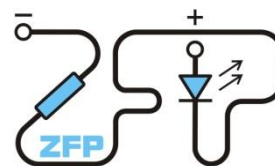


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum I



Úloha č. 16

Název úlohy: Studium Brownova pohybu

Jméno: Katarína Križanová

Obor: FOF

Datum měření: 31/03/2016

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	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:

I. Pracovná úloha

Experimentálne overte platnosť vzťahu pre časovú závislosť stredného kvadratického posunutí častíc $\overline{s^2}$ pri Brownovom pohybe.

Určite aktivitu Brownova pohybu A častíc latexu vo vode za pokojové teploty.

Vypočítajte Avogadrovu konštantu N_A .

II. Teoretický úvod

Brownov pohyb je ustavičný, chaotický pohyb častíc, ktoré sú rozptýlené v kvapaline, prípadne v plyne.

V prípade, že sa jedná o postupný Brownov pohyb guľovej častice hmotnosti m a polomeru r , platí

$$A = \frac{RT}{3\pi\eta r N_A}, \quad (1)$$

pričom T je teplota prostredia, η je dynamická viskozita, R je molárna plynová konštanta, N_A je avogadrova konštanta a je aktivita Brownovho pohybu.

Platí, že aktivita Brownovho pohybu je pre danú časticu a prostredie konštantná, ak sa nemení teplota.

Výpočtom aritmetického priemeru kvadrátov vzdialeností s získame $\overline{s^2}$. Pre pohyb častice v platí vzťah

$$\overline{s^2} = A \cdot t. \quad (2)$$

Ak si označíme vzdialenosť susedných bodov s_i , vzdialenosť bodov i a $i+2$ ako s_{2t} a i a $i+3$ ako s_{3t} , potom by mal platiť vzťah

$$\overline{s_t^2} : \overline{s_{2t}^2} : \overline{s_{3t}^2} = t : 2t : 3t. \quad (3)$$

Pre zriedenú suspenziu masívnych tuhých guľí môžeme odhadnúť relatívnu viskozitu (podiel viskozít suspenzie a čistej kvapaliny) vzorcom

$$\eta_{rel} = 1 + 2,5\varphi, \quad (4)$$

φ je objemový podiel častíc. V prípade, že vrstva kvapaliny poriadne neprilieha na povrchu častíc, bude viskozita väčšia, než hodnota, ktorú dostaneme z rovnice (4).

III. Výsledky merania

Podmienky v laboratóriu

Začiatok merania

$$T_{začiatok} = (25,3 \pm 0,1^\circ\text{C})$$

Koniec merania

$$T_{koniec} = (25,8 \pm 0,1^\circ\text{C})$$

p=981,5 hPa

vlhkosť: 40,4% RH

Niektoré údaje z tabuliek použité pri výpočtoch

viskozita vody pri 25°C: $\eta = (0,891 \pm 0,001) 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ [1]

molárna plynová konštanta $R = (8,314 \pm 0,001) \text{ mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ [2]

Einsteinov vzťah

Pred tým ako som si pripravila vzorku, ktorý som následne sledovala pod mikroskopom, som pomocou kalibračného sklíčka zistila, že zväčšenie uvádzané na mikroskope naozaj zodpovedá svojmu označeniu. Potom som skalibrovala stupnicu v programe Brown, využila som na to práve kalibračné sklíčko, kde sa nachádzala mierka celkovej dĺžky 1mm, ktorej najmenší dielik bol 10µm veľký.

Potom som si pripravila vzorku. Na sklíčko ktoré som vyčistila za pomoci liehu som umiestnila dve krycie sklíčka vo vzdialenosti menšej ako bola dĺžka jedného sklíčka. Potom som do stredu medzi ne kvapla jednu kvapku vzorky, ktorú som následne prikryla tretím krycím sklíčkom tak, aby sa vzorka nedostala pod bočné krycie sklíčka a zároveň, aby nevznikli vo vzorke vzduchové bublinky.

Takto pripravenú vzorku som dala pod mikroskop, na ktorý bola napojená kamera, ktorá ho snímala a zobrazovala ho na monitore počítača.

Polohu som zaznamenala pre päť častíc, zakaždým v tých istých časových intervaloch, ktoré označoval zvukový signál.

Zaznamenané polohy častíc vždy vyhodnotil program Brown. Výsledky merania sú v *tabuľke T1*. V zátvorkách sú smerodajné odchýlky zistené programom Brown.

T2: Pomery stredných kvadratických posunutí a stredné kvadratické posunutie

častica		t	2t	3t	4t
2	$\overline{s_t^2} : \overline{s_{2t}^2} : \overline{s_{3t}^2} : \overline{s_{4t}^2}$	1:	1,87 (0,36):	2,79 (0,54):	3,96 (0,71)
	$s_i^2 [\mu\text{m}^2]$	(19 ± 3)	(37 ± 5)	(54 ± 7)	(77 ± 9)
3	$\overline{s_t^2} : \overline{s_{2t}^2} : \overline{s_{3t}^2} : \overline{s_{4t}^2}$	1:	2,13 (0,51):	3,36 (0,77):	4,41 (0,95)
	$s_i^2 [\mu\text{m}^2]$	(8 ± 1)	(16 ± 3)	(25 ± 5)	(33 ± 6)
4	$\overline{s_t^2} : \overline{s_{2t}^2} : \overline{s_{3t}^2} : \overline{s_{4t}^2}$	1:	1,86 (0,35):	2,79 (0,49):	3,89 (0,63)
	$s_i^2 [\mu\text{m}^2]$	(4 ± 1)	(7 ± 1)	(11 ± 1)	(15 ± 1)
5	$\overline{s_t^2} : \overline{s_{2t}^2} : \overline{s_{3t}^2} : \overline{s_{4t}^2}$	1:	2,35 (0,39):	3,55 (0,60):	4,64 (0,80)
	$s_i^2 [\mu\text{m}^2]$	(13 ± 2)	(32 ± 4)	(48 ± 6)	(63 ± 8)
6	$\overline{s_t^2} : \overline{s_{2t}^2} : \overline{s_{3t}^2} : \overline{s_{4t}^2}$	1:	2,04 (0,36):	3,05 (0,52):	4,54 (0,73)
	$s_i^2 [\mu\text{m}^2]$	(21,2 ± 2)	(43 ± 6)	(65 ± 8)	(96 ± 11)

Keďže častica číslo 3 vyhovuje vzťahu (3), môžem ju použiť na ďalšie výpočty. To, že vyhovuje vzťahu (3) indikuje, že je platný Einsteinov vzťah. Vektory posunutia častice 3 sú znázornené na grafe, ktorý vyhotovil program Brown (graf sa nachádza v papieroch z merania, Rozloženie vektorov posunutí, číslo merania 3).

Z grafu môžeme vidieť, že častica sa pohybovala do rôznych smerov a celkovo nebol prevažujúci žiaden smer. Jednotlivé polohy častice 3 sú v grafe, ktorý tiež zhotovil program Brown (graf sa nachádza v papieroch z merania, Trajektória, číslo merania 3).

Aktivita Brownovho pohybu

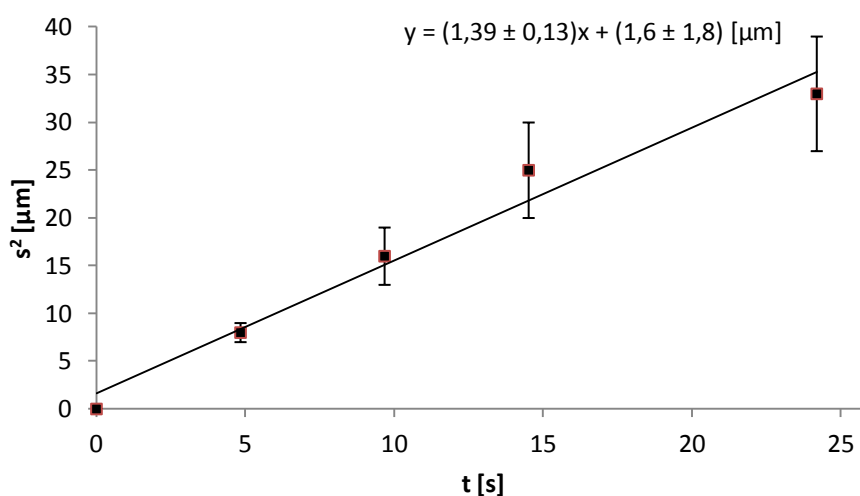
Časový rozdiel medzi dvoma pípnutiami som určila aritmetickým priemerom troch hodnôt, ktoré som zmerala stopkami $\Delta t = (4,84 \pm 22)\text{s}$, pričom chybu som určila ako polovicu rozdielu najmenšej a najväčšej nameranej hodnoty. Aktivita Brownovho pohybu sa dá vypočítať na základe vzťahu (2).

Určila som ju lineárnou regresiou z grafu 1, kde sú nanosené hodnoty z tabuľky T1 pre časticu 3. Rovnica priamky spolu s chybami koeficientov, ktoré som zistila z funkcie LINEST v tabuľkovom editore Excel je uvedená v grafe.

V grafe 1 sú tiež zobrazené chybové úsečky, ktoré zodpovedajú chybám pre časticu 3, ktoré sú uvedené v tabuľke T1.

Vypočítaná hodnota pre aktivitu častice 3 je $A = (1,39 \pm 0,13) \mu\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} = (1,39 \pm 1,3) \cdot 10^{-12} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

**Graf 1: stredné kvadratické posunutie
v závislosti na čase**



Avogadrova konštanta

Objemový podiel častíc latexu je $\varphi = 1:10\,000$. Teplotu beriem ako priemer dvoch nameraných hodnôt (na začiatku a na konci merania) $T = (298,7 \pm 1,2)$ K.

Tieto hodnoty spolu s vypočítanou aktivitou A a údajmi, ktoré sú uvedené v časti *Niektoré údaje z tabuliek použité pri výpočtoch*, dosadím do vzorcov (1) a (4). Taktiež potrebujem vedieť polomer častice, ktorý určím na základe snímku z elektrónového mikroskopu. Namerala som hodnoty priemeru pre desať rôznych častíc, ktoré sú farebne zvýraznené na snímke. Pre každú časticu som namerala päť priemerov s presnosťou na $0,01 \mu\text{m}$ a potom som tieto hodnoty pre každú časticu spriemerovala. Tieto hodnoty, uvedené v *tabuľke T2*, som potom spriemerovala a dostala priemerný priemer častice.

Polomer som získala vydelením priemeru dvoma, $r = (0,222 \pm 0,050) \mu\text{m}$, pričom uvedená chyba je smerodajná odchýlka.

Avogadrova konštanta mi po výpočte vyšla ako $N_A = 9,58 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Relatívna chyba je 22%, zistila som ju prenesením chýb z veličín, ktoré boli použité pri výpočte Avogadrovej konštanty.

Hodnota v tabuľkách [1] je pre Avogadrovu konštantu rovná $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

IV. Diskusia výsledkov

Z grafu 1 vidno lineárnu závislosť stredného kvadratického posunutia na čase.

Častice 3, 5 a 6 sa v rámci chyby zhodovali s pomerom kvadratických posunutí 1:2:3:4, častice 2 a 4 mali tiež približne tento pomer kvadratických posunutí.

Nepresnosti merania boli spôsobené tým, že si nemôžem byť istá či som skúmala pohyb jednej častice alebo zhluku častíc, keďže i z obrázku z elektrónového mikroskopu, ktorý je síce vyhotovený pri iných podmienkach, sa častice predsa len dotýkali. Cez mikroskop bolo možné pozorovať časticu len vďaka svetlu, vzhľadom na jej malé rozmery, čo znamená, že som niekedy mohla zistiť trajektóriu nie pre jednu časticu, ale pre viacej častíc, ktoré boli pri sebe.

Ďalším zdrojom nepresnosti je určenie časového intervalu, v ktorom som zaznamenávala posun častice, keďže reakčná doba človeka je relatívne veľká.

Keď porovnáam Avogadrovu konštantu s tabuľkovými hodnotami, môžem skonštatovať, že hodnota radovo sedí, ale presná hodnota nie, čo môže byť spôsobené hore zmienenými nepresnosťami merania.

Z ďalších možných chýb možno spomenúť fakt, že vzorka bola pri štúdiu umiestnená pod svetlom a je možné, že sa mierne zahriala, tj. nemala takú istú teplotu ako bola teplota vzduchu v miestnosti, ktorá sa i tak počas merania mierne zmenila.

V. Záver

Z piatich študovaných častíc splňovali Einsteinov vzťah častica 3, 5 a 6. Z hodnôt nameraných pre časticu 3 som vypočítala aktivitu Brownovho pohybu $A = (1,39 \pm 0,13) \mu\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a Avogadrovu konštantu $N_A = 9,58 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, s relatívnou chybou 22%.

VI. Zoznam použitej literatúry

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

[2] <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/102>