Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum 1

Úloha č. ..XVI....

Název: Studium Brownova pohybu

Pracoval: Jan Kotek stud.sk.: 17 dne: 7.3.2012

Odevzdal dne: ....

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.................................. dne: ....

Pracovní úkol:

1. Experimentálně ověřte platnost Einsteinova vztahu pro střední kvadratické posunutí částice s2 při Brownově pohybu.
2. Určete aktivitu Brownova pohybu A částic latexu ve vodě za pokojové teploty.
3. Vypočtěte Avogadrovu konstantu NA.

Teoretická část

Brownův pohyb je chaotický

pohyb mikroskopických částic (v našem případě latexu) způsobený srážkami s molekulami (vody), které konají tepelný pohyb. Střední kvadratické posunutí částice v jednom zvoleném směru $\overline{x^2}$ je přímo úměrná času Δt za který svůj pohyb vykoná:

$$\overline{x^2} = A \cdot \Delta t \qquad (1)$$

což je označováno jako Einsteinův vztah, *A* je aktivita Brownova pohybu

$$A = \frac{RT}{3\pi\eta r N_A} \qquad (2)$$

kde *R* je molární plynová konstanta, *T* je termodynamická teplota, η je dynamická viskozita, *r* je poloměr částice.

Dynamická viskozita suspenze závisí na objemovém podílu částic φ a viskozitě kapaliny η_{kap} podle vztahu:

$$\eta = \eta_{kap}(1 + 2{,}5\varphi) \qquad (3)$$

V našem případě byl pohyb částice pozorován tak, že vždy po uplynutí času Δt byla zaznamenána její poloha v projekci do dvou rozměrů programem Brown, v němž bylo pomocí kalibračního sklíčka též kalibrováno měření vzdáleností. Aritmetický průměr kvadrátů vzdáleností dvou po sobě zaznamenaných poloh označíme $\overline{s^2}$.

pokud uvažujeme dva stupně volnosti (pohyb v rovině) potom platí:

$$\overline{s^2} = 2A \cdot \Delta t \qquad (4)$$

Pokud je splněna podmínka:

$$\Delta t : 2\Delta t : 3\Delta t = \overline{s_1{}^2} : \overline{s_2{}^2} : \overline{s_3{}^2} \qquad (5)$$

kde s_i je vzdálenost mezi zaznamenanými polohami vzdálenými v pořadí o *i*, můžeme vypočítat Avogadrovu konstantu N_A kombinací vztahů (2) a (4):

$$N_A = \frac{2RT\Delta t}{3\pi\eta r \overline{s^2}} \qquad (6)$$

Hodnoty $\overline{s_i^2}$ pro i=1,2,3,4 jejich poměry, grafické znázornění trajektorie částice a vektorů jednotlivých posunutí částice jsou výstupem programu Brown, viz příloha.

Pomůcky

mikroskop s kamerou připojenou k počítači s programem Brown, stopky, akustické signalizační zařízení, kalibrační sklo 0,01mm, latexová emulze, podložní a krycí sklíčka

Výsledky měření

Podmínky měření:

- teplota v místnosti: (23-23,5)°C
- zadaný průměr *d* částic latexu: (410±10)nm
- objemový poměr částic latexu v roztoku: 1:10 000

Při kalibraci akustického signalizačního zařízení nastaveného na „5s" jsem změřil dobu trvání deseti intervalů mezi dvěma pípnutími jako 47,79s 47,86s a 47,91s. Dobu mezi dvěma pípnutími Δt beru jako (4,8±0,1)s kvůli nepřesnosti reakce při naklikávání poloh částic.

Sledoval jsem celkem osm částic:

Tabulka 1 výsledky měření, shrnutí výstupu z programu Brown

měření	**Poměry středních kvadratických posunutí** (v záv.jsou std. odchylky průměrů)	**Střední kvadratická posunutí v μm² posunutí pro čas:**			
		Δt	2 Δt	3 Δt	4 Δt
1	1:2,12(0,30):3,26(0,45):4,69(0,65)	13±1	28±3	43±4	61±6
2	1:1,92(0,31):2,73(0,43):3,74(0,54)	10±1	18±2	26±3	36±3
3	1:1,97(0,36):2,72(0,48):3,21(0,60)	18±2	35±2	48±6	57±8
4	1:1,92(0,50):2,71(0,66):3,47(0,86)	10±2	19±3	26±4	34±5
5	1:2,08(0,52):3,37(0,72):4,87(1,04)	10±2	21±4	34±5	49±7
6	1:1,67(0,42):2,27(0,68):2,74(0,63)	14±2	23±4	31±8	37±6
7	1:1,91(0,44):3,08(0,73):3,97(0,98)	9±1	17±3	28±5	36±7
8	1:2,33(0,47):3,48(0,69):4,89(0,94)	13±2	29±4	44±6	62±8

Δt=(4,8±0,1)s

Po statistickém zpracování nám poměry středních kvadratických posunutí vycházejí:

1 : 1,96 (0,33) **: 2,89** (0,46) **: 3,84** (0,52)

Podle vztahu (4) vychází aktivita Brownova pohybu:

$A=(9{,}4\pm1{,}3)\cdot10^{-13}\,m^2\cdot s^{-1}$

Pro potřeby výpočtu se viskozita naší suspenze prakticky neliší od viskozity samotné vody, která je při teplotě (297±2)°C asi $(9{,}0\pm0{,}5)\cdot10^{-4}$Pa·s, viskozita odhadnuta podle [1], [3]. Teplota suspenze měřena přímo nebyla, ale vzhledem k ohřevu od osvětlení mikroskopu je pravděpodobně o něco vyšší než teplota v místnosti, je však stejně jako chyba určena jen odhadem.

K určení Avogadrovy konstanty použijeme jen to z měření, které nejlépe odpovídá vztahu (5), tedy měření 7.

Po dosazení všech hodnot do rovnice (6):

$$N_A = \frac{2\cdot(297\pm2)K\cdot 8{,}315J\cdot K^{-1}mol^{-1}\cdot(4{,}8\pm0{,}1)s}{3\pi\cdot(9{,}0\pm0{,}5)\cdot10^{-4}Pa\cdot s\cdot(205\pm5)\cdot10^{-9}m\cdot(9\pm1)\cdot10^{-12}m^2} =$$

$$= (1{,}5\pm0{,}3)10^{24}mol^{-1}$$

Diskuze

Podařilo se nám dobře ověřit Einsteinův vztah, což lze dobře vidět na poměru středních kvadratických posunutí, které se od ideálních hodnot liší méně, než je chyba měření. Aktivita Brownova pohybu byla spočítána podle vztahu (2):

$A=(2{,}4\pm0{,}2)\cdot10^{-12}\,m^2\cdot s^{-1}$

liší se tedy značně od zjištěné hodnoty $A=(9{,}4\pm1{,}3)\cdot10^{-13}\,m^2\cdot s^{-1}$

Určení Avogadrovy konstanty se také nepodařilo s dostatečnou přesností, výsledek neodpovídá hodnotě udané v [3] $6{,}02\cdot10^{23}$mol^{-1}. Důvodem musí být nějaká systematická chyba. Při měření úlohy v praktiku byl sice udaný průměr částeček latexu (410±10)nm, ovšem na webu praktik je udaná hodnota 855nm. Druhá hodnota mnohem lépe odpovídá předpokládané velikosti Avogadrovy konstanty, pro zajímavost podle (2) při stejné rel. nejistotě velikosti částice:

$A=(1{,}1\pm0{,}1)\cdot10^{-12}\,m^2\cdot s^{-1}$

a podle (6)

$N_A = (7{,}3\pm1{,}6)10^{23}mol^{-1}$

Obě hodnoty se dokonce vlezou do odhadu maximální nepřesnosti měření. Bohužel jsem nemohl skutečnou velikost ověřit. Přesnost dále ovlivňují nejvíce samotná přesnost určení polohy částice (rel. chyba přes 11%) a možné tečení částic (viz příloha). Dále mi byla neznáma skutečná teplota a tím i viskozita suspenze. Bylo by vhodné nějak měřit její skutečnou teplotu.

Závěr

Byl dobře ověřen Einsteinův vztah.

Aktivita Brownova pohybu vyšla:

A=(9,4±1,3)·10^{-13} $m^2 \cdot s^{-1}$

Určit Avogadrovu konstantu ani určit aktivitu Brownova pohybu se pro průměr částic d=(410±10)nm nepodařilo.

Byl navržen možný důvod, jiná velikost částic d=855nm.

Pro d=855nm vyšla velikost Avogadrovy konstanty:

$N_A = (7{,}3 \pm 1{,}6)10^{23} mol^{-1}$

Literatura

[1] D.Slavínská a kol.: Fyzikální praktikum I., SPN, Praha 1989.
[2] J. Englich.: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006.
[3] B. Kotlík a kol.: MFCHT, Fragment, Praha 2003