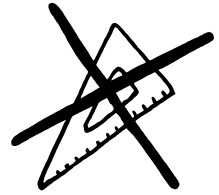


## Úloha IX.2 ... (Ne)změř svou výšku

10 bodů; (chybí statistiky)

V této úloze vás čeká jednoduchý úkol – změřit co nejpřesněji svoji výšku. Má to však drobný háček, nesmíte k tomu použít žádné měřidlo vzdálenosti. (To zahrnuje metr, ale také například měření v násobcích velikosti papíru A4, jehož velikost je známá. Teoreticky byste tuto metodu mohli použít, pokud byste rozměry papíru určili vlastním měřením, například ze znalosti GPS souřadnic okrajů papíru. K tomuto měření však opět nesmíte použít žádné měřidlo vzdálenosti.) Odhadněte také chybu měření a pro porovnání uveďte i svou výšku měřenou standardními metodami. Nápověda: Nedoporučujeme používat metodu měření pomocí GPS souřadnic, neboť její nejistota bude mnohem větší než naměřená hodnota.



## Teorie

Naším úkolem je najít způsob, jak změřit svoji výšku bez použití délkového měřidla. Klíčem tedy bude najít nějakou jinou fyzikální veličinu závislou na vzdálenosti, kterou bychom mohli změřit, a z ní hledanou výšku dopočítat. Nabízí se měření času, který umíme poměrně přesně měřit pomocí stopek. Zbývá najít takový jev, jehož doba trvání závisí na vzdálenosti. Mohli bychom například měřit čas, který uběhne mezi puštěním tělesa z výšky rovné naší výšce a jeho dopadem na zem. Přesnějších výsledků ale dosáhneme, když využijeme nějaký déle trvající jev. Protože čím delší čas budeme měřit, tím menší vliv budou mít nepřesnosti měření (hlavně reakční doba) na výsledky.

Takovýto jev mohou být například kyvy matematického kyvadla, u nichž změříme jejich periodu. Důležité je, aby délka závěsu kyvadla byla stejná, jako je naše výška. K tomu však nepotřebujeme měřidlo délky – stačí přiměřit. Matematické kyvadlo je jednoduchá soustava tvořená hmotným bodem, který je zavěšený na dlouhém nehmotném tuhém závěsu. Jinými slovy jde o zjednodušenou představu (fyzikální model) kyvadla, ve kterém je závaží mnohem těžší než závěs a které se navíc kývá jen málo (často se zmiňuje maximální vychýlení  $5^\circ$ ). Kývá-li se v homogenním gravitačním poli, platí pro jeho periodu dostatečně přesný vztah:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Perioda kyvadla znamená dobu  $T$ , za kterou závaží na tenkém závěsu o délce  $l$  vykoná jeden kmit, neboli zhoupne se tam a zpátky.

## Výroba kyvadla

Na výrobu kyvadla použijeme nit a malé kovové závaží o hmotnosti 70 g ve tvaru válečku. Ideální by bylo závaží ve tvaru koule, aby se co nejvíce podobalo hmotnému bodu, ale váleček bude muset postačit. Na niti si pomocí uzlíků vyznačíme svoji výšku. Potom ji uvážeme za jeden konec k nějaké pevné opoře u stropu (např. k trámu, ke garnýži) a k druhému konci připevníme závaží tak, aby vzdálenost od horního konce závěsu po střed závaží byla stejná jako naše výška.

*Měření*

Kyvadlo vychýlíme o malý úhel (max.  $5^\circ$ ) a na stopkách změříme dobu  $t$  trvání deseti kmitů, abychom dosáhli větší přesnosti. Měření zopakujeme pětkrát. Periodu pak dopočítáme jako  $T = t/10$ .

$t$ s	$T$ s	$l$ m
26,35	2,635	1,725
26,11	2,611	1,694
26,13	2,613	1,697
26,19	2,619	1,704
26,25	2,625	1,712

Tabulka 1: Naměřené časy deseti kmitů a z nich dopočítaná perioda  $T$  a délka závěsu  $l$

Pomocí vztahu z teorie pak z periody  $T$  vypočítáme délku závěsu kyvadla  $l$  (neboli vzdálenost od horního konce závěsu po střed závaží).

$$l = \frac{T^2 g}{4\pi^2}$$

Výslednou délku určíme jako aritmetický průměr všech pěti vypočítaných délek. Jako nejistotu zvolíme směrodatnou odchylku jednotlivých vypočítaných délek.

*Závěr*

Podářilo se nám obejít běžné měření výšky pomocí metru a místo toho jsme sestrojili kyvadlo dlouhé jako naše výška a měřili jeho periodu. Naměřili jsme délku závěsu ( $1,71 \pm 0,01$ ) m. Kyvadlo bylo vyrobeno tak, aby co nejpresněji odpovídalo modelu matematického kyvadla. Výsledky měření času jsme zpřesnili měřením vždy deseti kmitů a měření jsme opakovali pětkrát.

Výška experimentátorky změřená pomocí metru je ( $1,700 \pm 0,005$ ) m. Dokázali jsme tedy měřit výšku méně přesně než to dovede běžně používaný metr s dílky po centimetrech. Nesmíme však zapomenout, že stejně jako při odečítání výšky člověka z metru, i zaznačování výšky na niti bylo nepřesné. Naměřená délka kyvadla se proto od skutečné výšky může trochu lišit.

*Pavla Šimová*

paja@vyfuk.mff.cuni.cz

---

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/>.