Pracovní úkol

1. Změřte závislost stočení polariační roviny na koncentraci vodního roztoku glukozy v rozmezí $0 - 500\,g/l$. Pro jednu zvolenou koncentraci proveďte 5 měření úhlu stočení polarizační roviny. Jednu vámi vybranou nenulovou koncentraci glukozy 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. vypočtěte střední hodnotu a její standartní 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 vypočtěte střední hodnotu Verdetovy konstanty a její standardní odchylku.

Teoretická část

Při průchodu lineárně polarizovaného světla některými prostředími dochází k jevu stáčení polarizační roviny. Tomuto jevu říkáme *optická aktivita*. Jev je častý například u organických kapalin nebo jej můžeme pozorovat u neaktivních látek po vložení do magnetického pole.

Opticky aktivní látky (například námi používaná glukoza) mají takovou strukturu, jejíž bodová grupa symetrie obsahuje šroubovou osu, což se projeví stáčením lineárně polarizovaného světla. Úhel stočení polarizační roviny závisí na délce d, kterou vlna v roztoku proběhne a na koncentraci látky c. Platí vztah

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

v němž ρ nazýváme *měrnou stáčivostí* roztoku.

U některých neaktivních látek lze dosáhnout optické aktivity po vložení do magnetického pole, což je tzv. *Faradayův jev.* Podstata tohoto jevu je založena na interakci elektrického pole světelné vlny s látkou. Lineárně polarizované světlo se po dopadu na látku v magnetickém poli rozloží na pravotočivou složku E_r a levotočivou E_l. Indexy lomu příslušející jednotlivým složkám jsou odlišné, což způsobuje fázový posuv a stočení roviny polarizace. Úhel stočení α závisí na velikosti magnetické indukce B vnějšího pole a na dráze d podle vztahu

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

Veličina V je Verdetova konstanta závisející na úhlové frekvenci světla. Podrobné odvození vztahu (2) viz [1]. Při odvození předpokládáme značné zjednodušení, například neuvažujeme absorpci světla.

Pro určení této konstanty je tedy třeba znát magnetické pole B na ose solenoidu. Magnetická indukce v reálném solenoidu délky l, jehož tloušťku vinutí není možné zanedbat vůči jeho poloměru, je ve vzdálenosti a od středu

$$B(a) = \frac{\mu_0 N I}{2l(r_2 - r_1)} \times$$

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

kde I je proud procházející solenoidem, N počet závitů, r_1 vnitřní a r_2 vnější poloměr solenoidu. Pro výpočet Veredetovy konstanty musíme použít střední hodnotu indukce v kyvetě délky k definovanou vztahem

$$B = \frac{1}{k} \int_{-k/2}^{k/2} B(a) \mathrm{d}a \,. \quad (4)$$

Měření

Měření Úkolu 1 jsem prováděla na kruhovém polarimetru Metra uzpůsobeném pro polostínovou metodu. Jako zdroj monochromatického světla byla použita sodíková výbojka. Schéma uspořádání najde čtenář v [1] na straně 63, Obr. 5.8.

Pro stanovení přesnosti měření úhlu α jsem pětkrát změřila tento úhel pro nulovou koncentraci. Výsledky udává Tabulka 1. Chybu jsem určila na základě statistické odchylky a chyby odhadnuté na $0.05\,^\circ$.

Dále jsem změřila úhel stočení polarizační roviny pro třikrát namíchaný roztok o koncentraci $c = 100\,\mathrm{g/l}$. Výsledky udává Tabulka 2.

Závislost úhlu stočení na koncentraci je uvedena v Tabulce 3. Pro každou koncentraci byla vypočítána měrná stáčivost dle vztahu (1). Vzhledem k tomu, že nulové koncentraci zřejmě odpovídá nulová hodnota úhlu stočení polarizační roviny, posunula jsem všechny hodnoty úhlů stočení o $\alpha = 0.56\,^\circ$. Tedy tak, aby při nulové koncentraci platilo $\alpha = 0\,^\circ$. Střední hodnota měrné stáčivosti potom je

$$\rho = (40.0 \pm 3.7)\,.10^{-3}\,^\circ.\mathrm{dm}^2.\mathrm{g}^{-1} \,.$$

Grafické zpracování je vyneseno v Grafu 1, který je přiložen na konci dokumentu. Naměřená data jsem proložila pomocí programu `Gnuplot`. Odchyky koncentrace byly stanoveny na základě standardní teorie šíření chyb. Přesnost měření pikometrem jsem odhadula na 0.1 ml. Roztok o koncentraci $c = 0\,a\,500\,\mathrm{g/l}$ uvažuji bez chyby.

č.m.	$\alpha[^\circ]$
1	0.55
2	0.64
3	0.60
4	0.53
5	0.51
$\overline{\alpha}$	0.57
σ_α	0.15

Tabulka 1.: Stočení polarizační roviny pro nulovou koncentraci

č.$m.$	$\alpha[^\circ]$
1	4.01
2	4.07
3	3.96
$\overline{\alpha}$	4.01
σ_α	0.16

Tabulka 2.: Stočení polarizační roviny pro koncentraci $c = 100\,\mathrm{g/l}$

$c\,[\mathrm{g/l}]$	$\alpha\,[^\circ]$	$\varrho\,.10^{-3}\,[^\circ.\mathrm{dm}^2.\mathrm{g}^{-1}]$
0	0	0
100 ± 7	-3.50	35.0
200 ± 9	-7.34	36.7
300 ± 11	-12.42	41.4
400 ± 13	-16.80	42.0
500	-20.84	41.7

Tabulka 3.: Závislost stočení polarizační roviny na koncentraci

Schéma uspořádání měření Úkolu 2 najde čtenář v [1], str. 168 obr. 5.1-1. Solenoid, uvnitř něhož byla umístěna kyveta naplněná benzenem, byl vložen mezi analyzátor a polarizátor polarimetru s polostínovým uspořádáním. Solenoid byl napájen přes komutátor, což umožnilo měření při obou polaritách proudu. Měřila jsem proudy v rozmezí $0 - 3\,\mathrm{A}$. Pro proudy $0 - 1,5\,\mathrm{A}$ jsem použila zapojení na obrázku 5.1-2a v [1], strana 168. Pro obor $1,5 - 3\,\mathrm{A}$ je schéma zapojení na obrázku 5.1-2b tamtéž. Třída přesnosti použitého ampermetru byla 0.5. Proud jsem měřila na rozsahu 1.2 a $6\,\mathrm{A}$. Chybu polarimetru jsem stanovila na základě měření pro nulovou hodnotu magnetizačního proudu (viz Tabulka 4).

Výsledky Úkolu 2 udává Tabulka 6. Pro každé měření jsem vypočítala dle vztahu (2) Veredetovu konstantu. Podobně jako v Úkolu 1 je zřejmé, že nulové hodnotě magnetické indukce by měl odpovídat nulový úhel stočení polarizační roviny, proto jsem od všech naměřených úhlů odečetla $\alpha = -13.07\,^\circ$, což je hodnota odpovídající nulovému protékajícímu proudu. V Tabulce 6 jsou již uvedeny hodnoty posunuté.

Ve vztahu (2) reprezentuje veličina B střední hodnotu magnetické indukce uvnitř kyvety. Tuto hodnotu jsem určila numericky pomocí počítače ze vztahů (3) a (4). Po dosazení parametrů kyvety a solenoidu (viz Tabulka 5) dostáváme: $B = 0.0137 \cdot I$

Střední hodnota Veredetovy konstanty benzenu potom je:

$$\overline{V} = (505 \pm 38)\,^\circ.\mathrm{T}^{-1}.\mathrm{m}^{-1}$$

Grafické zpracování je vyneseno v Grafu 2 přiloženém na konci dokumentu. Pro zpracování jsem opět použila program `Gnuplot`.

č.$m.$	$\alpha[°]$
1	-13.06
2	-13.10
3	-13.09
4	-13.08
5	-13.06
$\overline{\alpha}$	-13.08
σ_α	0.07

Tabulka 4.: Stočení polarizační roviny pro nulový proud

veličina	*hodnota*
μ_0	$1,257.10^{-6}\ Hm^{-1}$
počet závitů solenoidu N	3045 *závitů*
délka solenoidu l_s	250 mm
vnější poloměr solenoidu r_2	56 mm
vnitřní poloměr solenoidu r_1	30 mm
délka kyvety k	200 mm

Tabulka 5.: Parametry potřebné k výpočtům

I [A]	B [mT]	α [°]	V [°.T^{-1}.m^{-1}]
-3.0	-41.2	-4.32	525
-2.5	-34.3	-3.69	549
-2.0	-27.4	-3.09	563
-1.5	-20.6	-2.14	520
-1.0	-13.7	-1.44	525
-0.5	-6.9	-0.67	488
0	0	0	0
0.5	6.86	0.72	525
1.0	13.72	1.28	466
1.5	20.58	1.77	430
2.0	27.44	2.73	497
2.5	34.31	3.20	466
3.0	41.17	4.18	508

Tabulka 6.: Měření Veredetovy konstanty

Diskuze

Z grafů 1 a 2 je patrné, že obě sledované závislosti jsou lineární, jak jsme předpokládali. Chyby měření byly způsobeny především koncentracemi roztoků. Další nepřesnosti byly vneseny do měření subjektivitou posouzení stejného jasu zorných polí. Vzhledem ke vzrůstající únavě v průběhu měření se s ubíhajícím časem snižovala moje schopnost stanovení rovnosti intenzity. Konečná měření jsou tedy zatížena větší chybou, než jsem výše uvedla.

V Úkolu 2 by měly být správně odchylky větší, jelikož uváděné parametry solenoidu a kyvety jsem uvažovala bez chyby.

Hodnotu měrné stáčivosti glukozy ani Veredetovu konstantu benzenu se mi nepodařilo najít, proto tyto hodnoty nemohu s ničím porovnat.

Závěr

V tomto praktiku jsem se seznámila s měřením stočení polarizační roviny. Proměřila jsem závislost stočení roviny polarizace na koncentraci vodného roztoku glukózy a na magnetické indukci.

Měrnou stáčivost pro žluté sodíkové světlo jsem stanovila

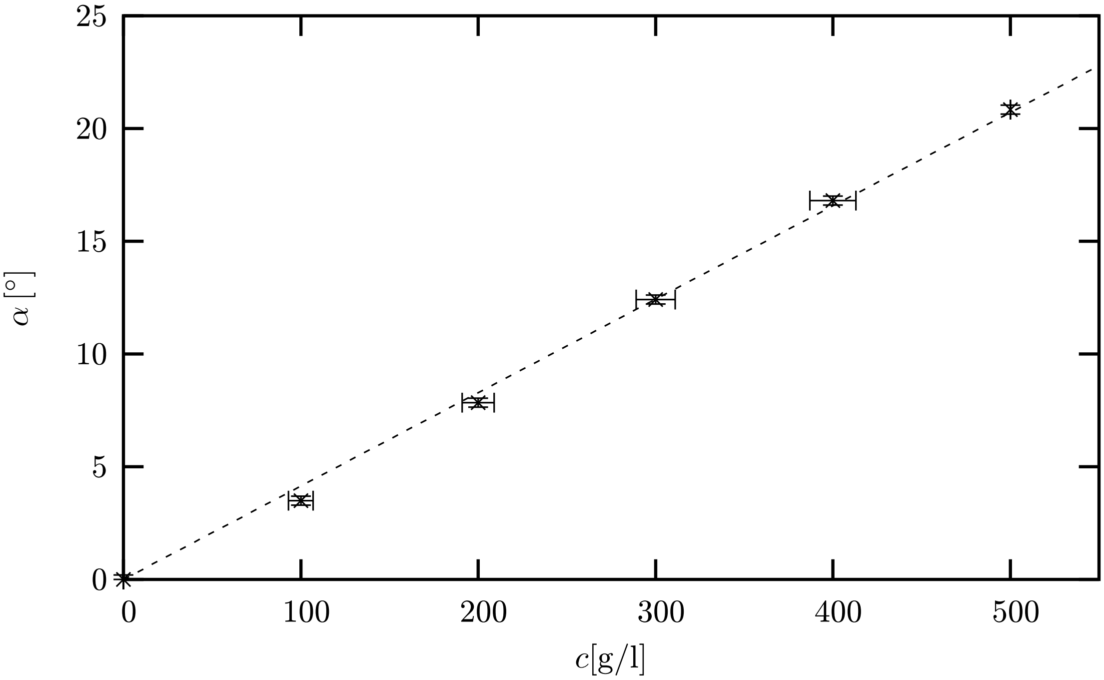
$$\rho = (40.0 \pm 3.7)\,.10^{-3}\,^{\circ}.\mathrm{dm}^2.\mathrm{g}^{-1}\,.$$

Dále jsem určila Veredetovu konstantu benzenu pro žluté sodíkové světlo

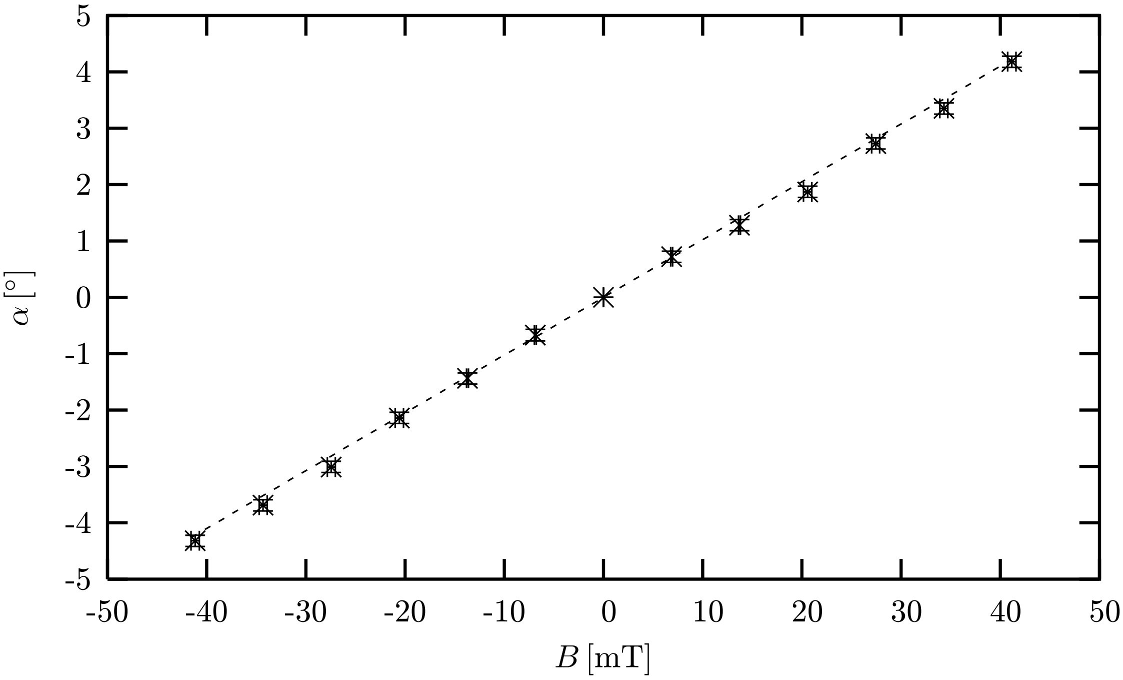
$$V = (505 \pm 38)\,^{\circ}.\mathrm{T}^{-1}.\mathrm{m}^{-1}\,.$$

Literatura

[1] Fyzikální praktikum III., I. Pelant, J. Fiala, J. Pospíšil, J. Fähnrich, Praha 1993



Graf 1.: Závislost úhlu stočení polarizační roviny na koncentraci. Přímkou je vyneseno lineární proložení



Graf 2.: Závislost úhlu stočení polarizační roviny na magnetické indukci. Přímkou je vyneseno lineární proložení