

Úloha I.E ... Foukačka

7 bodů; průměr 4,11; řešilo 28 studentů

Vyrobte si z brčka nebo trubky foukací zbraň a co nejpřesněji ji popište včetně důležitých parametrů (můžete doplnit i fotografií či nákresem). Změřte, jak daleko s takovou zbraní dostřelíte projektil vyrobený ze zmuchlaného kusu papírového ubrousku nebo kapesníku – snažte se dostřel maximalizovat. Na jakých vlastnostech projektilu dostřel závisí? Nezapomeňte uvést nejistoty měření relevantních veličin.



Teorie

Foukací zbraň vypadá jako trubka. Z jedné strany do ní vložíme náboj a z té stejné strany do ní foukneme. Vytvoříme tak uvnitř zbraně přetlak a tlak vzduchu urychluje náš náboj po celou dobu cesty trubkou. Důležitým parametrem zbraně je tedy její délka, protože to je vzdálenost, po kterou na náboj působí síla, tedy vzdálenost, na které náboj zvyšuje svoji rychlost. Čím delší je zbraň, tím dále s ní můžeme dostřelit.

Jakmile náboj opustí trubku, jeho pohyb můžeme popisovat jako vrh vodorovný. Má to ovšem jeden háček – na papírové kuličky působí nezanedbatelný odpor vzduchu. Odporovou sílu prostředí můžeme vyjádřit jako

$$F = \frac{1}{2} \rho c S v^2,$$

kde ρ je hustota vzduchu, S je příčný průřez tělesa, v je rychlost tělesa a c je odporový koeficient. Hustotu vzduchu neovlivníme, předpokládáme, že kapesníková kulička přesně vyplní brčko, tedy příčný průřez nábojů budeme mít také totožný, rychlost, se kterou náboje opustí zbraň, by se rovněž neměla lišit. Jediné, co tedy ovlivníme, je odporový koeficient. Ten se stanovuje experimentálně, ale obecně víme, že koule má nižší odporový koeficient než stejně velká mísa otočená dnem od směru pohybu. Současně platí, že čím více záhybů povrch tělesa má, tím vyšší má odporový koeficient. Můžeme tedy vyslovit předpoklad, že pevnější kulička doletí dál než kulička, která je napůl či úplně rozbalená.

Další veličina, která by mohla hrát roli, je hmotnost kuličky, ale její vliv by bylo složité odhadnout, jelikož hmotnější kulička by byla méně urychlená foukáním a k zemi by padala rychleji, ale na druhou stranu by zase byla méně brzděna odporem ve vodorovném směru. Tuto závislost tedy studovat nebudeme a experiment budeme provádět s kuličkami konstantní hmotnosti. Jak pevně jsme umotali kuličku z kapesníku ovšem nemůžeme nijak měřit. Provádíme tedy experiment spíše kvalitativní povahy, kde ověřujeme, jestli se něco chová, jak má, nezjišťujeme přesnou hodnotu. Jediná veličina, kterou můžeme změřit a spočítat její nejistotu, je tak samotný dostřel foukačky.

Měření

Umotáme si z papírového kapesníku čtyři různé kuličky, které seřadíme podle toho, jak „dokonalé“ jsou. Nejméně dokonalou nazveme koulí 1, nejdokonalejší pak koulí 4. Na obrázku 1 vidíme vyfoceně všechny čtyři použité koule.

Každou takovou kouli desetkrát vystřelíme z naší brčkové foukačky a změříme dostřel. Střílet budeme z brčka o délce 21 cm z výšky 10 cm. Kuličky mají průměr okolo 6 mm. Všechny kuličky střílíme ze stejné výšky, protože jak z teorie vodorovného vrhu víme, počáteční výška také ovlivňuje vzdálenost dopadu.



Obrázek 1: Papírové kuličky seřazené (zleva) od nejméně pevné po nejpevnější.

Kulička	$\frac{d}{\text{m}}$	$\frac{\Delta d}{\text{m}}$
1	1,23	0,04
2	1,96	0,04
3	2,99	0,05
4	4,03	0,06

Tabulka 1: Průměrné vzdálenosti dopadu jednotlivých kuliček

Z tabulky 1 vidíme, že vzdálenost dopadu d opravdu s dokonalostí kuličky roste, jak jsme předpokládali. Roste nám ale i nejistota měření (vypočtená jako absolutní odchylka¹). Při dopadu kuličky totiž dojde k pružné srážce s podlahou, kulička „poskočí“ a doletí ještě o kousek dál. Musíme tedy kvalifikovaným odhadem určit místo prvního dopadu, což se u dopadů dál od pozorovatele odhaduje znatelně hůře. Současně nejméně dokonalé kuličky jsou nejměkčí, odrazily se tedy méně, spíše se lehce smýkly a svou pozici od prvního dopadu moc nezměnily.

Závěr

Vzdálenost dopadu projektilu z brčkové foukací zbraně závisí na součiniteli odporu prostředí pro daný projektil. Pro kuličky z papírových kapesníků jej ovlivňuje to, jak pevně jsou umotané, resp. jak moc se blíží dokonalé kouli. Dostřel brčkové zbraně ve výšce 10 cm lze kvalitou kuličky ovlivnit až v řádu metrů. Nejpevnější kulička doletěla do vzdálenosti $d_4 = (4,03 \pm 0,06) \text{ m}$, nejméně pevná pak uletěla pouhých $d_1 = (1,23 \pm 0,04) \text{ m}$. Na přesnost měření měl největší vliv

¹ Jak na výpočet nejistot se dozvíte na našich stránkách v sekci Hokus Pokus.

odhad místa prvního dopadu papírové kuličky.

Soňa Husáková
sona@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/>.