \text{ kg})$$

- 3) Na katodě, jejíž část ponořená do elektrolytu měla povrch obsahu  $1,25 \text{ cm}^2$ , se vyloučilo 25 mg zlata. Vypočítejte dobu elektrolytického pozlacení stálým proudem 24 mA a tloušťku vrstvičky zlata na katodě.

(elektrochemický ekvivalent zlata je  $0,681 \text{ mg} \cdot \text{C}^{-1}$ , hustota zlata je  $19\,300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$$(t = \frac{m}{A \cdot I} \doteq 1\,530 \text{ s } (= 25,5 \text{ min}); h = \frac{m}{S \cdot \rho} \doteq 1 \cdot 10^{-5} \text{ m } (= 0,01 \text{ mm}))$$

- 4) Při chromování se za 1 hodinu vyloučil na katodě chrom o hmotnosti 1 555 mg. Mezi elektrodami bylo po celou dobu udržováno napětí 12 V. Vypočítejte elektrický odpor elektrolytu a energii spotřebovanou na elektrolytické pochromování.

(elektrochemický ekvivalent chromu je  $0,18 \text{ mg} \cdot \text{C}^{-1}$ )

$$(R = \frac{U \cdot A \cdot t}{m} \doteq 5 \Omega; E = \frac{U \cdot m}{A} \doteq 1,04 \cdot 10^5 \text{ J } (= 104 \text{ kJ}))$$

$$t = 3600 \text{ s}$$

$$m = 1\,555 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

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

$$A = 0,18 \text{ mg} \cdot \text{C}^{-1} = 18 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}$$

$$R, E = ?$$

$$E = Q \cdot U - \text{joulovo teplo}$$

$$E = W = Q \cdot U = I \cdot t \cdot U = I \cdot t \cdot A \cdot \frac{U}{A} = \frac{m \cdot U}{A}$$

$$E = \frac{1\,555 \cdot 10^{-6} \cdot 12}{18 \cdot 10^{-8}} \text{ J} = \frac{1\,555 \cdot 200}{3} \text{ J} \doteq 1,04 \cdot 10^5 \text{ J} = \underline{\underline{104 \text{ kJ}}}$$

$$I = \frac{m}{A \cdot t}$$

$$m = I \cdot t \cdot A \quad U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U \cdot t \cdot A}{m}$$

$$R = \frac{12 \cdot 3600 \cdot 18 \cdot 10^{-8}}{1\,555 \cdot 10^{-6}} \Omega = \frac{12 \cdot 36 \cdot 18}{1\,555} \Omega$$

$$\underline{\underline{R \doteq 5 \Omega}}$$



# ELEKTRIKY PROUD V ELEKTROLYTECHY

①  $r = 15 \text{ mm} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$   
 $d = 0,05 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$   
 $t = 1,5 \text{ h} = 5400 \text{ s}$   
 $A = 0,304 \text{ mg C}^{-1} = 304 \cdot 10^{-9} \text{ kg C}^{-1}$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V$$

hento kulova' vubra  
 $\Rightarrow V \doteq d \cdot S = d \cdot 4\pi r^2$

$$\rho = 8900 \cdot \text{kg m}^{-3}$$

$$m \doteq 4\pi \rho \cdot d \cdot r^2$$

I, m = ?

$$m = 4\pi \cdot 8900 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 225 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

$$m = 20\pi \cdot 89 \cdot 225 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \doteq \underline{\underline{1,26 \text{ g}}}$$

$$m = Q \cdot A = I \cdot t \cdot A$$

$$\Rightarrow I = \frac{m}{t \cdot A} \doteq \frac{1,26 \cdot 10^{-3}}{5400 \cdot 304 \cdot 10^{-9}} \text{ A} = \frac{12600}{54 \cdot 304} \text{ A} \doteq \underline{\underline{0,766 \text{ A}}}$$

②  $I = 10^{-6} \text{ A}$   
 $A = 3,29 \cdot 10^{-7} \text{ kg C}^{-1}$   
 $\bar{A} = 10^{-3} \text{ A}$   
 $M_m = 63,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$   
 $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$$m = Q \cdot A = I \cdot t \cdot A$$

$$m = 10^{-6} \cdot 10^{-3} \cdot 3,29 \cdot 10^{-7} \text{ kg} = \underline{\underline{3,29 \cdot 10^{-16} \text{ kg}}}$$

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

$$N = 3,29 \cdot 10^{-16} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23}}{63,5 \cdot 10^{-3}}$$

m, N = ?

$$N = \frac{3,29 \cdot 6,022}{63,546} \cdot 10^{10} \doteq 0,31 \cdot 10^{10} = \underline{\underline{3,1 \cdot 10^9}}$$

③  $S = 1,25 \text{ cm}^2 = 125 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$   
 $m = 25 \text{ mg} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$   
 $I = 24 \text{ mA} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

$$m = I \cdot t \cdot A \Rightarrow t = \frac{m}{I \cdot A}$$

$$t = \frac{25 \cdot 10^{-6}}{24 \cdot 10^{-3} \cdot 681 \cdot 10^{-9} \text{ A}}$$

$$A = 0,681 \text{ mg C}^{-1} = 681 \cdot 10^{-9} \text{ kg C}^{-1}$$

$$t = \frac{25}{24 \cdot 681} \cdot 10^6 \text{ s} \doteq \underline{\underline{1530 \text{ s}}}$$

$$\rho = 19300 \text{ kg m}^{-3}$$

t, d = ?

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \wedge \quad V \doteq S \cdot d \Rightarrow \rho \doteq \frac{m}{S \cdot d} \Rightarrow d \doteq \frac{m}{S \cdot \rho}$$

$$d \doteq \frac{25 \cdot 10^{-6}}{125 \cdot 10^{-6} \cdot 19300} \text{ m} = \frac{1}{5 \cdot 19300} \text{ m} \doteq 1 \cdot 10^{-5} \text{ m} \doteq \underline{\underline{0,01 \text{ mm}}}$$