

NETLUMENÉ KMITÁNÍ

Pomůcky:

LabQuest, sonda čidlo polohy (sonar), těleso kmitající na pružině

Postup:

Těleso zavěšíme na pružinu, pod ní umístíme čidlo polohy a připojíme jej k LabQuestu. Nastavíme čas měření na 5 s a frekvenci měření na 50 Hz a rozkmitáme těleso zavěšené na pružině. Aby bylo měření přesnější, je vhodné udělit oscilátoru větší počáteční výchylku.

Při rozkmitávání tělesa zavěšeného na pružině je důležité, dodržet tyto zásady:

1. čidlo polohy musí být přesně pod kmitajícím tělesem;
2. těleso musí kmitat pouze ve svislém směru a nevzdalovat se v horizontálním směru příliš od čidla polohy;
3. těleso musí mít přesně definovaný spodní okraj, od kterého se odráží ultrazvukové vlnění vysílané sondou (v případě experimentu s pavoukem zobrazeným na obr. 1 měření velmi rušily jeho nohy svěšené dolů, proto bylo nutné je ohnout směrem nahoru).



obr. 1

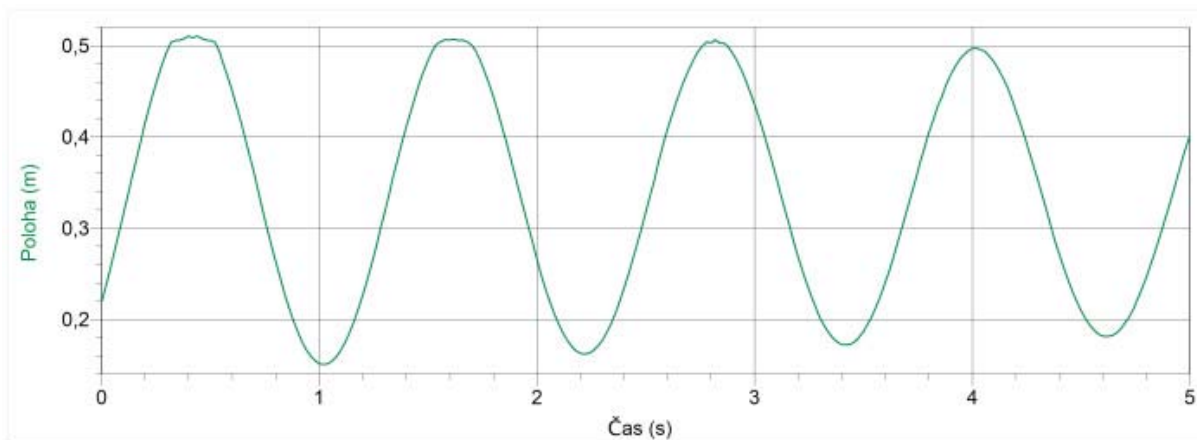
Graf závislosti okamžité výchylky kmitajícího tělesa na čase je zobrazen na obr. 2, graf závislosti velikosti okamžité rychlosti na čase je zobrazen na obr. 3. Ačkoliv byly grafy zaznamenány v reálném prostředí (ve vzduchu), za relativně krátkou dobu, po kterou měření probíhalo, se neprojevil odporové síly. Proto je možné kmitání považovat za netlumené.

Na základě těchto grafů řešte následující úlohy.

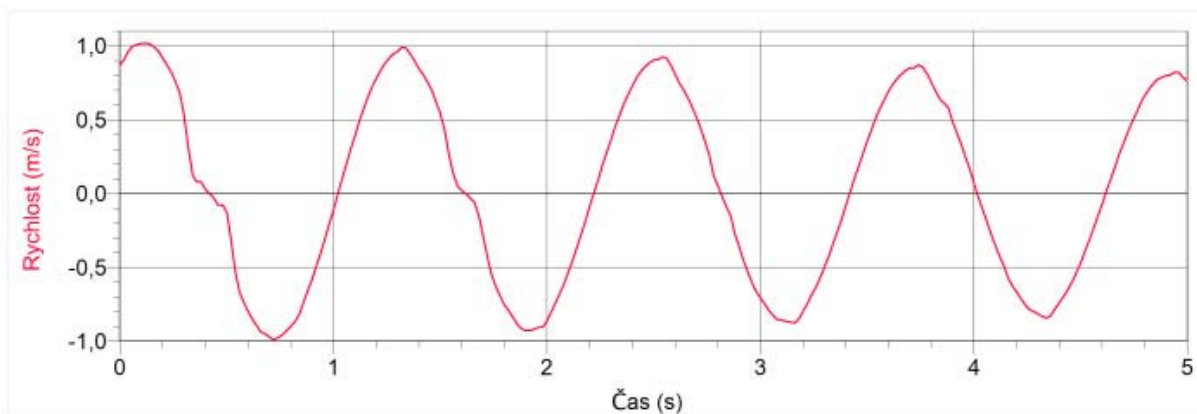
1. Určete periodu kmitání daného harmonického oscilátoru, jeho amplitudu a počáteční fázi kmitání.
2. Napište rovnici popisující kmitání tohoto oscilátoru.

3. Na základě rovnice pro okamžitou výchylku napište rovnici pro velikost okamžité rychlosti daného oscilátoru. Tuto rovnici porovnejte s grafem závislosti velikosti okamžité rychlosti na čase (zobrazen na obr. 3).

4. Vysvětlete nepravidelnosti v grafu závislosti velikosti okamžité rychlosti na čase (viz obr. 3).



obr. 2

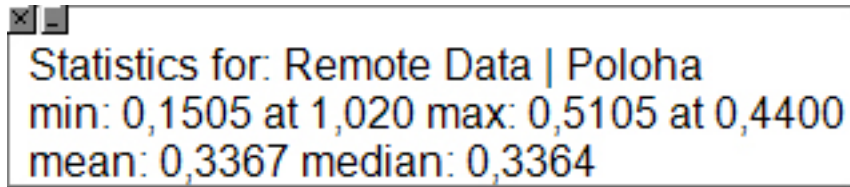


obr. 3

Řešení:

Zadané úlohy lze vyřešit na základě grafů zobrazených na obr. 2 a obr. 3 nebo s využitím programu [Logger Lite](#), v němž otevřeme [zdrojový soubor dat](#).

1. Na základě statistiky programu Logger Lite (*Analyze - Statistics*), která je zobrazená na obr. 4, vidíme, že průměrná hodnota okamžité výchylky je 33,67 cm, což je rovnovážná poloha, kolem které oscilátor kmitá. Dosahuje-li maxima 51,05 cm a minima 15,05 cm, znamená to, že amplituda výchylky je asi 18 cm (rozdíl mezi maximální hodnotou a rovnovážnou polohou resp. mezi rovnovážnou polohou a minimální hodnotou).

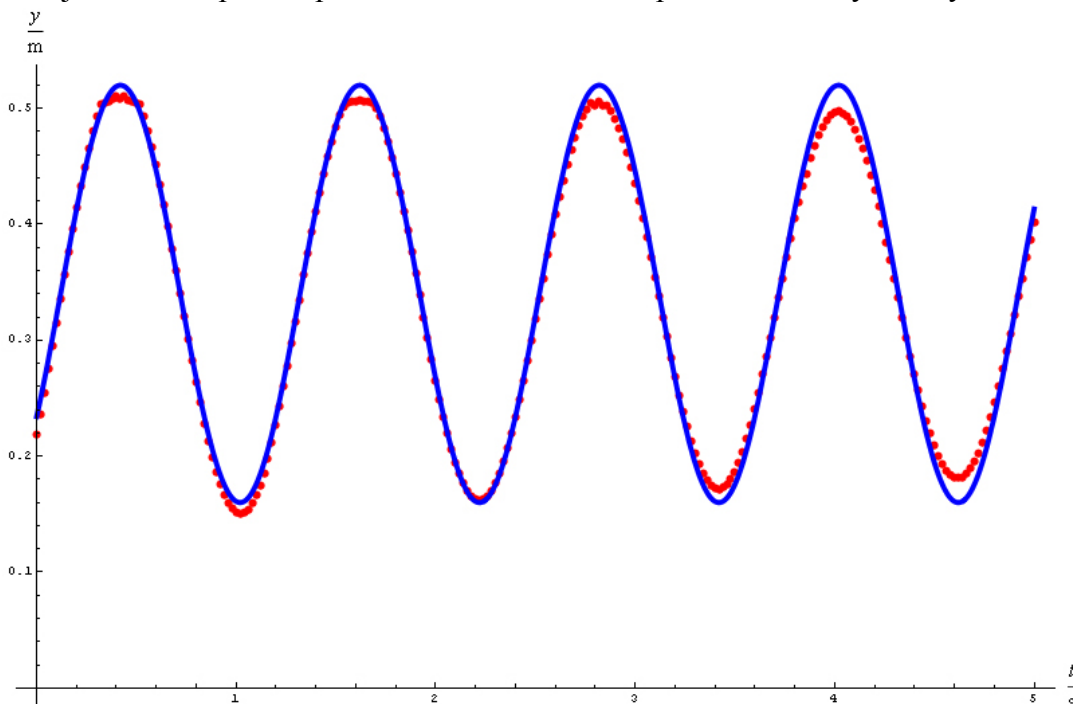


obr. 4

Perioda T odečtená z grafu je asi 1,2 s. Počáteční fázi φ_0 určíme na základě času, v němž oscilátor poprvé dosáhne rovnovážné polohy; pro tento čas na základě grafu na obr. 2 platí $t_0 = 0,12$ s. V rovnovážné poloze platí $\omega t_0 + \varphi_0 = 0$ a tedy $\varphi_0 = -\omega t_0 = -\frac{2\pi}{T}t_0$. Po dosažení periody dostáváme $\varphi_0 = -0,2\pi$.

2. Rovnice popisující kmitání daného oscilátoru má tvar $y = y_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ a po dosazení tedy máme $y = 0,18 \sin(1,67\pi t - 0,20\pi) + 0,34$.

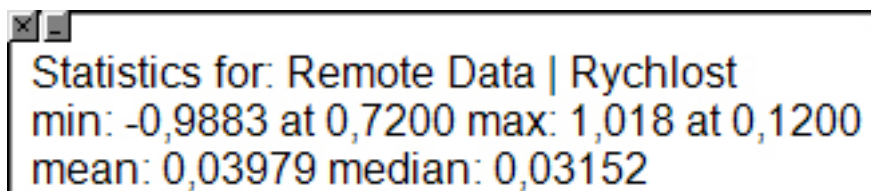
Na obr. 5 je zobrazen průběh právě nalezené závislosti spolu s naměřenými daty.



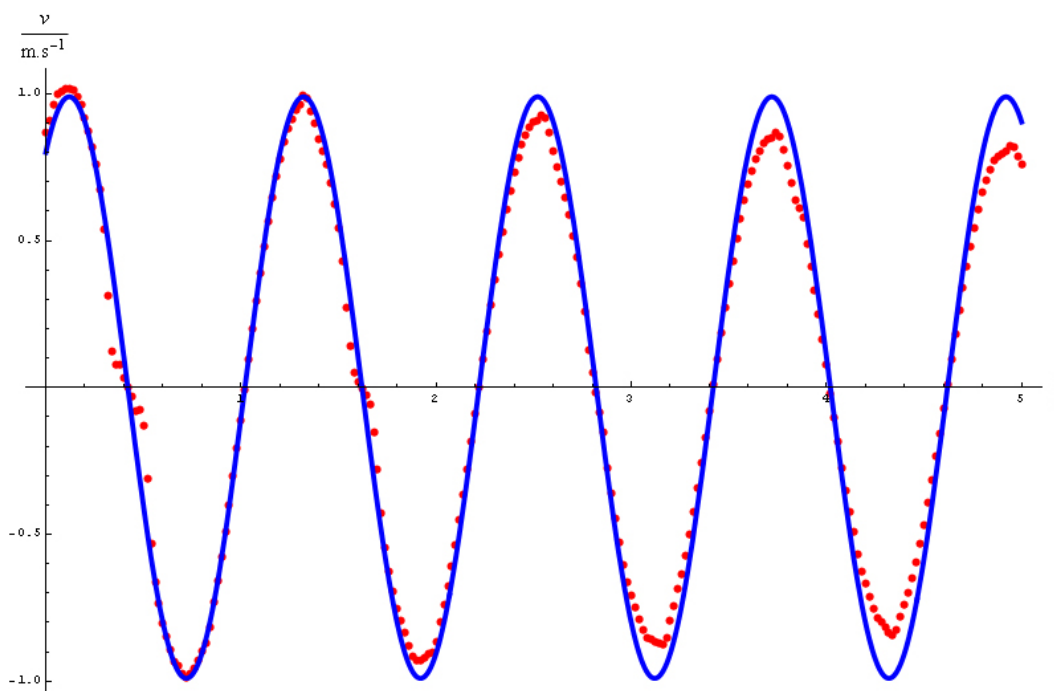
obr. 5

3. Podle teorie pro velikost okamžité rychlosti v závislosti na čase pro pohybující se oscilátor platí vztah $v = v_m \cos(\omega t + \varphi_0) = y_m \omega \cos(\omega t + \varphi_0)$. Po dosazení z rovnice pro okamžitou výchylku v závislosti na čase dostáváme $v = 0,18 \cdot 1,67\pi \cos(1,67\pi t - 0,2\pi) = 0,94 \cos(1,67\pi t - 0,2\pi)$. Podíváme-li se na graf zobrazený na obr. 3 resp. si zobrazíme

statistiku tohoto grafu v programu Logger Lite (viz obr. 6), zjistíme, že velikosti rychlostí se pohybují od $-0,99 \text{ m.s}^{-1}$ do $1,02 \text{ m.s}^{-1}$ s průměrnou hodnotou (velikost rychlosti odpovídající maximální výchylce oscilátoru) $0,04 \text{ m.s}^{-1}$. Maximální velikost rychlosti tedy je $0,98 \text{ m.s}^{-1}$ až $1,05 \text{ m.s}^{-1}$, což je v souladu s teoreticky získanou hodnotou. Z grafů na obr. 2 a obr. 3 je také zřejmé, že oba jsou navzájem posunuty o čtvrtinu periody, což je také v souladu s teorií. Navíc teoretickou závislost lze s reálnými daty porovnat přímo v grafu zobrazeném na obr. 7.



obr. 6



obr. 7

4. Nepravidelnosti v průběhu závislosti velikosti okamžité rychlosti na čase jsou dány numerickým výpočtem velikosti rychlosti na základě naměřených hodnot polohy. Měřící systém umí dopočítat i průběh velikosti okamžitého zrychlení na čase. Velikost zrychlení je počítána stejným algoritmem, jako je počítána velikost rychlosti. Zrychlení je ale určováno na základě rychlosti, která je již zatížena chybou. Proto nepřesnosti v grafu závislosti velikosti okamžitého zrychlení na čase jsou větší, než nepřesnosti v grafu závislosti velikosti okamžité rychlosti na čase.

Odkazy:

[Notebook](#) programového systému Mathematica, v němž je možné zobrazit nalezené teoretické průběhy okamžité výchylky a velikosti okamžité rychlosti spolu s experimentálními daty.

[Harmonické kmitání](#), [Rychlost a zrychlení kmitavého pohybu](#) a [Fáze kmitavého pohybu](#) - teoretický základ problematiky (Multimediální encyklopedie fyziky)