

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I

Úloha č.: XVI

Název: Studium Brownova pohybu

Vypracovala: stud. sk. dne: 24.10.03.....

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

I. Pracovní úkol

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

II. Teorie

Brownův pohyb je chaotický pohyb malých částic v tekutinách, způsobený fluktuacemi tepelného pohybu tekutiny. Prostřední kvadratické posunutí částice při Brownově pohybu platí Einsteinův vztah:

$$\overline{s^2} = A \cdot t \quad (1)$$

neboli

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

A aktivita Brownova pohybu

t časový interval měření

Pro aktivitu kulové částice platí:

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

r poloměr částice

T termodynamická teplota

η dynamická viskozita

R molární plynová konstanta ($R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

N_A Avogadrova konstanta

Odtud:

$$N_A = \frac{RT}{3\pi\eta r A} \quad (4)$$

Budeme pozorovat suspensi latexu ve vodě. Částice jsou pravidelně kulové, přibližně stejného průměru a neshlukují se.

Dynamickou viskozitu určíme:

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

η_v dynamická viskozita vody

φ objemový poměr latexu a vody

Pohyb částic pozorujeme mikroskopem napojeným na televizní kameru a vzorek pozorujeme na obrazovce. Nejdříve provedeme kalibraci na sklíčku s vrypy vzdálenými 0,01 mm. Měříme deset vrypů, tedy 0,1 mm. Odtud určíme zvětšení:

$$Z = \frac{a}{a_r} \quad (6)$$

Z zvětšení

a_r velikost jednoho dílku na sklíčku

a projekce velikosti jednoho dílku na obrazovce

Polohy částic zaznamenáváme v pravidelných intervalech na fólii nalepenou na obrazovce a polohy postupně spojujeme čarou. Vzdálenosti jsou průmětem prostorového pohybu do roviny, do níž je zaostřen mikroskop. Měříme tedy jinou veličinu ($\overline{s^2}$), pro kterou platí, že $\overline{s^2}$ je průmětem $\overline{S^2}$ do jednoho směru. Pravděpodobnost zastoupení je ve všech směrech stejná, proto platí:

$$\overline{S^2} = 2\overline{s^2} \quad (7)$$

Skutečná velikost středního kvadratického posunutí $\overline{s_s^2}$ je dána vztahem:

$$\overline{s_s^2} = Z^{-2} \cdot \overline{s^2} \quad (8)$$

Označíme-li vzdálenost sousedních bodů S_i , vzdálenosti bodů i a $i+2$ jako S_{2i} , a podobně S_{3i} a S_{4i} , musí podle (1) platit:

$$\overline{S_i^2} : \overline{S_{2i}^2} : \overline{S_{3i}^2} : \overline{S_{4i}^2} = 1 : 2 : 3 : 4 \quad (9)$$

Vzorek roztoku latexu jsme kápili na fólii nalepenou na podložním sklíčku a překryli krycím sklíčkem. Protože však docházelo k tečení, pro nový vzorek jsme použili jako podklad raději střípky, aby se krycí sklíčko nedotýkalo vzorku. Pohyb částic na obrazovce jsme zakreslovali na fólii. Výsledek jsme nechali zpracovat počítačem.

III. Výsledky měření

Průměr částic latexu je $d = 850nm$, poloměr $r = 425nm$.

Poměr ředění $\varphi = 1 : 600$.

Teplota $T = 296K$.

Relativní vlhkost vzduchu byla 45%.

$$10a = (16,5 \pm 0,5) \text{ cm (chyba určena odhadem).}$$

$$a = (0,0165 \pm 0,0005) \text{ m.}$$

$Z = (1650 \pm 5)$, relativní chyba je 0,3%, v rámci přesnosti experimentu je tedy chyba zanedbatelná.

tab. 1 – časový interval					
č. m.	1	2	3	4	5
10t [s]	48,18	47,41	48,08	47,60	47,71

$$t = (4,78 \pm 0,09) \text{ s}$$

tab. 2 – poměry středních kvadratických vzdáleností		
částice	$\overline{S_t^2} : \overline{S_{2t}^2} : \overline{S_{3t}^2} : \overline{S_{4t}^2}$	$\sigma_{\overline{S_t^2}} - \sigma_{\overline{S_{2t}^2}} - \sigma_{\overline{S_{3t}^2}} - \sigma_{\overline{S_{4t}^2}}$
1	1 : 1,39 : 2,25 : 2,24	0 – 0,17 – 0,37 – 0,36
2	1 : 2,03 : 3,43 : 4,11	0 – 0,31 – 0,63 – 0,82

Chyby jsou statistické.

tab. 3 – střední kvadratické vzdálenosti částic				
částice	$\overline{S_t^2} \pm \sigma_{\overline{S_t^2}} [\text{mm}^2]$	$\overline{S_{2t}^2} \pm \sigma_{\overline{S_{2t}^2}} [\text{mm}^2]$	$\overline{S_{3t}^2} \pm \sigma_{\overline{S_{3t}^2}} [\text{mm}^2]$	$\overline{S_{4t}^2} \pm \sigma_{\overline{S_{4t}^2}} [\text{mm}^2]$
1	33 ± 2	46 ± 5	75 ± 11	75 ± 11
2	32 ± 3	65 ± 8	110 ± 17	132 ± 23

Chyby jsou statistické.

$$\text{Viskozita } \eta = 0,89 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \text{ s}^{-1}.$$

$$\text{Částice 1: } \overline{s_1^2} = (16,5 \pm 1,0) \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\overline{s_{s1}^2} = (6,061 \pm 0,367) \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$$

$$A_1 = (1,27 \pm 0,08) \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}, \text{ relativní chyba je } 6\%$$

$$N_A = (5,4 \pm 1,0) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}, \text{ relativní chyba je } 19\%*$$

* je započítána jen chyba A_1 , ostatní chyby neznáme

Částice 2: $\overline{s_1^2} = (16,0 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} m^2$

$\overline{s_{s_1}^2} = (5,877 \pm 0,551) \cdot 10^{-12} m^2$

$A_1 = (1,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-12} m^2 \cdot s^{-1}$, relativní chyba je 10%

$N_A = (5,6 \pm 1,6) \cdot 10^{23} mol^{-1}$, relativní chyba je 29%**

IV. Diskuse

Einsteinův vztah jsme potvrdili pouze u částice 1, kde poměry vychází relativně přesně. U druhé částice Einsteinův vztah potvrzen nebyl, pravděpodobně zde docházelo k malému tečení vzorku. Přesto vyšlo u obou částic střední kvadratické posunutí téměř stejné.

Dále jsme vypočítali Avogadrovu konstantu a aktivitu Brownova pohybu. Výsledky se v rámci chyb shodují s tabelovanými hodnotami. Jako směrodatné můžeme brát pouze výsledky první částice, protože ta splnila Einsteinův vztah. Chyby jsou značné, a to počítač započítával jen statistické chyby. Měli bychom započítat i jiné vlivy, hlavní podíl na celkové chybě bude mít pravděpodobně nepřesné zaznamenání polohy částice na fólii a následné přenesení této polohy do počítače, který je limitován především rozlišením. Velký vliv bude mít také teplota vzorku, vzorek je zahříván světelným zdrojem mikroskopu, proto se jeho teplota bude lišit od teploty vzduchu naměřené v místnosti. Teplota se navíc ve vzorci pro výpočet Avogadrovky konstanty vyskytuje jednak přímo a jednak prostřednictvím dynamické viskozity, proto je její vliv značný. Mohlo také docházet k vysychání vzorku. Tyto další chyby odhaduji zhruba na celkem 20%.

V. Závěr

I. Einsteinův vztah jsme potvrdili pomocí částice 1

II. Aktivita Brownova pohybu:

- ♦ tabulková hodnota $A = 1,2 \cdot 10^{-12} m^2 s^{-1}$
- ♦ zjištěná hodnota $A = (1,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-12} m^2 s^{-1}$

III. Avogadrova konstanta

- ♦ tabulková hodnota $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} mol^{-1}$
- ♦ zjištěná hodnota $N_A = (5,6 \pm 1,6) \cdot 10^{23} mol^{-1}$

** je započítána jen chyba A_2 , ostatní chyby neznáme

VI. Použitá literatura

Úvod do teorie fyzikálních měření, Boris Sprušil, Pavla Zieleniecová, SPN, Praha, 1986

Fyzikální praktikum I., D. Slavínská, I. Stulíková, P. Vostrý, SPN, Praha, 1989

Fyzikální a matematické tabulky, J. Brož a kol., SNTL, Praha, 1980