

## 1 Pracovní úkol

1. Změřte závislost stočení polarizační roviny na koncentraci vodního roztoku glukózy v rozmezí 0 – 500 g/l. Pro jednu zvolenou koncentraci proveďte 5 měření úhlu stočení polarizační roviny. Jednu vámi vybranou nenulovou koncentraci glukózy namíchejte třikrát a změřte úhel stočení polarizační roviny. Vyneste do grafu závislost úhlu stočení polarizační roviny lineárně polarizovaného světla na koncentraci. Do grafu vyneste také odhad chyby úhlu stočení polarizační roviny a koncentrace. Pro každou koncentraci vypočítejte měrnou stáčivost. Získané hodnoty měrné stáčivosti statisticky zpracujte, tj. vypočítejte střední hodnotu a její standardní odchylku.
2. Změřte Verdetovu konstantu benzenu. Vyneste do grafu závislost úhlu stočení polarizační roviny lineárně polarizovaného světla na magnetické indukci. Pro každou hodnotu magnetické indukce vypočítejte Verdetovu konstantu. Z těchto dat vypočítejte střední hodnotu Verdetovy konstanty a její standardní odchylku.

## 2 Teorie

Necháme-li látkou procházet lineárně polarizované světlo, může docházet ke stáčení polarizační roviny. Této vlastnosti říkáme optická aktivita. Dochází k ní u látek s takovou strukturou, jejíž bodová grupa symetrie obsahuje šroubovou osu. To se projeví stáčením polarizační roviny. Úhel  $\alpha$ , o kolik se stočí polarizační rovina, lze spočítat jako:

$$\alpha = \rho c d, \quad (1)$$

kde  $\rho$  je tzv. měrná stáčivost roztoku (v našem případě to bude vodní roztok glukózy),  $c$  je koncentrace opticky aktivní látky a  $d$  je dráha, kterou světlo proběhne roztokem. V našem případě bude roztok umístěn v kyvetě. Dráha  $d$  je tedy ekvivalentní délce kyvety.

Některé látky (jako např. benzen) jsou v běžných podmínkách opticky neaktivní, avšak optickou aktivitu u nich můžeme vybudit vložením do magnetického pole. Toto zveme Faradayovým jevem. Po dopadu na látku se lineárně polarizované světlo rozloží na pravotočivou a levotočivou složku. Složky cítí rozdílný index lomu, což se projeví stočením polarizační roviny. Úhel stočení  $\alpha$  můžeme spočítat podle rovnice:

$$\alpha = V B d, \quad (2)$$

kde  $V$  je Verdetova konstanta a  $B$  je velikost magnetické indukce.

V našem případě magnetickou indukci získáme pomocí cívky. Pro velikost magnetické indukce  $B$  v cívice platí:

$$B(a) = \frac{\mu_0 N I}{2l(r_2 - r_1)} \left[ \left( \frac{l}{2} - a \right) \left( \ln \frac{r_2 + \sqrt{r_2^2 + \left( \frac{l}{2} - a \right)^2}}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + \left( \frac{l}{2} - a \right)^2}} \right) + \left( \frac{l}{2} + a \right) \left( \ln \frac{r_2 + \sqrt{r_2^2 + \left( \frac{l}{2} + a \right)^2}}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + \left( \frac{l}{2} + a \right)^2}} \right) \right], \quad (3)$$

kde  $\mu_0$  je permeabilita vakua,  $N$  je počet závitů cívky,  $I$  je proud procházející cívkou,  $l$  je její délka,  $r_2$  resp.  $r_1$  je vnější resp. vnitřní poloměr a  $a$  je vzdálenost od středu cívky k místu, ve kterém chceme  $B$  zjistit. Do rovnice (2) je třeba dosazovat střední hodnotu magnetické indukce  $\langle B \rangle$ . Tu spočítáme jakožto:

$$\langle B \rangle = \frac{1}{d} \int_{-d/2}^{d/2} B(a) da. \quad (4)$$

## 3 Výsledky měření

Zdrojem monochromatického světla byla sodíková výbojka. Nechali jsme ho procházet kyvetou a měřili stočení roviny. Délka kyvety byla:

$d_1 = 10 \text{ cm}$

Při měření stočení polarizační roviny v závislosti na koncentraci glukózy jsme použili polostínovou metodu (viz [1], str. 63). Nejdříve jsme se však přesvědčili, že je skutečně přesnější, než metoda, při níž točíme analyzátořem tak, abychom dosáhli tmavého pole. Při použití destilované vody jsme změřili rozsah natočení analyzátořem, při kterých se nám zdálo, že obě poloviny zorného pole mají stejný jas, popř. jas jedné poloviny je nulový. Pro polostínovou metodu nám vyšel rozsah:

$\alpha \in (0, 32; 0, 45)$

Pro metodu s použitím tmavého pole jsme zjistili rozsah:

$\alpha \in (5, 20; 6, 30)$

Polostínová metoda dává rozsah  $0,13^\circ$ , metoda s použitím tmavého pole  $1,10^\circ$ . Polostínová metoda je tedy vskutku přesnější.

K namíchání požadovaných koncentrací byla k dispozici destilovaná voda a roztok glukózy o koncentraci 500 g/l. Koncentraci 300 g/l jsme namíchali 3x. Naměřené úhly jsou v tabulce 1. Chybu koncentrace jsme odhadli na  $\pm 2$  g/l. Vycházeli jsme z toho, že pipeta použitá při přípravě roztoků měla přesnost 0,05 ml. Každého roztoku jsme připravili 10 ml. Roztoky o koncentracích 0 g/l a 500 g/l jsme uvažovali bez chyby.

Úhel stočení pro jeden a ten samý roztok o koncentraci 400 g/l jsme změřili 5x. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 2.

Jednak se tedy dopouštíme chyby při přípravě roztoku, jednak při samotném měření. Odmocninu součtu kvadrátů jednotlivých směrodatných odchylek budeme pokládat za směrodatnou odchylku všech měření. Předpokládáme, že nepřesnosti při přípravě i při měření jsou pro všechny koncentrace stejné.

Tabulka 3 zaznamenává jednotlivé úhly stočení. Pro koncentrace 300 g/l a 400 g/l jsme vzali průměrné hodnoty.

Všechny údaje v tabulkách 1 - 3 jsou přepočítány na nulovou hodnotu stočení při nulové koncentraci.

Měrnou stáčivost jsme spočítali podle (1) pro každou koncentraci zvlášť. Výsledky jsou v tabulce 3. Průměrná hodnota měrné stáčivosti  $\rho$  činí:

$$\rho = (59,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ \cdot \text{dm}^2 \text{g}^{-1}$$

Dále jsme měřili stáčení polarizační roviny při průchodu světla benzenem za přítomnosti magnetického pole. Benzen se nacházel v kyvetě, jejíž délka byla:

$$d_2 = 20 \text{ cm.}$$

Střed kyvety se nacházel ve středu cívky. Schéma použitého zapojení nalezneme v [1], str. 168. Stáčení polarizační roviny jsme měřili pro proud procházející cívkou od 0 A do 3 A. Pro celý obor hodnot jsme použili zapojení doporučené pro rozsah hodnot od 0 A do 1,5 A. Abychom mohli spočítat magnetickou indukci  $B$  (podle (3)), musíme znát některé parametry cívky (tyto parametry byly dány):

$$N = 3045$$

$$l = 0,25 \text{ m}$$

$$r_1 = 30 \text{ mm}$$

$$r_2 = 56 \text{ mm}$$

Stejně jako v předchozím bodě, i zde jsme se nejdříve přesvědčili, že polostínová metoda je přesnější. Postup byl stejný, jako v přechodném případě. Pro polostínovou metodu nám vyšel rozsah:

$$\alpha \in (-14, 50; -14, 45)$$

Pro metodu využívající tmavého pole potom:

$$\alpha \in (-19, 80; -19, 55)$$

Vidíme, že je výhodnější použít polostínovou metodu. Polovinu délky intervalu vezmeme za chybu určení úhlu stočení  $\alpha$ .

Výsledky měření, stejně tak jako Verdetovu konstantu pro každé měření zvlášť, můžeme nalézt v tabulce 4. Záporné hodnoty proudu znamenají, že jsme měřili při opačné polarizaci, než při měření s kladnými hodnotami. Po magnetickou indukci to platí analogicky. Uváděná hodnota magnetické indukce  $B$  je průměrná hodnota magnetické indukce v kyvetě. Průměrná hodnota Verdetovy konstanty činí:

$$V = (515 \pm 60) \text{ }^\circ \cdot \text{T}^{-1} \text{m}^{-1}$$

V tabulkách [3] je udávána hodnota Verdetovu konstantu pro benzen:

$$V_{tab} = 500 \text{ }^\circ \cdot \text{T}^{-1} \text{m}^{-1}$$

## 4 Diskuse

Z grafu 1 je jasně patrná lineární závislost stočení polarizační roviny na koncentraci, jak ostatně odpovídá vzorci (1). Chyby jsme se jistě dopustili již při přípravě roztoku. Pipeta měla omezenou přesnost, kádinky nemusely být zcela čisté, přestože jsme je vymyli destilovanou vodou před tím, než jsme v nich začali připravovat roztoky. Též rozhodnout, kdy obě poloviny zorného pole měly stejnou intenzitu, bylo na uvážení experimentátora. Avšak navzdory těmto nepřesnostem nám závislost vyšla s dosti dobrou přesností. Hodnotu měrné stáčivosti jsme bohužel v tabulkách nenašli, nemůžeme ji tedy s ničím porovnat.

Závislost nám opět podle předpokladů vyšla lineární, jak se můžeme přesvědčit v grafu 2. Stejně jako v předchozím bodu, i zde jsme do měření vnášeli nepřesnosti subjektivním názorem na stejné intenzity obou polovin zorného pole. Zadané parametry cívky jsme uvažovali bez chyby, avšak nevíme, nakolik byly změřeny přesně. Abychom mohli podle (3) spočítat magnetickou indukci, bylo třeba znát proud procházející cívkou. Mohla se tedy do měření promítnout i chyba ampérmetru. Námi naměřená hodnota se však v rámci chyby shoduje s tabulkovou hodnotou.

## 5 Závěr

1. Naměřené hodnoty jsou v tabulkách 1 - 3. Grafické zpracování je v grafu 1. Průměrná hodnota měrné stáčivosti pro použité světlo ze sodíkové výbojky činí:  
 $\rho = (59,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ} \cdot \text{dm}^2 \text{g}^{-1}$
2. Výsledky měření můžeme nalézt v tabulce 4. Grafické zpracování je v grafu 2. Průměrná hodnota Verdetovy konstanty je:  
 $V = (515 \pm 60) \text{ }^{\circ} \cdot \text{T}^{-1} \text{m}^{-1}$

## 6 Literatura

- [1] I. Pelant, J. Fiala, J. Pospíšil, J. Fährnich: Fyzikální praktikum III - Optika, Karolinum, Praha, 1993
- [2] J. English: Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 2000
- [3] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha, 1980

Tabulka 1: Stočení polarizační roviny pro koncentraci 300 g/l

číslo měření	1	2	3	průměr
stočení $\alpha$ [°]	17,59	17,75	17,64	17,66±0,07

Tabulka 2: Stočení polarizační roviny pro koncentraci 400 g/l

číslo měření	1	2	3	4	5	průměr
stočení $\alpha$ [°]	23,84	23,92	23,81	23,97	23,91	23,89±0,06

Tabulka 3: Stočení polarizační roviny pro různé koncentrace

koncentrace $c$ [g/l]	0	100±2	200±2	300±2	400±2	500
stočení $\alpha$ [°]	0±0,09	5,87±0,09	11,63±0,09	17,66±0,09	23,89±0,09	29,9±0,09
měrná stáčivost $\rho$ [10 <sup>-3</sup> °.dm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ]	-	58,7±1,5	58,2±0,7	58,9±0,5	59,7±0,4	59,8±0,3

Tabulka 4: Stáčení polarizační roviny pro benzen

proud $I$ [A]	-3,00±0,03	-2,50±0,03	-2,00±0,03	-1,50±0,03	-1,00±0,03
mag. indukce $B$ [mT]	-42,9±0,3	-35,7±0,3	-28,6±0,3	-21,4±0,3	-14,3±0,3
stočení $\alpha$ [°]	-3,87±0,03	-3,28±0,03	-2,69±0,03	-2,12±0,03	-1,26±0,03
Verdet. k. $V$ [°.T <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]	452±3	459±4	471±5	495±7	441±9
proud $I$ [A]	-0,50±0,03	0,00±0,03	0,50±0,03	1,00±0,03	1,50±0,03
mag. indukce $B$ [mT]	-7,1±0,3	0,0±0,3	7,1±0,3	14,3±0,3	21,4±0,3
stočení $\alpha$ [°]	-0,75±0,03	0±0,03	0,94±0,03	1,66±0,03	2,4±0,03
Verdet. k. $V$ [°.T <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]	525±22	-	658±27	581±12	560±8
proud $I$ [A]	2,00±0,03	2,50±0,03	3,00±0,03		
mag. indukce $B$ [mT]	28,6±0,3	35,7±0,3	42,9±0,3		
stočení $\alpha$ [°]	2,9±0,03	3,68±0,03	4,49±0,03		
Verdet. k. $V$ [°.T <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> ]	508±5	515±4	524±4		