Úloha 16: Měření Brownova pohybu

Josef Melcr

6. dubna 2009

Úkoly

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

Teorie

Malé částice rozptýlené v kapalině nebo plynu vykonávají chaotický pohyb, který nazýváme Brownův pohyb. Pokud budeme tento jev zkoumat v rovině, dojdeme ke vztahu:

$$A = \frac{\bar{s^2}}{2t} \tag{1}$$

kde A je aktivita Brownova pohybu, $\bar{s^2}$ je střední kvadratický posun a t je čas, za který se takový posun vykoná.

Během měření si můžeme všimnout jevů, které tuto ideální závislost narušují. Velikost jejich vlivu – to, zda lze naměřené hodnoty použít – nám určuje Einsteinův vztah:

$$\bar{s^2_{1t}} : \bar{s^2_{2t}} : \bar{s^2_{3t}} : \bar{s^2_{4t}} = 1 : 2 : 3 : 4 \tag{2}$$

kde $\bar{s^2_{nt}}$ označuje střední kvadratický posun za dobu n krát delší, než byla měřená

Avogadrovu konstantu N_A zjistíme z naměřených hodnot podle vzathu:

$$N_A = \frac{2RT}{3\pi\eta dA} \tag{3}$$

kde R je plynová konstanta, T teplota suspenze v Kelvinech, η viskozita suspenze, d průměr částice

Pro výpočet viskozity suspenze latexu ve vodě η jsme použili vztahu:

$$\eta = \eta_{H_2O}(1 + 2,5P) \tag{4}$$

η_{H_2O} značí viskozitu vody pro danou teplotu, P je objemový podíl částic latexu

Pomůcky

Mikroskop biolar, televizor, podložní, krycí a kalibrační sklíčko, suspenze latex:voda 1:600, skleněná tyčinka, líh, buničina, generátor akustické časové značky, průhledná fólie, lihový fix, stopky DS35, ohebné měřítko (1mm), teploměr.

Měření

Pomocí kalibračního sklíčka jsme zjistili zvětšení mikroskopu tak, že jsme změřili na obrazovce ohebným měřítkem vzdálenost třinácti dílků na kalibračním sklíčku. Velikost jednoho dílku je $10\mu m$. Poté jsme lihem očistili sklíčka a připravili vzorek, který se stával ze suspenze latexu ve vodě.

Pod mikroskopem jsme sledovali chaotický pohyb latexových zrníček ve vodě. Tento pohyb jsme zachytili tak, že jsme na obrazovku připevnili průhlednou fólii, na kterou jsme fixem zaznamenávali polohy dané částice po časových intervalech určených zvukovou signalizací. Zaznamenali jsme pohyby čtyř částic.

Ke zpracování těchto výsledků jsme použili program Brown2.4, který byl v laboratoři dostupný. Jako vyhovující jsme vyhodnotili částici 2, se kterou jsme naměřili 29 poloh a která nejlépe splňovala Einsteinův vztah (2).

Stopkami jsme změřili interval čtrnácti signálů. Hodnoty viskozit vody η_{H_2O} jsme zjistili z tabulek MFChT [3] pro teploty 20 a 25°C, ze kterých jsme za předpokladu přibližně lineární závislosti vypočetli viskozitu vody pro teplotu prostředí v laboratoři. Tuto hodnotu jsme dále upravili podle vztahu (4), kde jsme za P dosadili hodnotu ze zadání. Došli jsme k výsledkům:

interval akustické signalizace:	$t = (4,80 \pm 0,01)\, s$
zvětšení mikroskopu:	$z = (1685 \pm 4)$
teplota prostředí:	$T = (297,7 \pm 0,3)\, K$
viskozita suspenze (23,5°C):	$\eta \doteq 9,3 \cdot 10^{-4}\, Pa\, s^{-1}$
střední kvadratická rychlost:	$\bar{s^2} = (10 \pm 2) \cdot 10^{-12}\ m^2$
Einsteinův vztah:	$1 : 1,92 : 2,69 : 3,85$
Aktivita Brownova pohybu:	$A = (10 \pm 2) \cdot 10^{-13}\ m^2 s^{-1}$
Avogadrova konstanta:	$N_A = (7 \pm 1) \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$
ze zadání a tabulek [3]:	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$
	$R = 8,314\, JK^{-1} mol^{-1}$
(20°C)	$\eta_{H_2O} = 10,019 \cdot 10^{-4}\, Pa\, s^{-1}$
(25°C)	$\eta_{H_2O} = 8,909 \cdot 10^{-4}\, Pa\, s^{-1}$
	$d = 850\, nm$
	$P = 1/600$

Diskuse

Během měření nevykazovaly částice výraznou tendenci se pohybovat jedním směrem. Dva ze zaznamenaných pohybů se sice jedním směrem vychýlyly více, ale každý jinam. Tento jev považujeme za náhodu.

Protože byl vzorek osvětlován z dosti velké blízkosti, předpokládáme, že má vyšší teplotu, než je teplota prostředí, kterou jsme změřili. Pro zpřesnění našeho měření bychom museli nejpíš použít přesnější metodu záznamu a dohlédnout na stálejší vlastnosti prostředí.

Při výpočtech jsme neuvažovali chyby způsobené měřením délek a zápisem na obrazovce. Předpokládáme, že se tyto chyby ve výsledku neprojevily a ani neovlinily interval nejistoty, který jsme vždy zaokrouhlili nahoru.

Závěr

Provedli jsme měření Aktivity Brownova pohybu A a Avogadrovy konstanty N_A. Také jsme ověřili platnost Einsteinova vztahu (2). Naše výsledky jsou:

$$
\begin{aligned}
\bar{s^2} &= (10 \pm 2) \cdot 10^{-12}\ m^2 \\
A &= (10 \pm 2) \cdot 10^{-13}\ m^2 s^{-1} \\
N_A &= (7 \pm 1) \cdot 10^{23}\ mol^{-1}
\end{aligned}
$$

Literatura

[1] Studijní text k úloze 16.

[2] Jiří Englich: Úvod do praktické fyziky I, matfyzpress, Praha 2006

[3] Kolektiv autorů: Matematické, fyzikální a chemické tabulky, SPN, 1970