

Michal Červeňák

datum merania: 10.10. 2016

skupina: 4

Klasifikace:

1 Pracovní úkol

1. DU: V přípravě odvoďte vztah pro výpočet relativní chyby měření G a zamyslete se, jak vypadá chyba periody kmitu T a chyba rozdílu vzdáleností rovnovážných poloh S .
2. Ve spolupráci s asistentem zkontrolujte, zda je torzní kyvadlo horizontálně vyrovnané. (20 min)
3. Pomocí torzního kyvadla změřte gravitační konstantu. Do protokolu přiložte graf naměřených dat včetně odchylek a nafitované funkce. Diskutujte, zda bylo kyvadlo rotačně vyrovnané.

2 Postup merania

1. Najskôr bola aparátúra horizontálne vyrovnaná a dôkladne skontrolované jej vyváženie.
2. Bolo skontrolované zemnenie aparátúry.
3. Následne boli na držiaky osadené gule, a prítlačné na doraz do prvej polohy.
4. Aparátúra sa odaretovala a nechala sa kmitať dokedy sa pri kmitoch neprestali guľičky dotýkať od stien.
5. Podobu ~ 3 kmitov sa zaznamenávala zmena výchylky laserového paprsku na čase, v našom prípade každých 20 s.
6. Gule boli otočné do druhej polohy a opakovalo sa meranie pre 3 kmity.

3 Pomôcky

Torzné kyvadlo, zemniacé káble, radiátor, laser, ochranné okuliare, podstavec pod laser, stopky, meracie pásmo, meter.

4 Teória

Newtonov gravitačný zákon

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

hovorí, že gravitačná sila medzi dvoma telesami je priamo úmerná ich hmotnostiam m_1 a m_2 , a nepriamo štvorci vzdialenosti r . Pričom G je gravitačná konštanta, ktorá udáva veľkosť interakcie.

Zo vzorcov pre torzné kyvadlo a gravitačného zákona sa dá odvodiť vzorec

$$G = \frac{\pi^2 b^2}{m_2 d} \frac{d^2 + \frac{2}{5} r^2}{\left(1 - \frac{b^3}{b^2 + 4d^2}^{3/2}\right)} \frac{S}{T^2 L}, \quad (1)$$

pričom

$$r = 9,55 \text{ mm},$$

$$d = 50,7 \text{ mm},$$

$$b = 45 \text{ mm},$$

$$S = S^2 - S^1,$$

$$m_2 = 1,24 \text{ kg}.$$

Vzťah pre tlmené harmonické kmity

$$f(t) = A \exp(-\delta t) \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} t + \sigma\right) + S^{1(2)}. \quad (2)$$

4.1 Spracovanie chýb merania

Vzorec 1 sa dá pre naše účely prepísať ako

$$G = \text{konst} \frac{S}{T^2 L},$$

z čoho môže odvodiť pre chybu merania

$$\frac{\Delta G}{|G|} = \frac{\Delta S}{|S|} + \frac{2\Delta T}{|T|} + \frac{\Delta L}{|L|}. \quad (3)$$

5 Výsledky merania

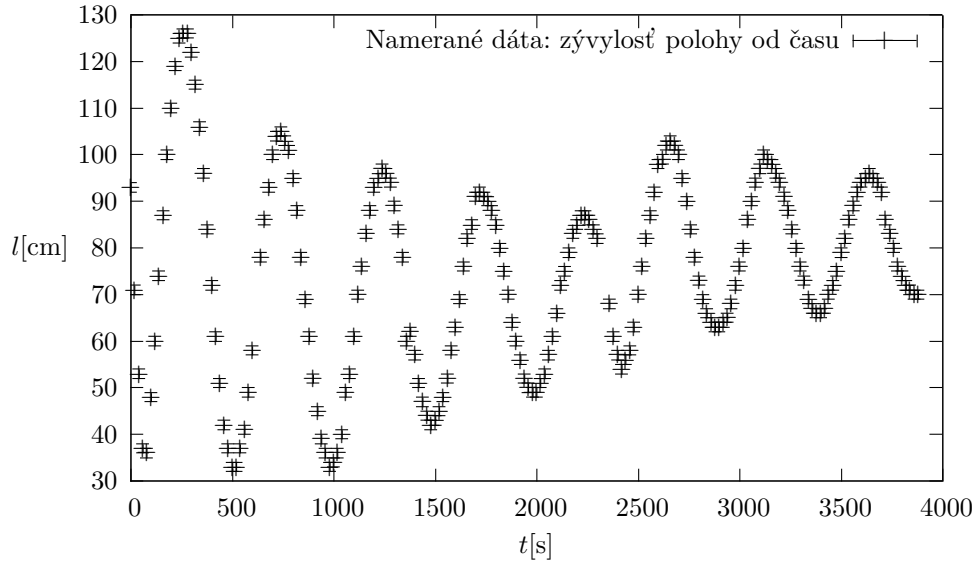
Namerané dáta sú vynesené do grafu Obr. 1. Následne pre obe polohy gulí boli dáta preložené závislosťou (2), a z nej zistené hodnoty

$$S^1 = (67,9 \pm 0,1) \text{ cm},$$

$$S^2 = (81,1 \pm 0,1) \text{ cm},$$

$$T = (493,4 \pm 6,1) \text{ s}.$$

Preloženie je v Obr. 2 a Obr. 3, a v Obr. 4 sú vykreslené spolu s dátami a fitmi aj hodnoty S^1 a S^2 .



Obr. 1: Namereané hodnoty výchylky na čase t

Metrom bola odmeraná hodnota $L = (586 \pm 5)$ cm, nepresnosť merania bola odhadnutá na 5 cm hlavne z dôvodu merania popri stene, teda nie kolmo na aparátúru. Nepresnosť určovania času pri meraní bola premietnutá do neistoty určovania polohy laseru, ktorá bola aj kvôli divergencií laserového zväzku určená na 1 cm.

Po dosadení do vzorca (1), bola dopočítaná hodnota $G = (8,21 \cdot 10^{-11}) \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$. Neistota merania bola určená podľa (3) ako $\Delta G = (0,86 \cdot 10^{-11}) \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

6 Diskusia

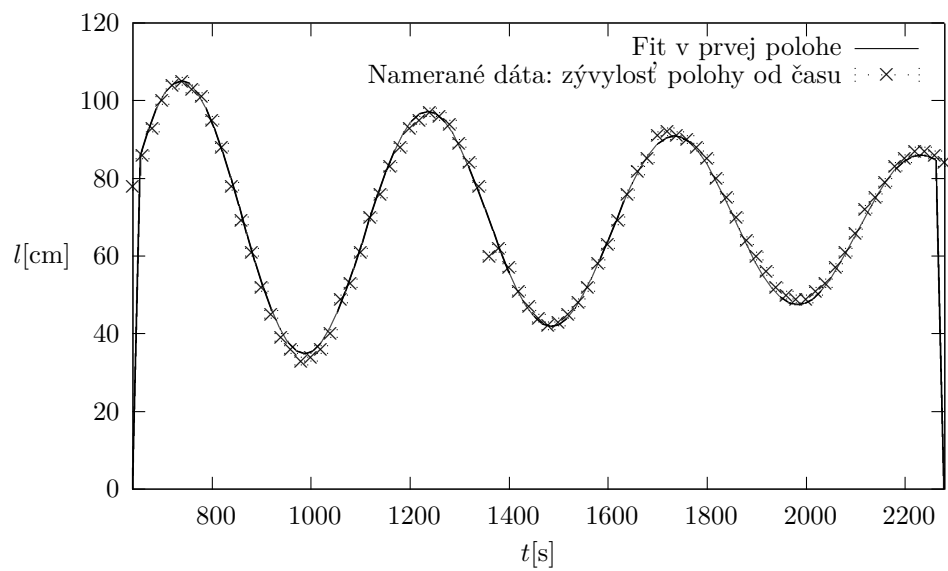
Hodnota nami odmeraného G sa rádovo zhoduje s tabuľkovým

$$G_{tab} = (6.67408 \pm 0,00031) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

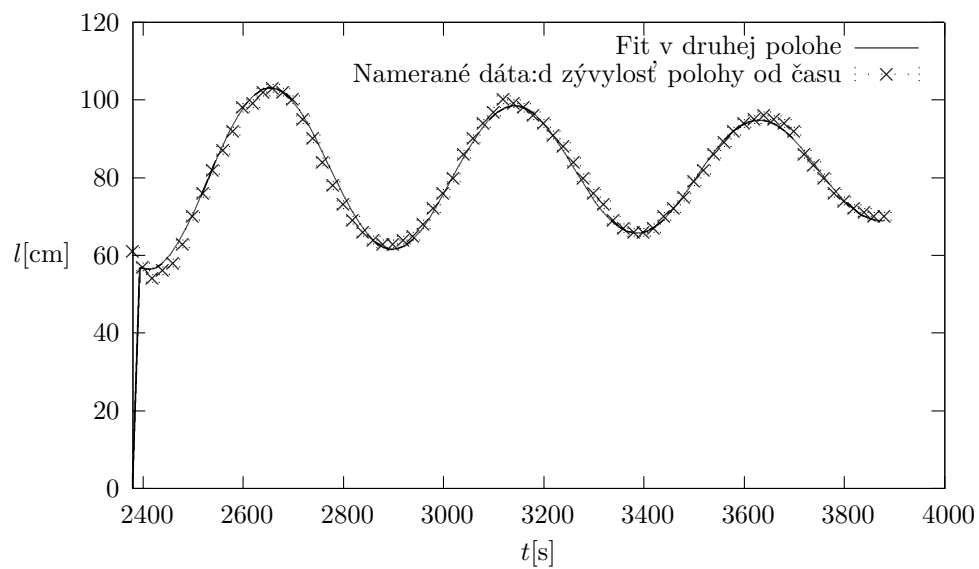
V prvej rade sa jedná o chybu pri zisťovaní dĺžky, či už vzdialenosti aparátúry od premietacej steny alebo určovaní polohy laseru. Najväčším zdrojom, s veľkým vplyvom bol, aj okolitých vplyv ostatných telies. Zemnenie „uzemnené“ o radiátor nie je, hlavne počas vykurovacieho obdobia, najlepšou voľbou. Ďalej nerovnosti na guliach vďaka, ktorým sa nedali narovnať k aparátúre, a predovšetkým nie dokonalé horizontálne vyváženie.

7 Záver

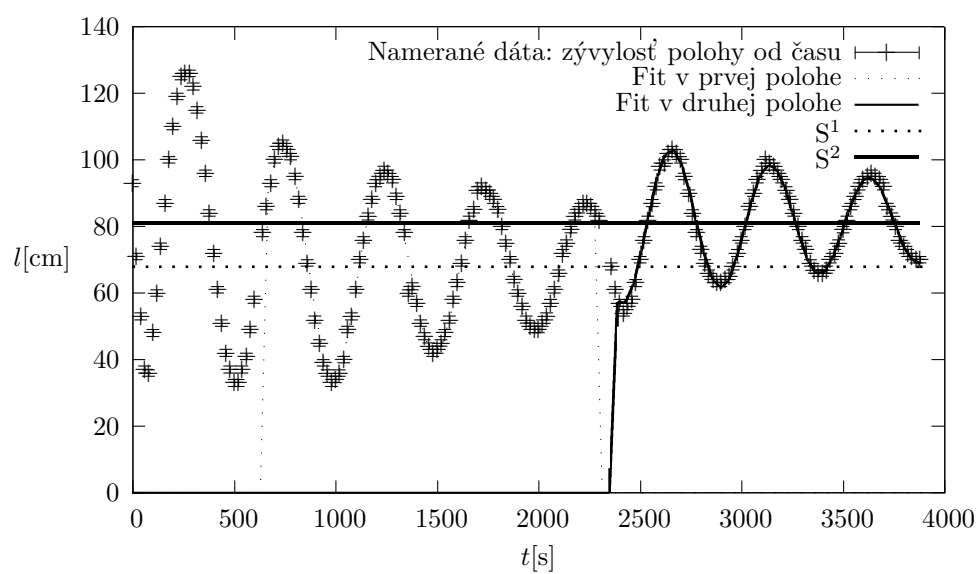
gravitačnú konštantu sme pomocou Cavendishového experimentu určili $G = (8,21 \cdot 10^{-11} \pm 0,86 \cdot 10^{-11}) \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.



Obr. 2: Fit dát pre prvú polohu gúľ



Obr. 3: Fit dát pre druhú polohu gúľ



Obr. 4: Vynesenie hodnôt S^1 a S^2