

Úloha VI.E . . . plechová komprese

7 bodů; průměr 4,64; řešilo 25 studentů

Skvělý způsob, jak rozdrtit prázdnou plechovku od coly (pokud se vám ji nechce drtit o svou hlavu a vlastně se vám nechce ji vůbec manuálně drtit), je kápnout na dno trochu vody, trochu utěsnit otvor v ní a dát ji na vařič zahřát. Když ji pak rychle ponoříte do studené vody, tak se vám s trochu šikovnosti krásně zdrtí. Vyzkoušejte si to a vyzkoušejte to i bez toho, že by v plechovce byla voda. Vysvětlete, proč to funguje jinak s vodou a bez ní, a zkuste svoji plechovku zdrtit na co nejmenší objem vůči původnímu. Ten změřte a popište podmínky, při kterých se vám to podařilo. Pošlete fotky zdrcených plechovek.

Pozor Při děláni pokusu k úloze se nespalte!

Karel chtěl, aby se účastníci spálili stejně jako on.

Teorie

Budeme uvažovat, že vzduch i vodní pára se chovají jako ideální plyn, platí pro ně tedy stavová rovnice ideálního plynu

$$pV = NkT, \quad (1)$$

kde p je tlak plynu, V jeho objem, N počet částic, k Boltzmannova konstanta a T termodynamická teplota plynu. Jelikož není otvor v plechovce utěsněn, budeme uvažovat, že tlak plynu v plechovce je konstantní, $p = 101 \text{ kPa}$.

Jestliže v plechovce je na začátku experimentu pouze vzduch a je-li objem plechovky V_0 konstantní (její teplotní roztažnost uvažovat nebudeme) a zvyšuje-li se teplota plynu T , musí se snižovat počet částic v plechovce N , aby platilo $NT = \text{konst}$; plyn tedy uniká z plechovky ven. V okamžiku, kdy plechovku ponoříme dnem vzhůru do vody, se plechovka rychle ochladí (téměř na teplotu vody T_v), a tedy se ochladí i vzduch v ní. Budeme předpokládat, že toto se stane během tak krátkého okamžiku, že se přes ucpaný (avšak ne utěsněný) otvor v plechovce dovnitř nedostane žádná voda. Ze začátku má plechovka stále stejný objem, snižuje se v ní tlak plynu. Jakmile rozdíl tlaků uvnitř a vně plechovky dosáhne určité hodnoty, plechovka se zdeformuje.

V druhém případě dáme do plechovky trochu vody. Plechovku zahřejeme tak, že voda začne vřít, a tedy se přeměňovat ve vodní páru. Hustota vodní páry při atmosferickém tlaku a teplotě varu vody je asi $\rho_p = 0,60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Jestliže do plechovky dáme vodu o hmotnosti 1 g, vznikne jejím vypařením přibližně 6 l vodní páry (tedy mnohem větší objem než je objem plechovky), která bude unikat z plechovky nedokonale utěsněným otvorem ven. Kromě vodní páry bude z plechovky unikat i vzduch, který v ní byl na začátku experimentu. Při vypnutí ohřevu pak bude v plechovce voda (jestliže se nestihla všechna vypařit), vodní pára a vzduch. Vzhledem k tomu, že vznikl velký objem vodní páry, která vytlačovala vzduch z plechovky, vzduchu bude v plechovce oproti vodní páře jen malé množství.

V okamžiku, kdy plechovku ponoříme dnem vzhůru do vody, se plechovka opět rychle ochladí (téměř na teplotu vody T_v), a tedy se ochladí i zbylá voda, vodní pára a vzduch v ní. Vodní pára začne kondenzovat, čímž (za předpokladu, že její tlak byl atmosferický) sníží svůj objem přibližně 1600-krát. V důsledku toho se tlak zbylého vzduchu v plechovce sníží mnohem více než v případě, kdy v plechovce žádná voda nebyla, deformace plechovky by tedy měla být větší.

Měření

Pro tento experiment byly použity plechovky od pív Gambrinus a Birell, u kterých je udáván objem 0,33 ml.

Pro zjištění objemu plechovky (nezdeformované i zdeformované) bylo použito měření hmotnosti plechovky naplněné vodou. Plechovka byla ponořena do vody a několikrát otočena, aby z ní unikl veškerý vzduch. Poté položena včetně vody na kuchyňskou váhu. Od změřené hmotnosti byla odečtena hmotnost prázdné plechovky m_0 , zjistili jsme tedy hmotnost m_v vody v plechovce. Jelikož hustota vody byla konstantní, poměr objemu zdeformované a nezdeformované plechovky byl stejný jako poměr hmotnosti vody ve zdeformované a ve nezdeformované plechovce.

Ohřev plechovek probíhal nad nejmenším hořákem sporáku, přičemž bylo třeba plechovku držet mírně nad plamenem, jelikož zápach hořícího nátěru plechovky není zrovna příjemný. Do plechovky bylo nejdříve nalito malé množství vody, plechovka s vodou byla dále zvážena a následně byl její otvor trochu utěsněn papírovou utěrkou. Ohřev probíhal v případě plechovek naplněných vodou tak dlouho, dokud nebyla nad plechovkou pozorovatelná unikající vodní pára. Plechovka bez vody byla ohřívána přibližně stejnou dobu jako plechovka s nejmenším množstvím vody. Poté byla plechovka rychle dnem vzhůru přemístěna do dřezu naplněného vodou o přibližně pokojové teplotě. Nakonec byla zdeformovaná plechovka naplněna vodou a určena její hmotnost.

Celkem bylo zdeformováno devět plechovek. Naměřené poměry objemů zdeformovaných a nezdeformovaných plechovek v závislosti na hmotnosti vody, kterou jsme do plechovky přidali, uvádíme v grafu 2. Fotografie některých zdeformovaných plechovek jsou na obrázku 1.

Dále byla pro zpracování změřena hmotnost prázdné plechovky $m_0 = (12 \pm 1)$ g a hmotnost plechovky naplněné vodou $m_p = (370 \pm 1)$ g.

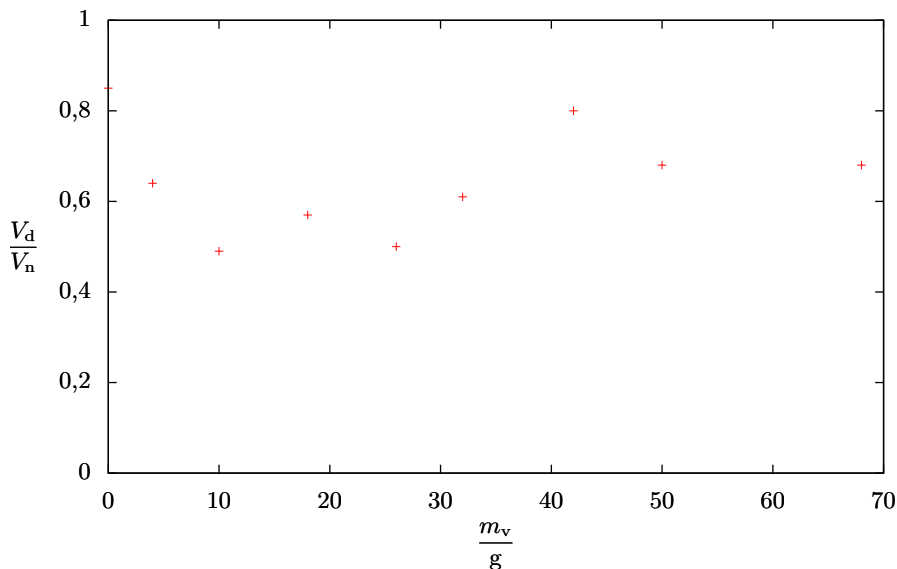


Obr. 1: Zdeformované plechovky

Nejistoty měření

Použitá kuchyňská váha vážila s přesností na 1 g, nicméně nejistota hmotnosti vody v plechovce byla vyšší z toho důvodu, že i přes otáčení plechovky je možné, že v ní stále zůstal nějaký vzduch, naopak vynořená plechovka z vody byla mokrá a před položením na váhu byla osušena pouze málo, proto je možné, že se na váhu dostalo více vody, než bylo uvnitř plechovky.

Celé měření nebylo z důvodu nedostatku plechovek opakováno, nicméně dle pozorování je opakovatelnost měření velmi špatná, a tedy nejistoty naměřených hodnot velké. Například doba ohřevu by se i v případě stejného množství vody v plechovce značně lišila, jelikož závisela na výkonu ohřevu (sporák byl mezi jednotlivými měřeními z bezpečnostních důvodů vypnut a u použitého typu nelze zaručit nastavení stejného výkonu) a také od schopnosti pozorovatele



Obr. 2: Graf naměřené závislosti poměru objemu deformované a nedeformované plechovky na hmotnosti vody v ní

rozeznat vodní páru vycházející z plechovky. Nicméně i přes tyto nejistoty se podařilo prokázat, že objem, na který se plechovka zdrtí, závisí na množství vody, které do ní vložíme.

Interpretace naměřených hodnot

Z naměřených hodnot je patrné, že nejméně se plechovka zdeformuje v případě, že v ní není žádná voda. V tom případě je v plechovce pouze vzduch, jehož objem se po ochlazení zmenší méně, než se změní objem vodní páry v případě kondenzace na vodu.

Nejvíce se plechovka zdeformovala v případě malé hmotnosti vody v ní. V tomto případě se během ohřevu velká část vody vypařila, přičemž v plechovce vzrostl tlak. Jelikož otvor v plechovce nebyl utěsněn, vodní pára spolu se vzduchem unikala z plechovky. Poměr objemu vodní páry a objemu vzduchu v plechovce tímto rostl, takže při vypnutí ohřevu byl v plechovce jen malý objem vzduchu, ale velký objem vodní páry. Při ochlazení pak vodní pára zkondenzovala, čímž se její objem několikanásobně zmenšil. Jelikož se otvor plechovky nacházel ve vodě, tlak uvnitř plechovky se rychle snížil a plechovka se zdeformovala.

Pokud jsme do plechovky přidali více vody, ne všechna se stihla během ohřevu vypařit. Při ponoření plechovky do vody tedy se v plechovce nacházela horká kapalná voda, vodní pára a vzduch. V tomto případě se tedy teplo uvolňovalo i kvůli ochlazení kapalné vody, a tedy ochlazení bylo pozvolnější. Z toho důvodu se plechovka zdeformovala méně.

Výsledky experimentu budou záviset mimo jiné i na způsobu utěsnění otvoru v plechovce. V našem případě byl u všech plechovek otvor utěsněn stejným způsobem.

Závěr

Suchá plechovka se zdrtila asi na 80 % svého původního objemu. Nejvíce se plechovka zdeformovala v případě, že v ní bylo jen několik gramů vody. V tom případě se plechovku podařilo zdrtit přibližně na poloviční objem.

Tomáš Pikálek
pikos@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/>.