

XVI. Studium Brownova pohybu

Einsteinův vztah

Brownovým pohybem se nazývá ustavičný, chaotický pohyb malých částic rozptýlených v kapalině nebo plynu. Tento pohyb je podmíněn *fluktuacemi* tepelného pohybu molekul prostředí.

Studujeme-li pohyb částice po přímce, tedy jednodimenzionální problém, platí pro průmět středního kvadratického posunutí částice do zvoleného směru při Brownově pohybu $\overline{x^2}$ za čas t Einsteinův vztah

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

kde A je tzv. *aktivita Brownova pohybu*. Pro danou částici a prostředí je při stálé teplotě A konstantní.

Pro postupný Brownův pohyb kulové částice hmotnosti m a poloměru r , která se nachází v prostředí charakterizovaném teplotou T a dynamickou viskozitou η , lze konstantu A vyjádřit vztahem [3]

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

kde R je molární plynová konstanta, N_A je Avogadrova konstanta. (Odvození vztahů (1) a (2) viz např. [3] a [4]). Po dosazení z (2) do (1) lze získat výchozí vztah pro určování *Avogadrovy konstanty* metodou pozorování Brownova pohybu. V případě, že řešíme pohyb v rovině, uvažujeme-li tedy dva stupně volnosti částice, bude mít rovnice (1) tvar

$$\overline{s^2} = 2A \cdot t . \quad (3)$$

Ověření Einsteinova vztahu

Pro pozorování Brownova pohybu je výhodné užít suspenze *latexu* ve vodě. Výhoda spočívá v tom, že částice jsou pravidelného kulového tvaru s úzkou distribucí průměru částic d , předností je také to, že se neshlukují. Latex je zředěn vodou. Vzorek pro mikroskopické pozorování se připraví tak, že se do kruhového otvoru upraveného podložního mikroskopického skla kápne latexová suspenze a překryje se krycím mikroskopickým sklíčkem. Kruhový otvor tvořící nádobku pro vzorek je vyříznut do dvouvrstvé folie, která je nalepena na podložním sklíčku. Folie je tvořena vrstvou papíru a hliníkovou folií. Hliník účinně pomáhá (vzhledem ke své tepelné vodivosti) k udržení stálé teploty vzorku při měření a papír působí jako houbička zamezující rychlému vysychání vzorku. Prostor pro vzorek je možné vymezit dvěma krycími sklíčky, které se na podložní sklíčko umístí do vzdálenosti menší než je velikost třetího krycího sklíčka, kterým se překryje kapka roztoku. Při přípravě vzorku je třeba dbát na to, aby nevznikly ve vzorku vzduchové bubliny, které by rušily pozorování.

Takto připravený vzorek se upevní na stolek trinokulárního mikroskopu, na který je připojena digitální kamera. Obraz snímáný kamerou se pozoruje na monitoru. Poloha pozorované částice se zaznamenává pomocí programu *Brown* pravidelných časových intervalech t . Úloha je

vybavena zařízením poskytujícím akustickou časovou značku s volbou časových intervalů 5 a 10 s. Vzhledem k tomu, že se ověřují statistické zákonitosti, bude výsledek tím přesnější, čím více poloh částice se zaregistruje.

Nedocházelo-li k preferovanému tečení částic určitým směrem, jsou vzdálenosti mezi dvěma následujícími polohami zvětšeným obrazem průmětu vektoru posunutí za čas t do roviny, do níž je zaostřen mikroskop. Vzdálenosti jednotlivých poloh označíme s . Výpočtem aritmetického průměru kvadrátů naměřených vzdáleností s získáme $\overline{s^2}$.

Vyskytovalo-li se preferované tečení během měření, musí se provést korekce tak, že se promítnou polohy částice do směru kolmého na směr tečení a určuje se pak střední kvadratické posunutí ve směru kolmém na směr tečení. Řešíme potom jednodimenzionální problém.

Označíme-li vzdálenosti sousedních bodů s_t , vzdálenosti bodů i a $i + 2$ jako s_{2t} , vzdálenosti bodů i a $i + 3$ jako s_{3t} , potom, je-li splněn Einsteinův vztah, musí platit podle vztahu (1) pro střední hodnoty kvadrátů těchto vzdáleností vztah

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

Je-li shoda dostatečná, můžeme naměřené hodnoty použít k výpočtu aktivit Brownova pohybu částic latexu a k výpočtu Avogadrovy konstanty.

Viskozita suspenze závisí na koncentraci částic. Pro zředěnou suspenzi masivních tuhých koulí lze odhadnout relativní viskozitu η_{rel} , tj. podíl viskozit suspenze a čisté kapaliny ze vzorce

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

kde φ je objemový podíl částic. Jestliže vrstva kapaliny nelpí pevně na povrchu částic, je viskozita větší než udává (4).

Molární plynová konstanta $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Literatura:

- [1] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1967, kap. 8.1
- [2] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1983, čl. 3.4.1.2
- [3] Levič, V.G.: Úvod do statistické fyziky, ČSAV, Praha 1954
- [4] Feynmann R.P., Leighton R.B., Sands M.: Feynmannove přednášky z fyziky 2, Alfa, Bratislava 1985, kap. 41
- [5] Veis Š., Maďar J., Martišovitš V.: Mechanika a molekulová fyzika, Alfa, Bratislava 1981, kap. 9.14