

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktiku 2

Zpracoval: Radek Žemlička

Naměřeno: 14. října 2009

Obor: F

Testováno:

Úloha č. 10: Polarizace světla. Brownův pohyb

$$T = 21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 855\text{ hPa}$$

$$\varphi = 65\text{ \%}$$

1 Polarizace světla

1.1 Měření koncentrace roztoků sacharózy sacharimetrem

1.1.1 Teorie a způsob měření

Sacharimetr je přístroj, který využívá polarizačních vlastností roztoku sacharózy k určení jeho koncentrace. Pracuje tak, že ze zdroje monochromatického záření prochází toto záření polarizátorem a následně měřeným vzorkem, který v závislosti na koncentraci stáčí kmitovou rovinu lineárně polarizovaného světla. Světlo dále prochází přes dvojici dvojici křemenných klínů, které rovněž stáčí kmitovou rovinu lineárně polarizovaného světla a lze jimi změnou tloušťky vykompenzovat stočení způsobené vzorkem. Světlo pak dopadá na analyzátor. Lidské oko určuje nepřesně minimum osvětlení, naopak je citlivé na rozdíl jasu dvou sousedních ploch. Proto je sacharimetr opatřen polostínovým zařízením. Při manipulaci s kompenzátozem (měněním tloušťky křemenných destiček) můžeme odečítat jisté hodnoty ze stupnice. Přístroj je ocejchován tak, že najdeme-li polohu kompenzátoru n_0 , pro kterou je pravá a levá část analyzátoru stejně tmavá při měření vzorku o nulové koncentraci a polohu kompenzátoru n , pro kterou jsou obě části analyzátoru stejně tmavé při měření vzorku o koncentraci c , můžeme onu koncentraci vypočítat pomocí vztahu:

$$c = \frac{26}{50}(n - n_0) \quad (1)$$

1.1.2 Měření

Pro měření byly připraveny tři roztoky sacharózy o koncentracích 5%, 10% a 15%. Výsledky shrnuje tabulka 1

Z každé naměřené hodnoty byla nejprve vypočítána koncentrace. Z hodnot vypočítaných koncentrací byl určen aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Ta byla vynásobena studentovým koeficientem pro šet stupňů volnosti. Výsledky se spolehlivostí 68,3% jsou:

$$c_1 = (4,76 \pm 0,05)\%$$

$$c_2 = (10,88 \pm 0,06)\%$$

$$c_3 = (16,08 \pm 0,05)\%$$

$n_0[dilku]$	$n_1[dilku]$	$n_2[dilku]$	$n_3[dilku]$
-0,9	8,1	19,8	30,1
-1,1	8,2	20,0	29,7
-0,5	8,1	19,9	29,9
-1,1	8,3	20,2	29,9
-1,0	8,3	19,8	30,0
-0,9	8,4	20,3	30,2
-1,2	8,0	19,7	29,9

Tabulka 1: Měření koncentrace roztoku sacharimetrem. n_0 odpovídá roztoku s nulovou koncentrací, n_1 s 5% koncentrací, n_2 s 10% koncentrací a n_3 s 15% koncentrací.

1.2 Určení úhlu stočení kmitové roviny pomocí polarimetru, výpočet specifické stáčivosti sacharózy

1.2.1 Teorie a způsob měření

Polarimetr funguje podobně jako sacharimetr s tím rozdílem, že zde nejsou žádné křemenné destičky, a místo nich pouze otáčíme analyzátozem a měříme úhel polarizace. Pro jednotlivé úhly stočení platí:

$$\alpha = [\alpha]cd \quad (2)$$

tedy

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{cd} \quad (3)$$

kde $[\alpha]$ je specifická stáčivost, c koncentrace a d délka kyvety.

1.2.2 Měření

Měření úhlu stočení roviny shrnuje tabulka 2.

α_0	α'_1	α'_2	α'_3
-0,45	2,70	6,80	10,10
-0,45	2,75	6,90	10,10
-0,45	2,70	6,80	10,10
-0,45	2,70	6,85	10,10
-0,45	2,70	6,80	10,05
-0,50	2,70	6,85	10,10
-0,50	2,70	6,80	10,10

Tabulka 2: Měření úhlu stočení kmitové roviny pomocí polarimetru α_0 odpovídá roztoku s nulovou koncentrací, α_1 s 5% koncentrací, α_2 s 11% koncentrací a α_3 s 16% koncentrací.

Z hodnot uvedených v tabulce 2 byly vypočítány úhly stočení roviny α ($\alpha_i = \alpha'_i - \alpha_0$).

Z těchto hodnot byl určen aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Ta byla vynásobena studentovým koeficientem pro šest stupňů volnosti. Výsledky se spolehlivostí 68,3% jsou:

$$\alpha_1 = (3,17 \pm 0,01)^\circ$$

$$\alpha_2 = (7,29 \pm 0,02)^\circ$$

$$\alpha_3 = (10,56 \pm 0,01)^\circ$$

Pro výpočet specifické stáčivosti byl použit vztah 3 a hodnoty α_i a c_i měřené a vypočítané v tomto praktiku. Délka kyvety $d = 0,1m$. Dosazením těchto hodnot do vztahu 3 a na základě zákona přenosu chyb byly pro jednotlivé koncentrace vypočítány následující hodnoty specifické stáčivosti:

$$\begin{aligned}
[\alpha]_1 &= (666 \pm 3) \text{deg} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \\
[\alpha]_2 &= (670 \pm 2) \text{deg} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \\
[\alpha]_3 &= (656,7 \pm 0,6) \text{deg} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}
\end{aligned}$$

2 Brownův pohyb

2.1 Teorie a způsob měření

Pozorujeme-li v kapalině částici dostatečně malou na to, aby v každém okamžiku nebyly kompenzovány impulzy sil, kterými na částici působí molekuly vody, pak můžeme pozorovat neustálou chaotickou změnu polohy částice. Tento jev se nazývá Brownův pohyb. Jedná se o pohyb, který se řídí Einsteinovým zákonem. Pro střední kvadratické posunutí částice $\langle x^2 \rangle$ platí:

$$\langle x^2 \rangle = \frac{2RT}{6\pi\eta r N} t \quad (4)$$

kde jsou η - viskozita kapaliny, N - Avogadrovo číslo, T - absolutní teplota kapaliny, R - univerzální plynová konstanta, t - čas a r - poloměr částice. Označíme-li si symbolem $\langle L^2 \rangle$ střední kvadratickou vzdálenost mezi polohou částice a polohou téže částice po uplynutí vždy konstantně dlouhé doby, platí pro poloměr částice vztah:

$$r = \frac{2RTt}{6\pi\eta N \langle L^2 \rangle} \quad (5)$$

Zároveň, jsou-li t_1 , t_2 a t_3 časové úseky, jejichž poměr délek $t_1 : t_2 : t_3 = 1 : 2 : 3$ a je-li $\langle L_t^2 \rangle$ střední kvadratickou vzdálenost mezi polohou částice a polohou téže částice po uplynutí doby t , pak platí:

$$\langle L_{t_1}^2 \rangle : \langle L_{t_2}^2 \rangle : \langle L_{t_3}^2 \rangle = 1 : 2 : 3 \quad (6)$$

2.2 Měření

Pomocí televizní obrazovky připojené k mikroskopu byl na papír zaznamenán pohyb molekuly takovým způsobem, že vždy po uplynutí doby 5,0s byla zaznamenána poloha částice jako bod a úsečkou spojena s do té doby posledním bodem. Tento papír je přiložený k protokolu.

Nejprve byla ověřována platnost vztahu 6. Byly měřeny vzdálenosti poloh bodu L_1 , L_2 a L_3 v časových rozestupech 5s, 10s a 15s. Vzdálenost byla měřena v jednotkách j , kdy $126j = 50\mu\text{m}$. Naměřené hodnoty pro částice 1, 2, 3 shrnují tabulky 3, 4, 5

Pro částici 1 vychází poměry

$$\langle L_1^2 \rangle : \langle L_2^2 \rangle : \langle L_3^2 \rangle = 137 : 262 : 392 = 1 : 1,91 : 2,86$$

Pro částici 2:

$$\langle L_1^2 \rangle : \langle L_2^2 \rangle : \langle L_3^2 \rangle = 312 : 579 : 908 = 1 : 1,86 : 2,91$$

Pro částici 3:

$$\langle L_1^2 \rangle : \langle L_2^2 \rangle : \langle L_3^2 \rangle = 468 : 528 : 810 = 1 : 1,12 : 1,73$$

Pro každou částici byl vypočítán její poloměr pomocí vztahu 5, kdy $N = 6,022 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}$, $R = 8,31 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$, $T = 294 \text{K}$, $\eta = 0,963 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$:

$$r_1 = (8,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-8} \text{m}$$

$$r_2 = (3,8 \pm 0,7) \cdot 10^{-8} \text{m}$$

$$r_3 = (2,5 \pm 0,9) \cdot 10^{-8} \text{m}$$

$L_1[j]$	$L_2[j]$	$L_3[j]$	$L_1[j]$	$L_2[j]$	$L_3[j]$	$L_1[j]$	$L_2[j]$	$L_3[j]$
19	6	7	4	19	7	13	17	23
25	21	23	5	29	9	5	9	9
2	22	28	9	19	16	1	19	2
20	29	29	12	5	21	3	5	5
17	18	29	19	10	33	10	18	17
3	4	5	3	21	5	7	12	12
3	4	5	17	19	29	5	13	9
2	20	3	19	5	33	5	25	9
1	17	2	14	18	24	5	6	9
30	33	52	4	28	7	10	13	17
31	5	54	11	31	19	6	8	10
3	6	5	11	14	19	13	9	23
1	15	2	14	17	24	6	7	10
13	20	23	4	4	7	9	11	16
7	4	12	2	3	3	6	7	10
18	15	31	4	19	7	2	6	10
15	13	26	12	14	21	4	7	14
5	24	9	20	2	35	7	11	15
7	6	12	12	21	21	8	10	
10	19	17	3	21	5	6		

Tabulka 3: Vzdálenosti mezi jednotlivými polohami částice 1.

$L_1[j]$	$L_2[j]$	$L_3[j]$
15	16	16
24	21	29
3	14	28
17	31	34
26	30	42
4	2	27
3	25	37
24	35	39
18	15	11
20	29	27
21	38	43
28	35	37
9	9	15
4	6	18
9	15	
22		

Tabulka 4: Vzdálenosti mezi jednotlivými polohami částice 2.

$L_1[j]$	$L_2[j]$	$L_3[j]$
13	17	27
8	17	10
10	11	44
21	24	24
49	38	56
25	30	17
19	25	25
38	35	19
10	21	24
15	17	19
5	6	15
2	10	
11		

Tabulka 5: Vzdálenosti mezi jednotlivými polohami částice 3.

3 Závěr

Byla měřena koncentrace roztoku sacharózy sacharimetrem. Vzhledem k tomu, že roztok sacharózy byl připravován méně přesnou metodou, a na roztoku nebylo prováděno žádné další měření, nelze s jistotou prohlásit, že měření nebylo zatíženo žádnou systematickou chybou. Nicméně výsledky mohou dost dobře odpovídat skutečnosti a proto měření můžeme považovat za úspěšné.

Dále bylo určeno stočení kmitové roviny pomocí polarimetru a vypočítána specifická stáčivost sacharózy. Tabulková hodnota pro $[\alpha] = (664,35 + 0,087c)^\circ m^{-1}$ což vzhledem k nepřesnosti měření odpovídá vždy hodnotě $[\alpha] = 665^\circ m^{-1}$. Tato hodnota se shoduje pouze s hodnotou $[\alpha_1]$. Proto je možné, že měření použitými přístroji může být zatíženo systematickou chybou.

Analýzou Brownova pohybu byly určovány poloměry částic v kapalině. Vzhledem k tomu, že nemáme možnost zjistit skutečnou hodnotu poloměrů pozorovaných částic, můžeme alespoň konstatovat, že námi získané výsledky jsou reálné, neboť jsou o dva až tři řády větší než je velikost molekuly vody a o jeden až dva řády menší, než velikost nejmenších zrněk pylu, ne kterých lze Brownův pohyb zamožřejmě pozorovat.

Dále byl ověřován vztah 6 pro střední kvadratické vzdálenosti. U první a druhé částice je shoda s teoretickou předpovědí zřejmá. U třetí částice se výsledky s předpovědí neshodují. Zde však bylo naměřeno velmi málo hodnot a navíc se částice začala výrazně pohybovat i ve směru kolmém s podložkou, čímž se na obrazovce ztrácela a proto je možné, že mohla být několikrát zaměněna i s jinou částicí. V případě čtvrté a páté částice bylo získáno tak málo záznamů o poloze, že by výsledky nebyly relevantní a proto s nimi vůbec nebylo počítáno.