

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM I

Úloha č.: XXI

Název: Měření tíhového zrychlení

Vypracovala: stud. sk. dne: 31.10.03.....

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

I. Pracovní úkol

- I. Změřte místní tíhové zrychlení g metodou reverzního kyvadla
- II. Změřte místní tíhové zrychlení g metodou matematického kyvadla
- III. Vypočtěte chybu, které se dopouštíte idealizací reálného kyvadla v rámci modelu kyvadla matematického

II. Teorie

A. Fyzické kyvadlo

Fyzické kyvadlo je těleso kývající se kolem osy neprocházející těžištěm.

Pro dobu kmitu T platí:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}} \left[1 + \frac{1}{4} \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad (1)$$

I moment setrvačnosti kyvadla vzhledem k ose otáčení

m hmotnost kyvadla

g tíhové zrychlení

d vzdálenost těžiště od osy

α úhel maximální výchylky

Pro malé α (menší než 5°) lze napsat:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}} \quad (2)$$

Pro matematické kyvadlo platí:

$$I = ml^2 \quad (3)$$

l délka závěsu

Potom (2) přejde na:

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

Vyjádříme g :

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (5)$$

Pro těžkou kuličku na niti se idealizací dopouštíme chyb. Kulička není hmotný bod.

$$I_k = \frac{2}{5} m_k r^2 \quad (6)$$

I_k moment setrvačnosti koule vzhledem k těžišti

m hmotnost koule

r poloměr koule

Závěs není nehmotný.

$$I_z = \frac{1}{12} m_z l^2 \quad (7)$$

I_z moment setrvačnosti závěsu (tyče) vzhledem k těžišti

m_z hmotnost závěsu

Ze Steinerovy věty:

$$I = I_0 + m a^2 \quad (8)$$

I moment setrvačnosti vzhledem k ose otáčení

I_0 moment setrvačnosti vzhledem k těžišti

m hmotnost

a vzdálenost osy otáčení a těžiště

$$I_c = m_k \left(\frac{2}{5} r^2 + l^2 \right) + \frac{1}{3} m_z l^2 \quad (9)$$

I_c celkový moment setrvačnosti vzhledem k ose otáčení

Z (2) a (9) po úpravě plyne:

$$g = \frac{4\pi^2 I_c}{T^2 l (m_k + m_z)} \quad (10)$$

B. Reverzní kyvadlo

Jsou-li u fyzického kyvadla dvě rovnoběžné osy ležící v rovině procházející těžištěm, od sebe vzdáleny o redukovanou délku kyvadla (l_r), potom doba kmitu kolem obou os je stejná a platí pro ni (4), kde $l = l_r$.

V našem uspořádání jde o tyč se dvěma rovnoběžnými břity s pevnou vzdáleností D . Na jednom konci je posuvná těžká kovová čočka. Jejím posouváním lze dosáhnout stejné doby

kmitu podle obou os. Potom bude platit, že $D = l_r$. K určení žádoucí polohy čochy použijeme metody grafické interpolace.

Metoda grafické interpolace spočívá v sestrojení grafu, kde na osu x se vynáší poloha čochy l_r a na osu y odpovídající doba kmitu kyvadla. Tento postup se opakuje, tak dlouho než doby kmitu kyvadla pro jednotlivé osy jsou stejné.

III. Výsledky měření

A. Matematické kyvadlo

délka provázku $l_p = (101,0 \pm 0,1) \text{ cm}$

délka háčku $l_h = (0,5 \pm 0,1) \text{ cm}$

délka závěsu $l_{zm} = (101,5 \pm 0,2) \text{ cm}$

tab. 1 – doba kmitu										
č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10T [s]	20,3057	20,3211	20,3000	20,3101	20,3072	20,3044	20,3024	20,3036	20,3023	20,3031

doba kmitu $T = (2,0306 \pm 0,0002) \text{ s}$

tíhové zrychlení $g = (9,72 \pm 0,02) \text{ m.s}^{-2}$, relativní chyba je 0,2%

B. Fyzické kyvadlo

tab. 2 – průměr koule					
č. m.	1	2	3	4	5
d [mm]	23,3	23,3	23,1	23,3	23,2

poloměr koule $r = (11,6 \pm 0,1) \text{ mm}$

hmotnost koule $m_k = (55,539 \pm 0,001) \text{ g}$

délka závěsu $l_{zf} = l_h + l_p + r = (102,66 \pm 0,22) \text{ cm}$

hmotnost závěsu $m_z = (131,9 \pm 0,1) \text{ mg}$

tíhové zrychlení $g = (9,8 \pm 0,2) \text{ m.s}^{-2}$, relativní chyba je 2%

C. Reverzní kyvadlo

tab. 3 – doba kmitu reverzního kyvadla		
č. m.]	10T [s] při poloze čočky pod osou	10T [s] při poloze čočky nad osou
1	20,0400	20,0243
2	20,0364	20,0234
3	20,0373	20,0229
4	20,0415	20,0221
5	20,0408	20,0203
6	20,0409	20,0207
7	20,0393	20,0200
8	20,0415	20,0298
9	20,0394	20,0282
10	20,0374	20,0290

doba kyvu reverzního kyvadla s čočkou pod osou otáčení $T = (2,00395 \pm 0,00006) \text{ s}$

doba kyvu reverzního kyvadla s čočkou nad osou otáčení $T = (2,0024 \pm 0,0001) \text{ s}$

doba kyvu reverzního kyvadla $T = (2,0032 \pm 0,0001) \text{ s}$

vzdálenost břitů $l_r = (99,6 \pm 0,1) \text{ cm}$

vzdálenost čočky $l_c = 69,75 \text{ mm}$

tíhové zrychlení $g = (9,80 \pm 0,01) \text{ m.s}^{-2}$

IV. Diskuse

Rozdíl tíhového zrychlení měřeného pomocí fyzického kyvadla a tíhového zrychlení aproximovaného modelem matematického kyvadla je $\Delta g = 0,09 \text{ m.s}^{-2}$, tj. relativní chyba 0,9%. Tato aproximace je možná v rámci chyby fyzického kyvadla. Tíhové zrychlení vypočtené pomocí modelu matematického kyvadla se liší od tabelované hodnoty ($g = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$) a to o více, než je chyba tohoto měření. Z toho je zřejmé, že toto přiblížení v sobě obsahuje zkreslení.

Největším zdrojem chyb u měření pomocí fyzického kyvadla je určení poloměru koule. Poloměr se navíc vyskytuje v druhé mocnině. Další nepřesností je zanedbání háčku, jehož hmotnost byla započítána do hmotnosti koule. Ostatní chyby již jsou téměř zanedbatelné.

Tíhové zrychlení vypočtené metodou reverzního kyvadla se shoduje s tabelovanou hodnotou. Přesnost je dostatečná, další zpřesnění je možné provedením ještě dalších kroků grafické interpolace.

V. Závěr

Výsledné hodnoty tíhového zrychlení:

- ♦ pomocí matematického kyvadla $g = (9,72 \pm 0,02) \text{ m.s}^{-2}$
- ♦ pomocí fyzického kyvadla $g = (9,8 \pm 0,2) \text{ m.s}^{-2}$
- ♦ pomocí reverzního kyvadla $g = (9,80 \pm 0,01) \text{ m.s}^{-2}$.

Chyba, které jsme se dopustili idealizací matematického kyvadla je 0,9%.

VI. Použitá literatura

Úvod do teorie fyzikálních měření, Boris Sprušil, Pavla Zieleniecová, SPN, Praha, 1986

Fyzikální praktikum I., D. Slavínská, I. Stulíková, P. Vostrý, SPN, Praha, 1989

Fyzikální a matematické tabulky, J. Brož a kol., SNTL, Praha, 1980