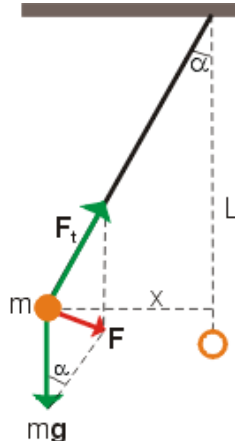


Mechanické kmitání (SŠ)

Určení tíhového zrychlení z doby kmitu matematického kyvadla

Fyzikální princip

Matematickým kyvadlem rozumíme abstraktní model mechanického oscilátoru, kde je malé těleso hmotnosti m zavěšeno na pevném vlákně zanedbatelné hmotnosti a konstantní délky L (viz obr. 1).



Obr. 1: Matematické kyvadlo.

Při výpočtu se omezíme pouze na malé výchylky, abychom mohli oblouk, po kterém se kulička pohybuje (viz obr. 1), považovat za úsečku. Pro výchylku $\alpha \leq 5^\circ$ platí, že výraz $\sin \alpha$ je přibližně roven úhlu α , vyjádřenému v radiánech ($\sin \alpha \cong \alpha$). (Např. pro $\alpha = 5^\circ$, tj. pro $\alpha = 0,0873$ rad, dostaneme $\sin \alpha = 0,0872$.) Příčinou kmitavého pohybu matematického kyvadla je síla F , která je výslednicí tíhové síly mg a tahové síly F_t , kterou působí vlákno závěsu na těleso. Síla F působí proti výchylce kuličky a snaží se ji vrátit do rovnovážné polohy ($\alpha = 0$). Pro sílu F (viz obr. 1) platí:

$$F = -m g \sin \alpha = -m g \frac{x}{L}, \quad (1)$$

kde záporné znaménko upozorňuje, že síla působí proti výchylce.

Srovnáme-li vztah (1) s pohybovou rovnicí harmonického kmitání

$$F = -m \omega^2 x, \quad (2)$$

kde ω je úhlová frekvence pohybu, pak dostáváme vztah pro úhlovou frekvenci ω_0 vlastního kmitání matematického kyvadla

$$F = -m \omega^2 x = -m g \frac{x}{L} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L}}. \quad (3)$$

Pro periodu T_0 a frekvenci f_0 vlastního kmitání matematického kyvadla platí:

$$T_0 = 2 \pi \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (4)$$

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi} \sqrt{\frac{g}{L}}. \quad (5)$$

Ze vztahu (4) vidíme, že perioda kmitání matematického kyvadla nezávisí na hmotnosti tělesa ani na výchylce z rovnovážné polohy. Pro tíhové zrychlení g platí tedy vztah:

$$g = \frac{4 \pi^2 L}{T_0^2}. \quad (6)$$

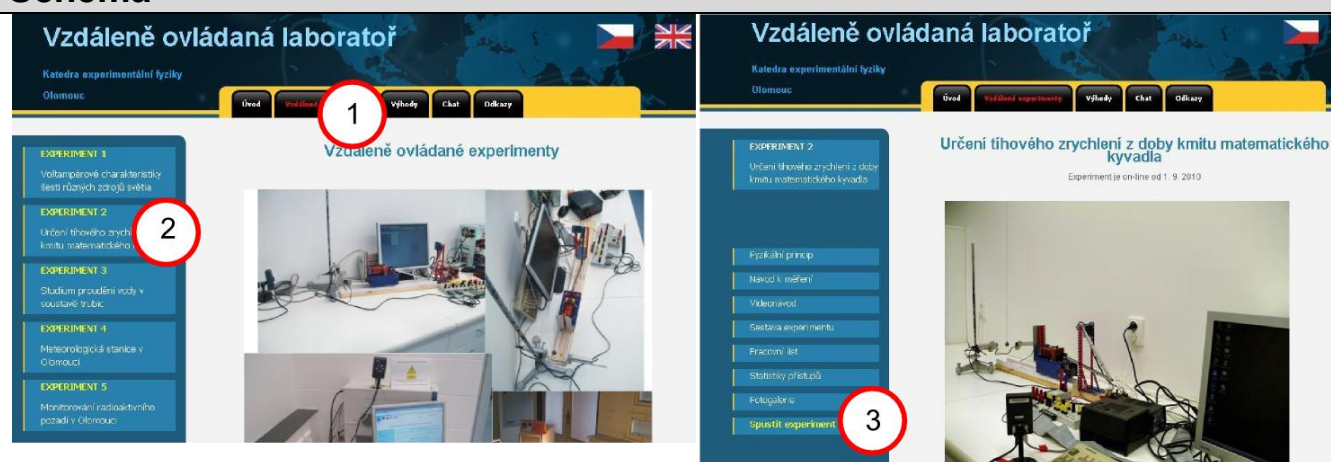
Cíl

1. Seznámit se s vzdáleně ovládaným experimentem *Určení tíhového zrychlení z doby kmitu matematického kyvadla*.
2. Ze vztahu (6) vypočítat tíhové zrychlení g pro dané místo měření.
3. Seznámit se resp. zopakovat si vlastnosti tíhového zrychlení g vzhledem k zeměpisné šířce a nadmořské výšce.
4. Vypracovat protokol o měření.

Pomůcky

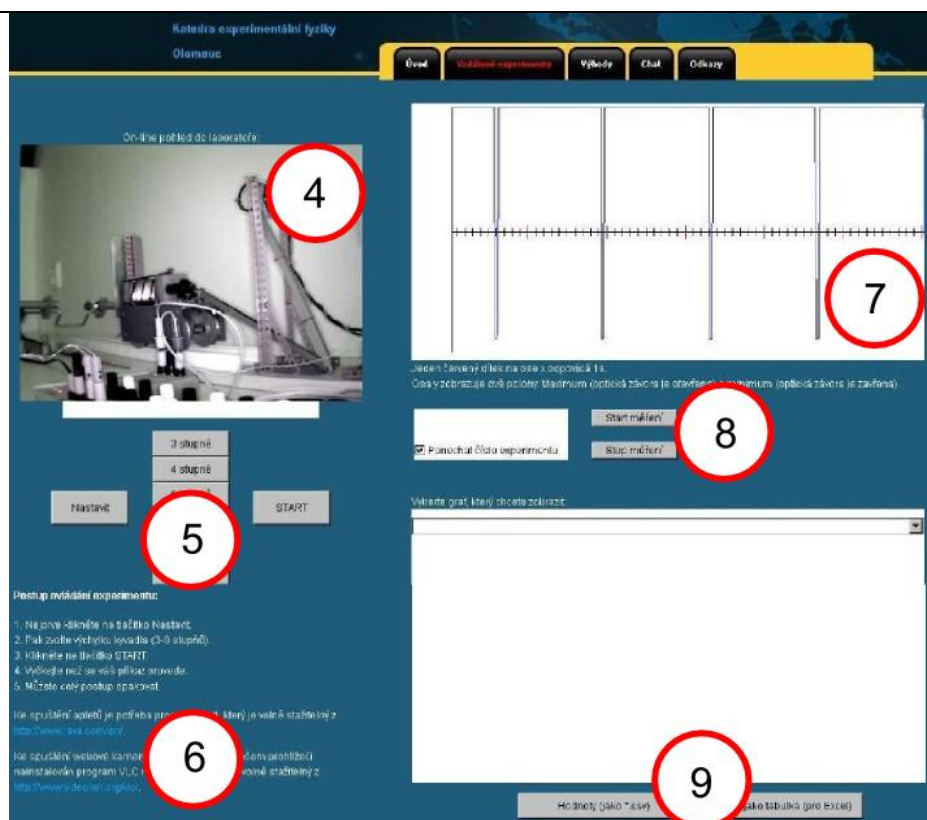
Počítač s připojením na internet.

Schéma



Obr. 2: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

Na webové stránce <http://www.ictphysics.upol.cz/remotelab/> (viz obr. 2) se můžete v horním panelu seznámit s výhodami vzdáleně ovládaných experimentů, také jsou v této liště odkazy na mnoho dalších vzdáleně ovládaných experimentů z ČR i zahraničí. Pokud chcete přejít k vzdálenému měření, klikněte na tlačítko s červeným nápisem "*Vzdálené experimenty*" (číslo 1) a poté si vyberte experiment 2 "*Určení tíhového zrychlení z doby kmitu matematického kyvadla*" (číslo 2). Na další stránce jsou informace o tomto experimentu (fyzikální princip, návod i videonávod k měření, sestava experimentu nebo protokol pro měření např. ve školním praktiku). Pokud chcete přejít k měření, musíte kliknout na tlačítko "*Spustit experiment*" (číslo 3). Otevře se vám nová webová stránka (viz obr. 3). V levé části této stránky (číslo 4) je obraz z webové kamery. Pokud se vám obraz nezobrazí, nainstalujte si drobný plug-in programu VLC media player pro váš prohlížeč, který je volně dostupný např. na stránce <http://www.videolan.org/vlc/>. Pod obrazem z webové kamery se nachází panel s ovládacími tlačítky (číslo 5). Zde nastavujete počáteční výchylku kyvadla ($3-8^\circ$). Pod tímto panelem s tlačítky jsou informace (číslo 6), jak postupovat při nastavení počáteční výchylky. V pravé části stránky se v grafu (číslo 7) zobrazuje průchod mat. kyvadla optickou závorou. Pomocí tlačítek "*Start měření*" a "*Stop měření*" (číslo 8) můžete uložit naměřené hodnoty za libovolný časový úsek. Tyto data lze dále stahovat např. do Excelu pomocí tlačítka "*Hodnoty jako tabulka (pro Excel)*" (číslo 9).



Obr. 3: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

Postup měření

1. Zapněte počítač a připojte se na internet. Experiment je umístěn na webové stránce <http://www.ictphysics.upol.cz/remotelab/> (viz obr. 2-3).
2. Pokud by se na této stránce vyskytly chyby, vyzkoušejte experiment v jiném webovém prohlížeči a zkontrolujte, zda máte nainstalovanou nejnovější verzi programu JAVA, která je zdarma dostupná např. z adresy <http://java.com/>. Experiment může v jeden okamžik ovládat vždy pouze jeden uživatel. Může se tedy stát, že experiment bude obsazen. Počkejte několik minut a zkuste se připojit k experimentu později. Pokud se vám nezobrazí obraz z webové kamery, tak si nainstalujte drobný plug-in programu VLC media player pro váš prohlížeč, který je volně dostupný např. na stránce <http://www.videolan.org/vlc/>.
3. Pokud je vše v pořádku lze přejít k měření. Nejprve se seznamte s ovládáním experimentu a proveďte jedno zkušební měření, kde se seznámíte s funkcemi jednotlivých tlačítek (Nastavit, START, Start měření apod.).
4. Nyní přejdeme k měření periody kmitavého pohybu. Klikněte na tlačítko Nastavit, poté zvolte libovolný úhel ($3-8^\circ$) a vše potvrďte stisknutím tlačítka START. Na webové kamery můžete pozorovat, jak vozíček s elektromagnetem nastavuje kyvadlo do vámi zvolené počáteční výchylky.
5. V grafu na webové stránce se zobrazuje průchod mat. kyvadla optickou závorou. Perioda kmitání lze určit přímo z grafu, ale pro přesnější měření využijte tlačítka Start měření a Stop měření a data si pomocí tlačítka Hodnota jako tabulka (pro Excel) nakopírujete např. do Excelu. Z naměřených hodnot určete periodu pohybu T .
6. Zvolte jinou počáteční výchylku kyvadla a měření opakujte. Celkem proveďte měření pro 4 různé počáteční výchylky a ze všech měření určete periodu pohybu T . Výsledky si zapisujte do tabulky č. 1.
7. Na webové stránce si v části *Sestava experimentu* najdete údaj o délce mat. kyvadla L a pomocí vztahu (6) vypočítejte tíhové zrychlení g pro čtyři vámi zvolené počáteční výchylky.

Tab. 1

Výchylka kyvadla		Perioda		$g \left[\frac{m}{s^2} \right]$
$\alpha =$		$T =$		
$\alpha =$		$T =$		
$\alpha =$		$T =$		
$\alpha =$		$T =$		

8. Vypracujte protokol o měření, který má standardní části: Úvod, Teoretická část, Experimentální část (naměřená data, grafy, výpočty a tabulky), Závěr a Zhodnocení měření.

Doplňující otázky

1. Popište změny tíhového zrychlení na Zemi a vysvětlete pojem normálové tíhové zrychlení.
2. Jak se mění tíhové zrychlení v různých zeměpisných šířkách a jaký vliv má na hodnotu tíhového zrychlení nadmořská výška? Na webové stránce <http://ictphysics.upol.cz/remotelab/> si v záložce Sestava experimentu najdete údaj o nadmořské výšce, ve které je experiment umístěn, a diskutujte, jak by se výsledek změnil, kdyby bylo mat. kyvadlo umístěno v rovině s hladinou moře (0 m nad mořem).
3. Vysvětlete pojem kyv a kmit kyvadla. Jaký vliv na měření má délka závěsu kyvadla?
4. Vysvětlete rozdíl mezi matematickým a fyzickým kyvadlem. Na internetu najdete další typy kyvadel např. reverzní kyvadlo, torzní kyvadlo, spřažená kyvadla, Blackburnovo kyvadlo, Foucaultovo kyvadlo a další a popište jejich základní vlastnosti.
5. Pokuste se provést podobný experiment v laboratoři nebo ve třídě. Jaké pomůcky budete k tomuto pokusu potřebovat?

Použitá literatura

- [1] Lepil, O.: *Fyzika pro gymnázia. Mechanické kmitání a vlnění*. Prometheus Praha, 2001.
- [2] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika. Část 2. Mechanika – Termodynamika*. VUTIUM, Brno, 2006.
- [3] Reichl, J.: *Encyklopedie fyziky*. [on-line] [cit. 2011-8-16]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/>.
- [4] <http://ictphysics.upol.cz/remotelab/> [on-line] [cit. 2011-8-29].