

# Harmonický kmitavý pohyb – kyvadlo

Čím je harmonický kmitavý pohyb ovlivňován?

## Obsah

Úvod .....	2	Teoretický úvod .....	8
Cíle .....	2	Příprava úlohy (praktická příprava) .....	9
Teoretický úvod .....	3	Postup práce .....	9
Motivace studentů .....	4	Příprava měření .....	9
Matematické kyvadlo .....	4	Nastavení HW a SW .....	9
Použití kyvadla .....	4	Vlastní měření (záznam dat) .....	9
Doporučený postup .....	5	Analýza naměřených dat .....	10
Příprava úlohy .....	5	Pracovní list učitele .....	11
Materiály pro studenty .....	5	Slovníček pojmů .....	11
Záznam dat .....	5	Teoretická příprava úlohy .....	12
Analýza dat .....	6	Vizualizace naměřených dat .....	12
Syntéza a závěr .....	6	Vyhodnocení naměřených dat .....	13
Hodnocení .....	6	Závěr .....	13
Internetové odkazy a další zdroje .....	6	Pracovní list studenta .....	15
Pracovní návod .....	7	Slovníček pojmů .....	15
Zadání úlohy .....	7	Teoretická příprava úlohy .....	16
Pomůcky .....	7	Vizualizace naměřených dat .....	16
Bezpečnost práce .....	8	Vyhodnocení naměřených dat .....	17
		Závěr .....	18

 **Zařazení do výuky**

Experiment je vhodné zařadit v rámci učiva o mechanickém kmitání a vlnění. Dynamika harmonického kmitání.

 **Časová náročnost**

Dvě hodiny (2 × 45 minut)

## Úvod

V tomto laboratorním cvičení studenti ověří závislost periody na délce a hmotnosti. Během experimentu budou měřit vzdálenost kývajícího se tělesa od senzoru pohybu. Z naměřených dat vyvodí závěr o závislosti periody na délce a hmotnosti, který potvrdí nebo vyvrátí zkoumané skutečnosti.

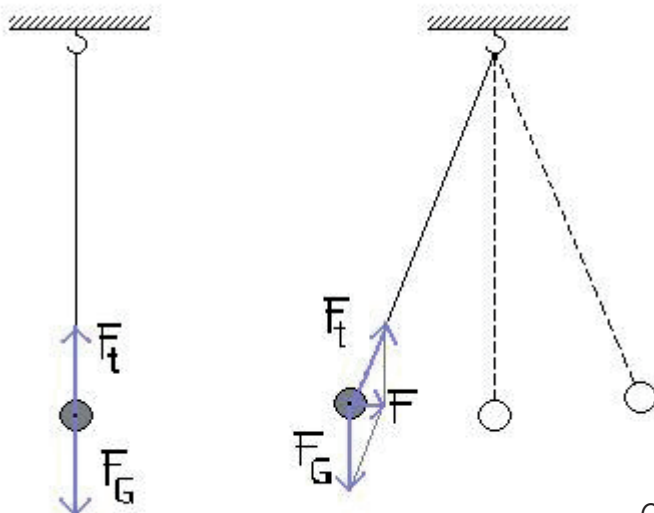
## Cíle

Studenti by měli zvládnout:

- používat senzory pohybu,
- číst a analyzovat data z grafů,
- vypočítat periodu kývavého pohybu,
- srovnávat jednotlivé výsledky měření,
- pomocí daných poznatků potvrdit nebo vyvrátit dané závislosti.

## Teoretický úvod

Jako kyvadlo se obvykle označuje jakékoli těleso zavěšené nad těžištěm, které se může volně otáčet kolem vodorovné osy procházející bodem závěsu kolmo k rovině kmitání. Příkladem nejjednoduššího kyvadla je malé těleso zavěšené na pevném vlákně zanedbatelné hmotnosti, jehož délka je  $l$ . Je to model mechanického oscilátoru. Volně zavěšená kulička je v rovnovážné poloze, kdy se tíhová síla  $F_G$  rovná tahové síle  $F_t$  závěsu. Pokud kyvadlo z rovnovážné polohy vychýlíme, vznikne složením sil  $F_G$  a  $F_t$  výslednice  $F$ , která směřuje do rovnovážné polohy a vytváří tak kmitavý pohyb kyvadla. Po vychýlení se kyvadlo periodicky vrací do své rovnovážné polohy, kde má největší rychlost a pohybuje se dál, dokud nedosáhne největší výchylky, a pak se znovu vrací do rovnovážné polohy.



Obrázek 1

Perioda, tedy doba kmitu matematického kyvadla, je přímo úměrná druhé odmocnině z délky závěsu. Perioda kmitání kyvadla nezávisí na hmotnosti hmotného bodu.

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

### Slovníček pojmů

ČASOVÝ DIAGRAM  
KMITAVÉHO POHYBU

PERIODA A FREKVENCE  
KMITÁNÍ

POČÁTEČNÍ FÁZE KMITÁNÍ

RYCHLOST A ZRYCHLENÍ  
KMITAVÉHO POHYBU

### Přehled pomůcek

- PASPORT Xplorer
- PASPORT Motion Sensor
- pomůcky k sestavení kyvadla
- sada závaží
- pracovní návod
- pracovní list
- ochranné pracovní pomůcky

## Motivace studentů

Zeptáme se studentů, kde se setkáváme s kmitáním a vlněním v přírodě. Uvedeme základní typy mechanických oscilátorů.

Objasníme pojmy kinematika a dynamika kmitavého pohybu.

Zopakujeme základní fyzikální veličiny popisující kmitavý pohyb.

Pro náš experiment zvolíme nejprve krátkou délku kyvadla a větší hmotnost závaží.

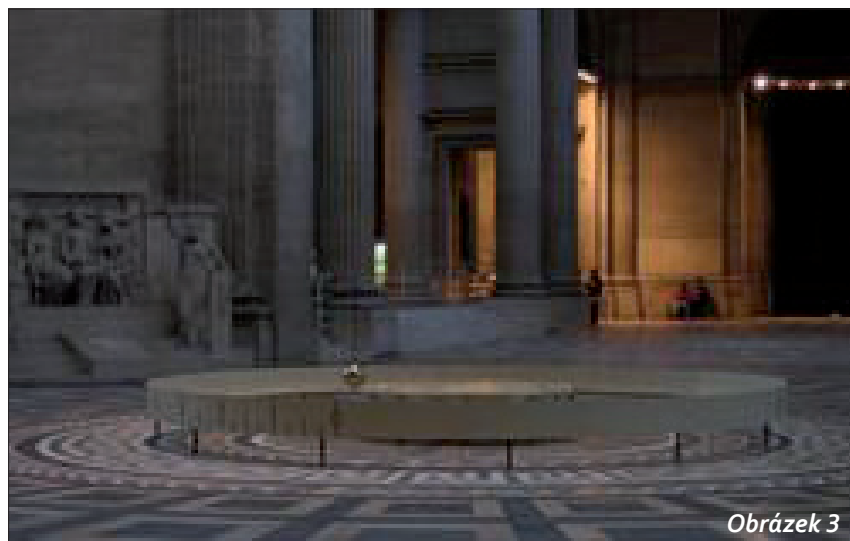
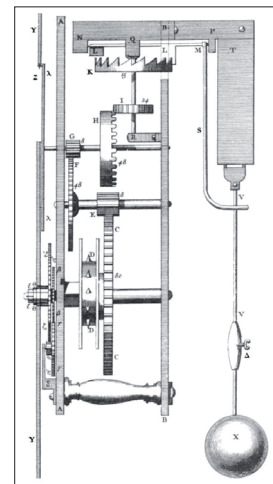
### Matematické kyvadlo

je zvláštní případ, kdy je zkoumán pouze hmotný bod zavěšený na tenkém vlákně zanedbatelné hmotnosti.

### Použití kyvadla

- Kyvadlo a zákonitosti jeho pohybu umožnily konstrukci přesných hodin, které umožňovaly měřit čas mnohem přesněji než u předchozích modelů (viz obr. 2). Poprvé bylo použito v roce 1656.
- Kyvadlo se uplatnilo při konstrukci seismografu.
- Foucaultovo kyvadlo je kyvadlo umožňující experimentálně ověřit otáčení Země (viz obr. 3).

Obrázek 2



Obrázek 3

## Doporučený postup

1. Každá pracovní skupina obdrží „pracovní návod“ a každý student dostane „pracovní list“. Studenti si nejprve přečtou návod a teprve pak začnou s přípravou vlastního experimentu.
2. Dopoučujeme, aby každý člen pracovní skupiny dostal svůj specifický úkol. Pro čtyřčlennou skupinu například:
  - *student 1* – vedoucí týmu – ručí za to, že skupina bude při práci postupovat podle pracovního návodu,
  - *student 2* – koordinuje vyplňování pracovních listů a vyplněné pracovní listy vybírá (každý student si vyplní svůj pracovní list),
  - *student 3, 4* – mají na starosti sestavení/nastavení a obsluhu použitých přístrojů.

### Příprava úlohy

Nechte studenty vyplnit (za domácí úkol nebo na začátku práce) slovníček v „pracovním listě“. Je nezbytné, aby studenti tyto části vypracovali před vlastní experimentální činností.

Zjistěte, jak studenti přípravnou část úlohy vypracovali.

### Materiály pro studenty

„Pracovní návod“ postupně provede studenty („krok za krokem“) celou úlohou.

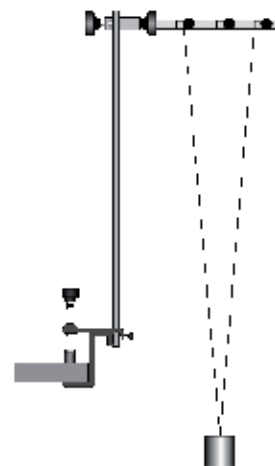
„Pracovní list“ slouží studentům k zaznamenání získaných dat, jejich analýze a pochopení.

### Záznam dat

Postup při zaznamenávání dat je popsán v „pracovním listu“. Upozorněte studenty na to, že před vlastním započítáním měření je třeba úloze opravdu porozumět.

#### Seznámení s úlohou

Studentům je potřeba vysvětlit jak sestavit kyvadlo, aby se kývalo v jedné rovině (viz obrázek 4).



Obrázek 4

#### Tip

*Pokud jsou hmotnosti závaží větší, má sinusoida lepší průběh. Jednotlivým skupinám rozdělit různá závaží.*

## Analýza dat

Naměřená data použijí studenti k zodpovězení otázek v „pracovním listu“.

V učitelské verzi pracovního listu jsou uvedeny typické odpovědi studentů.

## Syntéza a závěr

Poté, co studenti vyplní své „pracovní listy“, společně shrneme získané poznatky k vyslovení závěru o závislostech v daném experimentu. Uvedeme, které skutečnosti mohly ovlivnit výsledek naměřených hodnot (kývání kyvadla ve více rovinách, chvění).

## Hodnocení

*(Viz dříve uvedené cíle.)*

- Sestavili a použili studenti laboratorní zařízení správně?
- Postupovali korektně podle pracovního postupu?
- Pochopili studenti závislost periody na délce kyvadla?
- Pochopili studenti, že perioda nezávisí na hmotnosti?
- Souhlasí naměřené periody s vypočtenými?
- Vypracovali studenti správně své „pracovní listy“?

## Internetové odkazy a další zdroje

### Kyvadlo

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyvadlo>

### Literatura

E. Svoboda a kolektiv: Přehled středoškolské fyziky



### Pasco zdroje

Na stránkách [www.pasco.com](http://www.pasco.com) a [www.pasco.cz](http://www.pasco.cz) naleznete řadu dalších zdrojů.

**FYZIKA**

laboratorní cvičení č. 1

**1**

• FYZIKA

**Harmonický kmitavý pohyb – kyvadlo (návod)****Zadání úlohy**

Závisí perioda kmitavého pohybu kyvadla na délce a hmotnosti zavěšeného tělesa? Změní se perioda kmitavého pohybu při změně hmotnosti? Ověřte dané závislosti a z naměřených hodnot určete periodu. Porovnejte naměřené hodnoty a hodnoty vypočítané podle vzorce.

**Pomůcky**

- PASPORT Xplorer
- PASPORT Motion Senzor
- pomůcky k sestavení kyvadla
- sada závaží
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

PRACOVNÍ NÁVOD

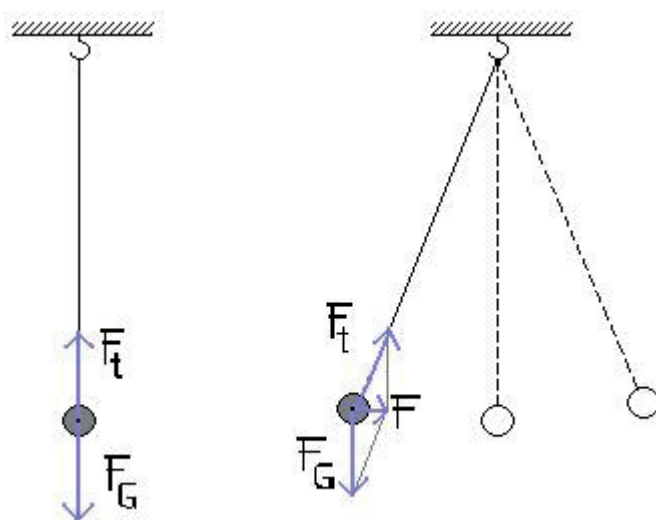


## Bezpečnost práce

Pracujte pečlivě a v souladu s pracovním návodem. V laboratoři používejte laboratorní plášť a případně další pomůcky v souladu se správnou laboratorní praxí.

## Teoretický úvod

Jako kyvadlo se obvykle označuje jakékoli těleso zavěšené nad těžištěm, které se může volně otáčet kolem vodorovné osy procházející bodem závěsu kolmo k rovině kmitání. Příkladem nejjednoduššího kyvadla je malé těleso zavěšené na pevném vlákně zanedbatelné hmotnosti, jehož délka je  $l$ . Je to model mechanického oscilátoru. Volně zavěšená kulička je v rovnovážné poloze, kdy se tíhová síla  $F_G$  rovná tahuvé síle  $F_t$  závěsu. Pokud kyvadlo z rovnovážné polohy vychýlíme, vznikne složením sil  $F_G$  a  $F_t$  výslednice  $F$ , která směřuje do rovnovážné polohy a vytváří tak kmitavý pohyb kyvadla. Po vychýlení se kyvadlo periodicky vrací do své rovnovážné polohy, kde má největší rychlost a pohybuje se dál, dokud nedosáhne největší výchylky, a pak se znovu vrací do rovnovážné polohy.



Obrázek 1

Perioda, tedy doba kmitu matematického kyvadla, je přímo úměrná druhé odmocnině z délky závěsu. Perioda kmitání kyvadla nezávisí na hmotnosti hmotného bodu.

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



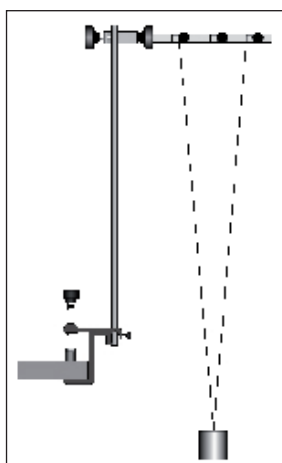
## Příprava úlohy (praktická příprava)

Nejprve zpracujte slovníček a teoretickou přípravu na „pracovním listě“ a teprve potom začněte pracovat v laboratoři.

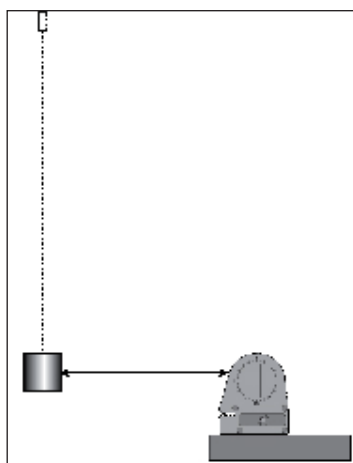
## Postup práce

### Příprava měření

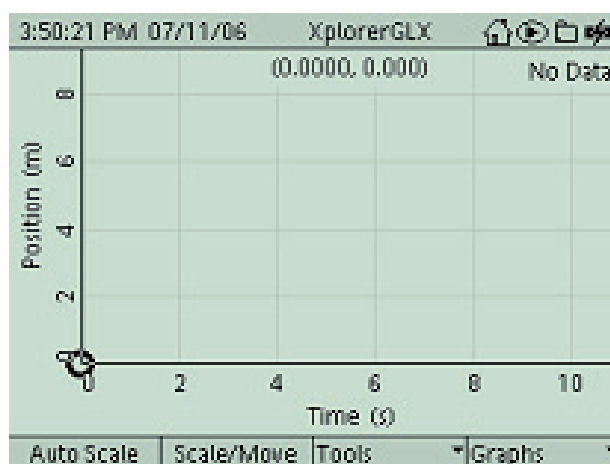
1. Sestavte kyvadlo podle obrázku 4.
2. Umístěte senzor do vzdálenosti 10–20 cm od zavěšeného tělesa (viz obr. 5).



Obrázek 4



Obrázek 5



Obrázek 6

## Nastavení HW a SW

### Nastavení GLX

1. Zapněte GLX (Ⓢ) a otevřete soubor nazvaný „kyvadlo“. Měření je nastaveno s frekvencí 50 Hz. Na svislé ose se zobrazí vzdálenost (pozice), na vodorovné ose čas (viz obr. 6).
2. Připojte první senzor do libovolného portu.
3. Na senzoru zvolte ikonu panáčka (viz obr. 7).



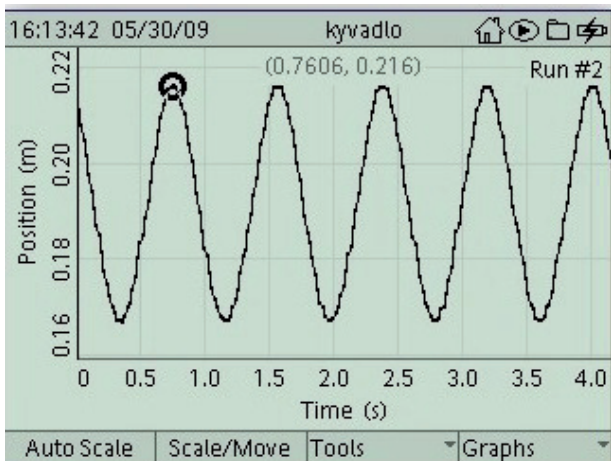
Obrázek 7

### Vlastní měření (záznam dat)

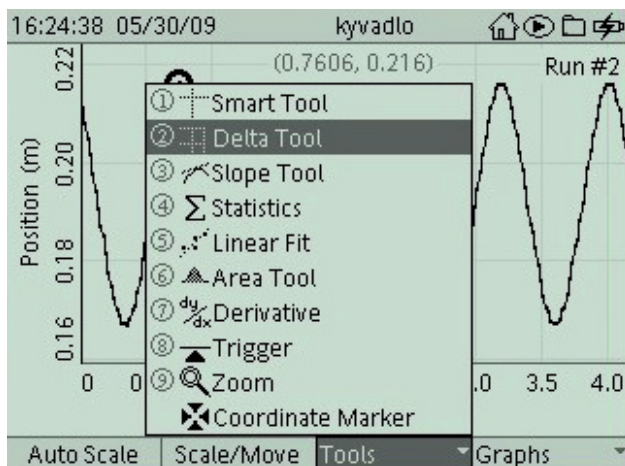
1. Uvedte kyvadlo do pohybu. Vychýlení kyvadla cca 5° od svislé polohy.
2. Stiskněte **Start** (▶) a začněte měřit.
3. Měření provádějte cca 5 sekund.
4. Pro ukončení měření opětovně stiskněte tlačítko **Start** (▶).

## Analýza naměřených dat

1. Změnu velikosti zobrazených dat proveďte stiskem tlačítka **F1**.
2. K určení periody použijte nástroj **Delta tool**. Nejprve se pomocí pravé šipky posuňte na vrchol sinusoidy. Stiskněte **F3** a v menu zvolte „Delta tool“, stiskněte  pro potvrzení volby. Použijte šipky k pohybu po grafu a posuňte se na další vrchol sinusoidy. Pod časovou osou odečtěte údaj o délce periody.

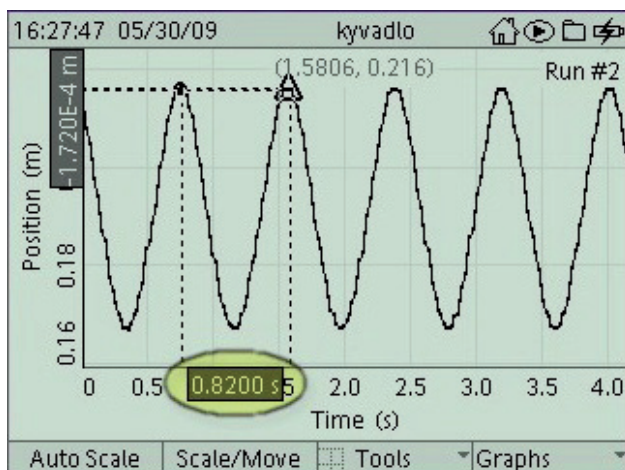


Obrázek 9



Obrázek 10

3. Měření opakujte pro 2 různé hmotnosti závaží.
4. Další měření provádějte podle předchozího návodu pro další 3 různé délky kyvadla.



Obrázek 11

**FYZIKA**

laboratorní cvičení č. 1

**1**

• FYZIKA

**Harmonický kmitavý pohyb – kyvadlo  
pracovní list (učitel)****Slovníček pojmů**

Použijte dostupné zdroje a najděte definice níže uvedených fyzikálních termínů.

**Perioda:**

*doba trvání jednoho kyvu.*

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

**Frekvence:**

*počet kyvů, které vykoná kývající se těleso za jednu sekundu.*

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

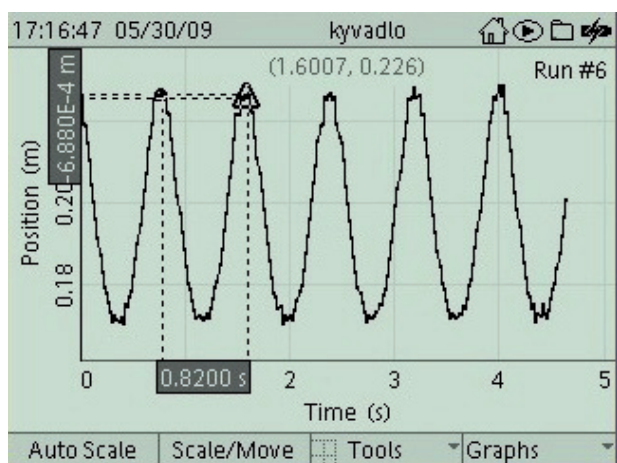
## Teoretická příprava úlohy

### Hypotéza

Potvrdí naměřená data závislost periody na délce kyvadla a zároveň skutečnost, že hmotnost závaží nemá vliv na periodu?

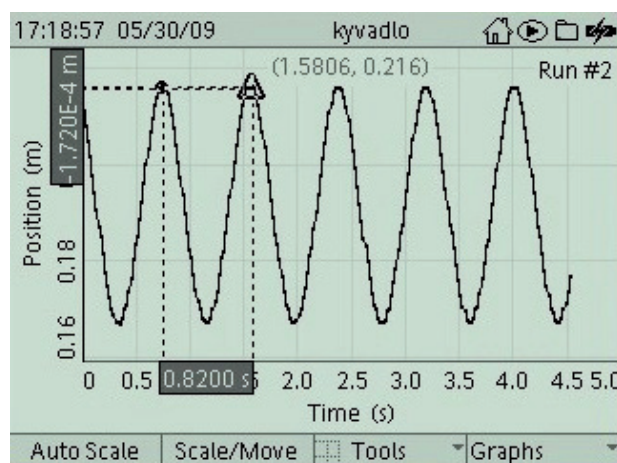
## Vizualizace naměřených dat

Délka kyvadla 16 cm:  
hmotnost závaží 100 g



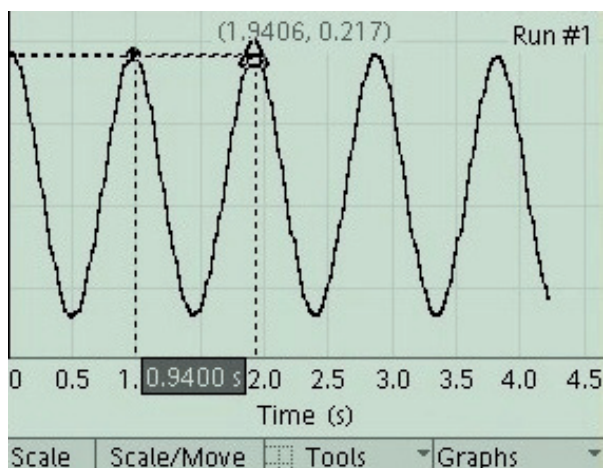
Obrázek 12

hmotnost závaží 50 g



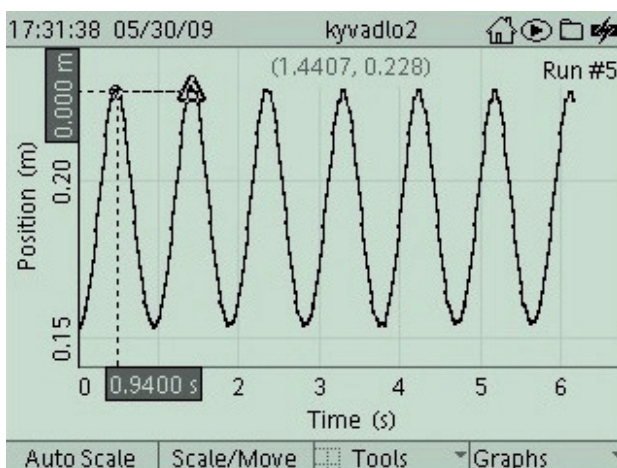
Obrázek 13

Délka kyvadla 22 cm:  
hmotnost závaží 100 g



Obrázek 14

hmotnost závaží 50 g



Obrázek 15

## Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

hmotnost [g]	délka kyvadla [cm]		délka kyvadla [cm]	
	17	22	17	22
	naměřený čas [s]		vypočtený čas [s]	
100	0,820	0,940	0,827	0,940
50	0,820	0,940		

Výpočty:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,17}{9,81}} = 0,827$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,22}{9,81}} = 0,940$$

## Závěr

1. Potvrdila naměřená data hypotézu?

*Ano, perioda kyvu závisí na délce kyvadla, ale nezávisí na hmotnosti použitého závaží.*

2. Pokud naměřená data nepotvrdila hypotézu, uveďte co je příčinou.

*Těleso nekmitalo v jedné rovině, popř. výchylka byla větší než 5°. Pokud výchylka překročí danou mez, nelze dráhu, po které se těleso pohybuje, považovat za úsečku. V daném případě se nejedná o harmonický pohyb.*

*Odpovědi na otázky se mohou lišit.*



## Pracovní list studenta

skupina:.....

jméno:..... třída:..... datum:.....

---

### Slovníček pojmů

Použijte dostupné zdroje a najděte definice níže uvedených fyzikálních termínů.

**Perioda:**

**Frekvence:**

## **Teoretická příprava úlohy**

### *Hypotéza*

Potvrdí naměřená data závislost periody na délce kyvadla a zároveň skutečnost, že hmotnost závaží nemá vliv na periodu?

## **Vizualizace naměřených dat**



## Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

hmotnost [g]	délka kyvadla [cm]		délka kyvadla [cm]	
	naměřený čas [s]		vypočtený čas [s]	
hmotnost [g]	délka kyvadla [cm]		délka kyvadla [cm]	
	naměřený čas [s]		vypočtený čas [s]	
hmotnost [g]	délka kyvadla [cm]		délka kyvadla [cm]	
	naměřený čas [s]		vypočtený čas [s]	

Výpočty:

## Závěr

1. Potvrdila naměřená data hypotézu?

2. Pokud naměřená data nepotvrdila hypotézu, uveďte co je příčinou.