

Úloha VIII.3 ... Lodičky

10 bodů

Kačka ráda skládá origami z papíru. Jednou ji napadlo zkusit, jak těžký náklad by unesla papírová lodička, než by se potopila. Změřte nosnost takové lodičky.

Složte si z papíru lodičku¹ a parník² a porovnejte jejich nosnosti. Při skládání můžete využít náš návod. Pokud lodičky během měření příliš nasáknou vodou, můžete použít méně savý materiál, např. pečicí papír.

Jelikož se jedná o experiment, nezapomeňte provést více pokusů, popsat jejich průběh a stručně diskutovat výsledky.

Teorie

Papír má podobnou hustotu³ jako voda, a tak by se intuitivně neměl být schopen vždy udržet na hladině. Ovšem není tomu tak, ze zkušenosti víme, že taková lodička složená z papíru se na hladině bez problémů udrží.

Prvním faktorem bude povrchové napětí vody. Tento jev vzniká v důsledku působení přitažlivých sil mezi molekulami vody. Molekuly uvnitř vody jsou obklopeny ostatními molekulami ze všech stran, takže síly, kterými na ně ostatní molekuly působí, se navzájem ruší. Molekuly na povrchu jsou přitahovány jednak ostatními molekulami vody směrem dovnitř kapaliny, jednak molekulami plynu (vodní páry a vzduchu) nad kapalinou směrem opačným. Přitažlivá síla molekul plynu je však mnohem menší, výsledná síla proto směřuje dovnitř kapaliny. Díky tomu vytváří povrchová vrstva kapaliny pružnou blánu, která dokáže unést určité předměty.

Jaké předměty blána udrží se odvíjí nejen od jejich hustoty, ale především od tvaru a povrchu předmětu. Na to, aby lodička plavala na hladině, je ale povrchové napětí samo o sobě dost malé a nehraje proto v našem experimentu významnou roli.

Klíčovým faktem bude, že lodička má v sobě vzduch, tedy její průměrná hustota je nižší než hustota vody. Zároveň má lodička poměrně příhodnou stabilitu. Pokud její stavbu porovnáme se stavbou parníku, lodička má lepší rozložení hmoty na dně a celkově méně příležitostí, kudy by do ní natekla voda, což by vedlo k následnému potopení. Je to vlastně taková těžko potopitelná nádoba. Narozdíl od ní parník nemá moc velké dno a po stranách má záhyby, do kterých voda jednoduše nateče. Celkově je sám o sobě nestabilní, natož po přidání nějaké zátěže.

Zároveň by se hodilo zmínit, že nám měření bude stěžovat struktura papíru. Papír je porézní materiál složený z rostlinných vláken – celulózy. Jednoduše se tak nasákne vodou, proto je například pečicí nebo voskovaný papír v tomhle ohledu příhodnější.

Měření

Nejprve jsme si podle návodů poskládali parník a lodičku, které jsme k měření používali. K provedení experimentu je základem zvolit si vhodný materiál, kterým budeme lodičku zatěžovat. Takovým se na první pohled může jevit např. písek či jiný sypký materiál. Ovšem ten se po potopení lodičky namočí, zvlhne a změní svůj objem i hmotnost. Tedy je pro měření spíše horší volbou. Moudřejší bude zvolit si kupříkladu nějaké menší kovové předměty (tedy takové aby měly poměrně velkou hmotnost a malý objem).

¹<https://drive.google.com/file/d/1CAYSyMBUi2rsNIL1-y2hV7CXZik2Rq3H>

²https://drive.google.com/file/d/1Wqo65s-Us4S_XYpsWtbPCg8WGG918Haw

³V tomto případě hodně záleží na gramáži, hlavně na tloušťce samotného papíru. Jeho hustota se pohybuje v rozmezí $700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ – $-1 \text{ } 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

My jsme si zvolili jednokorunové mince o známé hmotnosti $m = 3,6$ g. Těmi jsme lodičku po jejím vypuštění na hladinu postupně zatěžovali. Přidávání mincí bylo potřeba provádět opatrně, lodičku vyvažovat a rozkládat její náklad, aby se nám zbytečně vlivem převrácení nepotopila dříve než s maximální zátěží, kterou je schopna unést.

Obdobný proces jsme provedli i u parníku, u toho bylo správné umístění nákladu složitější, dokonce i samotné vypuštění na hladinu bylo obtížné (ostatně jak už jsme předpověděli v teorii).

V tabulce 1 jsou uvedeny počty mincí, které lodička či parník unesl během jednotlivých měření. Celkem jsme provedli šest měření pro parník a šest pro lodičku, tzn. dohromady dvanáct měření.

n	lodička	parník
	počet mincí	počet mincí
1	24	3
2	23	2
3	23	2
4	24	3
5	22	4
6	23	3
průměr	23	3

Tabulka 1: Počet mincí, které unesla lodička a parník během šesti měření

Taktéž můžeme určit průměrnou hodnotu hmotnosti, kterou parník či lodička unese. Pro lodičku to je $M_L = 83$ g a pro parník $M_P = 10$ g. Cílem experimentu bylo ale především porovnání, které z origami plavidel má větší nosnost. Je poměrně jasné, že lodička má v tomto ohledu navrch a unese přibližně 8krát větší hmotnost, v našem případě to znamenalo o nejméně $\Delta M = 70$ g více díky své stavbě.

Diskuze a závěr

V našem experimentu jsme porovnali nosnost origami lodičky a parníku pomocí jejich postupném zatěžování malými kovovými mincemi. Jak jsme již na začátku předpověděli, lodička unesla znatelně více nákladu, než parník a to díky své konstrukci. Rozdíl v jejich nosnostech činil asi 70 g.

Zde je prostor zmínit se i o chybách měření. Můžeme uvažovat, že největší chyba vznikla tím, že jsme vždy přidávali jednu minci (tedy se hmotnost měnila po krocích o velikosti 3,6 g), pro lepší provedení bychom mohli mince nahradit něčím vhodnějším, třeba malými kovovými kuličkami, které by měly menší hmotnost a mohli bychom tak nosnost určit přesněji.

Všechny naše výsledky pro absolutní nosnosti lodičky a parníku jsou zároveň mírně podhodnocené, protože obě plavidla vlivem nasáknutí vody unesly méně, než kdyby papír zůstal po celou dobu suchý. Přepokládáme ovšem, že rychlost a míra nasáknutí vodou byla pro obě

plavidla stejná a tak tento jev výrazně neovlivnil relativní porovnání nosnosti lodičky a parníku.

Kateřina Kučerová
katerina.kucerova@vyfuk.org

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

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