

## 7. Elektrolýza

### Úkoly měření:

1. Sestavte obvod, prověřte a znázorněte průběh ekvipotenciálních hladin a siločar elektrostatického pole mezi dvojicí elektrod. Zakreslete vektory intenzity.
2. Sestavte obvod pro ověření Faradayových zákonů elektrolýzy. Nechte po stanovenou dobu elektrolytem procházet elektrický proud. Stanovte množství látky vyloučené při průchodu proudu elektrolytem a srovnajte s teoretickým množstvím vypočítaným dle příslušných rovnic.

### Použité přístroje a pomůcky:

1. Regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí, měděné elektrody, vodný roztok pentahydrátu síranu měďnatého  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , skleněná vanička, propojovací vodiče.
2. Regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí, měděné elektrody, vodný roztok  $\text{NaCl}$ , voltmetr, propojovací vodiče, skleněná vanička, milimetrový papír, křivítka.
3. Digitální váhy.

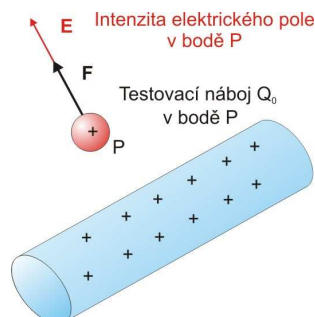
### Základní pojmy, teoretický úvod:

#### Elektrické pole

Ve fyzice se pole dělí na dvě základní skupiny, a to na *skalární a vektorové* [1].

**Skalární pole** – je funkcí souřadnic, tzn. polohového vektoru v dané definované oblasti, která nás zajímá. (Může samozřejmě záviset i na jiných proměnných, např. na čase apod.). Jako příklad můžeme uvést teplotní pole, tlakové pole v atmosféře atd.

**Vektorové pole** – zde se jedná o veličinu, která má vektorovou povahu, tzn. je dána velikostí a směrem. Příkladem je třeba elektrické nebo magnetické pole.



Obr. 1 Kladný testovací náboj umístěný v blízkosti nabitěho tělesa [1].

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Pokud chceme popsat elektrické pole kolem nabitého tělesa, tak do bodu P v místě měření umístíme kladný náboj  $Q_0$  (je ale možné použít i záporný náboj), nazývaný testovací náboj (je vhodné zvolit třeba +1 C) a změříme elektrostatickou sílu  $F$ , která na něj působí (viz. obr. 1).

**Intenzita elektrického pole  $E$**  je vektorová veličina, která je definována vztahem [1]:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{Q_0} \quad (1)$$

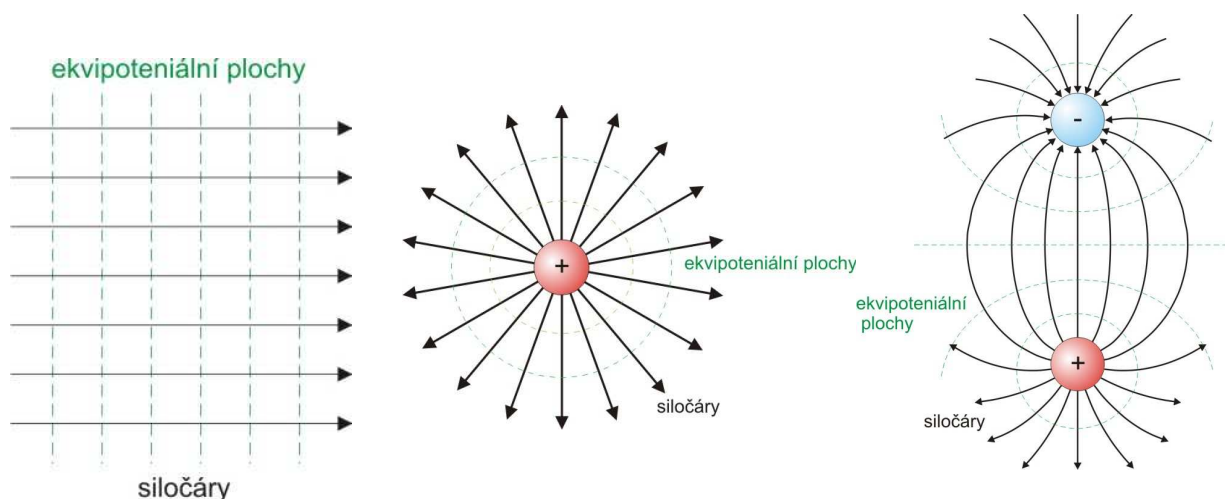
Velikost elektrické intenzity spočítáme dle rovnice (1), tedy  $E = F / Q_0$ . Směr  $E$  je totožný se směrem síly  $F$  (působící na kladný testovací náboj) a zobrazujeme ji jako vektor umístěný v bodě P. Pro určení elektrického pole musíme provést obdobná měření ve všech bodech příslušné oblasti. V soustavě SI má elektrická intenzita jednotku newton na coulomb ( $N \cdot C^{-1}$ ).

### Elektrické siločáry

Elektrické siločáry – jsou myšlené orientované křivky, které názorně zobrazují elektrické pole.

Vztah mezi siločárou a vektorem intenzity je následující [1]:

- kvalitativně* – v každém bodě určuje směr tečny k siločáře směr vektoru  $E$ ,
- kvantitativně* – chceme-li vyjádřit nejen směr, ale i velikost intenzity elektrického pole, nakreslíme tolik siločar, aby jejich počet na jednotku plochy kolmé k siločáram byl úměrný velikosti  $E$ . V tom případě tam, kde jsou siločáry blízko u sebe, je pole silné (velikost intenzity  $E$  je velká) a tam, kde jsou daleko od sebe, je pole slabé.



Obr. 2 Elektrické pole, vlevo homogenní elektrické pole, uprostřed elektrické pole bodového náboje, vpravo elektrické pole dipólu [1]

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



Přičemž musíme mít na paměti fakt, že z kladných nábojů siločáry vycházejí (jedná se o zdroj, zřídlo) a v záporných nábojích končí (zde se jedná o nor neboli propad).

### Ekvipotenciální plocha

Ekvipotenciální plocha je tvořena body, jejichž potenciál má stejnou hodnotu. Ekvipotenciální plocha může být fyzická neboli reálná (jako je třeba povrch tělesa) nebo jen myšlená, zde může jít například o symetrii tělesa.

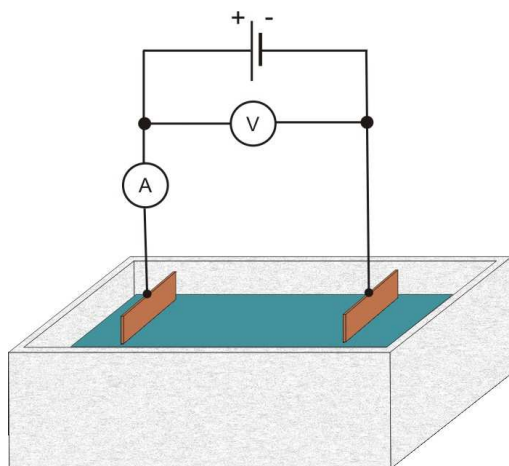
Při přemístění částice mezi dvěma body (a) a (b) po téže ekvipotenciální ploše, nevykoná elektrické pole žádnou úhrnnou práci. To vyplývá z následující rovnice [1]:

$$U = \Delta\varphi = \varphi_b - \varphi_a = -\frac{W}{Q} \quad (2)$$

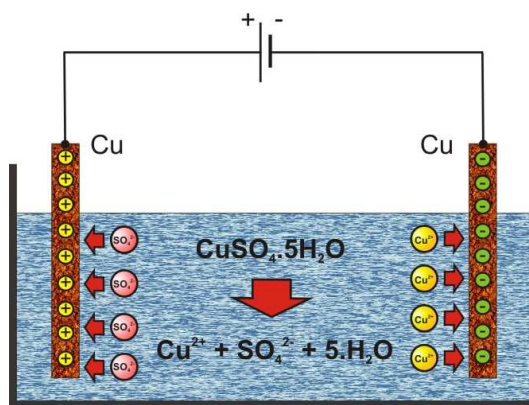
Jestliže platí  $\varphi_a = \varphi_b$ , pak  $W = 0 \text{ J}$ . Protože práce elektrické síly je nezávislá na trajektorii, je vykonaná práce nulová pro libovolnou trajektorii, spojující body (a) a (b). Vykonaná práce je nulová bez ohledu na to, zda trajektorie mezi těmito body leží nebo neleží na ekvipotenciální ploše.

### Faradayovy zákony elektrolýzy

Elektrolýza je fyzikálně-chemický jev, kdy při průchodu elektrického proudu elektrolytem dochází k chemickým změnám na elektrodách. Pokud tedy ponoříme do roztoku elektrolytu dvě kovové elektrody a spojíme je s póly zdroje stejnosměrného proudu, pak elektroda spojená se záporným pólem zdroje (katoda) přivádí do roztoku elektrony, jež jsou z roztoku odváděny kladnou elektrodou (anodou), připojenou ke kladnému pólu zdroje (obr. 3 a 4).



Obr. 3 Elektrolýza - aparatura



Obr. 4 Elektrolýza

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



Elektrický proud v elektrolytu není tvořen elektrony, ale ionty, přičemž při průchodu elektrického proudu dochází k pohybu kladných iontů v elektrolytu k záporné elektrodě a záporných iontů ke kladné elektrodě.

V našem případě je elektrolytem vodný roztok pentahydrátu síranu měďnatého  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . V elektrolytu  $\text{CuSO}_4$  disociuje na  $\text{Cu}^{2+}$  a  $\text{SO}_4^{2-}$ . Poté, co kationty  $\text{Cu}^{2+}$  dorazí ke katodě, přijímají 2 elektrony a stává se z nich neutrální atom mědi, který se zde vylučuje a vytváří měděný povlak. Oproti tomu na anodě reaguje s měděnou elektrodou aniont  $\text{SO}_4^{2-}$  a vytrhává z ní anionty  $\text{Cu}^{2+}$ .

Reakce je možno psát takto:



Na katodě jsou elektrony iontům předávány (katodový děj) a na anodě jsou iontům elektrony odebrány (anodový děj). Z chemického hlediska dochází na katodě k redukčním dějům a na anodě k dějům oxidačním. Elektrolýza se v praxi využívá k pokovování předmětů, výrobě čistých kovů nebo nabíjení akumulátorů.

Vztah mezi nábojem prošlým elektrolytem a množstvím látek přeměněných při elektrodových dějích určují Faradayovy zákony.

- 1. Faradayův zákon:** Množství (hmotnost) vyloučené látky závisí jen na množství prošlého náboje a je mu úměrné.

$$m = A \cdot Q \quad (4)$$

Přičemž konstanta  $A$  se nazývá *elektrochemický ekvivalent* a je dána rovnicí:

$$A = \frac{M}{e \cdot z \cdot N_A} \quad (5)$$

kde:  $M$  je hmotnost vyloučené látky,  $e$  je elementární náboj,  $N_A$  je Avogadrova konstanta a  $z$  je počet elementárních nábojů na jednu molekulu vylučované látky tzv. mocenství látky.

Součin Avogadrovy konstanty  $N_A$  a elementárního náboje  $e$  je Faradayova konstanta  $F$ , přičemž  $F = 9,648 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

- 2. Faradayův zákon:** Množství různých prvků, které se vyloučí při elektrolýze průchodem stejného náboje, je chemicky ekvivalentní.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Pro výpočet množství vyloučené látky ze znalosti procházejícího proudu a doby jeho průchodu využijeme vztah:

$$m = \frac{M}{zF} Q = \frac{M}{zF} It \quad (6)$$

kde:

$m$  je hmotnost vyloučené látky,  $M$  je molární hmotnost ( $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),  $z$  je mocenství látky v elektrolytu,  $Q$  je náboj prošlý elektrolytem,  $I$  je proud tekoucí elektrolytem a  $t$  je čas.

### Postupy měření a pokyny k ověření Faradayových zákonů elektrolýzy

1. Na přichystaných laboratorních vahách zjistěte hmotnost dvou měděných elektrod.
2. Jednu z nich si označte jako anodu a druhou elektrodu jako katodu.
3. Obě elektrody vložte do elektrolytu a zapojte podle obrázku 3 k příslušným pólům zdroje - anodu ke kladnému a katodu k zápornému.
4. Na regulovatelném zdroji nastavte napětí a příslušný proud (cca 0,5 A)
5. Spusťte stopky a nechte roztokem téct proud po dobu několika desítek minut.
6. Po ukončení elektrolýzy zaznamenejte celkový čas, po který procházel proud elektrolytem. Obě elektrody pečlivě usušte a opětovně je zvažte.
7. Vypočítejte úbytek hmotnosti anody a určete nejistotu měření.
8. Dle rovnice (6) vypočítejte teoretickou hmotnost vyloučené mědi a určete její nejistotu.
9. Srovnajte teoretickou a experimentální hodnotu úbytku hmotnosti anody.
10. Měď je ve sloučenině  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dvojmocná a její molární hmotnost je  $M = 63,5 \text{ kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$ .

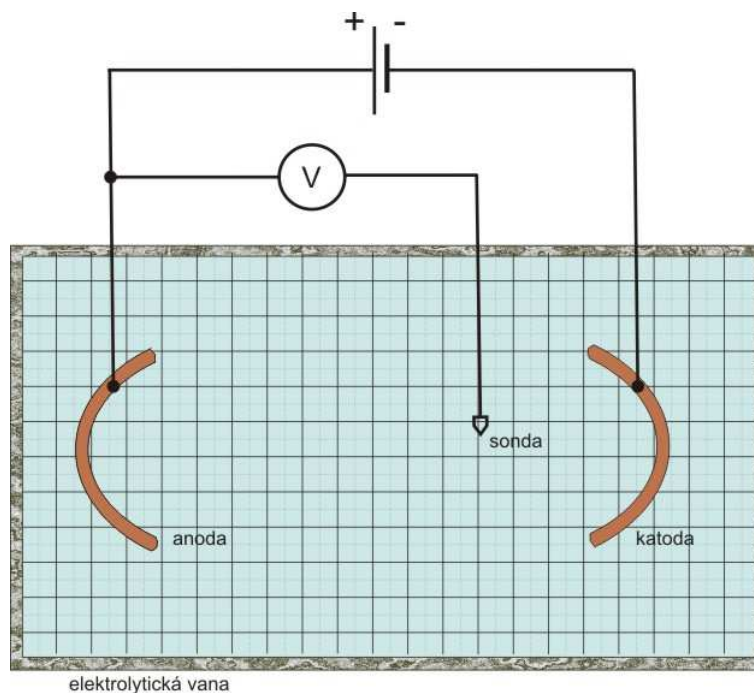
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Postupy měření a pokyny k mapování elektrostatického pole:

1. Elektrolytickou vanu umístěte na milimetrový papír a vložte do ní dvě měděné elektrody. Volte pokud možno jejich symetrické uspořádání, aby bylo snazší zobrazit ekvipotenciální plochy a následně zkonstruovat siločáry.
2. Sestavte obvod pro mapování elektrostatického pole dle obr. 5, připojte propojovací vodiče a zapojte voltmetr a měřící sondu.
3. Nastavte otočením centrálního přepínače na voltmetru příslušný rozsah.
4. Nastavte pomocí regulovaného zdroje mezi elektrodami napětí  $U_{max}$  do 25 V.
5. Posunem sondy po spojnici mezi měděnými elektrodami vyberte hodnotu ekvipotenciální plochy, kterou budete zobrazovat a zakreslete si tento bod v souřadném systému s jeho hodnotou napětí. Poté pomocí sondy najdete a zakreslete body se stejným potenciálem. Počet bodů volte tak, aby jejich spojením bylo možno nakreslit příslušnou ekvipotenciální plochu a ta byla dostatečně hladká.
6. Stejným způsobem pokračujte v zakreslování dalších ekvipotenciálních ploch.
7. K zakresleným ekvipotenciálním plochám sestrojte siločáry. Využijte fakt, že siločára je v daném bodě kolmá k ekvipotenciální ploše.
8. Sestrojte vektory intenzity. Vektor intenzity leží na tečně k siločáře v daném bodě a je orientován od kladné k záporné elektrodě.



Obr. 5 Mapování elektrostatického pole

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně