

Měření tíhového zrychlení matematickým a reverzním kyvadlem

Úkol č. 1: Změřte tíhové zrychlení matematickým kyvadlem.

Pomůcky

Matematické kyvadlo se dvěma různými kuličkami, pásmo, stopky, světelná závora – zdroj a čítač.

Teorie

Matematické kyvadlo je definováno jako hmotný bod na tuhém závěsu zanedbatelné hmotnosti. V praxi se těmto podmínkám nejvíce blíží malá kovová kulička, upevněná na dlouhém pevném vlákně (niti). Pro dobu kyvu τ matematického kyvadla platí za předpokladu harmoničnosti pohybu vztah

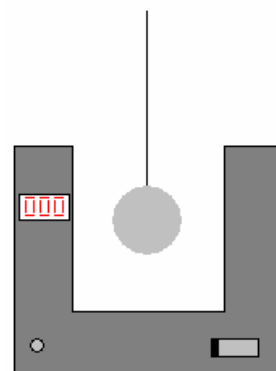
$$\tau = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

kde l je délka vlákna a g tíhové zrychlení. Pro hledanou hodnotu tíhového zrychlení odsud plyne

$$g = \pi^2 \frac{l}{\tau^2}. \quad (2)$$

Postup měření

1. Změříme délku l závěsu matematického kyvadla.
2. Čítač světelné závory připojíme k adaptéru (zdířky \perp a + 5V) a ten zapojíme do zásuvky. Závoru připravíme k použití stiskem nulovacího tlačítka Set.
3. Kyvadlo rozkíváme* a pomocí světelné závory (zaznamenává počet kyvů na displeji – obr. 1) a stopek změříme dobu 100 kyvů kyvadla. Z ní pak určíme dobu jednoho kyvu τ .
4. Naměřené hodnoty dosadíme do vztahu (2).
5. Měření tíhového zrychlení provedeme ještě jednou pro kyvadlo s kuličkou o jiné hmotnosti.



Obrázek 1: Počet kyvů matematického kyvadla je zaznamenáván na displeji světelné závory.

* Maximální odchylka závěsu od svislé polohy by měla být co nejmenší, pro naše měření se budeme snažit, aby byla menší než 5° . Otázka k zamyšlení: Proč se snažíme, aby byl rozkmit co nejmenší?

Chyba měření

Chybu měření vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Ze vztahu (2) vyplývá, že nepřímo měřené tíhové zrychlení g je funkcí dvou přímo měřených veličin $g = g(l, \tau)$. Chybu měření proto udává vztah

$$\overline{\Delta g} = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial l}\right)^2 |\overline{\Delta l}|^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial \tau}\right)^2 |\overline{\Delta \tau}|^2}. \quad (3)$$

Vypočtené parciální derivace

$$\frac{\partial g}{\partial l} = \frac{\pi^2}{\tau^2} \text{ a } \frac{\partial g}{\partial \tau} = -2\pi^2 \frac{l}{\tau^3},$$

dosadíme do (3) a postupnými úpravami s využitím vztahu (2) dostaneme

$$\overline{\Delta g} = \overline{g} \sqrt{\left(\frac{|\overline{\Delta l}|}{l}\right)^2 + \left(\frac{2|\overline{\Delta \tau}|}{\tau}\right)^2}, \quad (4)$$

kde \overline{g} jsme označili naměřenou hodnotu tíhového zrychlení.

Při dosazování do (4) volíme chybu měření časového intervalu pomocí stopek 0,1 s; chybu měření délky l podle použitého měřidla (půl nejmenšího dílku).

Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 4.2.1 Měření tíhového zrychlení matematickým kyvadlem, s. 54-57.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1983. 2.1.6.3 Měření tíhového zrychlení z doby kyvu kyvadla, s. 107-109.

MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření*. Praha: SNTL, 1991. 2.6 Tíhové zrychlení, s. 94-97.

Úkol č. 2: Změřte tíhové zrychlení reverzním kyvadlem.

Pomůcky

Reverzní kyvadlo (fyzické kyvadlo se dvěma posuvnými břity), pásmo, stopky.

Teorie

Reverzní kyvadlo je fyzické kyvadlo schopné otáčení kolem dvou rovnoběžných os procházejících břity, jejichž vzájemnou vzdálenost l lze měnit. Úkolem je nalézt takovou polohu břítů, aby doba kyvu τ při kývání kolem rovnoběžných os procházejících těmito břity byla stejná*. Pak je vzdálenost obou břítů totožná s tzv. redukovanou délkou fyzického kyvadla l_r ($l \equiv l_r$), což je délka matematického kyvadla se stejnou dobou kyvu τ . Tíhové zrychlení se pak určí ze vztahu (2) pro matematické kyvadlo, do něhož se dosadí veličiny l_r a τ

$$g = \pi^2 \frac{l_r}{\tau^2}. \quad (5)$$

Postup měření

1. Polohu prvního břitu volíme pevně na kraji kyvadlové tyče. Změříme čas potřebný pro 20 kyvů kyvadla vůči ose procházející prvním břitem a odtud určíme dobu jednoho kyvu τ_1 .
2. Počáteční polohu druhého břitu zvolíme blízko těžiště kyvadla (ve středu tyče), další polohy postupně stále dále od prvního břitu až ke druhému konci kyvadlové tyče. Pro každou polohu druhého břitu změříme vzdálenost l obou břítů a dobu kyvu τ_2 kyvadla kolem druhého břitu. Doby kyvu určujeme opět z času potřebného pro 20 kyvů.
3. Vyneseme do grafu závislost τ_2 na l . Interpolací nalezneme takovou vzdálenost l_r , pro kterou $\tau_2 \approx \tau_1$.
4. Naměřené hodnoty l_r , τ_1 dosadíme do vztahu (5).
5. Srovnáme vypočtenou hodnotu tíhového zrychlení s hodnotou z předešlého úkolu**.

Chyba měření

Chybu měření vyhodnotíme stejně jako v úkolu č. 1 (za τ dosadíme do vztahu (4) dobu kyvu τ_1 , za l vzdálenost břítů l_r). Chybu danou interpolací z grafu zanedbáme.

* Takové polohy jsou obecně čtyři. My budeme hledat dvě polohy umístěné vůči těžišti v opačných směrech a asymetricky.

** Naměřené závěrečné doby kyvu τ_1 a τ_2 by měly být v chybovém intervalu kolem aritmetického průměru

$\tau = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$. Pokud tomu tak není, je nutné najít přesnější polohu druhého břitu.

Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I.* 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 4.2.2 Měření tíhového zrychlení reverzním kyvadlem, s. 57-61.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I.* 1. vyd. Praha: SPN, 1983. 2.1.6.3 Měření tíhového zrychlení z doby kyvu kyvadla, s. 107-109.

MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření.* Praha: SNTL, 1991. 2.6 Tíhové zrychlení, s. 94-97.