

FCHB – domácí úkol 5

Stanovení velikosti pórů ssavého materiálu

Teorie

Jistě jste si všimli, že po ponoření pijáku, kostky cukru či jiného nasákavého materiálu do vody vzlíná voda nejprve dosti rychle, ale pak je vzlínání pomalejší a pomalejší. Předpokládejme:

1. úplné smáčení (kontaktní úhel $\theta = 0$),
2. póry kruhového průřezu,
3. nulovou gravitaci (resp. póry mnohem užší než je kapilární délka, tedy výška kapilární elevace je mnohem větší než výška předmětu).

Laplaceův tlak v póru o poloměru r je

$$\Delta p = \frac{2\gamma}{r}, \quad (1)$$

kde γ je povrchové napětí kapaliny.

Podle **Hagenovy–Poiseuilleovy rovnice** je tlaková ztráta v „potrubí“ o stejném poloměru v případě laminárního (Poiseuilleova) proudění rovna

$$\Delta p = \frac{8\eta x \dot{V}}{\pi r^4} = \frac{8\eta x \dot{x}}{r^2}, \quad (2)$$

kde η je dynamická viskozita, $\dot{V} = \pi r^2 \dot{x}$ je objemový průtok, x je délka kapiláry, $\dot{x}$ je rychlost toku a tečka značí časovou derivaci. Porovnáním rovnic (1) a (2) dostaneme

$$x\dot{x} \equiv \frac{dx}{dt}x = \frac{\gamma r}{4\eta}.$$

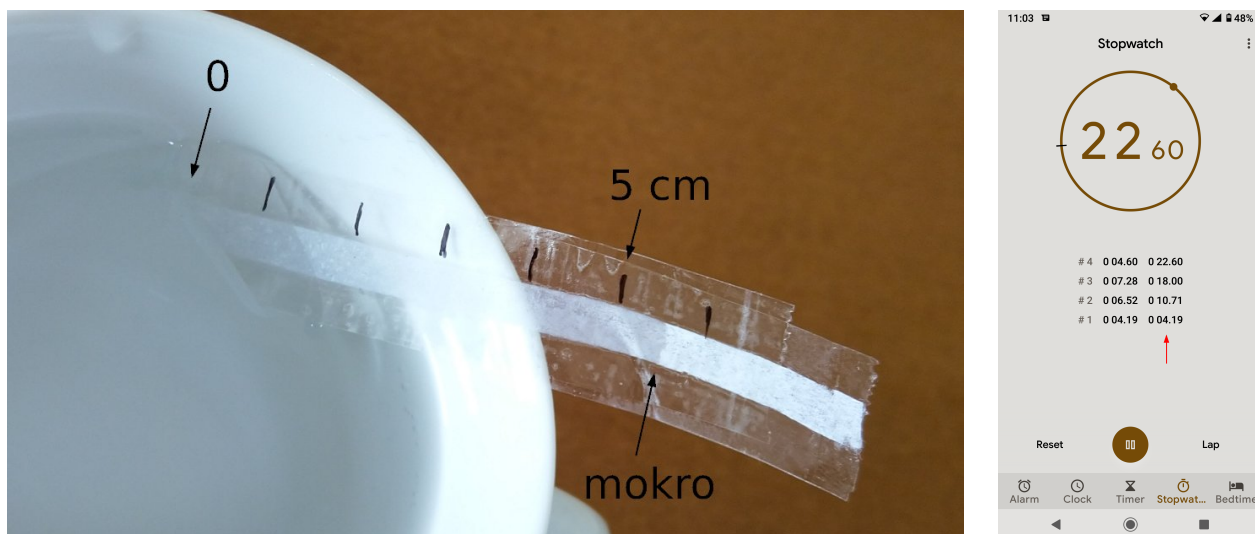
Po integraci za počáteční podmínky $x(0) = 0$ vyjde¹

$$x^2 = \frac{r\gamma}{2\eta}t \quad \text{neboli} \quad \boxed{x = \frac{2\eta}{\gamma} \frac{x^2}{t}}, \quad (3)$$

Jev lze využít pro stanovení průřezu kapiláry tak, že směrnici závislosti x^2 na t , tj. poměr x^2/t , stanovíte experimentálně.

V domácích podmínkách nemáme kapiláru, ale kvalitativně správné výsledky dostaneme s pijákem, ubrouskem, křídou ap. (kostka cukru není vhodná, protože se mění složení roztoku i průměr pórů). Mně se osvědčil proužek jedné vrstvy toaletního papíru (rozebrání je trochu piplačka) vlepený mezi dvě izolepy (viz obr. 1 vlevo). Pouze papír neobložený izolepou není vhodný, protože voda vzlíná i po povrchu a výše uvedená rovnice neplatí.

¹Pro rychlost vzlínání mezi dvěma rovnoběžnými deskami vzdálenými d vyjde obdobně $x^2 = td\gamma/3\eta$.



Obrázek 1: Vlevo: vztlínání v proužku papíru mezi dvěma izolepami, vpravo: Android stopky

Domácí úkol

Potřebujete

1. Ssavý materiál (filtrační papír vlepený mezi dvě izolepy, křída aj.).
2. Stopky s funkcí “lap” (česky asi „kolo“). V Androidu jsou vhodné stopky součástí systému (viz obr. 1 vpravo), stačí ťuknout na hodiny.
3. Nádobu s vodou.

Postup

1. Nádobu, ve které budete pokus provádět, důkladně opláchněte čistou vodou, aby na ní nezůstaly zbytky detergentu (z mytí či z leštidla do myčky).
2. Na vybraný ssavý materiál si označte několik rysek. Mohou být ekvidistantní (např. po centimetru), případně si můžete označit rysky v polohách (např.) 1 cm, $\sqrt{2}$ cm, $\sqrt{3}$ cm atd.
3. Ponořte materiál rychle do vody po nultou rysku a stiskněte stopky. Je vhodné mít materiál co nejvíce vodorovně, abychom omezili vliv gravitace. V okamžiku dosažení rysky stiskněte “lap” a pokračujte.
4. Vyneste změřené časy (kumulativní, ne pro jednotlivá kola) v závislosti na druhé mocnině vzdálenosti. Je závislost lineární? Podle rovnice (3) stanovte poloměr kapiláry r .
5. Pokus za jinak stejných podmínek můžete případně zopakovat pro vodu, do které jste přidali několik kapek detergentu. Vysvětlete případnou změnu naměřených časů.

Nemusíte odevzdávat protokol jako v laboratořích, stačí graf (např. v Excelu) a výpočet r .