

22. ročník, úloha III . E ... ve víně je pravda (8 bodů; průměr 5,69; řešilo 16 studentů)

Vyzkoušejte si následující pokus. Naplňte až po okraj stejné sklenice vína a vody. Na tu s vodou položte list papíru, sklenici otočte a položte na sklenici s vínem tak, aby jejich okraje lícovaly (konečný stav vidíte na obrázku). Teď, když opatrně vytáhnete papír tak, aby v kruhu vytyčeném okrajem sklenic vznikla malá mezírka, dojde k zajímavému jevu. Obsahy sklenic se vymění, aniž by se smísily (pokus trvá poměrně dlouho, buďte trpěliví). Zkuste se zamyslet proč, ale hlavně úkaz pořádně prozkoumejte. Zjistíte, jak závisí doba výměny na ploše mezírky, koncentraci alkoholu a jiných parametrech podle vašeho uvážení. Proběhne i pro jiné kapaliny? Například pouze obarvenou vodu, mléko, olej, ...

Na přednášce na vlastní oči viděl Jakub M.

Teorie

Úvodem poznamenejme, že tato úloha byla spíše hravou nežli experimentální v pravém slova smyslu. Přesto bychom se však měli zamyslet nad všemi jevy, které během našich hrátek můžeme pozorovat.

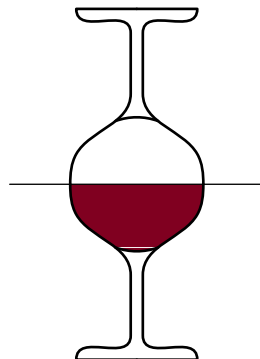
V první řadě jde o trik s otočením sklenice dnem vzhůru. Jak je možné, že voda nevyteče? Odpověď je všude kolem nás – atmosférický tlak. Je zřejmé, že na papírovou membránu „přilepenou“ na otočené sklenici působí tíhová síla papíru a vody a dále síla, kterou způsobuje tlak okolního vzduchu, a síla způsobená povrchovým napětím vody. Toto napětí je rovněž zodpovědné za to, že voda ze sklenice nevyteče, ani když mezi jejím okrajem a listem papíru vytvoříme drobnou mezírku. Analogicky, když pak dáme sklenice na sebe, může se stát, že při malém otvoru mezi oběma kapalinami nedojde k jejich promísení. Štěrbina proto musí být dostatečně velká, abychom tento problém překonali.

Na druhou stranu, bude-li otvor zase příliš velký, může dojít k vytvoření víru a promíchání se vody s vínem, kvůli čemuž je od sebe již neoddelíme. Je tudíž třeba dbát na pozvolné a opatrné vytahování listu papíru z prostoru mezi sklenicemi.

I víno totiž obsahuje značné množství vody (podle odrůdy kolem 80 %) a s vodou se poměrně snadno mísí, čehož využívají nepoctiví obchodníci. Naproti tomu alkoholu je ve víně zhruba 9 až 15 %. Zbytek tvoří cukry, barviva, aromatické látky a podobně. A dostáváme se konečně k jádru problému. Alkohol má mnohem nižší hustotu nežli voda ($0,79 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Když tedy obě sklenice propojíme malým otvorem, řidší víno se postupně dostane nad hustší vodu. Vytvoříme-li otvor příliš velký, dojde k jejich promíchání a kouzlo se nepovede.

Zajímavou otázkou je, jak závisí rychlost výměny na podmínkách pokusu. Je zřejmé, že pro různé kombinace různých kapalin bude tento čas odlišný. Rychlost procesu bude především záviset na rozdílů hustot použitých látek. Kromě vody budeme používat $\rho_{\text{olej}} = 910 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\rho_{\text{víno}} = 960 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $\rho_{\text{mléko}} = 1030 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Dalším parametrem by měly být rozměry použitých sklenic a vzniklé štěrby. Kromě těchto faktorů hraje roli také viskozita kapalin, ale víno i voda jsou na tom z tohoto hlediska dobře, a s pomalu tekoucími látkami, jako je třeba med, experimentovat nebudeme. Zajímavé bude také prozkoumat tento jen s ohledem na různá povrchová napětí použitých kapalin. Ta ovšem závisejí na teplotě. Proto budeme všechny pokusy provádět při pokojové teplotě. Připomeňme, že voda má povrchové napětí oproti ostatním látkám o dost vyšší ($\sigma_{\text{voda}} = 72,7 \text{ mN/m}$). Pro představu uveďme také povrchová napětí dalších užívaných látek: $\sigma_{\text{mléko}} = 52 \text{ mN/m}$, $\sigma_{\text{olej}} = 33 \text{ mN/m}$ a $\sigma_{\text{víno}} \approx 45 \text{ mN/m}$. Pro různé druhy vín se hodnoty velmi liší, neboť závisí na



Obr. 1. Cabernet Sauvignon

kvalitě zkoumaného vína. Znamé „řetízkování“ na povrchu sklenice je způsobeno jeho nízkým povrchovým napětím.

Provedení experimentu

Ukázalo se, že vlastní provedení experimentu vyžaduje značnou zručnost. Velmi důležité je zvolit vhodný papír. Nesmí být příliš velký, aby se neodchlípoval od sklenice, ale ani příliš malý, aby nedošlo k jeho deformaci vodou a jejímu následnému vylití. Papír musí být rovněž dostatečně pevný kvůli tomu, že jej budeme vytažovat ze sevření sklenicemi. Vhodné je proto použít například čtvrtku nebo zatavený papír, který jsme používali i my.

Poznamenejme, že budeme vždy sklenici s hustší kapalinou umísťovat nahoru a sledovat čas, po který tato tekutina klesá dolů. V opačném případě k žádnému procesu mísení ani výměně pozic nedochází. Během experimentování jsme používali malé skleničky o objemu 70 cm^3 , průměru horní podstavy 45 mm a výšce 47 mm .

Naše výsledky nebudeme prezentovat kvantitativně, neboť se nám žádný experiment nepovedl zcela do kýženého konce (vyjma kombinace vody s olejem), a proto se musíme spokojit pouze s kvalitativním popsáním celého triku¹.

Téměř okamžitě po vytvoření mezírky se začne víno dostávat nahoru a jeho místo v dolní sklenici vyplní voda. Jestliže je štěrbina příliš velká, je tento proces natolik bouřlivý, že se obě tekutiny promíchají. Nicméně i přesto je patrné, že voda v horní sklenici je tmavší, a tedy víno je zde koncentrovanější.

Pokud jsme však štěrbinu vytvořili příliš malou, nejmenší možnou, kdy se víno začalo dostávat nahoru, ukázalo se, že proces je příliš pomalý, a také došlo ke smísení obou tekutin. Jako optimální je proto vysunout papír zhruba jeden až tři milimetry a nechat jev probíhat. Po přibližně deseti minutách se situace ustálila, i když ani tehdy nebyly kapaliny zcela vyměněny. V dolní skleničce zůstalo trochu vína a stejně tak i v horní trochu vody. Ani po několika hodinách tyto části nevměnily své pozice.

Při použití jiných tekutin se jako zajímavá jeví dvojice olej a voda, neboť tyto se spolu při pokojové teplotě vůbec nemísí. Výměna pozice mezi olejem a vodou probíhala doslova bleskově a byla navíc doprovázena zajímavým efektem. Jakási slizká hmota se po vytvoření dostatečně velké mezery (v našem případě asi třetiny průměru) náhle „vyhoupla“ nad list papíru.

Pokud jde o mléko a vodu, tak tato dvojice se chová podobně jako víno s vodou. Po zhruba deseti minutách jsme experiment ukončili s podobným výsledkem, avšak s tím rozdílem, že voda byla lehce mléčně zakalená. Ani při opakování pokusu jsme nedosáhli lepšího výsledku; voda vždy zůstala stejně zakalená i po značném čase.

Poznámky k došlým řešením

Našli se řešitelé, kteří byli v experimentování šikovnější, kapaliny se jim podařilo „přelit“, aniž by použili třetí skleničku. Někteří svá řešení dokonce obohatili o fotografie. Nicméně je škoda, že nezměřili konkrétnější časové závislosti.

Tomáš Jirotko

byrot@fykos.mff.cuni.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

¹⁾ Na internetu existují i poměrně zdařilé záznamy podobných experimentů, například na adresách <http://www.youtube.com/watch?v=TjjJovVqL8tE>, http://www.youtube.com/watch?v=_snBMLwnWcM.