

16. ročník, úloha III. E ... balónek (8 bodů; průměr 5,79; řešilo 24 studentů)

Změřte tlak vzduchu, který je při nafukování uvnitř balónku těsně před tím, než balónek praskne. Alespoň jednu metodu zrealizujte a několik dalších navrhňte. Nezapomeňte uvést typ použitých „balónků“.

Postupy

Představíme si několik možných postupů měření, na které přišli řešitelé. Objevili se dva postupy: vodní a vzduchový.

- a) U vodního postupu se napínal balónek vodou. Tato metoda v sobě skrývá zradu. Někteří řešitelé navrhovali následující postup: Budeme plnit balónek vodou až po prasknutí a nějakým způsobem v něm měřit tlak. Tímto postupem je možné měřit jen tlak, který vyvinou stěny balónku. Balónek se deformuje a voda napíná stěny velmi nerovnoměrně, nakonec praskne proto, že stěna nevydrží napínání. Ztotožnit tento tlak s hydrostatickým tlakem ale není možné, výsledek je mnohem menší než při nafukování vzduchem. Správnější je naplnit balónek vodou tak, aby měl svůj charakteristický tvar, ale ještě nebyl na prasknutí. Potom ho stlačovat a libovolným způsobem měřit tlak. Dosažené maximum při prasknutí zaznamenat.
- b) Při vzduchovém způsobu jste plnili balónek plynem. Jediným oříškem bylo měření tlaku. Ne každý měl tlakoměr průmyslové výroby, proto jste vy, šikovní fykosáci, přišli na několik vskutku zajímavých možností, jak měřit tlak.
- Dobrý nápad spočíval ve využití tlakoměru u benzínové pumpy, kde je k dispozici i kompresor.
 - Připevnit k balónku rtuťový (vodný) tlakoměr na bázi trubice ve tvaru U a měřit rozdíl výšek.
 - Připevnit skleněnou trubku na konci uzavřenou se vzduchovou bublinou oddělenou od ostatních částí kapalinou. Potom stačí měřit délku posunutí dělicí kapaliny a podle Boyle-Mariottova zákona spočítat tlak.
 - Položit na balónek průhlednou desku, kterou zatěžujeme závažími, a měřit stykovou plochu desky s balónkem. Tlak se spočítá podle definice jako podíl síly a plochy.
 - Tlačit vzduch do balónku pístem o známé ploše a siloměrem měřit, jakou silou tlačíme.
 - Vezmeme pumpičku, která má zpětnou pojistku. Změříme objem vzduchu jednoho stlačení, například ponořením balónku pod vodu v ocechované nádobě a stlačením pumpičky. Pro zjednodušení předpokládáme, že vzduch je ideální plyn, a pumpujeme pomalu, takže děj bude izotermický. Označme V_p objem vzduchu vytlačeného pumpičkou na jedno stlačení. Pumpu stlačíme k -krát. Jedním stlačením podle stavové rovnice přidáme do balónku látkové množství $n_p = p_a V_p / RT$. Balónek praskne při tlaku $p_{ex} = kn_p RT / V_{ex}$. Po dosazení $p_{ex} = kp_a V_p / V_{ex}$.¹ Potom stačí odměřit objem při explozi. Máme-li dostatek experimentálního materiálu stejné kvality, tak můžeme objem při prasknutí V_{ex} odhadnout aproximací tvaru balónku koulí a odměřit rozměry před prasknutím (to nelze provést z již zmíněných příčin nalitím vody do balónku). Bohužel tento výpočet podle vašich měření, dával příliš vysoký tlak, zřejmě proto, že látkové množství n_p s rostoucím tlakem klesá.

¹⁾ řešení Pavla Hály

Měření

Měřili jsme následovně. Plnili jsme balónek vodou přes průhlednou trubici a měřili jsme, do jaké výšky vystoupila voda. Bylo to zhruba 40 cm, což podle vztahu $p = h\rho g$ odpovídá cca 4 kPa.

Tento přetlak je způsoben pouze napětím ve stěnách balónku (viz výše). Po naplnění do poloviční velikosti oproti stavu při prasknutí jsme tlačili na balónek hrncem. Voda vystoupila dost vysoko, a protože strop máme vysoký asi 2 m, nejsme schopní měřit přetlaky nad 20 kPa. Jeden balónek puknul při přetlaku 15 kPa. Byl jediný, který jsme takto dokázali prasknout (bylo obtížné zatlačit dostatečně silně). Řešiteli změřené hodnověrné hodnoty se pohybovaly mezi 8 kPa a 15 kPa.

Ladů Michnovič
fykos@mff.cuni.cz