

Datum: 24.11.2004

Vypracoval: Tomáš Henych

Teplota: 23,5 °C

Tlak: 998 mbar

Vlhkost: 29 %

Název: Polarizace světla

Úkol:

- Připravte tři roztoky sacharózy s maximální koncentrací do 20%.
- Změřte sacharimetrem koncentraci sacharózy těchto roztoků.
- Změřte polarimetrem úhel stočení roviny polarizace sodíkového světla u připravených roztoků.
- Vypočítejte specifickou stáčivost sacharózy a porovnejte ji s tabulkovou hodnotou.

Brownův pohyb

- Zaznamenejte pohyb několika částic.
- Ověřte platnost Einsteinova zákona a určete velikost poloměru částice.

Teorie úlohy:

Opticky aktivní látky stáčí kmitovou rovinu lineárně polarizovaného světla. Mezi takové látky patří také sacharóza. Úhel stočení kmitové roviny je $\alpha = [\alpha]cd$, kde $[\alpha]$ je specifická stáčivost dané látky, d její tloušťka a c její koncentrace. Tento úhel se měří pomocí polarimetru. Pro měření koncentrace opticky aktivní látky se používá sacharimetr, který má obdobnou funkci jako polarimetr, jen navíc obsahuje kompenzátor, kterým vyrovnáváme úhel stočení kmitové roviny lineárně polarizovaného světla. Pokud použijeme při měření sacharimetrem sodíkové čáry ($\lambda = 589,3 \text{ nm}$), znamenají dílky na stupnici mezinárodní stupně cukernatosti ($^{\circ}S$). Koncentraci potom vypočteme jako $c = \frac{26}{50}(n - n_0)$, kde n_0 je nulová poloha kompenzátoru a n je poloha kompenzátoru při vykompenzování stočení kmitové roviny lineárně polarizovaného světla roztokem zkoumané látky.

Brownův pohyb je náhodný pohyb malých kulových částic suspendovaných v kapalině. Řídí se Einsteinovým zákonem: střední kvadratické posunutí je úměrné časovým intervalům ve kterých posunutí sledujeme. To se dá vyjádřit vztahem $\langle x^2 \rangle = \frac{2RT}{6\pi\eta rN}t$, kde R je univerzální plynová

konstanta, T je teplota kapaliny, N je Avogadrova konstanta, r je poloměr částice a η je viskozita kapaliny. Vzdálenost sousedních bodů označme L a platí $\langle L^2 \rangle = 2\langle x^2 \rangle$. Střední kvadratické posunutí vypočteme jako aritmetický průměr čtverců naměřených vzdáleností, tedy

$$\langle L_{t=5s}^2 \rangle = \frac{\sum L_{i,i+1}^2}{10}, \quad \langle L_{t=10s}^2 \rangle = \frac{\sum L_{i,i+2}^2}{9} \quad \text{a} \quad \langle L_{t=15s}^2 \rangle = \frac{\sum L_{i,i+3}^2}{8}.$$

Mezi nimi je potom následující vztah:

$$\langle L_5^2 \rangle : \langle L_{10}^2 \rangle : \langle L_{15}^2 \rangle = 1 : 2 : 3.$$

Výsledky:

ad b)

n	$\frac{n_{01}}{^{\circ}S}$	$\frac{n_1}{^{\circ}S}$	c_1	$\frac{n_{02}}{^{\circ}S}$	$\frac{n_2}{^{\circ}S}$	c_2	$\frac{n_{03}}{^{\circ}S}$	$\frac{n_3}{^{\circ}S}$	c_3
1	0,3	7,9	4,0	0,5	18,9	9,6	0,0	29,2	15,2
2	0,1	8,1	4,2	0,4	18,5	9,4	0,1	29,2	15,1
3	0,5	7,9	3,8	0,5	18,8	9,5	0,5	29,7	15,2
4	0,8	8,5	4,0	0,2	18,5	9,5	0,2	29,5	15,2
5	0,3	8,0	4,0	0,2	18,5	9,5	0,2	29,6	15,3

Tabulka 1: Koncentrace roztoků sacharózy

$$c_1 = (3,99 \pm 0,05) \%$$

$$c_2 = (9,51 \pm 0,03) \%$$

$$c_3 = (15,20 \pm 0,03) \%$$

ad c)

n	$\frac{\alpha_0}{^{\circ}}$	$\frac{\alpha_1}{^{\circ}}$	$\frac{\alpha_2}{^{\circ}}$	$\frac{\alpha_3}{^{\circ}}$
1	-0,10	2,70	6,15	10,10
2	-0,05	2,75	6,20	10,20
3	-0,05	2,70	6,25	10,10
4	-0,10	2,75	6,25	10,10
5	-0,15	2,70	6,15	10,10

$$\alpha_1 = (2,81 \pm 0,02)^{\circ}$$

$$\alpha_2 = (6,29 \pm 0,02)^{\circ}$$

$$\alpha_3 = (10,21 \pm 0,02)^{\circ}$$

Tabulka 2: Úhel stočení roviny polarizace světla

ad d)

$$[\alpha]_1 = (7,04 \pm 0,07)$$

$$[\alpha]_2 = (6,61 \pm 0,03)$$

$$[\alpha]_3 = (6,72 \pm 0,02)$$

$$[\alpha] = (6,79 \pm 0,13)$$

$$\delta_{[\alpha]} = \sqrt{\delta_{\alpha}^2 + \delta_c^2}$$

Brownův pohyb

n	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{T}{s}$	4,58	4,57	4,62	4,68	4,62	4,62	4,61

Tabulka 3: Perioda metronomu

$$T = (4,62 \pm 0,01) s$$

n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	$L_{i,i+1}$	$L_{i,i+2}$	$L_{i,i+3}$
1,2	4,0	1,6	1,3	13,8	5,5	1,4	18,5	7,4	5,2	61,4	110,4
2,3	11,0	4,4	2,4	10,0	4,0	2,5	5,2	2,1	39,0	32,3	8,7
3,4	13,5	5,4	3,5	12,2	4,9	3,6	5,5	2,2	58,8	48,0	9,8
4,5	4,8	1,9	4,6	12,6	5,1	4,7	19,5	7,8	7,4	51,2	122,7
5,6	15,4	6,2	5,7	19,2	7,7	5,8	12,0	4,8	76,5	118,9	46,5
6,7	9,1	3,7	6,8	4,5	1,8	6,9	13,5	5,4	26,7	6,5	58,8
7,8	12,7	5,1	7,9	22,5	9,0	8,11	30,0	12,0	52,0	163,3	290,3
8,9	10,5	4,2	9,11	17,5	7,0	9,12	10,2	4,1	35,6	98,8	33,6
9,1	8,5	3,4	10,12	3,5	1,4	10,13	6,5	2,6	23,3	4,0	13,6
10,11	7,0	2,8	11,13	7,1	2,9				15,8	16,3	
11,12	3,0	1,2							2,9		

Tabulka 4: První částice

$$\langle L_5^2 \rangle = (34,3 \pm 7,2) \mu m^2$$

$$\langle L_{10}^2 \rangle = (66,7 \pm 16,5) \mu m^2$$

$$\langle L_{15}^2 \rangle = (86,8 \pm 30,1) \mu m^2$$

n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	$L_{i,i+1}$	$L_{i,i+2}$	$L_{i,i+3}$
1,2	6,7	2,7	1,3	11,5	4,6	1,4	18,1	7,3	14,5	42,7	105,7
2,3	5,0	2,0	2,4	11,5	4,6	2,5	9,1	3,7	8,1	42,7	26,7
3,4	8,5	3,4	3,5	8,2	3,3	3,6	6,0	2,4	23,3	21,7	11,6
4,5	4,9	2,0	4,6	14,5	5,8	4,7	22,5	9,0	7,7	67,8	163,3
5,6	13,1	5,3	5,7	22,2	8,9	5,8	15,1	6,1	55,4	159,0	73,6
6,7	9,1	3,7	6,8	8,8	3,5	6,9	3,5	1,4	26,7	25,0	4,0
7,8	12,1	4,9	7,9	9,8	3,9	8,11	7,4	3,0	47,2	31,0	17,7
8,9	5,5	2,2	9,11	6,5	2,6	9,12	16,9	6,8	9,8	13,6	92,1
9,1	2,5	1,0	10,12	11,4	4,6	10,13	20,5	8,2	2,0	41,9	135,6
10,11	10,5	4,2	11,13	19,4	7,8	11,14	27,4	11,0	35,6	121,4	242,2
11,12	8,9	3,6	12,14	17,2	6,9	12,15	16,1	6,5	25,6	95,4	83,6
12,13	8,5	3,4	13,15	8,9	3,6	13,16	19,4	7,8	23,3	25,6	121,4
13,14	9,6	3,9	14,16	17,1	6,9	14,17	12,0	4,8	29,7	94,3	46,5
14,15	10,2	4,1	15,17	7,2	2,9	15,18	14,6	5,9	33,6	16,7	68,8
15,16	5,1	2,0	16,18	11,5	4,6				8,4	42,7	
16,17	8,2	3,3							21,7		

Tabulka 5: Druhá částice

$$\langle L_5^2 \rangle = (37,2 \pm 3,7) \mu m^2 \quad \langle L_{10}^2 \rangle = (93,5 \pm 11,1) \mu m^2 \quad \langle L_{15}^2 \rangle = (149,1 \pm 28,1) \mu m^2$$

n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	$L_{i,i+1}$	$L_{i,i+2}$	$L_{i,i+3}$
1,2	11,5	4,6	1,3	17,0	6,8	1,4	7,5	3,0	42,7	93,2	18,1
2,3	9,8	3,9	2,4	8,1	3,3	2,5	8,1	3,3	31,0	21,2	21,2
3,4	16,8	6,7	3,5	14,4	5,8	3,6	15,6	6,3	91,0	66,9	78,5
4,5	3,5	1,4	4,6	11,4	4,6	4,7	19,5	7,8	4,0	41,9	122,7
5,6	17,5	7,0	5,7	16,6	6,7	5,8	35,4	14,2	98,8	88,9	404,2
6,7	20,3	8,2	6,8	38,6	15,5	6,9	33,5	13,5	132,9	480,6	362,0
7,8	19,4	7,8	7,9	18,3	7,3	8,11	14,5	5,8	121,4	108,0	67,8
8,9	12,0	4,8	9,11	11,7	4,7	9,12	21,5	8,6	46,5	44,2	149,1
9,1	4,0	1,6	10,12	10,0	4,0	10,13	17,0	6,8	5,2	32,3	93,2
10,11	12,4	5,0	11,13	12,0	4,8	11,14	10,6	4,3	49,6	46,5	36,2
11,12	7,2	2,9	12,14	12,5	5,0	12,15	19,5	7,8	16,7	50,4	122,7
12,13	6,2	2,5	13,15	15,0	6,0	13,16	14,1	5,7	12,4	72,6	64,1
13,14	9,4	3,8	14,16	8,0	3,2				28,5	20,6	
14,15	6,9	2,8							15,4		

Tabulka 6: Třetí částice

$$\langle L_5^2 \rangle = (69,6 \pm 11,7) \mu m^2 \quad \langle L_{10}^2 \rangle = (129,7 \pm 33,4) \mu m^2 \quad \langle L_{15}^2 \rangle = (192,5 \pm 36,4) \mu m^2$$

n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	n	$\frac{d}{mm}$	$\frac{x}{\mu m}$	$L_{i,i+1}$	$L_{i,i+2}$	$L_{i,i+3}$
1,2	16,3	6,5	1,3	11,5	4,6	1,4	23,0	9,2	85,7	42,7	170,6
2,3	8,9	3,6	2,4	22,8	9,2	2,5	22,7	9,1	25,6	167,7	166,2
3,4	15,3	6,1	3,5	20,0	8,0	3,6	13,4	5,4	75,5	129,0	57,9
4,5	31,5	12,7	4,6	26,0	10,4	4,7	16,6	6,7	320,1	218,1	88,9
5,6	7,2	2,9	5,7	17,3	6,9	5,8	21,5	8,6	16,7	96,5	149,1
6,7	14,6	5,9	6,8	18,5	7,4	6,9	18,0	7,2	68,8	110,4	104,5
7,8	4,2	1,7	7,9	5,3	2,1	8,11	4,6	1,8	5,7	9,1	6,8
8,9	6,0	2,4	9,11	5,5	2,2	9,12	9,5	3,8	11,6	9,8	29,1
9,1	9,5	3,8	10,12	12,5	5,0	10,13	13,4	5,4	29,1	50,4	57,9
10,11	3,8	1,5	11,13	9,2	3,7	11,14	5,9	2,4	4,7	27,3	11,2
11,12	12,0	4,8	12,14	15,3	6,1	12,15	7,0	2,8	46,5	75,5	15,8
12,13	10,5	4,2	13,15	15,9	6,4				35,6	81,6	
13,14	12,5	5,0							50,4		

Tabulka 7: Čtvrtá částice

$$\langle L_5^2 \rangle = (77,6 \pm 22,9) \mu m^2 \quad \langle L_{10}^2 \rangle = (113,1 \pm 18,5) \mu m^2 \quad \langle L_{15}^2 \rangle = (107,3 \pm 18,8) \mu m^2$$

n	$\frac{r}{m}$
1	2,95E-007
2	3,04E-007
3	3,50E-007
4	2,72E-007
5	2,17E-007
6	2,04E-007
7	1,46E-007
8	1,56E-007
9	1,58E-008
10	1,31E-007
11	1,79E-007
12	2,83E-007

$$R = 8,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$N = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\eta = 0,001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$r = (213 \pm 27) \text{ nm}$$

Tabulka 8: Poloměr částice

Závěr:

Naměřené hodnoty byly naměřeny s přesností do 1 %. Specifická stáčivost potom s chybou asi 2 %. Poměr středních hodnot středních kvadratických posunutí pro jednotlivé částice vyšel po řadě 1:1,94:2,53; 1:2,51:4; 1:1,86:2,77; 1:1,46:1,38 což je poměrně nepřesné, nicméně pokud se pohybujeme v chybovém intervalu, tak přesný poměr 1:2:3 platí dost dobře pro první tři částice, pro čtvrtou částici je 1:2:2,3. Chyby je nutné hledat v nepřesném zakreslování drah částic (bylo ztíženo především vertikálním pohybem částic a tedy rozostřováním jejich obrazu), nedokonalou přípravou preparátu (nedostatečné rozmíchání suspendovaných částic) případně možnou záměnou malého shluku částic za jedinou částici. Poloměr částic vyšel v řádu stovek nanometrů, což odpovídá předpokladu.