

Reverzní kyvadlo

Teorie

Zrychlení hmotného bodu g je definováno jako derivace rychlosti v podle času t , tj.

$$g = \frac{dv}{dt}. \quad (1)$$

Nejjednodušší postup při měření tíhového zrychlení je přímé vyšetřování volného pádu. Dráha s tělesa vypuštěného v zemském tíhovém poli s nulovou počáteční rychlostí narůstá s časem t podle zákona

$$s = \frac{1}{2}gt^2. \quad (2)$$

Změříme-li dobu t , kterou těleso potřebuje k proběhnutí dráhy s , platí pro tíhové zrychlení

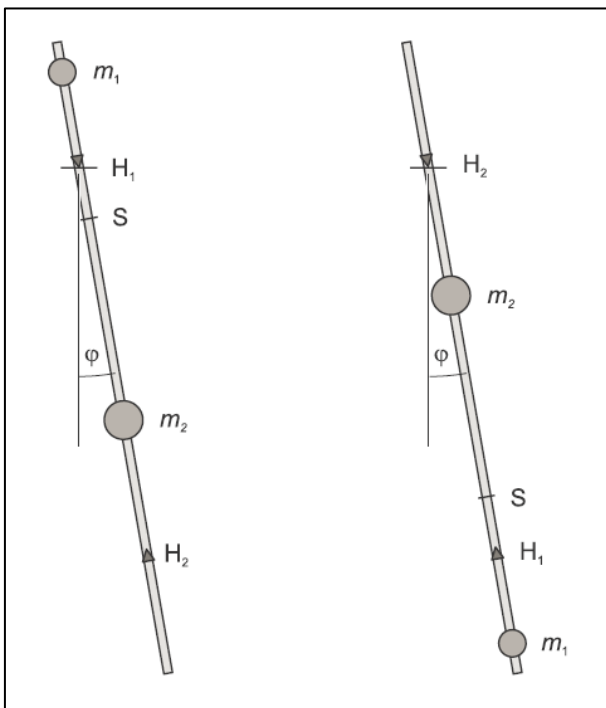
$$g = \frac{2s}{t^2}. \quad (3)$$

Další možností je měření tíhového zrychlení pomocí reverzního kyvadla. Reverzní kyvadlo je v našem případě tyč s dvěma rovnoběžnými břitzy (H_1 a H_2) vzdálenými o pevnou vzdálenost L . V blízkosti jednoho konce tyče je upevněna jedna kovová čočka o hmotnosti $m_1 = 1000$ g, aby bylo dosaženo nesymetrického rozložení hmotnosti vůči břitům. Dále je reverzní kyvadlo vybaveno posuvnou kovovou čočkou o hmotnosti $m_2 = 1400$ g. Posunováním druhé čočky dosáhneme toho, že nalezneme polohu, kdy kyvadlo kývá kolem obou os (H_1 a H_2) se stejnou dobou kmitu T , obr. 1. V tom případě tíhové zrychlení g vypočteme z rovnice

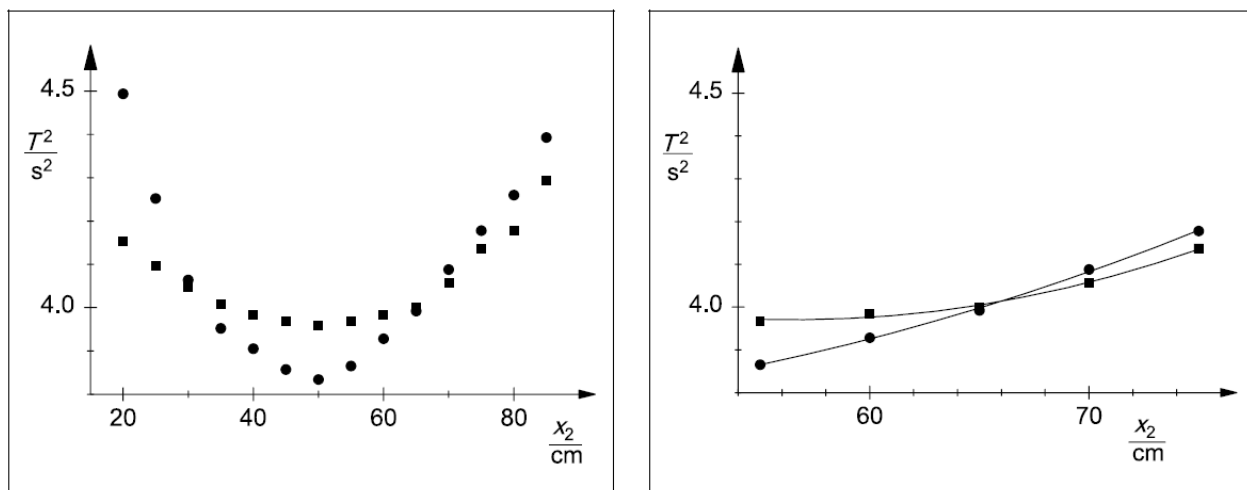
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (4)$$

Pro určení polohy čočky, při níž kyvadlo kývá kolem obou os H_1 i H_2 se stejnou dobou kyvu použijeme grafickou interpolaci. Sestrojíme graf (podobně jak na obr. 2), na jehož osu x vynášíme polohu čočky a na osu y vyneseme jednak dobu kmitu pro reverzní kyvadlo kývající se kolem osy H_1 a jednak dobu kmitu kyvadla kývající se kolem osy H_2 .

Spojíme body odpovídající dobám kmitu kolem stejné osy. Dostáváme dvě křivky. Y-ová hodnota bodu, v kterém se obě závislosti protnou, je doba kmitu, která je stejná pro obě možnosti zavěšení reverzního kyvadla. Tuto hodnotu dosadíme do rovnice (4) pro výpočet tíhového zrychlení g . X-ová hodnota bodu odpovídá poloze posuvné čočky, při které reverzní kyvadlo kýve se stejnou dobou kmitu pro obě možnosti zavěšení kyvadla.



Obrázek 1: Možnosti zavěšení reverzního kyvadla



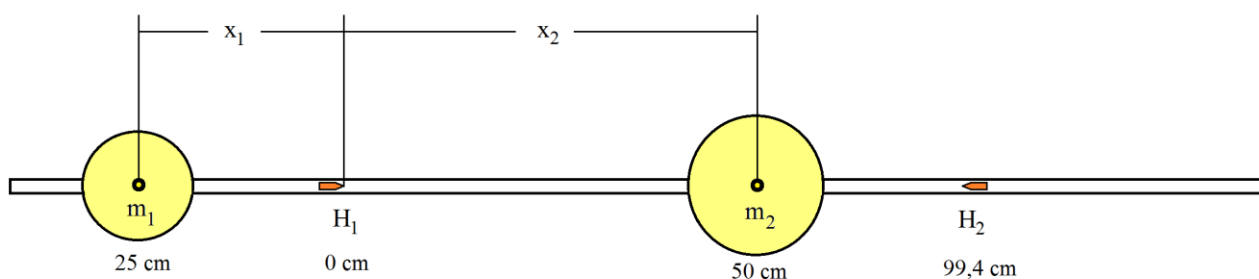
Obrázek 2: Grafická metoda pro určení polohy čocky reverzního kyvadla

Úkol

Určete velikost gravitačního zrychlení pomocí reverzního kyvadla.

Pomůcky:

sestava pro práci s reverzním kyvadlem (viz obr. 1) obsahující reverzní kyvadlo, držadlo na reverzní kyvadlo, čítač, spojovací drát, světelná závora, vodováha



Obrázek 3: Schéma reverzního kyvadla

Postup:

- 1) Zkontrolujte, že na vašem pracovišti jsou k dispozici všechny pomůcky. Zkontrolujte zapojení světelné brány do čítače. Čítač zapněte zapojením do sítě.
- 2) Nastavte čocky (tzn. závaží) reverzního kyvadla (dále jen kyvadlo) do výchozí polohy tak, že vzdálenost středu menší čocky o hmotnosti $m_1 = 1000 \text{ g}$ od osy otáčení H_1 bude $x_1 = 25 \text{ cm}$ a vzdálenost středu větší čocky o hmotnosti $m_2 = 1400 \text{ g}$ od osy otáčení H_1 bude $x_2 = 50 \text{ cm}$ (viz obrázek 1). Změřte vzdálenost L .
- 3) Zavěste kyvadlo na držák tak, aby se otáčelo kolem osy H_1 .
- 4) Na čítači nastavte otáčecí knoflík do pozice N_A (ruka). Na displeji se objeví nápis 120. Potvrďte stisknutím tlačítka RESET. Objeví se 0.
- 5) Spodní část kyvadla vychylte cca 5 cm od světelné brány. Dbejte na to, aby vychýlení proběhlo pouze ve směru rovnoběžném s deskou, na níž je upevněn držák na kyvadlo.

- 6) Uvolněte kyvadlo. Rozkývané kyvadlo pozorujte, a co nejdříve proved'te spuštění měřidel takto: Jakmile bude kyvadlo procházet stádiem, kdy je kolmo k zemi (právě prochází bránou), spust'te počítání kmitů na čítači stisknutím tlačítka START a zároveň spust'te měření stopkami.
- 7) Po proběhnutí 50 kyvů (tzn., na displeji se objeví 100) zastavte měření času na stopkách. **Nezastavujte kyvadlo!**
- 8) Zapište dobu trvání 50 kmitů ($50 \cdot T_1$ s) do tabulky 1.
- 9) Na čítači nastavte otáčecí knoflík do pozice T_A  - doba kmitu kyvadla. Poté zapněte měření stisknutím tlačítka START. Čítač nyní udává uplynulý čas v každých třech přerušeních světelného paprsku. Sledujte hodnotu po dobu cca 9 kmitů. Průměrnou hodnotu zapište do tabulky 1. Měření vypnete stisknutím tlačítka STOP.
- 10) Zastavte kyvadlo.
- 11) Otočte kyvadlo a zavěste ho na držák tak, aby se otáčelo kolem osy H_2 .
- 12) Opakujte body 4 až 8, zapište dobu trvání 50 kmitů ($50 \cdot T_2$ s) do tabulky 1.
- 13) Upravte pozici větší čočky tak, aby vzdálenost $x_2 = 55$ cm.
- 14) Opakujte měření podle bodů 3 až 10.
- 15) Postupně měňte vzdálenost x_2 podle předepsaných hodnot v tabulce 1.
- 16) Sestrojte graf závislost druhé mocniny doby kmitu T_1^2 a T_2^2 na poloze posuvné čočky reverzního kyvadla pro obě možnosti zavěšení kyvadla. Najděte průsečík obou závislostí, hodnotu průsečíku na ose y (shodná doba kmitu pro obě možnosti zavěšení kyvadla) dosad'te do vztahu (4) a vypoč'tete tíhové zrychlení.
- 17) Vypoč'tejte tíhové zrychlení obdobným způsobem jako v předchozím bodě, avšak do grafu za y-ové hodnoty dosad'te druhou mocninu doby kmitu, která byla přímo měřena čítačem, tj. T_{A1}^2 a T_{A2}^2 .
- 18) Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data, výpočty a grafy. Na závěr shrňte výsledky svého snažení a diskutujte možné chyby měření.

Tabulka 1: Tabulka pro zapisování naměřených hodnot

x_2 (cm)	$50 \cdot T_1$ (s)	T_1^2 (s ²)	T_{A1} (s)	$50 \cdot T_2$ (s)	T_2^2 (s ²)	T_{A2} (s)
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						
65						
70						
75						
80						
85						