

## Úloha III.E ... Zanedbat, či zanedbat

7 bodů; (chybí statistiky)

Ze školy víme, že všechna tělesa na zem „padají“ stejně rychle. To však platí pouze ve smyslu tíhového zrychlení. V důsledku odporu vzduchu pochopitelně bude například cihla padat rychleji než pírkó. Jak je to však s předměty se stejným tvarem, které se liší pouze hmotností?

Vyrobte si dva identické, ale různě těžké míčky (např. naplněním jednoho tenisového nebo pingpongového míčku matkami), pusťte je z velké výšky a změřte rozdíl časů dopadu. Měřením doby pádu pro různé počáteční výšky určete výšku, pro kterou je již rozdíl dob pádu znatelný a odpor vzduchu tedy není zanedbatelný.

## Teorie

Odpor vzduchu můžeme při malých rychlostech a malém časovém úseku zanedbat, protože odporová síla  $F$  je přímo úměrná druhé mocnině rychlosti pohybu tělesa jako  $F = kv^2$ . Když se těleso pohybuje pomalu, nenabere dostatečnou rychlost a odpor vzduchu není znatelný. Ovšem když těleso pustíme z dostatečně velké výšky, zrychlí na rychlost, při které odpor vzduchu již zanedbatelný nebude.

Veličina  $k$  je koeficient odporu vzduchu, který zahrnuje všechny faktory pro konkrétní situaci (hustota vzduchu, plocha a tvar tělesa). Protože zahrnuté hodnoty jsou pro oba námi vybrané míčky stejné, bude se jejich pohyb odvíjet pouze od jejich hmotnosti, která vystupuje v tíhové síle  $F_g = mg$ , jež urychluje předměty směrem k zemi.

Z toho také můžeme odvodit, že na tělesa stejného tvaru bude působit vždy stejná odporová síla. Při různé hmotnosti tak budou padat jinak rychle. Pokud bychom měli dva stejné kvádříky jiné hmotnosti, těžší kvádřík bude padat rychleji, protože na něj bude působit větší tíhová síla.

V našem experimentu očekáváme, že když budeme míčky pouštět z velké výšky, těžší míček dopadne dříve nežli lehčí míček, což bude způsobeno zanedbatelným odporem vzduchu. Měřením se pokusíme stanovit hranici výšky, při které bude rozdíl časů dopadů již zanedbatelný.

## Měření

Připravíme si dva identické míčky o různých hmotnostech a najdeme nějaké vhodné místo, ze kterého budeme míčky pouštět na zem. Budeme je pouštět z postupně větších a větších výšek a budeme měřit dobu jejich pádu. Měření budeme několikrát opakovat pro různé výšky, dokud se nám nezačne čas dostatečně lišit (stačí, když se čas bude lišit například o 15 %).

My jsme si připravili dva míčky velikosti tenisového míčku a jeden z nich jsme naplnili pískem. Míčky měly poloměr 6 cm, lehčí vážil 5 g a těžší 210 g.

Míčky jsme pouštěli ze tří výšek – 1,5 m, 3 m a 4,5 m. Doby pádu jsme měřili pomocí stopek a měření jsme pro každou výšku opakovali pětkrát. Doby pádu jsme zprůměrovali a porovnali mezi sebou. Hodnoty, které jsme naměřili, jsme zaznamenali do tabulky 1.

Chtěli bychom ještě porovnat naše výsledky s nějakým teoretickým odhadem. V situaci bez odporu vzduchu zrychlují oba míčky se zrychlením  $g$ , doba  $t_0$ , za kterou překonají výšku  $h$ , je tedy rovna

$$t_0 = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Vypočítané doby  $t_0$  jsou uvedeny pro srovnání v posledním řádku tabulky 1.

U hodnoty 1,5 m si všimněme, že časy pádu jsou po zprůměrování téměř identické, odpor vzduchu tedy nemusíme započítávat. U tří metrů se časy pro lehčí a těžší míček liší o 0,07 s.

$\frac{\text{výška}}{\text{m}}$	1,5		3		4,5	
	$\frac{t_{\text{těžší}}}{\text{s}}$	$\frac{t_{\text{lehčí}}}{\text{s}}$	$\frac{t_{\text{těžší}}}{\text{s}}$	$\frac{t_{\text{lehčí}}}{\text{s}}$	$\frac{t_{\text{těžší}}}{\text{s}}$	$\frac{t_{\text{lehčí}}}{\text{s}}$
$n$						
1	0,52	0,51	0,76	1,02	1,12	1,22
2	0,5	0,56	0,84	0,81	1,07	1,28
3	0,64	0,57	0,8	0,73	0,9	1,23
4	0,58	0,58	0,68	0,8	1,01	1,25
5	0,51	0,53	0,7	0,79	1,05	1,25
$\bar{t}/\text{s}$	0,55	0,55	0,76	0,83	1,03	1,25
$\Delta t/\text{s}$	—		0,07		0,22	
$t_0/\text{s}$	0,55 s		0,78 s		0,96	

Tab. 1: Naměřené hodnoty

To je stále velmi malý rozdíl, je například menší než reakční čas člověka. Navíc vypočtená doba pádu se zanedbaným odporem vzduchu vyšla větší než čas změřený pro malý míček, to je pravděpodobně danou chybou měření (reakční doba člověka). Chyba měření je tedy srovnatelná s rozdílem doby pádu pro oba míčky, proto uvažujeme, že zde je ještě odpor zanedbatelný.

Při čtyřech a půl metrech se časy pádů míčků liší o více než 20 %, čas pádu těžšího míčku je znatelně větší než teoreticky vypočtená doba  $t_0$  pro zanedbaný odpor. Můžeme tedy říci, že při pouštění míčků z takové výšky je již odpor vzduchu zanedbatelný.

### Závěr

Odpor vzduchu nemůžeme pro námi zvolený typ míčku zanedbat od přibližně 4,5 metru, protože se časy dopadu pro různé hmotnosti míčku liší o více než 20 %.

*Alena Mouchová*

---

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/>.