

## Úloha V.P ... plovoucí rtuť

9 bodů; průměr 6,42; řešilo 31 studentů

Vymyslete co nejvíce fyzikálních „figlů“, díky kterým by rtuť, alespoň po omezenou dobu, plavala na kapalné vodě. Čím trvalejší řešení naleznete, tím lépe.

*Karel chtěl otočit Archiméda na ruby.*

Nejprve uvedeme několik zajímavých konstant. Podle publikace Matematické, fyzikální a chemické tabulky Státního nakladatelství v Praze (ano, ty staříčké tabulky, které většina z vás má doma) je hustota rtuti  $\rho_{\text{Hg}} = 13\,546 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , hustota vody  $\rho_{\text{Aq}} = 998 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , teplota tání rtuti  $t_t = -38,8^\circ\text{C}$  a teplota varu rtuti  $t_v = 356,6^\circ\text{C}$ , součinitel teplotní objemové roztažnosti rtuti při  $20^\circ\text{C}$   $\beta = 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , povrchové napětí rtuti při  $20^\circ\text{C}$   $\sigma_{\text{Hg}} = 491 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ , povrchové napětí vody při  $20^\circ\text{C}$   $\sigma_{\text{Aq}} = 73 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Zadaný problém rozebereme z několika úhlů pohledu. Snížení hustoty rtuti tak, aby plavala na vodě, je nejpřímochařejší řešení, které napadne snad každého. To ovšem není nijak jednoduché. Mohli bychom rtuť dát do (vhodně velké, přesné parametry necháme na čtenáři) nádoby se vzduchem a ten potom všechn odsát, aby vznikl podtlak. Rtuť by pak izotermicky vyplnila nádobu a tím pádem by jí klesla hustota. Po návratu do prostředí s běžným tlakem by se ale hustota velmi rychle vrátila zpět na běžnou hodnotu, ani bychom ji na vodu nestihli nalít. Ekvivalent se stlačením vody by nefungoval ze stejného důvodu, pokud by něco takového bylo vůbec možné. Stejně tak se můžeme pokusit izobaricky změnit hustotu tím, že ji ohřejeme. Může se nám povést ji přivést na požadovanou hustotu dříve, než začne vařit a vypaří se? Tentokrát precizně ověříme, že se nám to povést nemůže, v ostatních ukázkách takto precizní nebudeme a pouze nastíníme postup.

Součinitel teplotní objemové roztažnosti se při malých změnách teploty chová skoro konstantně. Uvažujme tedy, že se nemění. Zhruba odhadneme potřebnou teplotu zdola. Aby rtuť měla menší hustotu než voda, potřebujeme její objem při dané hmotnosti zvětšit více než třináctkrát. Je-li  $\delta t$  rozdíl teplot, potom se počáteční objem  $V_0$  změní na  $V_1 = V_0(1 + \beta\delta t)$ . Aby se takto objem rtuti zvětšil více než třináctkrát, musí určitě platit  $\beta\delta t > 12$ , tedy  $\delta t > 12/\beta > 66\,000 \text{ K}$ , což je vysoko nad teplotou varu rtuti, i kdyby počáteční teplota soustavy byla  $0^\circ\text{C}$ .

Člověka také napadne rtuť nebo vodu s něčím smíchat (např. vodu osolit a tím jí zvýšit hustotu), ale to bohužel nespĺňuje parametry zadání (pak už to není voda, ale nějaká směs).

Přímochařým řešením je rtuť hodně ochladit. Ona pak kolem sebe vytvoří led, na kterém chvíli poplave. Na podobném principu funguje řešení rtuť rozžhavit. Díky vodním páráům, které se okolo začnou tvořit, se chvíli udrží na hladině. Je diskutabilní, zda toto řešení splňuje zadání. Podle nás spĺňuje, ale nějaké body jsme přesto dávali, protože tento způsob napadl mnoho z vás.

Další hodně přímochařé řešení je rtuť zmrazit třeba ve tvaru lodičky. Rtuť pak bude plavat, dokud neroztaje. Abychom dodrželi zadání (vizte předchozí odstaveček), musíme vodu pod lodičkou ohřívát, což trvanlivost lodičky značně snižuje.

Jiné řešení je soustavu dát do skleněné nádoby ve tvaru úzkého válce, přímo kapiláry, který bude tak tenký, že rtuť se díky svému odstávání od stěn nádoby prostě nestlačí natolik, aby se potopila (tzn. aby kolem ní pronikla voda, která sice vzlíná, ale ani to jí nepomůže). Zároveň ale nádoba musí být tak široká, abychom rtuť ještě dostali dovnitř. Díky vazbám mezi atomy vody (vzlínavá vrstva musí mít nějakou tloušťku a snaží se být souvislá) tyto dvě hranice nejsou stejné, ale budeme muset měřit hodně přesně.

Další už ne tak zjevný postup je rtuť roztříštit na maličké kuličky, které se díky povrchovému napětí vody udrží na hladině. Toto řešení může být trvalé, pokud hladina vody vydrží v klidu

a kuličky se k sobě nebudou přibližovat. Každá kulička kolem sebe totiž vytvoří prohlubeň, které způsobí, že pokud se kuličky dostanou moc blízko k sobě, seběhnou se, spojí a vytvoří tak větší kuličku. Příliš velké kuličky se kvůli své hmotnosti na hladině neudrží a potopí se. Velikosti kuliček lze určit jednoduchým výpočtem, který je cvičením na vzájemné působení sil a který ponecháme laskavému čtenáři. Hlavní myšlenka je ale poměrně jednoduchá. Vazby mezi atomy rtuti jsou silnější než vazby mezi atomy vody (rtuť díky tomu bude víceméně držet tvar kuličky) a nanočástice se zřejmě nepotopí (povrchové napětí vody je silnější, to vidíme třeba na tom, že na hladině může plavat ocelová jehla).

Další možností je rtuti stále pomáhat, aby se udržela na hladině. Třeba ji mechanicky šoupat po hladině (např. do ní z boku foukat) nebo ji shora vysávat. Nebo zařídit, aby kapalina proudila tak rychle, že se rtuť nemá šanci potopit.

Můžeme také pod kapkou rtuti vytvořit trysku, která bude nahoru stále posílat proud vody a kapka, pokud z něj nesklouzne a bude dost malá, aby se nerozpadla, se na něm udrží. Tady řešíme ten problém, že kapička je jednak křehká, jednak je tato konfigurace hodně nestabilní a stačí malý podnět, aby objekt z fontánky sklouzl. Částečným řešením může být zmrazení kapičky. Bude-li proud vody dost silný, nebude se ani tvořit led (kvůli spoustě kinetické energie). Také můžeme kapičku na místě nějak přidržovat.

Relativní magnetická permeabilita rtuti je za normálních podmínek nižší než u vody (rtuť má něco jako  $1 - 31 \cdot 10^{-6}$ , voda  $1 - 9 \cdot 10^{-6}$ ), takže ji magnetické pole odpuzuje více než vodu. Proto můžeme udržovat kapičku rtuti na hladině pomocí magnetu umístěného pod nádobou. Rozdíl relativních magnetických permeabilit je ale maličký, takže by se muselo jednat o hodně silný magnet, aby byl experiment vůbec proveditelný.

Rtuť podchlazená na teplotu blízkou teplotě absolutní nuly je supravodivá, takže s tím lze také pracovat. Tato metoda má ale extrémní až nesplnitelné nároky na dodávání/odebrání tepla, má-li voda zůstat kapalná.

Při řešení této úlohy se objevilo ještě mnohem více nápadů, některé dokonce vypadaly proveditelně. Abychom to uzavřeli, říglu je spousta, ale většinou se jedná o výměnu mezi množstvím a energetickou náročností. Které řešení je nejlepší, to necháme na názoru každého z vás.

*Markéta Calábková*  
calabkovam@fykos.cz

---

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

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.