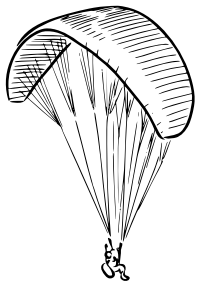
Úloha IX.3 ... Padák

10 bodů



Výfuček se při dlouhé cestě z dovolené zadíval na parašutisty, kteří nad krajinou skákali z letadla. Řekl si, že se doma pokusí zkonstruovat si vlastní padák pro malé náklady. Vyrobte si stejně jako Výfuček z igelitového sáčku padák a zavěste na něj vhodně těžké závaží. Poté padák se závažím pusťte z dostatečné výšky a změřte čas jeho dopadu (pro větší přesnost měření několikrát opakujte).

Následně se pokuste padák upravit tak, aby byl pád trval co nejdéle. Můžete například přidat více sáčků nebo libovolným způsobem upravit konstrukci – buďte kreativní. Otestujte alespoň 3 různé úpravy padáku a zaznamenejte časy dopadu. Jaká úprava měla na čas dopadu největší vliv?

Teorie

Při pádu tělesa atmosférou působí na těleso odporová síla[1]. Tu si pro turbulentní proudění můžeme vyjádřit jako

$$F_{\mathrm{o}} = \frac{1}{2}\rho S C v^2\,,$$

kde S je obsah průřezu, v je okamžitá rychlost, ρ je hustota prostředí a C je koeficient odporu, který se mění podle tvaru tělesa. Pokud je hmotnost padajícího předmětu vždy stejná, platí, že když se zvětší odporová síla působící na těleso, těleso bude padat pomaleji a doba jeho pádu bude delší.

Parametry, které jsme schopni ovlivnit různou konstrukcí padáku, jsou obsah průřezu S a koeficient C. Odporová síla na těchto parametrech závisí přímo úměrně, budeme se tak snažit vytvořit padák s co největším součinem SC.

Postup měření

Použili jsme závaží o hmotnosti 100 g, které jsme za pomoci vlákna o zanedbatelné hmotnosti připevnili k různým konstrukcím padáku.

Každou z celkem čtyř různých použitých konstrukcí jsme pouštěli z výšky 5,0 m, kterou jsme změřili pomocí metru s přesností na 0,1 m. Každé měření jsme provedli celkem desetkrát pro zvětšení přesnosti měření. Jako výsledek jsme brali průměr těchto deseti měření.

Pro zmenšení relativní chyby měření času, způsobené reakčním časem, která by kvůli malým časům pádu byla poměrně velká, jsme pro měření nepoužívali přímo stopky, ale nahrávali jsme zvukový záznam, ze kterého jsme následným rozborem určili moment vypuštění a dopadu. Touto metodou jsme získali přesnější měření doby pádu, než kdybychom čas stopovali přímo.

Nejprve jsme změřili čas pádu závaží bez padáku. V tomto případě je odpor vzduchu zanedbatelný a měl by tak platit vzorec pro volný pád $t = \sqrt{2h/g} \doteq 1{,}01\,\mathrm{s}$. Jako první konstrukci jsme zvolili jednoduchý model s igelitovým sáčkem upevněným k závaží za jeho ucha. První modifikací konstrukce bylo přidání dalšího sáčku pro zvětšení plochy padáku. Další modifikací bylo použití větší (ale tenké a lehké) igelitové tašky, díky čemuž jsme dosáhli nejen zvětšení plochy

[1] Pokud jste o odporové síle nikdy neslyšeli, můžete si přečíst náš studijní text – Výfučtení z minulého roku `https://static.fykos.cz/problems/vyfuk/14/media/serial2.cs.pdf`

průřezu, ale i „hloubky“ padáku, což zvětšilo koeficient odporu. Poslední úpravou bylo vyměnění igelitové tašky za netexovou tašku podobné velikosti, která v malém množství propouštěla vzduch. Dalšími možnostmi, jak by se padák dal upravit, by mohlo být např. vyrobení padáku z papíru nebo vymyšlení úplně nového typu brzdného zařízení (např. množství fáborků).

Naměřené hodnoty

Jak jsme již zmínili, každé měření jsme provedli desetkrát a jeho výsledky jsme zanesli do tabulky 1.

typ padáku	$\frac{t}{\mathrm{s}}$
samotné závaží	1,03
jeden sáček	1,25
dva sáčky	1,58
igelitová taška	1,66
netexová taška	1,39

Tabulka 1: Průměrný čas pádu t pro jednotlivé typy padáků

Diskuze výsledků

V tabulce 1 můžeme vidět jednotlivé časy pádu závaží s určitým typem padáku, což je hodnota, kterou jsme se snažili maximalizovat. Pokud porovnáme jednotlivé časy, zjistíme, že nejdelší čas (a tedy i nejlepší padák) mělo závaží s igelitovou taškou – průměrný čas pádu byl 1,66 s, což je o 0,63 s více než čas pádu bez padáku. O trochu hůř dopadl padák sestrojený ze dvou igelitových sáčků, který měl výsledný čas 1,58 s, tedy o 0,55 s více než čas bez padáku. Protože jsou tyto časy velmi podobné (rozdíl osmi setin sekundy mohl být způsoben statistickou chybou), můžeme usoudit, že nejlepší z námi zkoušených padáků je více igelitových sáčků nebo větší igelitová taška.

Jak jsme mohli předpokládat, jeden sáček nebyl tolik efektivní jako dva. Čas pádu závaží s jedním sáčkem byl mnohem rychlejší než pád se dvěma sáčky. Překvapivě dobře dopadl padák z netexové tašky. Netexová taška nebyla kvůli své propustnosti tak účinná jako igelitová taška, avšak její obsah průřezu byl mnohem větší než ten sáčku.

Diskuze chyb

V našem měření se vyskytlo množství chyb. Některé se nám podařilo skoro eliminovat, jiné nikoliv.

Nejprve uvedeme chyby spojené se způsobem našeho měření. Chyba mohla vzniknout při měření času. Přestože jsme měřili pomocí rozboru audiozáznamu, ne vždy byly úplně jasné body vypuštění a dopadu, takže jsme čas mohli určit až o několik desetin sekundy špatně. Ani výšku změřenou pomocí metru jsme nebyli schopni kvůli nerovnému terénu přesně určit, proto uvádíme výšku s přesností na 0,1 m.

Další větší vliv na měření mohl mít lehký vítr, který v průběhu měření foukal. Jeho měnící se rychlost i směr mohly ovlivnit jak místo dopadu, které kvůli nerovné ploše mohlo být od

místa vypuštění vzdálenější, tak odpor vzduchu (resp. hustotu vzduchu v konkrétním směru) pro různé konstrukce. Naše výsledky proto mohly být lehce zkreslené.

Statistické chyby jsme minimalizovali množstvím opakování měření pro jednotlivé konstrukce, avšak pro stejnou konstrukci často vycházely výsledky i o několik desetin sekundy různě. Statistická chyba se tedy jistě projevila. Na výsledky pravděpodobně měly větší vliv chyby systematické (tedy ty spojené s použitými měřidly).

Závěr

Měřili jsme čas pádu závaží se čtyřmi různými typy padáku a bez padáku. Pro každý typ jsme provedli 10 měření a vypočítali jejich průměrnou hodnotu. Výsledky jsme zaznamenali do tabulky 1.

Experimentálně jsme zjistili, který typ padáku nejefektivněji brzdí těleso, tedy pro který typ je čas pádu nejdelší – pro igelitovou tašku.

Vít Kupilík
vit.kupilik@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/.