

7.10 Stanovení místního tíhového zrychlení reverzním kyvadlem

Fyzické kyvadlo kývá se stejnou dobou kmitu T kolem dvou rovnoběžných os ležících v rovině jdoucí těžistěm ve dvou případech: (i) osy jsou symetricky položené vzhledem k těžišti (jinak libovolně vzájemně vzdálené) nebo (ii) osy jsou nesymetricky položené vzhledem k těžišti a vzájemně vzdálené o tzv. redukovanou délku L_r fyzického kyvadla. V tomto druhém případě se z fyzického kyvadla stává reverzní, neboť umožňuje ekvivalentní kývání (se stejnou dobou kmitu) kolem obou nesymetricky položených os — jak s těžištem v dolní poloze, kdy je závěs na vzdálenější ose od těžistě (první poloha), tak s těžištem v horní poloze, kdy je závěs na bližší ose k těžišti (druhá, obrácená, tzv. reverzní poloha). Pro experimentální využití je případ reverzního kyvadla zvláště důležitý, neboť umožňuje snadno stanovit dobu kmitu, a to pomocí stejného vzorce jako u matematického kyvadla, ve kterém za délku závěsu dosazujeme redukovanou délku L_r

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L_r}{g}}, \quad (134)$$

kde g je gravitační zrychlení.

Fyzická kyvadla, používaná v laboratořích, mohou mít různá provedení. V praxi budeme používat fyzické kyvadlo v podobě tyče se dvěma rovnoběžnými břity (osami kývání) vzdálenými o pevnou vzdálenost L (viz obrázek). Na jednom konci tyče je upevněna těžká kovová čochka, která je posunovatelná. Posun čochky se děje podél stupnice určující polohu x čochky na tyči.

Princip měření spočívá v nalezení takové polohy čochky x_∞ , kdy bude příslušná doba kmitu stejná pro oba břity, tj. pro obě osy kývání $T_1(x_\infty) = T_2(x_\infty) = T_\infty$. Pouze v tomto případě se stane z fyzického kyvadla reverzní s redukovanou délkou L , takže hledané gravitační zrychlení g může být vyjádřeno na základě vztahu (134)

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T_\infty^2}. \quad (135)$$

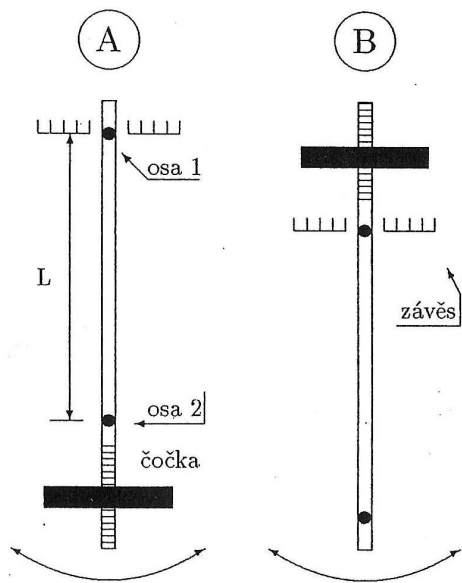
Pro určení polohy x_∞ budeme používat postupné grafické interpolace, jejímž základem je graf závislosti doby kmitu fyzického kyvadla na poloze čochky. Pro dvě osy kývání tak dostáváme dva grafy $T_1(x)$ a $T_2(x)$ (viz obrázek), jejichž průsečík nás přiblíží k hledaným hodnotám (x_∞, T_∞).

Úkol: Zjistěte hodnotu místního tíhového zrychlení pomocí reverzního kyvadla.

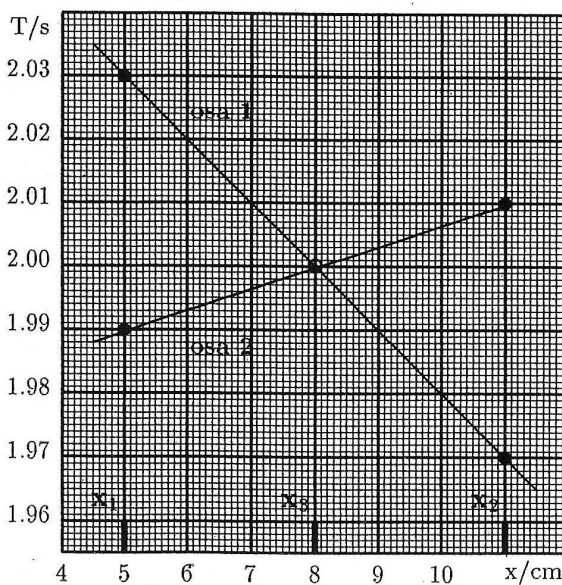
Pomůcky:

- Reverzní kyvadlo.
- Digitální stopky.

Postup měření:



Reverzní kyvadlo
A – základní poloha, B – reverzní poloha



Grafická interpolační metoda

První grafická interpolace

- Poznamenejte si hodnotu L uvedenou na vývěsce v laboratoři.
- Čočku nastavte přibližně do jedné třetiny stupnice — poloha x_1 . Změřte dobu 50 kmitů kolem obou os a запиšte do tabulky 15. Rozkmit kyvadla volte menší než 5° .
- Čočku nastavte přibližně do dvou třetin stupnice — poloha x_2 . Změřte dobu 50 kmitů kolem obou os a časy запиšte do tabulky 15.
- Na milimetrový papír sestrojte grafy $T_1(x)$, $T_2(x)$, najděte jejich průsečík x_3 , nastavte do něj čočku a změřte dobu 50 kmitů kolem obou os. Získané hodnoty запиšte opět do tabulky 15. Liší-li se doby padesáti kmitů v průsečíku x_3 o méně než 0.5 s, můžete ukončit měření. V opačném případě pokračujte následujícím bodem e).

Druhý krok grafické interpolace

- Posuňte čočku do blízkého okolí polohy x_3 , tj. do nové polohy x_4 . Také v nové poloze změřte doby padesáti kmitů kolem obou os a запиšte si je.
- Sestrojte nové grafy $T_1(x)$ a $T_2(x)$ z hodnot ve třetí x_3 a čtvrté poloze x_4 čočky. Najděte nový průsečík x_5 a změřte v něm doby padesáti kmitů kolem obou os. Je-li nyní difference mezi těmito

Tabulka 15: Tabulka pro záznam měření.

| n | x/cm | První osa | | Druhá osa | |
|----|---------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
| | | $50 T_1/\text{s}$ | T_1/s | $50 T_2/\text{s}$ | T_2/s |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| .. | .. | .. | .. | .. | .. |

dobami padesáti kmitů menší než 0.5 s, ukončete měření. V záporném případě pokračujte třetím krokem grafické interpolace. Pečlivě provedená měření a zpracování do grafů však ve většině případů povedou k nalezení uspokojivé polohy čočky již během první interpolace.

Zpracování naměřených údajů:

- Pracovní grafy $T_1(x)$ a $T_2(x)$, použité při měření, upravte do čistopisné podoby.
- Vypočítejte gravitační zrychlení g podle vztahu (135) a za čas T_∞ dosaďte aritmetický průměr $(T_\infty \approx (T_1 + T_2)/2)$ z dob kmitů v průsečíku, který vyhověl diferenčnímu časovému kritériu ($50 \Delta T < 0.5 \text{ s}$).
- Vypočítejte absolutní a relativní chybu výsledku a porovnejte s fyzikálními tabulkami.