

1 Pracovní úkoly

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 stáčívost. Získané hodnoty měrné stáčívosti 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 Teoretický úvod

2.1 Stáčívost v závislosti na koncentraci opticky aktivní látky

Osvětlujeme-li opticky aktivní látku, např. glukózu, lineárně polarizovaným světlem, dojde ke stočení polarizační roviny světla při průchodu. Pro úhel, o který se polarizace stočí platí

$$\alpha = \rho cd, \quad (1)$$

kde $\alpha = \varphi - \varphi_0$ je úhel stočení (φ je naměřený úhel a φ_0 je úhel, pod kterým bylo původně polarizované světlo), ρ je měrná stáčívost, c je koncentrace roztoku a d je délka kyvety.

2.2 Stáčívost v závislosti na magnetickém poli

Vložíme-li látku jako např. benzen do magnetického pole, které je rovnoběžné s osou kyvety, a svítíme-li skrz ni lineárně polarizovaným světlem, dojde opět ke stáčení roviny polarizace a to vlivem Faradayova jevu. Pro úhel stočení tentokrát platí

$$\alpha = Vk \langle B \rangle, \quad (2)$$

kde V je Verdetova konstanta, k je délka kyvety a $\langle B \rangle$ je střední velikost magnetického pole (a α je opět rozdíl mezi úhlem polarizace před průchodem kyvetou a po průchodu kyvetou).

2.2.1 Pole solenoidu

Pro intenzitu pole uvnitř konečného solenoidu na jeho ose platí

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

kde r_1 je vnitřní poloměr solenoidu, r_2 jeho vnější poloměr, N je počet závitů, I je jím procházející proud, l jeho délka a a je vzdálenost od jeho středu.

Vzhledem k tomu, že kyveta je relativně dlouhá, tak právě musíme dosazovat střední hodnotu magnetické indukce $\langle B \rangle$ definovanou

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

což pro parametry použité cívky $N = 3045$, $r_1 = 30$ mm, $r_2 = 56$ mm, $l = 250$ mm a délku kyvety $k = 20$ cm vychází

$$\frac{B}{T} = 1,3722 \cdot 10^{-2} \frac{I}{A}. \quad (5)$$

3 Měření

3.1 Měření stáčení polarizace v závislosti na koncentraci roztoku glukózy

Nejprve jsem připravil roztoky různých koncentrací z výchozího roztoku s koncentrací 500 g/l a destilované vody a to konkrétně 100 g/l, 200 g/l, 300 g/l a 400 g/l. Roztok 200 g/l jsem připravil ještě dvakrát nezávisle na sobě do jiných kádinek, abych pak mohl odhadnout mou přesnost namíchávání koncentrací. Měření také proběhlo pro výchozí koncentraci 500 g/l, destilovanou vodu v kyvetě a pro situaci, kdy kyveta neobsahovala žádný vzorek.

Měření pro každý zvláště namíchaný vzorek koncentrace proběhlo dvakrát pro omezení možnosti hrubé chyby a pro jednu koncentraci bylo měření provedeno pětkrát pro určení odhadu chyby vneseného mým odhadováním polohy, kdy při polostínové metodě měření, která byla použita, jsou obě poloroviny stejně jasné.

Naměřené hodnoty jsou v tabulce 1 a graficky znázorněné na obrázku 1. Graf byl proložen lineární funkcí $\alpha = \rho cd + \alpha_0$, kde α_0 je "chyba nuly" - tj. rozdíl v počátečním nastavení polarizátoru a analyzátoru. Délka kyvety v tomto případě byla $d = 10$ cm.

Z tří proměřených nezávisle namíchaných roztoků glukózy se dá usuzovat na to, že moje chyba namíchání roztoků je relativně malá (střední úhel stočení se pohybuje pouze v rozmezí $0,04^\circ$). Směrodatná odchylka pro měření 500 g/l, kdy bylo měření provedeno nejvíce-krát, je $0,2^\circ$. Z toho všeho plyne, že chybové úsečky v grafu by byly kratší než použité značení bodů, proto nejsou přímo v grafu uvedeny. Navíc všechny naměřené body sedí všechny relativně blízko proložené přímkou, což také ukazuje na to, že chyby jednotlivých měření nejspíše nebudou velké a zejména, že se v měření nejspíše nevyskytuje žádná velká hrubá chyba.

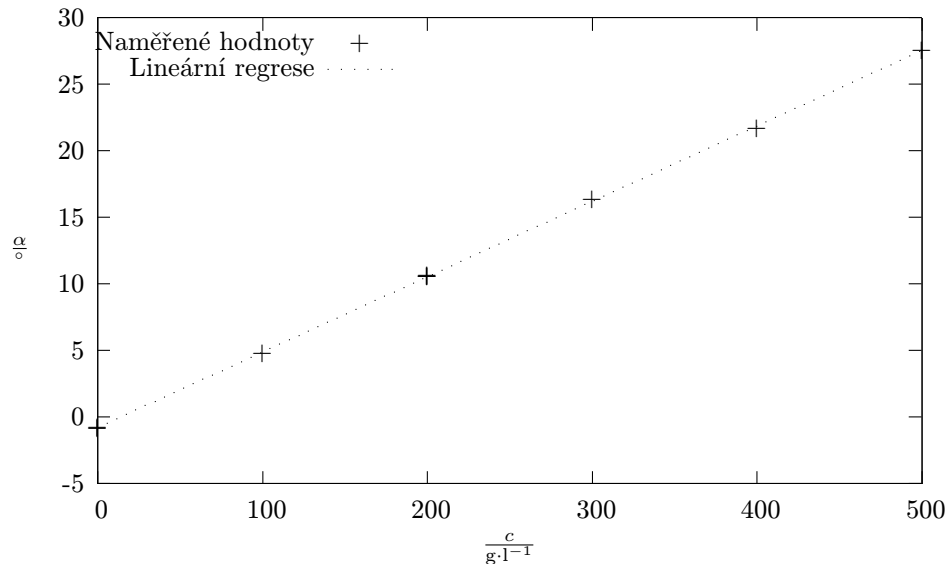
Hodnoty získané z proložení a po uvážení jak statistické, tak chyb jednotlivých měření jsou

$$\rho = (566 \pm 3)^\circ \text{ kg}^{-1} \text{ m}^2,$$

$$\alpha_0 = (-0,8 \pm 0,2)^\circ.$$

Tabulka 1: Měření stáčení polarizace v závislosti na koncentraci roztoku glukózy

$\frac{c}{\text{g l}^{-1}}$	$\frac{\alpha_1}{^\circ}$	$\frac{\alpha_2}{^\circ}$	$\frac{\alpha_3}{^\circ}$	$\frac{\alpha_4}{^\circ}$	$\frac{\alpha_5}{^\circ}$
bez vzorku	-0,85	-0,89			
500	27,69	27,24	27,65	27,69	27,51
400	21,81	21,52			
300	16,29	16,33			
200	10,55	10,62			
200	10,61	10,63			
200	10,64	10,56			
100	4,81	4,69			
0	-0,81	-0,69			



Obrázek 1: Měření stáčení polarizace v závislosti na koncentraci roztoku glukózy

3.2 Měření stáčení polarizace v magnetoopticky aktivní látce

V průběhu měření byl měněn proud cívkou od nulové hodnoty až po 3 A s krokem přibližně 0,5 A s tím, že vždy byly změřeny obě polarizace proudu. Pro měření úhlu stočení polarizace byla použita stejná metoda jako u měření koncentrace glukózy - a to polostínová metoda s minimálně dvěma proměření pro daný proud a polaritu. Proud byl přepočítán na magnetickou indukci pomocí vztahu (5).

Naměřená data jsou v tabulce 2 a graficky znázorněná na obrázku 2 a proložená přímkou $\alpha = \alpha_0 + Vk \langle B \rangle$, kde α_0 opět symbolizuje rozdílnou orientaci polarizátoru a analyzátoru v rámci experimentální aparatury.

Pro měření proudu byl použit ampérmetr, který měl třídu přesnosti 0,5 na rozsazích 1,2 A a 6 A. To odpovídá absolutním chybám 0,006 A a 0,03 A. Vzhledem k tomu, že polovina dílku byla pro tyto rozsahy 0,005 A a 0,025 A, chybu určení proudu tak můžeme brát jako 0,008 A a 0,04 A. Což je opět menší rozměr než má znázorněný bod v grafu.

Chybu určení pozice, kdy přesně se vyrovná intenzita obou polostínů jsem určil z měření pro 3,0 A. směrodatná odchylka pro tato měření je 0,2°.

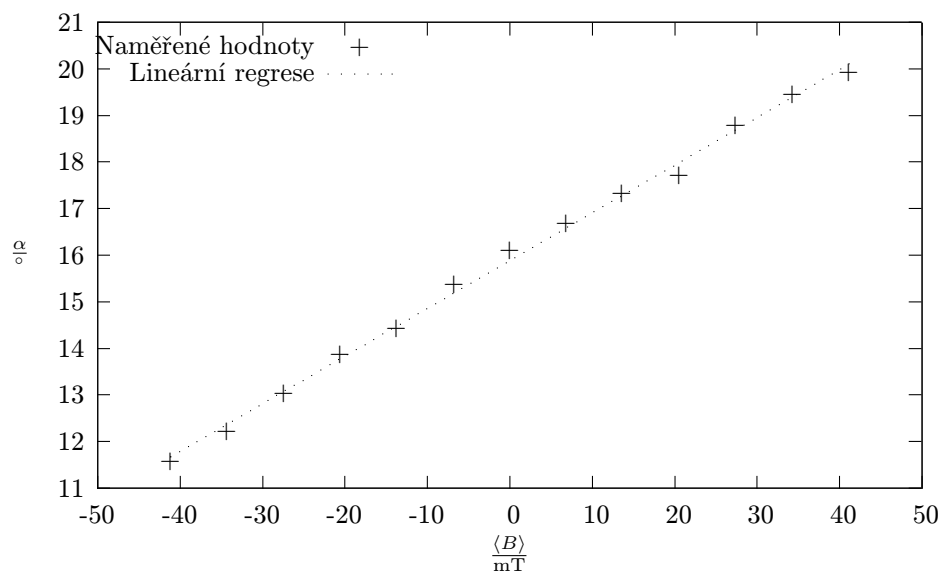
Hodnota Verdetovy konstanty a chyby nuly je

$$V = (5,1 \pm 0,1) \cdot 10^2 \text{ T}^{-1} \text{ m}^{-1},$$

$$\alpha_0 = (15,9 \pm 0,2)^\circ.$$

Tabulka 2: Měření stáčení polarizace v závislosti na magnetické indukci v benzenu

$\frac{I}{A}$	$\frac{\langle B \rangle}{T}$	$\frac{\alpha_1}{^\circ}$	$\frac{\alpha_2}{^\circ}$	$\frac{\alpha_3}{^\circ}$	$\frac{\alpha_4}{^\circ}$	$\frac{\alpha_5}{^\circ}$
0	0,0000	16,12	15,96	16,27		
0,50	0,0069	16,97	16,40			
-0,49	-0,0067	15,34	15,43			
-1,00	-0,0137	14,48	14,35			
0,990	0,0136	17,15	17,48			
1,50	0,0206	17,81	17,63			
-1,50	-0,0206	13,77	13,97			
2,00	0,0274	18,56	19,03			
-2,00	-0,0274	13,09	12,97			
-2,50	-0,0343	12,09	12,35			
2,50	0,0343	19,58	19,31			
3,00	0,0412	19,91	19,95	19,81	19,72	20,19
-3,00	-0,0412	11,26	11,70	11,78		



Obrázek 2: Měření stáčení polarizace v závislosti na magnetické indukci v benzenu

4 Diskuse

Nepřesnosti měření mohly být u obou dvou měření způsobeny nepřesným odhadováním pozice, kdy přesně dochází k tomu, že v obou polorovinách dalekohledu jsou stejné intenzity světla, ale vzhledem k tomu, že byla použita polostínová metoda a rozptýl mnou určených hodnot úhlů nebyl příliš velký, tak nejspíše nebyla tato chyba velká.

Při měření stáčení polarizační roviny lineárně polarizovaného světla průchodem skrz opticky aktivní roztok glukózy mohla být chyba vytvořena tím, že jsem nepřesně namíchal roztoky, ale

vzhledem k tomu, že pro třikrát namíchaný roztok o stejné koncentraci vyšel téměř stejný úhel a všechny body závislosti ležely velice blízko proložené přímkou, tak je vhodné se domnívat, že ani tato chyba nebyla velká. Mohlo ovšem dojít k systematické chybě, pokud dodaný roztok glukózy měl jinou koncentraci, než bylo deklarováno, protože hodnota 500 g/l byla brána jako přesná.

Při měření stáčení polarizační roviny v benzenu v magnetickém poli mohlo dojít k nepřesnostem při určení proudu, ale přesnost deklarovaná na ampérmetru je relativně vysoká, takže přímo z chyby ampérmetru by plynout neměla, ale vzhledem k tomu, že body tohoto měření nesedí tak dobře na přímce, tak se dá usuzovat, že proud nebyl určen přesně, což mohlo být způsobeno například tím, že sice byl v obvodu nastaven požadovaný proud, ale po chvíli, kdy jsem již ampérmetr nekontroloval se mohl proud tekoucí obvodem mírně změnit. Vzhledem k tomu, že obvodem tekla relativně velký proud, tak se obvod zahříval, což vedlo nejspíše k nárůstu odporu a tím zase ke snížení proudu. Také je možné, že se mohlo projevit to, že v síti není konstantní napětí a zdroj nemusel být dostatečně stabilizovaný. Dalším negativním vlivem mohlo být to, že květa nebyla zcela naplněná benzenem a byla tady menší plocha v dalekohledu, ve které se dala světelná intenzita srovnávat.

5 Závěr

Změřil jsem závislost úhlu stočení lineárně polarizovaného světla v závislosti na koncentraci roztoku glukózy, kterou jsem následně zpracoval do grafu 1. Z tohoto měření jsem pak určil hodnotu měrné stáčitivosti

$$\rho = (566 \pm 3)^\circ \text{ kg}^{-1} \text{ m}^2.$$

Proměřil jsem také stáčení lineárně polarizovaného světla v závislosti na magnetickém poli v benzenu (graf č. 2) a určil Verdetovu konstantu

$$V = (5,1 \pm 0,1)^\circ \cdot 10^2 \text{ T}^{-1} \text{ m}^{-1}.$$

6 Literatura

- [1] **Studijní text k fyzikálnímu praktiku:** Polarizace světla
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_323.pdf
- [2] **Pokyny pro měření fyzikálního praktika:** Měření stočení polarizační roviny
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/mereni_311.pdf