



Experimenty s interaktivní stavebnicí
a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu

5A. Mechanické kmitání

M. Jílek & T. Feltl



EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND
PRAHA & EU: INVESTUJEME DO VAŠÍ
BUDOUCNOSTI

Tyto materiály vznikly v rámci projektu OPPA č. CZ.2.17/3.1.00/36080,
Experimenty s interaktivní stavebnicí a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu.

- **A. Kmitání závaží na pružině** **5A-A-01**
 - Úvod 5A-A-02
 - Co budeme potřebovat? 5A-A-03
 - Příprava a sestavení experimentu 5A-A-04
 - Provedení experimentu – záznam dat 5A-A-05
 - Analýza naměřené závislosti 5A-A-06
 - Závislost periody kmitů na hmotnosti - teorie 5A-A-07
 - Určení hmotnosti závaží na pružině – úkol 5A-A-08
- **B. Tlumené kmity** **5A-B-01**
 - Úvod 5A-B-02
 - Co budeme potřebovat? 5A-B-03
 - Příprava a sestavení experimentu 5A-B-04
 - Postup práce – záznam dat 5A-B-05
 - Analýza naměřené závislosti – úkoly 5A-B-06
- **C. Model vzduchového tlumiče** **5A-C-01**
 - Úvod 5A-C-02
 - Co budeme potřebovat? 5A-C-03
 - Příprava a sestavení experimentu 5A-C-04
 - Postup práce – záznam dat 5A-C-05
 - Analýza naměřené závislosti – úkoly 5A-C-06
- **Závěr** **5A-Z-01**
- **Použité materiály a zdroje informací** **5A-I-01**
- **Metodické komentáře** **5A-M-01**

A. Kmitání závaží na pružině

Úvod

Kola všech dopravních prostředků musí být od zbytku vozidla nějakým způsobem **odpružena**, aby mohla kopírovat povrch terénu, po kterém se pohybují, a vyrovnávat jeho nerovnosti. Bez odpružení by se vozidlo i při mírných nerovnostech neustále pohybovalo pouze na třech kolech a nárazy kol na nerovnosti by se i při malých rychlostech výrazně přenášely na konstrukci vozidla, která by takové namáhání dlouho nevydržela, nehledě k tomu, že jízda v takovém vozidle by byla krajně nepohodlná.

Druh a **velikost pružin** určených k odpružení musí být samozřejmě **přizpůsobena hmotnosti** daného vozidla.

V následujícím experimentu prozkoumáme, jak souvisí „**síla**“ **pružiny** a **hmotnost odpruženého tělesa** s **rychlostí** vzniklého **kmitání** a pokusíme se této závislosti využít k zajímavému způsobu určování hmotnosti těles.



Foto: [morgueFile](https://morguefile.com) free photo archive (morguefile.com)

V následujícím experimentu prozkoumáme, jak souvisí „síla“ pružiny a hmotnost odpruženého tělesa s rychlostí vzniklého kmitání a pokusíme se této závislosti využít k zajímavému způsobu určování hmotnosti těles.

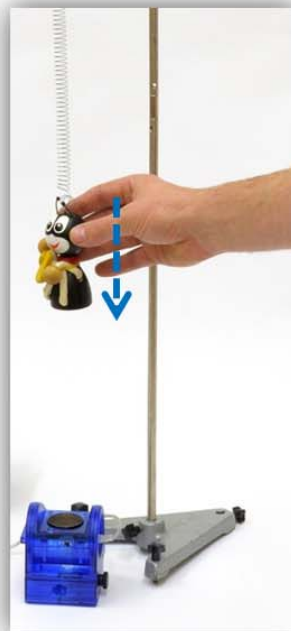
Co budeme potřebovat?

- senzor polohy a pohybu
- univerzální měřicí rozhraní 850 (jiné měřicí rozhraní)
- dřevěnou dekorační figurku na pružině (jiné závaží na pružině)
- závaží o známé hmotnosti (například 20 g)
- laboratorní stojan
- digitální váhy nebo senzor síly



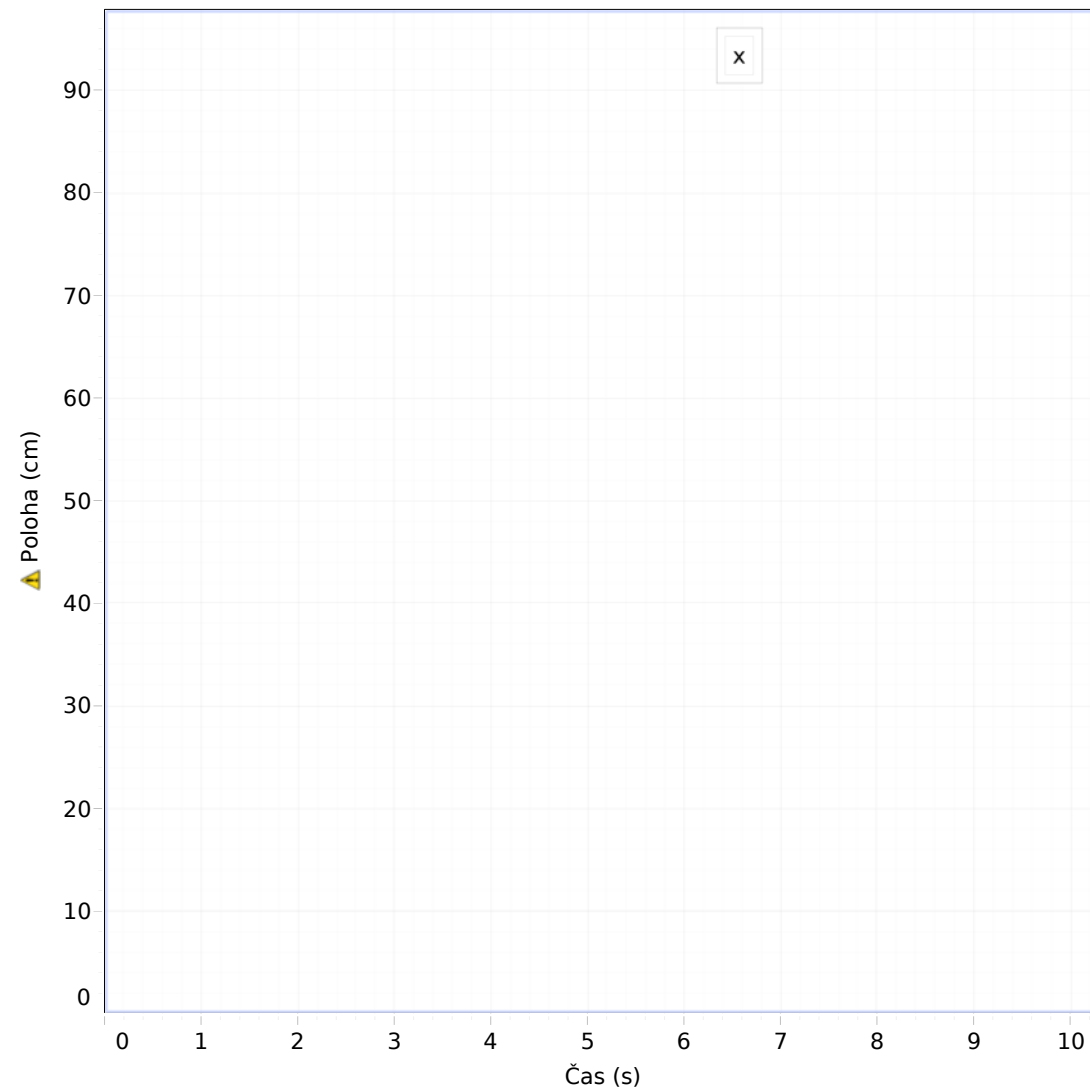
Příprava a sestavení experimentu

1. Senzor polohy a pohybu připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem a natočíme ho kolmo vzhůru, přepínač na senzoru přepneme do polohy s vozíkem.
2. Pružinu s figurkou (závažím) připevníme na laboratorní stojan tak, aby se figurka nacházela alespoň 25 cm vysoko nad senzorem polohy a pohybu.



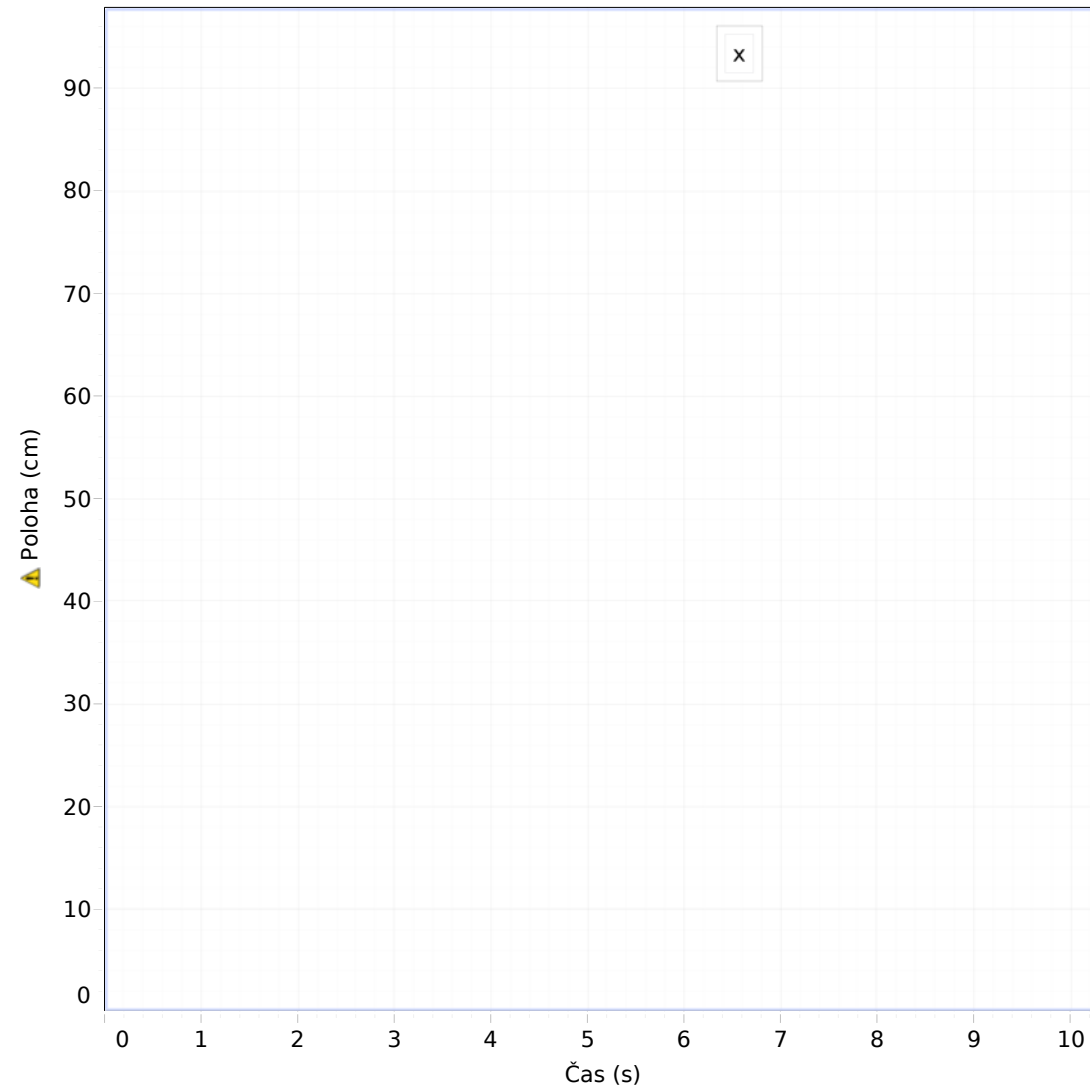
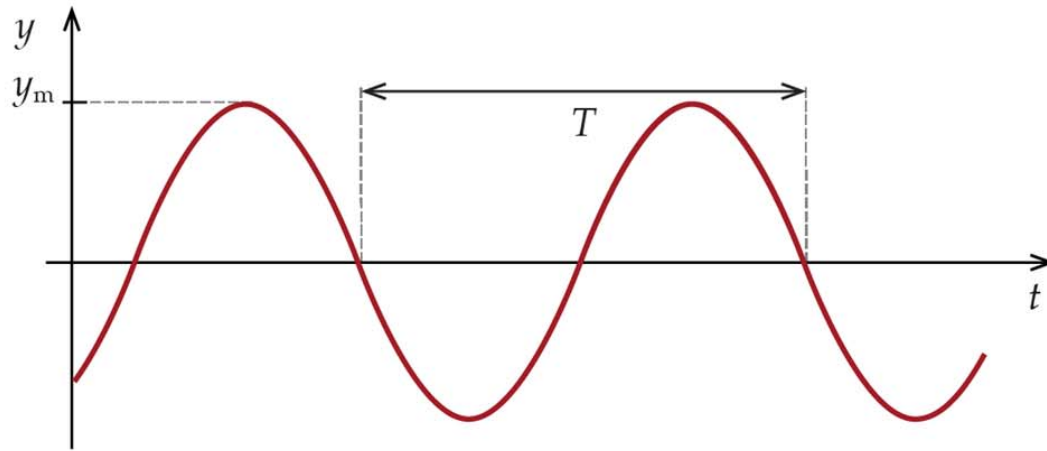
Provedení experimentu – záznam dat

1. Vynulujeme senzor polohy a pohybu tlačítkem na spodním ovládacím panelu.
2. Figurku na pružině rozkmitáme natažením asi o 10 cm dolů z rovnovážné polohy.
3. Spustíme měření a po několika sekundách ho zastavíme.
4. V grafu se přitom zobrazuje časový průběh okamžité výchylky figurky na pružině.
5. Na figurku přivěsíme závaží o známé hmotnosti a po uklidnění soustavy vynulujeme senzor polohy a pohybu.
6. Rozkmitáme figurku se závažím, spustíme měření a po několika sekundách ho ukončíme.



Analýza naměřené závislosti

1. Naměřené závislosti představují charakteristický průběh harmonických kmitů závaží na pružině, který je popsán funkcí sinus, jak je znázorněno na obrázku dole.
2. Z těchto průběhů můžeme vyčíst především amplitudu kmitů y_m , která odpovídá protažení (stlačení) pružiny z klidové rovnovážné polohy při maximální výchylce, a dále periodu kmitů T , která je rovna době jednoho kmitu.



Závislost periody kmitů na hmotnosti - teorie

Doba kmitu T závaží na pružině o zanedbatelné hmotnosti je určena vztahem

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

kde m je hmotnost závaží na pružině a k je takzvaná tuhost pružiny. **Tuhost pružiny** je pro každou pružinu charakteristická a vyjadřuje sílu potřebnou k protažení pružiny o jeden metr. Lze ji tedy experimentálně určit změřením síly F , která způsobí protažení pružiny o hodnotu Δl , a dosazením do vztahu

$$k = \frac{F}{\Delta l}.$$

Jednotkou tuhosti pružiny je N/m.

Pokud na pružinu se závažím (figurkou) o neznámé hmotnosti m pověsíme ještě další závaží o známé hmotnosti M , zvětší se doba kmitu soustavy na

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m+M}{k}}.$$

Vyjádříme-li z obou vztahů pro periodu tuhost k , získáme vztah mezi hmotnostmi a periodami oscilátorů:

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2} = \frac{4\pi^2 (m+M)}{T_2^2}.$$

Po vykrácení konstant můžeme z posledního vztahu vyjádřit neznámou hmotnost figurky m :

$$m = \frac{M}{\left(\frac{T_2}{T}\right)^2 - 1}.$$

Poslední vztah umožňuje zajímavý způsob **určení hmotnosti** m tělesa upevněného na pružině změřením periody jeho kmitů T a následně změřením periody kmitů T_2 po přidání závaží o známé hmotnosti M .

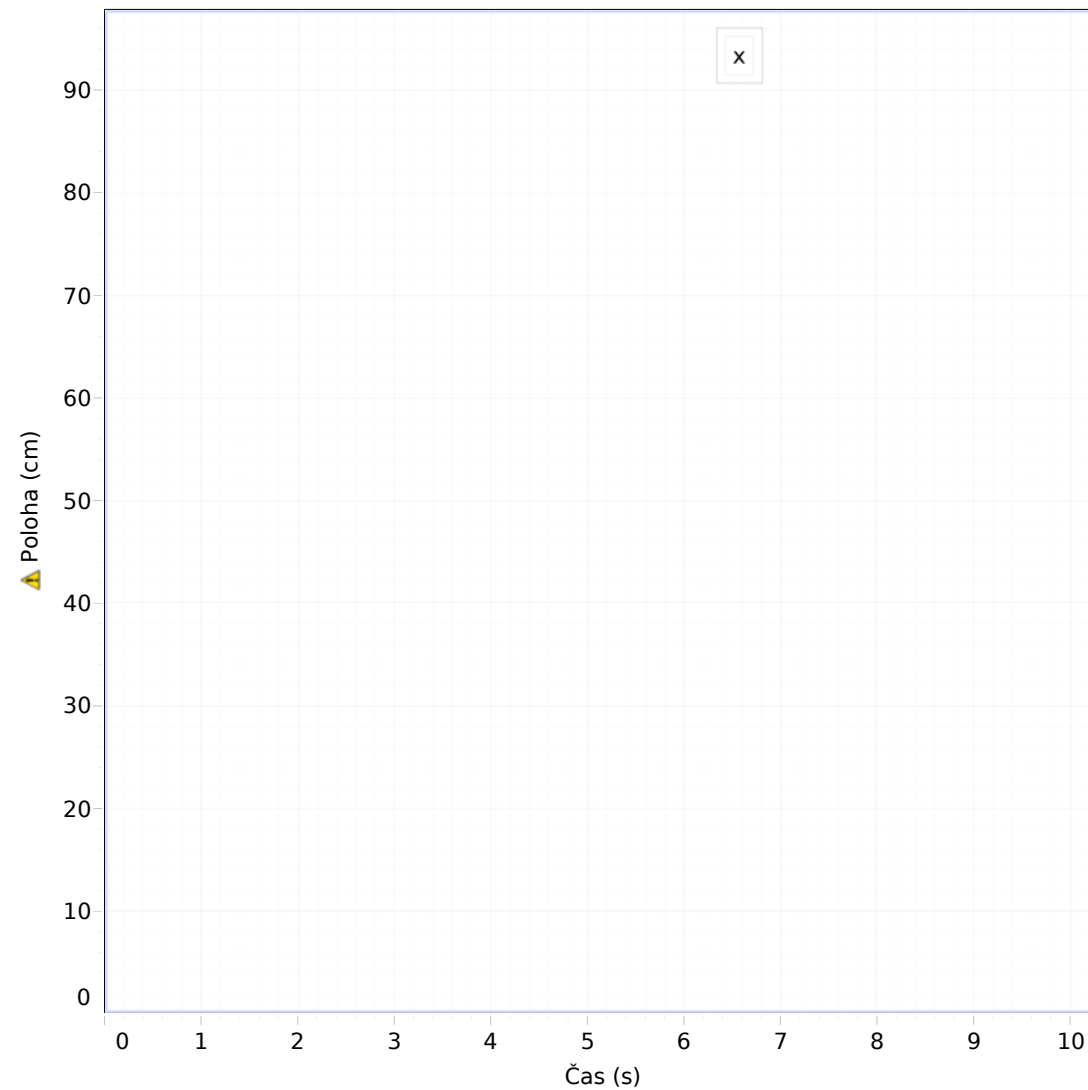
Určení hmotnosti závaží na pružině – úkol

1. Z naměřených grafů určete periodu kmitů T figurky na pružině a periodu kmitů T_2 figurky s přidaným závažím o hmotnosti M .
2. Pomocí vztahu

$$m = \frac{M}{\left(\frac{T_2}{T}\right)^2 - 1}$$

určete hmotnost figurky na pružině.

3. Ověřte výsledek zvážením samotné figurky na digitální váze, nebo pomocí senzoru síly.
4. Pokuste se vysvětlit, čím mohou být způsobeny případné rozdíly mezi zjištěnými hodnotami hmotností.





B. Tlumené kmity



Úvod

Odpružené kolo automobilu sice vyrovná nerovnosti vozovky, každý náraz kola na nějakou nerovnost však způsobí **rozkmitání kola** a jeho zavěšení. Toto kmitání je potřeba co nejrychleji **utlumit**, aby se nepřenášelo dále na konstrukci vozu a neovlivňovalo ho tak. K utlumení kmitů kol se, jak název napovídá, používají **různé druhy tlumičů** – většinou kapalinových.

V následujících experimentech se pokusíme znázornit, jak vypadá **průběh různě tlumených kmitů** a vyzkoušíme si účinky velmi jednoduchého modelu tlumiče.



Foto: [Wikipedia](https://www.wikipedia.org) (wikipedia.org)

V následujících experimentech se pokusíme znázornit, jak vypadá **průběh různě tlumených kmitů** a vyzkoušíme si účinky velmi jednoduchého modelu tlumiče.

Co budeme potřebovat?

- senzor polohy a pohybu
- univerzální měřicí rozhraní 850 (jiné měřicí rozhraní)
- dřevěnou dekorační figurku na pružině (jiné závaží na pružině)
- dvě kruhové destičky z kartónu (například o průměrech 10 cm a 20 cm)
- připínáček na nástěnku
- laboratorní stojan



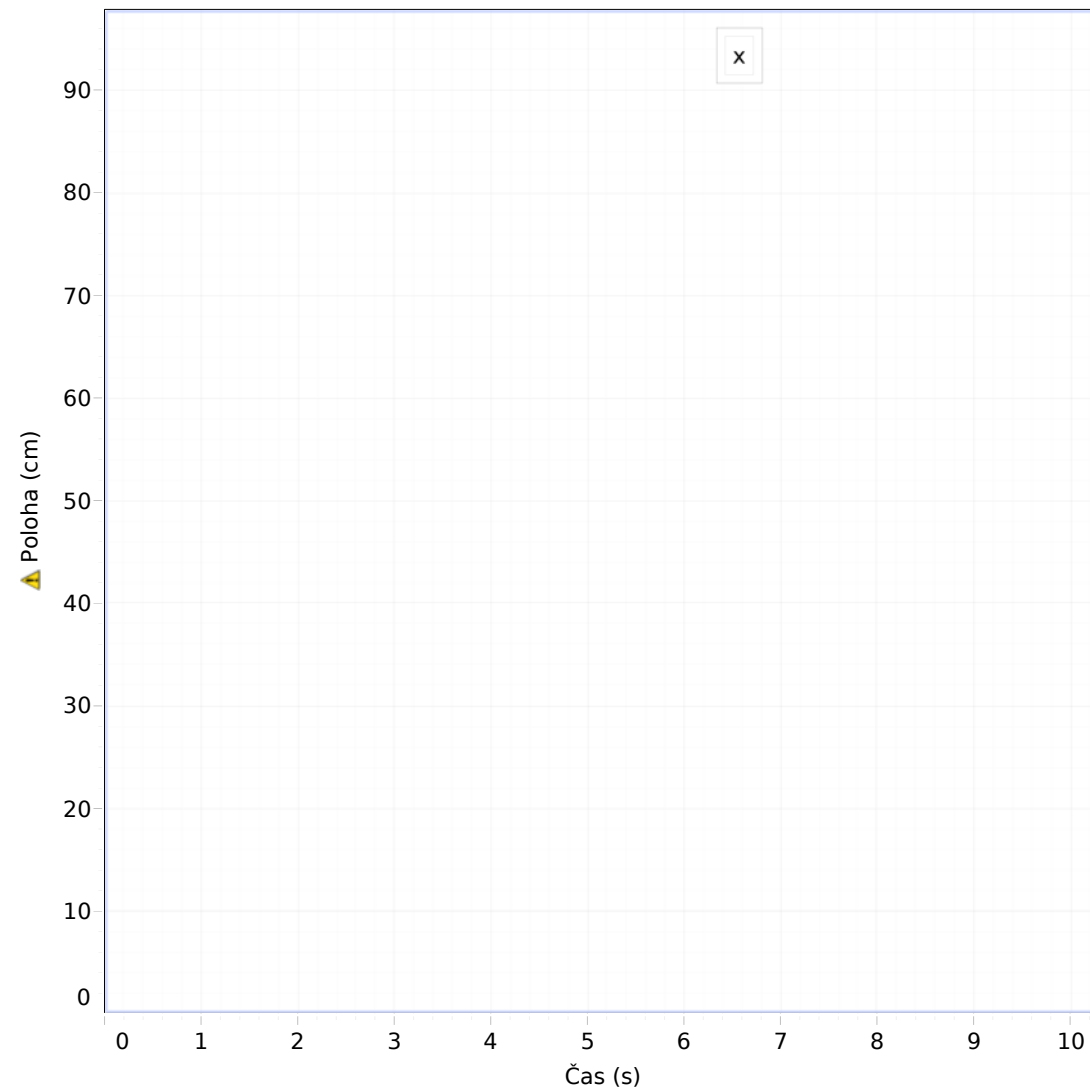
Příprava a sestavení experimentu

1. Senzor polohy a pohybu připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem a natočíme ho kolmo vzhůru, přepínač na senzoru přepneme do polohy s vozíkem.
2. Pružinu s figurkou (závažím) připevníme na laboratorní stojan tak, aby se figurka nacházela alespoň 25 cm vysoko nad senzorem polohy a pohybu.



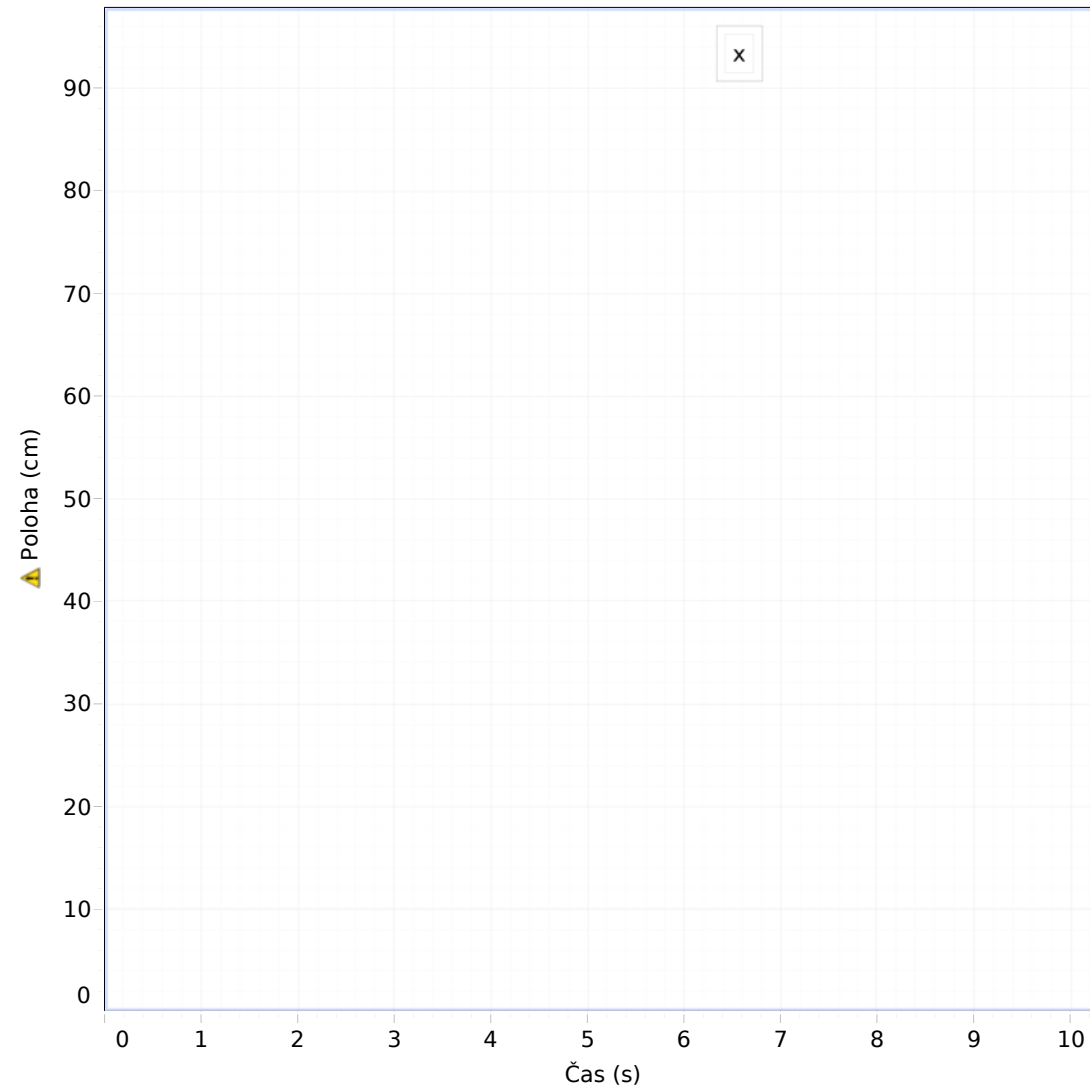
Postup práce – záznam dat

1. Vynulujeme senzor polohy a pohybu, rozkmitáme figurku na pružině jejím protažením asi o 10 cm, spustíme měření a přibližně po 50 s měření ukončíme.
2. Na spodní vodorovnou část figurky upevníme připínáčkem menší destičku z kartónu, vynulujeme senzor polohy a pohybu, rozkmitáme figurku a opět spustíme měření asi na 50 s. Snažíme se přitom rozkmitat figurku se stejnou počáteční výchylkou jako v předchozím případě.
3. Pokus zopakujeme ještě jednou s tím, že menší destičku vyměníme za větší.
4. V grafu se postupně vykreslují všechny tři časové průběhy kmitání figurky.



Analýza naměřené závislosti - úkoly

1. Porovnejte časové průběhy kmitání samotné figurky a figurky s menší a větší připevněnou destičkou.
2. Popište, jak se v těchto jednotlivých případech postupem času mění maximální výchylka figurky, a vysvětlete z energetického hlediska, čím je to způsobeno.



C. Model vzduchového tlumiče

Úvod

Jednoduchý model vzduchového tlumiče pérování snadno vytvoříme úpravou předchozího experimentu s tlumenými kmity (experiment: *B. Tlumené kmity*).

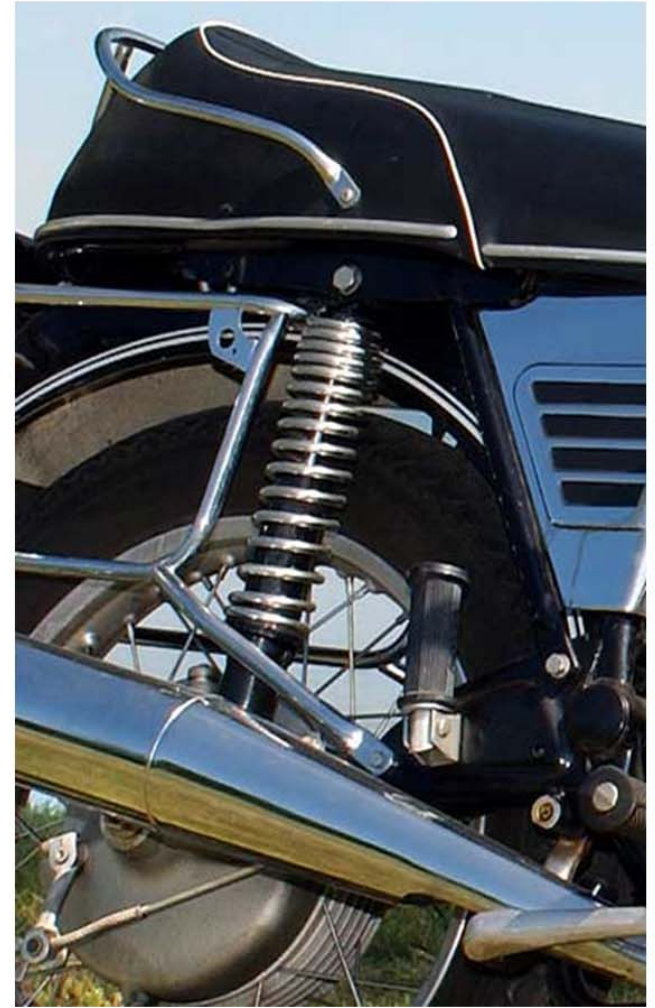


Foto: [Wikipedia](https://www.wikipedia.org) (wikipedia.org)

Jednoduchý model vzduchového tlumiče pérování snadno vytvoříme úpravou předchozího experimentu s tlumenými kmity.

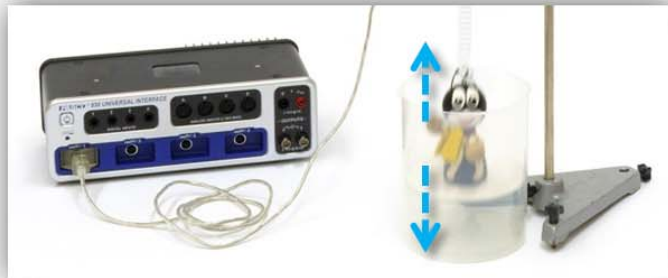
Co budeme potřebovat?

- senzor polohy a pohybu
- univerzální měřicí rozhraní 850 (jiné měřicí rozhraní)
- dřevěnou dekorační figurku na pružině (jiné závaží na pružině)
- malou kruhovou destička z kartónu
- připínáček na nástěnku
- CD
- vysoké válcové plastové víko od sady CD



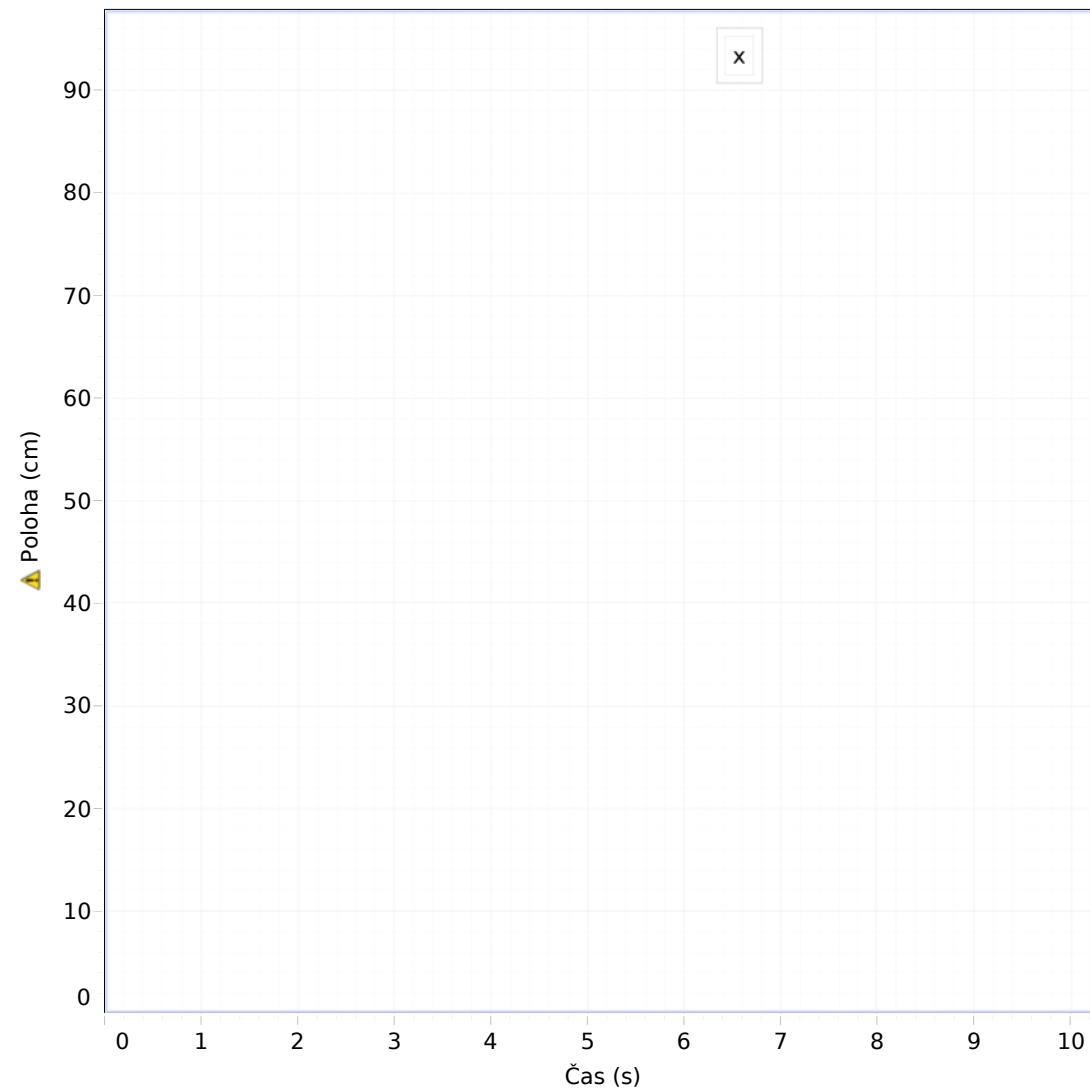
Příprava a sestavení experimentu

1. Senzor polohy a pohybu připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem, připevníme ho ve výšce přibližně 40 cm na laboratorní stojan a namíříme ho směrem dolů.
2. Na spodní část figurky připevníme pomocí malé kartónové destičky a připínáčku CD a pověsíme ji na laboratorní stojan tak, aby pružina procházela těsně vedle senzoru polohy a pohybu a spodní část figurky s CD se nacházela asi 8 cm nad podložkou.
3. Plastové víko od sady CD umístíme na podložku vedle stojanu otevřeným koncem nahoru tak, aby jím volně procházela figurka s připevněným CD při svém kmitavém pohybu.



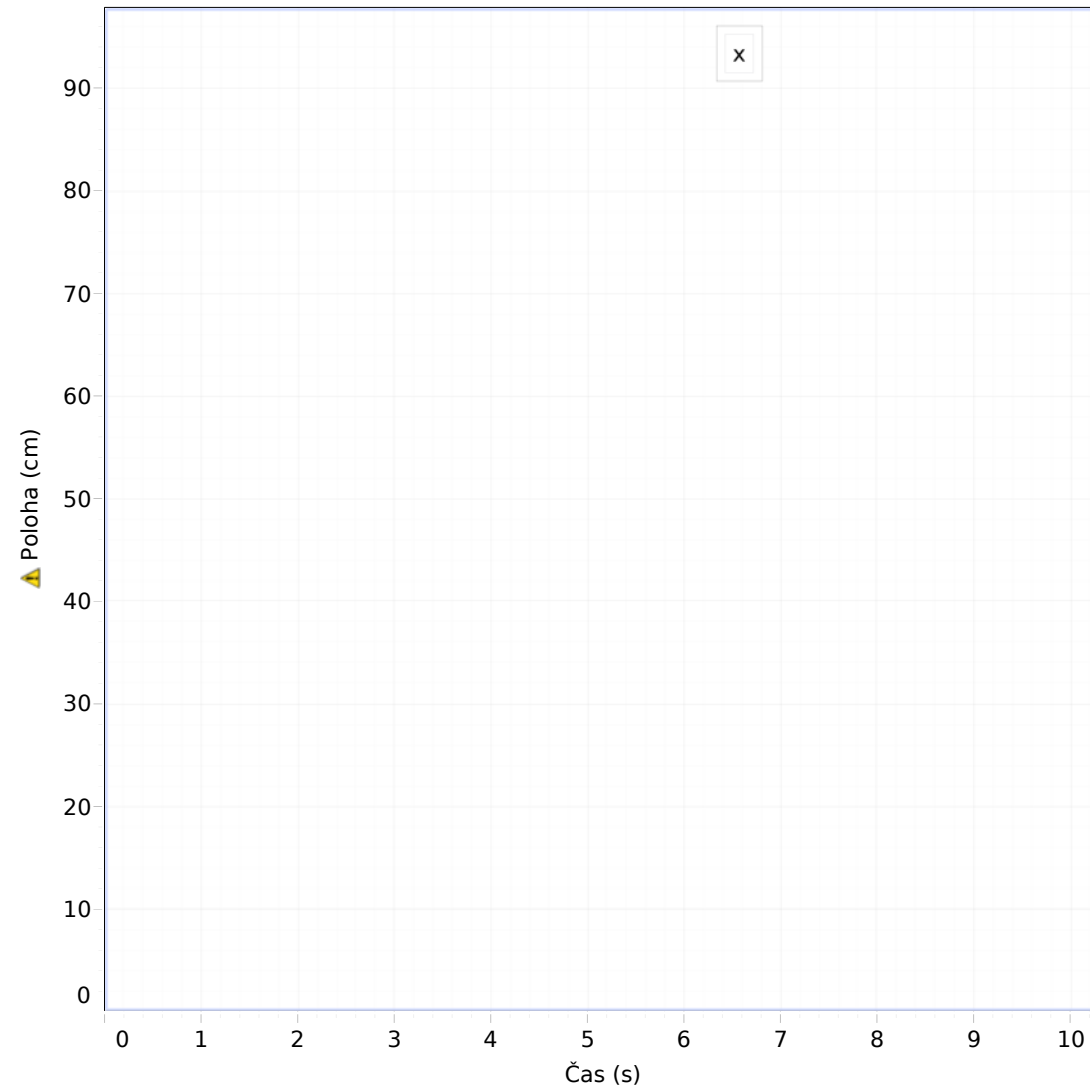
Postup práce – záznam dat

1. Vynulujeme senzor polohy a pohybu, uchopíme pružinu nad úrovní senzoru polohy a pohybu a povytáhneme figurku její spodní částí s CD na úroveň horního okraje plastového víka.
2. Spustíme měření a uvolněním pružiny necháme kmitat figurku ve válci plastového víka.
3. Po krátké chvíli měření ukončíme.
4. V grafu se zobrazí časový průběh kmitů figurky.



Analýza naměřené závislosti - úkoly

1. Pokuste se vysvětlit, čím je způsobeno výrazně větší tlumení kmitů figurky v pokusu s modelem tlumiče oproti tlumeným kmitům v předchozím experimentu.
2. Nakreslete a popište, jak by měl asi vypadat průběh pohybu tělesa na pružině s ideálním tlumičem.



Závěr

Pokuste se slovně formulovat, na čem a jakým způsobem závisí doba kmitu závaží na pružině.

Vymyslete několik příkladů, kdy by bylo vhodné, nebo dokonce nutné použít pro stanovení hmotnosti nějakého tělesa metodu měření periody kmitů na pružině popsanou v prvním experimentu.

Objasněte, jaká je hlavní funkce tlumičů pérování u automobilů a jaké důsledky může mít jejich špatná funkce.

Použité materiály a další informační zdroje

SVOBODA, Emanuel a kol. *Přehled středoškolské fyziky*.

Praha: SPN, 1991. ISBN 80-04-22435-0.

Použité fotografie z externích zdrojů:

morgueFile free photo archive (morguefile.com)

Wikipedia (wikipedia.org)

Metodické poznámky

- U prvního experimentu je možné pomocí senzoru síly a délkového měřítka (případně senzoru polohy) určit sílu potřebnou na protažení pružiny o určitou délku Δl a spočítat z těchto údajů tuhost pružiny. Následně pak lze z periody kmitání figurky na pružině určit její hmotnost prostým dosazením do vztahu pro periodu kmitání závaží na pružině a porovnat tuto hmotnost s hmotností zjištěnou způsobem popsáním v prvním experimentu.
- Při použití železného závaží místo figurky na pružině lze destičky k závaží připevňovat například silným neodymovým magnetem, nebo oboustrannou lepicí páskou.
- Senzor polohy a pohybu je potřeba umístit tak daleko, aby minimální vzdálenost figurky od senzoru při největší výchylce byla alespoň 15 cm a naměřené průběhy nebyly „ořezané“. Nožičky dřevěné figurky je při pokusech bez tlumicích destiček vhodné gumičkou přitáhnout k tělu figurky, aby nerušily odraz ultrazvukových vln senzoru od spodní části figurky.