Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...

Úloha č. ....

Název úlohy: ....

Jméno: .... Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření: .... 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: ....

Pracovní úkoly

1. Experimentálně ověřte platnost vztahu pro časovou závislost středního kvadratického 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.

Teoretická část

Budeme mikroskopem pozorovat pohyb částic latexu ve vodě. Pokud budeme zaznamenávat pouze průmět polohy částice do roviny, platí pro střední kvadratické posunutí $\overline{s^2}$ za čas t vztah [**skripta**]

$$\overline{s^2} = 2 \cdot A \cdot t\,, \tag{1}$$

kde A je tzv. aktivita Brownova pohybu. Pro kulové částice o poloměru r v prostředí s teplotou T a dynamickou viskozitou η platí [**skripta**]

$$A = \frac{RT}{3\pi\eta r N_A}\,, \tag{2}$$

kde $R = 8{,}314\,\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$ je molární plynová konstanta a N_A je Avogadrova konstanta.

Ze vztahu (1) je zřejmé, že když budeme zaznamenávat dráhy částic za čas t, $2t$, $3t$ a $4t$, bude pro s_t, s_{2t}, s_{3t} a s_{4t} platit

$$\overline{s_t^2} : \overline{s_{2t}^2} : \overline{s_{3t}^2} : \overline{s_{4t}^2} = 1 : 2 : 3 : 4\,. \tag{3}$$

Pokud naměřená data budou splňovat tuto podmínku, použijeme naměřené střední kvadratické posunutí $\overline{s_t^2}$ k výpočtu aktivity A a následně Avogadrovy konstanty N_A úpravou vztahu (2)

$$A = \frac{\overline{s^2}}{2 \cdot t} \tag{4}$$

$$N_A = \frac{2RTt}{3\pi\eta r\overline{s^2}} \tag{5}$$

a odchylku metodou přenosu chyb

$$\sigma_A = A\sqrt{\left(\frac{\sigma_{\overline{s^2}}}{\overline{s^2}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2} \tag{6}$$

$$\sigma_{N_A} = N_A\sqrt{\left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\eta}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\overline{s^2}}}{\overline{s^2}}\right)^2}\,. \tag{7}$$

Výsledky měření

Teplota v místnosti (vzorku) byla $T = (299 \pm 1)\,\mathrm{K}$.

Dynamickou viskozitu vody při této teplotě uvádí [**viskozita**] $\eta = (0{,}87 \pm 0{,}03)\,\mathrm{mPa\,s}$. Podle [**skripta**] lze relativní viskozitu suspenze částic latexu ve vodě odhadnout jako

$$\eta_{rel} = 1 + 2{,}5\varphi\,, \tag{8}$$

kde φ je objemový podíl částic. Vzhledem k tomu, že latex byl zředěn v poměru $1 : 10\,000$, tak dynamickou viskozitu suspenze považujeme za stejnou jako čisté vody.

Poloměr částic latexu jsme určili podle fotografie z elektronového mikroskopu (viz příloha 1). Změřili jsme průměr 35 částic. V částicích, které měřeny byly, je na obrázku vepsán jejich průměr v mikrometrech. Průměr jsme měřili pravítkem a směrodatnou odchylku odhadujeme na 0,5 mm, po přepočtu v měřítku $\Delta d = 0{,}008\,\mathrm{\mu m}$.

Spočítáme směrodatnou odchylku výběrového souboru

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{34}\sum_{i=1}^{35}(d_i - \overline{d})^2} = 0{,}042\,\mathrm{\mu m} \tag{9}$$

a připočteme odchylku způsobenou nepřesností měření

$$\sigma_d = \sqrt{S_d^2 + \Delta d^2} = 0{,}044\,\mu\mathrm{m}\,. \tag{10}$$

Průměr částic jsme tedy určili $d = (0{,}41 \pm 0{,}05)\,\mu\mathrm{m}$ a poloměr po vydělení dvěma $r = (0{,}205 \pm 0{,}022)\,\mu\mathrm{m}$.

Polohu částic jsme zaznamenávali v pravidelných časových intervalech $t = (4{,}804 \pm 0{,}003)\,\mathrm{s}$.

Zaznamenali jsme pohyb celkem 8 částic, přikládáme tři nejpovedenější (číslo měření 1, 3 a 8). Střední kvadratické dráhy jsme počítali pomocí programu *Brown*.

Nejlepší shodu s (3) vykazovalo měření číslo 8 — střední kvadratické posunutí $\overline{s^2} = (18 \pm 2)\,\mu\mathrm{m}^2$.

Podle (4) a (6) vypočteme aktivitu Brownova pohybu $A = (1{,}87 \pm 0{,}21)\,\mu\mathrm{m}^2\,\mathrm{s}^{-1}$.

Podle (5) a (7) vypočteme Avogadrovu konstantu $N_A = (7,9 \pm 1,3) \times 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$.

Diskuze

Částice v substrátu se nepohybovaly jen v pozorovací rovině, takže bylo nutno na ně během jejich pohybu zaostřovat. Bohužel mikroskop se viklal a při zaostřování se obraz posouval. Tato závada byla objevena až po čtvrtém měření, takže přiložené měření č. 1 a 3 jsou touto chybou ještě postiženy, což mělo pravděpodobně za následek jejich nepřílišnou shodu s (3). Poté jsme zvětšili hloubku ostrosti mikroskopu, aby se během pozorování pohybu částice nemuselo zaostřovat.

Při měřeních, které nejsou přiloženy, bylo zaznamenáno příliš málo poloh (méně než 50), vyskytl se preferovaný směr tečení, nebo jsme pozorovali shluk částic (střední kvadratická dráha byla výrazně menší než u měření č. 1, 3, 8).

Tabelovaná hodnota Avogadrovy konstanty [**avogadro**] je $6{,}022 \times 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$. Námi naměřená hodnota se od této hodnoty liší o 31 %. Shodu považujeme za dostatečnou vzhledem k velmi vysoké nepřesnosti naší metody.

Závěr

Pozorovali jsme Brownův pohyb částic latexu ve vodě. Ověřili jsme Einsteinův vztah pro střední kvadratické posunutí v čase, při měření č. 8 jsme naměřili za časy t, $2t$, $3t$ a $4t$ poměr středních kvadratických posunutí 1 : 2,06(27) : 3,09(40) : 4,24(54). V závorkách jsou uvedeny standardní odchylky průměru v posledním uvedeném řádu. Při ostatních měřeních nebyly výsledky přesvědčivé.

Střední kvadratické posunutí za čas $t = 4{,}8\,\mathrm{s}$ při měření č. 8 bylo $(18 \pm 2)\,\mu\mathrm{m}^2$.

Aktivita Brownova pohybu částic latexu ve vodě za pokojové teploty je $(1{,}87 \pm 0{,}21)\,\mu\mathrm{m}^2\,\mathrm{s}^{-1}$.

Z aktivity Brownova pohybu jsme určili Avogadrovu konstantu $N_A = (7,9 \pm 1,3) \times 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$. Tabelovaná hodnota [**avogadro**] je $6{,}022 \times 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$. Naše hodnota se s ní v rámci jedné směrodatné odchylky sice neshoduje, nicméně řád jsme určili přesně.