Vojtěch Hrubý Úloha 11

Pracovní úkol

1. Změřte závislost stočení polarizační roviny na koncentraci vodního roztoku glukózy v rozmezí 0–500 g/l. Pro jednu zvolenou koncenteraci proveďte pět 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.

Teoretická část

Polarizace světla je určena směrem kmitání vektoru elektrické intenzity ve vlně. V této úloze pracujeme s lineárně polarizovaným světlem. V tomto případě kmitá vektor elektrické intenzity stále v jedné rovině.

Při průchodu některými látkami dochází k jevu stáčení polarizační roviny. Takové látky nazýváme opticky aktivní. Často stáčí polarizační rovinu roztoky organických sloučenin, se kterými pracujeme v této úloze. Stáčení je způsobeno asymetrií molekuly organické látky, která má dvě varianty geometrického uspořádání (pravotočivá a levotočivá). Nelze je ztotožnit žádnou rotací. Grupa symetrie může být tedy pravotočivá nebo levotočivá. Máme-li čistý roztok jedné varianty, stáčí rovinu polarizace v příslušném směru.

Obecné platí vztah

$$\alpha = \varrho c d, \tag{1}$$

kde α je úhel stočení, ϱ je měrná stáčivost, c je koncentrace roztoku a d je dráha, kterou světlo projde kapalinou.

U některých látek můžeme pozorovat optickou aktivitu pouze v přítomnosti magnetického pole. Tomuto jevu říkáme Faradayův jev. Magnetické pole může působit jako šroubová osa symetrie. Stočení roviny polarizace je dáno vztahem

$$\alpha = VBd, \tag{2}$$

kde V je Verdetova konstanta, B je magnetická indukce a d je dráha světla v kapalině. Tento jev vykazuje například benzen.

Měření

Nejprve jsem proměřil stáčení polarizační roviny v roztoku glukózy pomocí kruhového polarimetru Metra. Naměřené hodnoty pro různé koncentrace roztoku glukózy pro předepsané hodnoty koncentrace jsou uvedeny v tabulce 1.

Chyba měření se skládá minimálně ze dvou složek. Nejmenší dílek stupnice polarimetru byl 0.01°. Zdrojem větší chyby byla nepřesnost nastavení stejné intenzity světla v obou polích polerimetru. Pro určení této chyby jsem naměřil úhel stočení několikrát na stejném roztoku. Tato měření jsou zpracována v tabulce 2.

Pro určení chyby koncentrace připraveného roztoku jsem třikrát namíchal roztok stejné koncentrace a naměřil jsem úhel stočení. Toto měření je zpracováno v tabulce 3.

Měrná stáčivost pro různé koncentrace je uvedena v tabulce 4. Měrná stáčivost glukózy je

$$\varrho = (0.0511 \pm 0.004)\,^\circ \cdot \mathrm{dm}^2 \cdot \mathrm{g}^{-1}.$$

Naměřené hodnoty s chybami měření jsou vyneseny do grafu 1.

$c\,[\mathrm{g/l}]$	$\varphi\,[^\circ]$
0	-0.66 ± 0.02
100 ± 1	4.29 ± 0.02
200 ± 3	9.56 ± 0.03
300 ± 4	14.63 ± 0.04
400 ± 6	20.04 ± 0.05
500	25.45 ± 0.07

Tabulka 1.: Naměřené hodnoty stočení polarizační roviny při různých koncentracích roztoku

$c = 0\,\mathrm{g/l}$	
	$\varphi\,[^\circ]$
	-0.68 ± 0.01
	-0.60 ± 0.01
	-0.66 ± 0.01
	-0.69 ± 0.01
	-0.66 ± 0.01
Průměr	-0.66 ± 0.02
$c = 400\,\mathrm{g/l}$	
	20.17 ± 0.01
	19.91 ± 0.01
	20.04 ± 0.01
	20.16 ± 0.01
	19.94 ± 0.01
Průměr	20.04 ± 0.05

Tabulka 2.: Naměřené hodnoty stočení polarizační roviny několikrát při stejném roztoku pro určení chyby měření úhlu

	$\varphi\,[^\circ]$
	9.78
	9.29
	9.56
Průměr	9.54 ± 0.14

Tabulka 3.: Naměřené hodnoty stočení polarizační roviny několikrát připraveného roztoku o stejné koncentraci $200\,\mathrm{g/l}$

$c\,[\mathrm{g/l}]$	$\varrho\,[^\circ{\cdot}\mathrm{dm}^2\cdot\mathrm{g}^{-1}]$
100	0.049 ± 0.001
200	0.051 ± 0.001
300	0.051 ± 0.001
400	0.052 ± 0.001
500	0.052 ± 0.001

Tabulka 4.: Měrná stáčivost v závislosti na koncentraci roztoku

Při měření stáčivosti polarizační roviny v benzenu v magnetickém poli jsem použil zapojení podle [2]. Abych vypočítal střední hodnotu magnetické indukce v kyvetě, zintegroval jsem numericky vztah v [2] pro magnetickou indukci v solenoidu. Rozměry solenoidu jsou uvedeny v [2]. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 5. Do tabulky 6 jsem uvedl tři měření při stejné indukci, abych určil chybu měření úhlu. V tabulce 7 je Verdetova konstanta pro různou velikost magnetického pole.

Verdetova konstanta benzenu je

$$V = (38 \pm 1)\,^\circ \cdot \mathrm{T}^{-1} \cdot \mathrm{dm}^{-1}.$$

$I\,[\mathrm{A}]$	$B\,[\mathrm{T}]$	$\varphi\,[^\circ]$
-3.00 ± 0.03	-0.0411 ± 0.0004	9.55 ± 0.25
-2.50 ± 0.03	-0.0343 ± 0.0004	10.21 ± 0.26
-2.00 ± 0.03	-0.0274 ± 0.0004	10.71 ± 0.28
-1.50 ± 0.03	-0.0206 ± 0.0004	11.36 ± 0.29
-1.20 ± 0.03	-0.0165 ± 0.0004	11.95 ± 0.31
-0.91 ± 0.01	-0.0125 ± 0.0001	12.47 ± 0.32
-0.61 ± 0.01	-0.0084 ± 0.0001	12.79 ± 0.33
-0.33 ± 0.01	-0.0045 ± 0.0001	13.51 ± 0.35
0	0	13.74 ± 0.36
0	0	13.47 ± 0.12
0.33 ± 0.01	0.0045 ± 0.0001	13.85 ± 0.12
0.61 ± 0.01	0.0084 ± 0.0001	14.34 ± 0.13
0.91 ± 0.01	0.0125 ± 0.0001	14.67 ± 0.13
1.20 ± 0.03	0.0165 ± 0.0004	15.27 ± 0.14
1.50 ± 0.03	0.0206 ± 0.0004	15.79 ± 0.14
2.00 ± 0.03	0.0274 ± 0.0004	16.29 ± 0.14
2.50 ± 0.03	0.0343 ± 0.0004	17.00 ± 0.15
3.00 ± 0.03	0.0411 ± 0.0004	17.74 ± 0.16

Tabulka 5.: Naměřené hodnoty stočení polarizační roviny v benzenu v magnetickém poli

Diskuse

Měření měrné stáčivosti přineslo velmi dobrý výsledek. Měrná stáčivost závisí na koncentraci roztoku jen v rámci chyby měření, což jsem očekával. Graf 1 dobře ukazuje, že závislost úhlu na koncentraci je lineární a proložená přímka nevybočuje z chyby měření.

	$\varphi\,[^\circ]$
	16.35 ± 0.01
	16.01 ± 0.01
	16.50 ± 0.01
Průměr	16.29 ± 0.14

Tabulka 6.: Naměřené hodnoty stočení polarizační roviny v benzenu při $B = 0.0274\,\mathrm{T}$

$B\,[\mathrm{T}]$	$V\,[^\circ\cdot\mathrm{T}^{-1}\cdot\mathrm{dm}^{-1}]$
-0.0411	39 ± 3
-0.0343	40 ± 4
-0.0274	42 ± 5
-0.0206	44 ± 7
-0.0165	40 ± 9
-0.0125	36 ± 11
-0.0084	39 ± 16
-0.0045	8 ± 31
0.0045	22 ± 11
0.0084	35 ± 6
0.0125	34 ± 4
0.0165	41 ± 4
0.0206	43 ± 4
0.0274	39 ± 3
0.0343	40 ± 2
0.0411	40 ± 2

Tabulka 7.: Verdetova konstanta pro různé magnetické pole

Měření Verdetovy konstanty přineslo méně přesné výsledky. Jedním z důvodů byla mírně nesprávná funkce polarimetru, kde byla vidět jen část pole. Můj asistent usoudil, že je přístroj v ostatních parametrech v pořádku. Z tohoto důvodu je možné, že je měření zatížené systematickou chybou. Závislost úhlu stočení roviny polarizace je opět lineární, i když je chyba větší než v předchozím případě.

Naměřené hodnoty se mi nepodařilo srovnat s tabulkami, protože jsem je tam nenašel.

Závěr

Měření splnilo mé předpoklady i v rámci nízké chyby měření.

Měrná stáčivost je

$$\varrho = (0.0511 \pm 0.004)\,{}^\circ \cdot \mathrm{dm}^2 \cdot \mathrm{g}^{-1}.$$

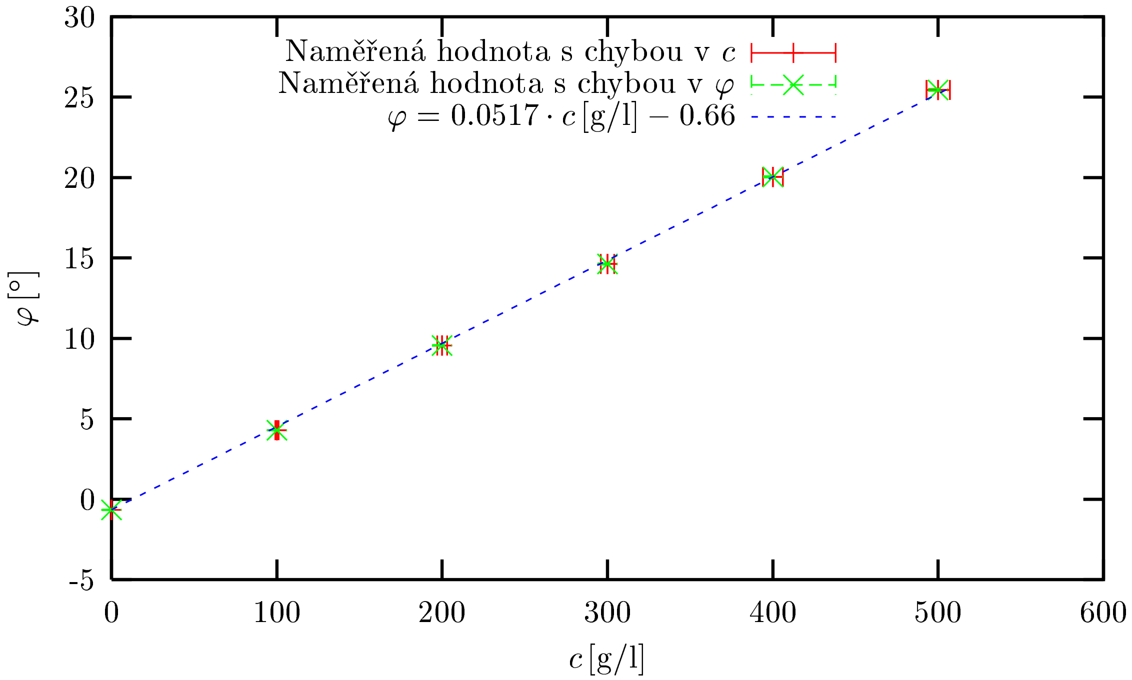
Verdetova konstanta je

$$V = (38 \pm 1)\,{}^\circ \cdot \mathrm{T}^{-1} \cdot \mathrm{dm}^{-1}.$$

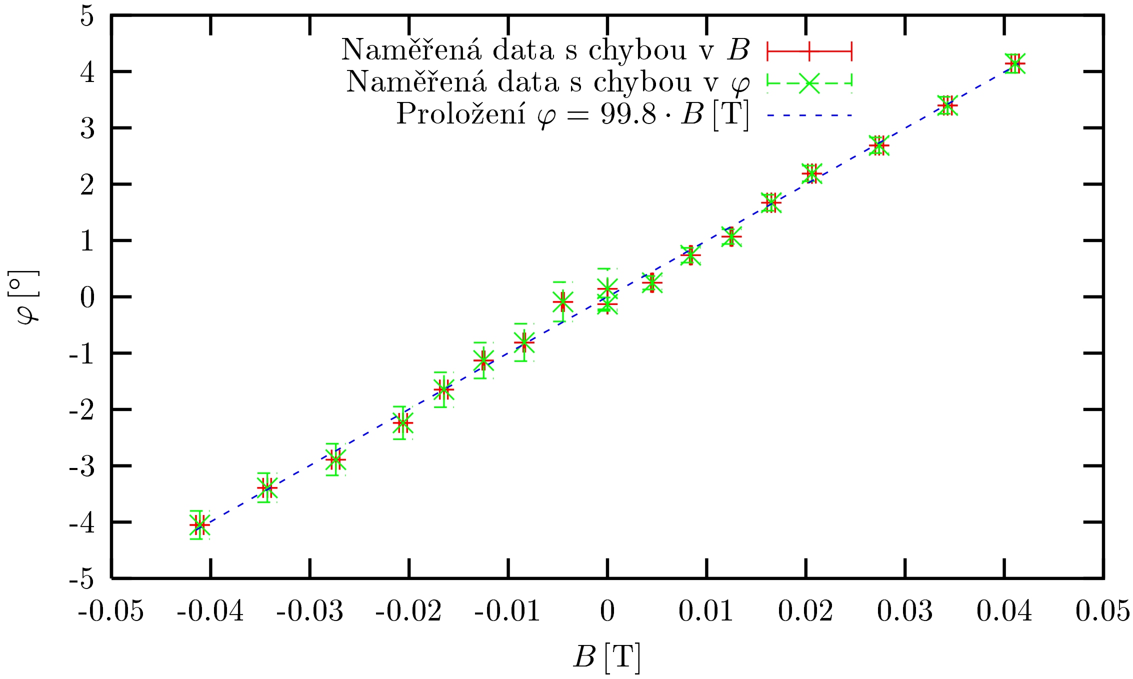
Literatura

[1] Englich, J.: Zpracování výsledků fyzikálních měření. Praha 2000.

[2] `physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp`: Studijní text a Pokyny k měření, úloha 11.



Graf 1.: Stáčení polarizační roviny při různých koncentracích roztoku



Graf 2.: Stáčení polarizační roviny v benzenu v závislosti na magnetickém poli