

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 2

**Zpracoval:** Tomáš Plšek

**Naměřeno:** 5. prosince 2017

**Obor:** Astrofyzika    **Ročník:** II    **Semestr:** III

**Testováno:**

---

### Úloha č. 4: Pohyblivost částic

Povinná část:

1. Změřte odporovou kapacitu elektrolytické cely pomocí roztoku sádrovce.
2. Změřte teplotní závislost elektrolytické vodivosti roztoku KCl. Hodnoty měřené pomocí automatického mostu přepočtete podle vztahu (4).
3. Stanovte pohyblivost iontů. Sestrojte grafy teplotní závislosti elektrické vodivosti a pohyblivosti a porovnejte s hodnotami tabelovanými.

Povinně volitelná část:

1. Změřte odpor měděného drátu za pokojové teploty.
2. Potom použijte ohřátou kapalinu z předchozí části, ponořte do ní měděný drát a změřte teplotní závislost jeho odporu při chladnutí kapaliny.
3. Ze známých rozměrů drátu (délka použitého drátu je 29 m a jeho průměr je 0,112 mm) vypočítejte teplotní závislost pohyblivosti volných elektronů v mědi.

## 1. Teoretický úvod

Vložíme-li do roztoku kyseliny, zásady nebo soli dvojici elektrod připojených ke zdroji napětí, vzniklým obvodem začne procházet proud. Vlivem tepelného pohybu dochází k interakci molekul rozpouštědla a rozpuštěné látky. Vzájemným působením elektrických polí dochází ke štěpení (elektrolytické disociaci) rozpuštěné látky. Pro úplně disociovaný roztok bude platit:

$$\mu = \frac{\sigma}{2n_0q}, \quad (1)$$

kde  $\mu$  je pohyblivost iontů,  $\sigma$  vodivost elektrolytu,  $n_0$  je počet molekul rozpuštěné látky a  $q$  je náboj přenášený iontem. Součin  $n_0q$  můžeme vyjádřit pomocí Faradayova náboje  $F = 96485,34 \text{ C mol}^{-1}$  a molarity  $c_m = 0,02 \text{ mol l}^{-1}$ :

$$\mu = \frac{\sigma}{2Fc_m}. \quad (2)$$

Vodivost elektrolytu pro danou teplotu určíme snadno z měření odporu elektrolytu. Pro odpor elektrolytu  $R_x$  platí vztah:

$$R_x = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{S}, \quad (3)$$

kde  $L$  je vzdálenost elektrod a  $S$  jejich plocha.

V případě měření pomocí automatického mostu však předpokládáme paralelní kombinaci  $R$  a  $C$ , musíme tedy uvažovat impendanci. Pro výsledný odpor tedy platí vztah:

$$R_s = \frac{R_p}{1 + \omega^2 C_p^2 R_p^2}, \quad (4)$$

kde  $\omega = 2\pi f$  a  $f = 1000$  Hz je frekvence mostu.

### 1.1. Teplotní závislost pohyblivosti volných elektronů v kovu

Obdobně jako v případě elektrolytu je i u kovů elektrická vodivost dána pohyblivostí nositelů náboje. Na rozdíl od iontů (v elektrolytu) jsou nyní nositeli náboje volné elektrony. Podobně jako v elektrolytu můžeme definovat pohyblivost nositelů náboje:

$$\mu = \frac{\sigma}{e_0 n}, \quad (5)$$

kde  $e_0$  je elementární náboj a  $n$  je koncentrace volných elektronů. Koncentraci volných  $e^-$  můžeme ze známé hustoty a atomové hmotnosti určit ze vztahu:

$$n = z \frac{\rho}{A m_u}, \quad (6)$$

kde  $A = 63,55$  je atomové hmotností číslo mědi,  $m_u = 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg je atomová hmotnostní jednotka a  $z = 1$  je počet volných elektronů připadající na jeden atom mědi.

## 2. Měření

### 2.1. Měření odporové kapacity elektrolytické cely

Pomocí roztoku o známé teplotní závislosti vodivosti (obrázek 1) určíme odporovou kapacitu  $A = L/S$  elektrolytické cely.

Tabulka 1: Měření odporové kapacity.

t [°C]	$R$ [ $\Omega$ ]	$\sigma$ [ $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ ]	$A$ [ $\text{m}^{-1}$ ]
15	461	0,173	79,9
16	455	0,178	81,1
17	445	0,183	81,5
18	438	0,188	82,3
19	429	0,193	82,7
20	421	0,198	83,2
21	414	0,202	83,8

Odporová kapacita  $A = (82,1 \pm 0,6) \text{ m}^{-1}$ .

### 2.2. Měření teplotní závislosti vodivosti roztoku KCL

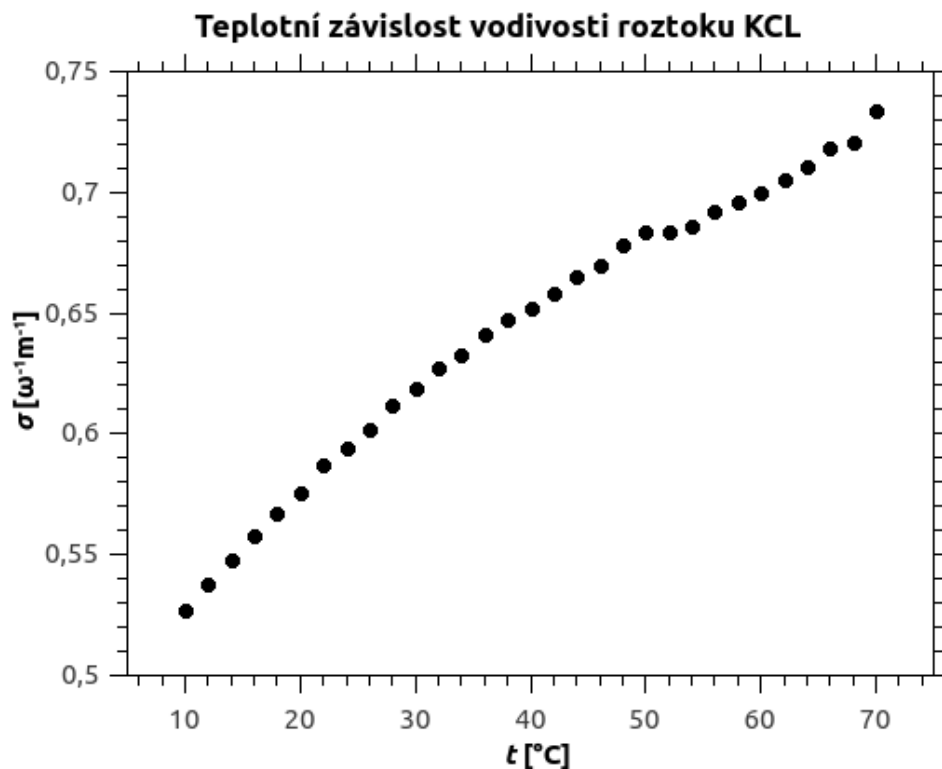
Pomocí automatického RLCG mostu získáme pro jednotlivé teploty hodnoty odporu  $R$  a kapacity  $C$ , z nichž pomocí vzorce (4) získáme hledaný odpor mostu, z nějž určíme vodivost roztoku KCL (tabulka 2).

Tabulka 2: Teplotní závislost vodivosti a pohyblivosti iontů roztoku KCL.

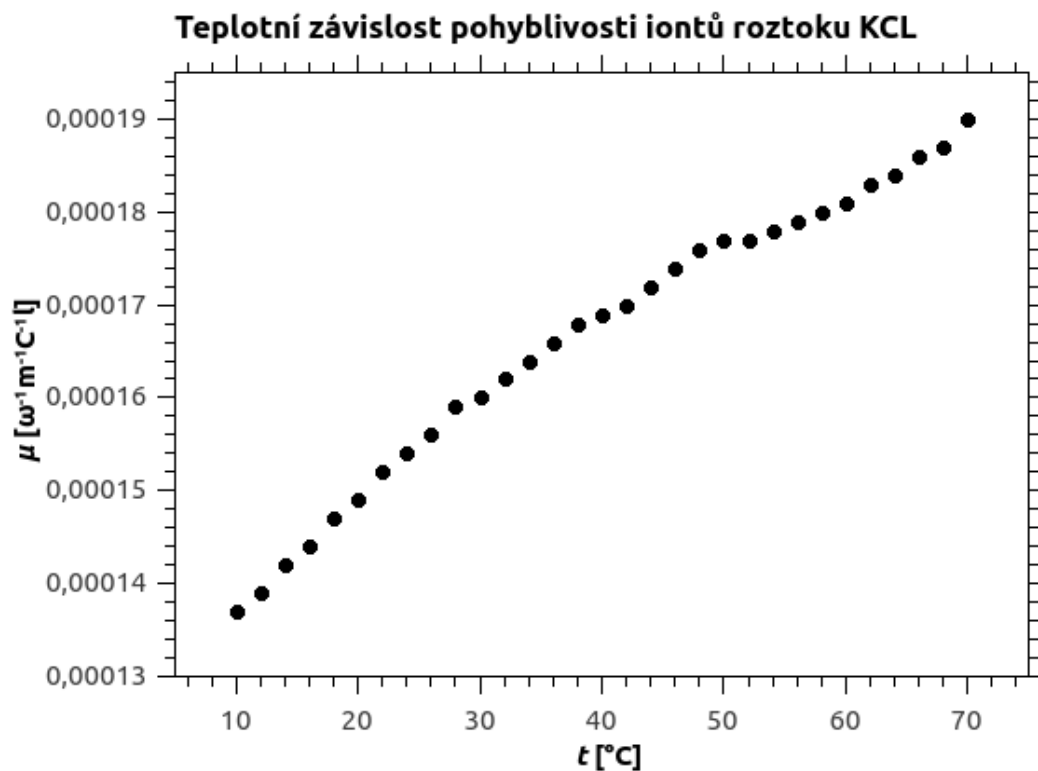
$t$ [°C]	$C$ [ $\mu$ F]	$R$ [ $\Omega$ ]	$R_s$ [ $\Omega$ ]	$\sigma$ [ $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ ]	$\mu$ [ $\mu\Omega^{-1}\text{m}^2\text{C}^{-1}$ ]
10	0,1961	622,0	155,7	0,527	0,137
12	0,2041	609,2	152,7	0,538	0,139
14	0,2122	596,6	149,8	0,548	0,142
16	0,2197	586,6	147,2	0,558	0,144
18	0,2274	576,0	144,8	0,567	0,147
20	0,2347	566,6	142,6	0,576	0,149
22	0,2428	559,0	139,9	0,587	0,152
24	0,2496	550,3	138,1	0,594	0,154
26	0,2559	544,3	136,3	0,602	0,156
28	0,2631	539,2	134,1	0,612	0,159
30	0,2690	534,3	132,5	0,619	0,160
32	0,2750	529,2	131,0	0,627	0,162
34	0,2807	524,4	129,6	0,633	0,164
36	0,2870	519,3	128,0	0,641	0,166
38	0,2921	514,6	126,9	0,647	0,168
40	0,2971	510,6	125,8	0,652	0,169
42	0,3021	506,5	124,8	0,658	0,170
44	0,3080	502,7	123,4	0,665	0,172
46	0,3118	500,5	122,6	0,670	0,174
48	0,3178	497,9	121,1	0,678	0,176
50	0,3225	495,9	120,0	0,684	0,177
52	0,3242	493,0	119,9	0,684	0,177
54	0,3268	490,0	119,6	0,686	0,178
56	0,3323	486,0	118,6	0,692	0,179
58	0,3364	481,9	118,0	0,696	0,180
60	0,3417	476,9	117,2	0,700	0,181
62	0,3465	473,9	116,4	0,705	0,183
64	0,3517	470,9	115,4	0,711	0,184
66	0,3569	469,3	114,4	0,718	0,186
68	0,3604	467,1	113,8	0,721	0,187
70	0,3704	464,8	111,8	0,734	0,190

### 2.3. Stanovení pohyblivosti iontů a sestrojení grafů teplotní závislosti vodivosti a pohyblivosti iontů

Ze vztahu (2) určíme teplotní závislost pohyblivosti iontů (tabulka 2) a vyneseme její závislost a také závislost vodivosti do grafu.



Graf 1: Závislost vodivosti elektrolytu na jeho teplotě.



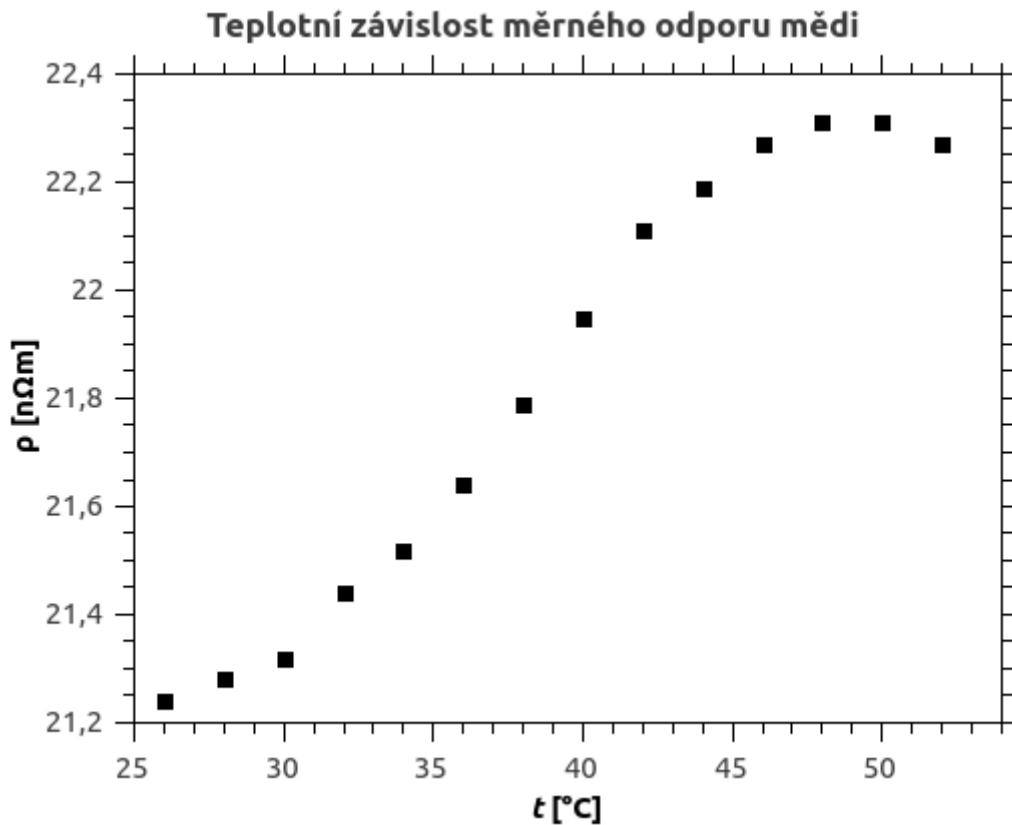
Graf 2: Teplotní závislost pohyblivosti iontů v elektrolytu KCL.

## 2.4. Měření teplotní závislosti a pohyblivosti volných $e^-$ odporu měděného drátu

Do vyhřáté kapaliny z předchozí úlohy vložíme měděný drát, který připojíme k automatickému RLCG mostu a měříme jeho odpor v závislosti na teplotě. Z ní následně pomocí vzorce (3) určíme vodivost drátu a pomocí vzorce (5) i pohyblivost volných elektronů.

Tabulka 3: Teplotní závislost vodivosti a pohyblivosti elektronů v měděném drátu.

$t$ [°C]	$R$ [ $\Omega$ ]	$\sigma$ [ $M\Omega^{-1}m^{-1}$ ]	$\mu$ [ $\Omega^{-1}m^2C^{-1}$ ]	$\rho$ [ $n\Omega m$ ]
52	56,5	44,91	0,00330	22,27
50	56,6	44,83	0,00329	22,31
48	56,6	44,83	0,00329	22,31
46	56,5	44,91	0,00330	22,27
44	56,3	45,07	0,00331	22,19
42	56,1	45,23	0,00332	22,11
40	55,7	45,56	0,00335	21,95
38	55,3	45,89	0,00337	21,79
36	54,9	46,22	0,00340	21,64
34	54,6	46,48	0,00342	21,52
32	54,4	46,65	0,00343	21,44
30	54,1	46,90	0,00345	21,32
28	54,0	46,99	0,00345	21,28
26	53,9	47,08	0,00346	21,24



Graf 3: Závislost měrného odporu mědi na teplotě.

### 3. Závěr

Pomocí teplotní závislosti odporu roztoku o známé vodivosti jsem zjistil odporovou kapacitu elektrod  $A = (82,1 \pm 0,6) \text{ m}^{-1}$ . Následně jsem proměřil závislost odporu na teplotě pro roztok KCL a určil jsem jeho vodivost a také pohyblivost iontů.

Obdobně jsem určil i teplotní závislost vodivosti, pohyblivosti volných elektronů a měrný odpor mědi. Z grafu 3 vidíme, že při vložení měděného drátu do horkého roztoku nějakou dobu trvalo, než se teploty roztoku a drátu vyrovnaly.

Vidíme, že vodivost i pohyblivost nosičů náboje elektrolytu KCL je mnohem menší než v případě měděného drátu. Je to způsobeno odlišným typem nosičů náboje.