

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum I – Mechanika a molekulová fyzika

Úloha č. XVI

Název: Studium Brownova pohybu

Pracoval: Matyáš Řehák stud.sk.: 16 dne: 31.3.2008

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	3
Výsledky měření	0 - 9	9
Diskuse výsledků	0 - 5	3
Závěr	0 - 2	2
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	18

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkol

- 1) Experimentálně ověřte platnost Einsteinova vztahu pro střední kvadratické posunutí částice $\overline{s^2}$ při Brownově pohybu.
- 2) Určete aktivitu Brownova pohybu A částic latexu ve vodě za pokojové teploty.
- 3) Vypočtěte Avogadrovu konstantu N_A .

Teorie

Brownův pohyb je chaotický pohyb částic v tekutině způsobený fluktuacemi tepelného pohybu jejích molekul. Pro střední kvadratické posunutí částice platí v jednorozměrném případě Einsteinův vztah:

$$\overline{x^2} = At, \quad (1)$$

kde t je čas a A aktivita Brownova pohybu. A je pro danou částici a prostředí při stálé teplotě konstantní. Pro postupný pohyb pohybu kulové částice lze aktivitu vyjádřit vztahem [1]:

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

kde R je molární plynová konstanta, T termodynamická teplota, η dynamická viskozita a N_A Avogadrova konstanta. Použitím (1) a (2) lze získat vztah pro určení Avogadrovy konstanty metodou pozorování Brownova pohybu. Pokud řešíme problém v rovině, má rovnice (1) tvar:

$$\overline{s^2} = 2At. \quad (3)$$

Pokud označíme vzdálenost sousedních bodů S_t , vzdálenost bodů i a $i + 2$ jako S_{2t} a vzdálenost i a $i + 3$ jako S_{3t} , pak pro splnění Einsteinova vztahu (1) musí platit:

$$\overline{S_t^2} : \overline{S_{2t}^2} : \overline{S_{3t}^2} = t : 2t : 3t. \quad (4)$$

Pokud je shoda dostatečná, lze naměřené hodnoty použít k výpočtům A a N_A . Viskozita suspenze závisí na koncentraci částic. Pro náš případ lze relativní viskozitu odhadnout jako:

$$\eta_r = 1 + 2,5\varphi, \quad (5)$$

kde φ je objemový podíl částic.

Postup

- 1) Pod mikroskop umístíme kalibrační sklíčko a změřením deseti dílků stupnice sklíčka zobrazené na obrazovce určíme zvětšení soustavy.
- 2) Pomocí stopek určíme časový interval mezi dvěma znameními zvukové signalizace
- 3) Na podložní sklíčko umístíme dvě krycí sklíčka vedle sebe a kápneme mezi ně latexovou suspenzi, tu poté přikryjeme třetím krycím sklíčkem tak, aby v kapalině nevznikly vzduchové bublinky
- 4) Sklíčko umístíme pod mikroskop. Na obrazovku přilepíme průhlednou fólii a zaostříme na vhodnou částici. Fixou zaznamenáváme polohu částice v pravidelných intervalech určených zvukovou signalizací. Záznam poloh vytvoříme pro více částic.
- 5) Fólii připevníme na monitor počítače, vyznačené polohy přeneseme do programu Brown, ve kterém je zpracujeme.

Výsledky měření

Laboratorní podmínky

Teplota vzduchu v místnosti: $(24 \pm 1) ^\circ\text{C} = (297 \pm 1) \text{ K}$

Vlhkost vzduchu: 30 %

Tlak vzduchu: 98,8 kPa

Ověření Einsteinova vztahu

10 dílků kalibračního sklíčka (0,1 mm) jsem na obrazovce změřil jako $(165 \pm 5) \text{ mm}$. Chyba je odhadnuta z podmínek měření – velikosti čar ve stupnici a zakřivení obrazovky. Zvětšení mikroskopu z je tedy 1650 ± 50 . Programem Brown byly zpracovány 3 částice.

Tab. 1: Ověření Einsteinova vztahu

částice		t	2t	3t	4t
1	s^2	1	$1,76 \pm 0,27$	$2,57 \pm 0,40$	$3,43 \pm 0,51$
	$S^2 [\text{mm}^2]$	35 ± 3	62 ± 7	90 ± 11	121 ± 14
2	s^2	1	$2,02 \pm 0,33$	$3,23 \pm 0,52$	$4,76 \pm 0,71$
	$S^2 [\text{mm}^2]$	29 ± 3	58 ± 8	93 ± 12	137 ± 16
3	s^2	1	$1,93 \pm 0,43$	$2,85 \pm 0,61$	$4,38 \pm 0,94$
	$S^2 [\text{mm}^2]$	34 ± 5	66 ± 11	97 ± 16	150 ± 24

t – čas posunutí

s^2 – poměry středních kvadratických posunutí

S^2 – Střední kvadratická posunutí na obrazovce (pro skutečná posunutí je nutno započítat zvětšení mikroskopu)

všechny zapsané chyby jsou statistické

Výpočet aktivity Brownova pohybu a Avogadrovy konstanty

Poloměr částic: $r = 425 \text{ nm}$

Molární plynová konstanta [2]: $R = 8,31441 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Viskozita vody [2]: $\eta = 0,891\cdot 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

Objemový podíl částic latexu: $\varphi = 1:600$

Čas mezi zvukovými znameními: $(4,80 \pm 0,09) \text{ s}$

Tab. 2: Aktivita a Avogadrova konstanta

	A [$10^{-12} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]	σ_A [$10^{-12} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]	N_A [10^{23} mol^{-1}]	σ_{N_A} [10^{23} mol^{-1}]
1	1,34	0,15	5,15	0,44
2	1,11	0,15	6,21	0,64
3	1,30	0,19	5,30	0,78

σ_A – chyba aktivity, podílí se na ní zejména chyba středních kvadratických posunutí

σ_{N_A} – chyba Avogadrovy konstanty, podílí se zejména chyba aktivity

Diskuse

Z tabulky 1 je zřejmé, že pro první částici nebyly splněny podmínky Einsteinova vztahu a proto i spočtená hodnota Avogadrovy konstanty se pro tuto částici neshoduje s tabulkovou [2] hodnotou $6,022\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Druhá částice podmínky nesplňuje jen pro hodnoty v čase $4t$, což nemá až tak významný vliv. Pro částici 2 a 3 se spočtená Avogadrova konstanta shoduje v rámci chyby s tabelovanou.

Na toto měření měl pravděpodobně největší vliv driftový pohyb, který v různé míře ovlivňoval všechna měření. Byl způsoben zahříváním vzorku osvětlením a nepřesným uložením krycího sklíčka. Další významné chyby byly způsobeny nepřesným odečítáním polohy z obrazovky a jejím záznamem do počítače, chyby způsobené nepřesným určením zvětšení a časového intervalu byly proti těmto zanedbatelné.

Kvantitativní odhad chyb chybí

Závěr

Einsteinův vztah byl ověřen pro částici 2 a 3. Pro tyto částice byla spočtena Avogadrova konstanta $(6,21 \pm 0,64)\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, resp. $(5,30 \pm 0,78)\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Přílohy

- 1) Trajektorie – 1 list pro každou částici (celkem 3 ks)
- 2) Rozložení vektorů posunutí – 1 list pro každou částici (celkem 3 ks)
- 3) 2 ks průhledné fólie se zaznamenaným pohybem

Literatura

[1] D. Slavínská, I. Stulíková, P. Ostrý: Fyzikální praktikum I., SPN, Praha 1989

[2] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980