

## 60. ročník Fyzikálnej olympiády v školskom roku 2018/2019

### celoštátne kolo kategórie A

Trenčín 13. 4. 2019

Text experimentálnej úlohy

#### Meranie intenzity tiažového poľa Zeme

Intenzita tiažového poľa (tiažové zrýchlenie) závisí od intenzity gravitačného poľa v danom mieste a intenzity zotrvačných síl vznikajúcich v dôsledku otáčania Zeme okolo svojej osi. Intenzita tiažového poľa je ovplyvnená zložitým tvarom Zeme, ako aj zložením zemskej kôry pod daným miestom. Jej presné meranie sa využíva napr. pri hľadaní podzemných ložísk rúd rôznych kovov, zemného plynu a pod.

Úlohou je čo najpresnejšie zmerať tiažové zrýchlenie v Trenčíne. K najpresnejším metódam merania patrí meranie času. Používaná metóda reverzného kyvadla vychádza z merania doby kmitu fyzikálneho kyvadla.

#### Teoretický úvod

Fyzikálne kyvadlo je teleso, ktoré sa môže voľne otáčať okolo vodorovnej osi, ktorá neprechádza jeho ťažiskom. Perióda malých kmitov – doba kmitu kyvadla, je daná vzťahom

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + m a^2}{m g a}}, \quad (1)$$

kde  $I_0$  je moment zotrvačnosti kyvadla vzhľadom na os rovnobežnú s osou otáčania a prechádzajúcou ťažiskom kyvadla,  $m$  hmotnosť kyvadla,  $g$  veľkosť tiažového zrýchlenia,  $a$  vzdialenosť ťažiska od osi otáčania kyvadla.

#### 1. úloha

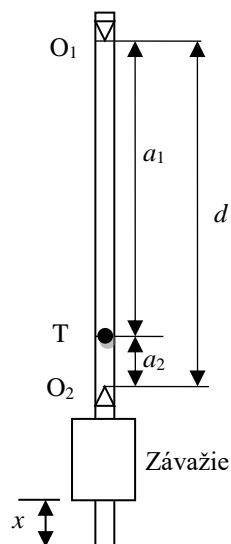
Odvodte vzťah (1). Čo znamená predpoklad „malých kmitov“?

Priame využitie vzťahu (1) na určenie  $g$  poskytuje malú presnosť, keďže je problematické presne určiť  $I_0$  pre konkrétne teleso. Na vylúčenie tejto veličiny využijeme skutočnosť, že kyvadlo môže kmitať s rovnakou dobou kmitu  $T$  okolo dvoch rôznych osí  $O_1$ ,  $O_2$  s nerovnakými vzdialenosťami  $a_1 \neq a_2$  od ťažiska T, obr. A-1.

#### 2. úloha

Dokážte, že dobu kmitu kyvadla vyjadruje vzťah

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a_1 + a_2}{g}}. \quad (2)$$



Obr. A-1

Aby sa zredukovala nepresnosť merania vzdialeností  $a_1$ ,  $a_2$ , umiestnia sa na kyvadlo (kovovú tyč) dve osi (trojuholníkové brity)  $O_1$ ,  $O_2$  nesymetricky vzhľadom na ťažisko  $T$ , pričom body  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $T$  ležia na jednej priamke. Na kyvadle je umiestnené závažie, ktoré možno posúvať a tým meniť polohu ťažiska  $T$  kyvadla. Závažie treba nastaviť do polohy, pre ktorú sú doby kmitu okolo osí  $O_1$  a  $O_2$  rovnaké. Takto nastavené kyvadlo sa nazýva *reverzné kyvadlo*. Výhoda je v tom, že namiesto problematického určenia dvoch vzdialeností  $a_1$ ,  $a_2$  stačí zmerať jednu vzdialenosť  $d = a_1 + a_2$ , čím sa zníži chyba merania. Vzdialenosť  $d$ , ktorá spĺňa túto podmienku, sa nazýva *redukovaná dĺžka reverzného kyvadla*.

### Experiment

Pomôcky: Kyvadlo s dvoma britmi a posuvným závažím, obr. A–1, stopky, meradlo dĺžky.

### 3. úloha

Zmerajte čo najpresnejšie vzdialenosť  $d$  britov a odhadnite chybu merania.

### 4. úloha

Nastavte závažie tak, aby vzniklo reverzné kyvadlo.

Postup: Posúvajte postupne závažie. Pre každú polohu závažia určte posunutie  $x$  a doby kmitu  $T_1$  a  $T_2$  okolo osí  $O_1$ ,  $O_2$ . Namerané hodnoty zaznamenajte do tabuľky. Do jedného grafu znázorníte doby kmitu  $T_1(x)$ ,  $T_2(x)$  ako funkcie posunutia  $x$  závažia. Doby kmitu určte napr. z počtu 20 kmitov, t. j. hodnoty  $20 T$ . Rozsah posúvania zvolte tak, aby sa oba priebehy pretínali. Z grafu určte posunutie  $x_0$ , ktoré zodpovedá nastaveniu reverzného kyvadla.

### 5. Určenie doby kmitu reverzného kyvadla

Presnú hodnotu  $T_R$  doby kmitu reverzného kyvadla určte pomocou lineárnej interpolácie. Závažie nastavte najprv do polohy  $x_1$  o málo menšej ako  $x_0$  a potom do polohy  $x_2$  o málo väčšej ako  $x_0$ . Pre obe polohy merajte čo najpresnejšie (min. z 50 kmitov) doby kmitu  $T_{11}$ ,  $T_{12}$ ,  $T_{21}$ ,  $T_{22}$ . Pomocou týchto hodnôt určte dobu kmitu  $T_R$  reverzného kyvadla. Príslušný vzťah odvoďte.

### 6. úloha

Určte hodnotu  $g$  tiažového zrýchlenia a určte odchýlku získaného výsledku.

*Pozn. 1: Predpokladajte, že presnosť merania dĺžky dĺžkovým meradlom je  $\Delta l = \pm 0,5$  mm a presnosť merania časového intervalu stopkami  $\Delta t = \pm 0,2$  s.*

*Pozn. 2: Hodnotí sa aj dodržiavanie pravidiel vytvárania tabuliek a konštrukcie grafov.*