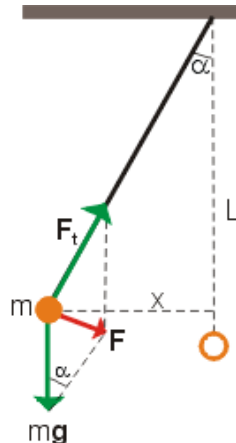


## Mechanické kmitání (SŠ)

## Závislost tíhového zrychlení na zeměpisné šířce

### 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  $\alpha$ , 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  $\omega$  je úhlová frekvence pohybu, pak dostáváme vztah pro úhlovou frekvenci  $\omega_0$  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:

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

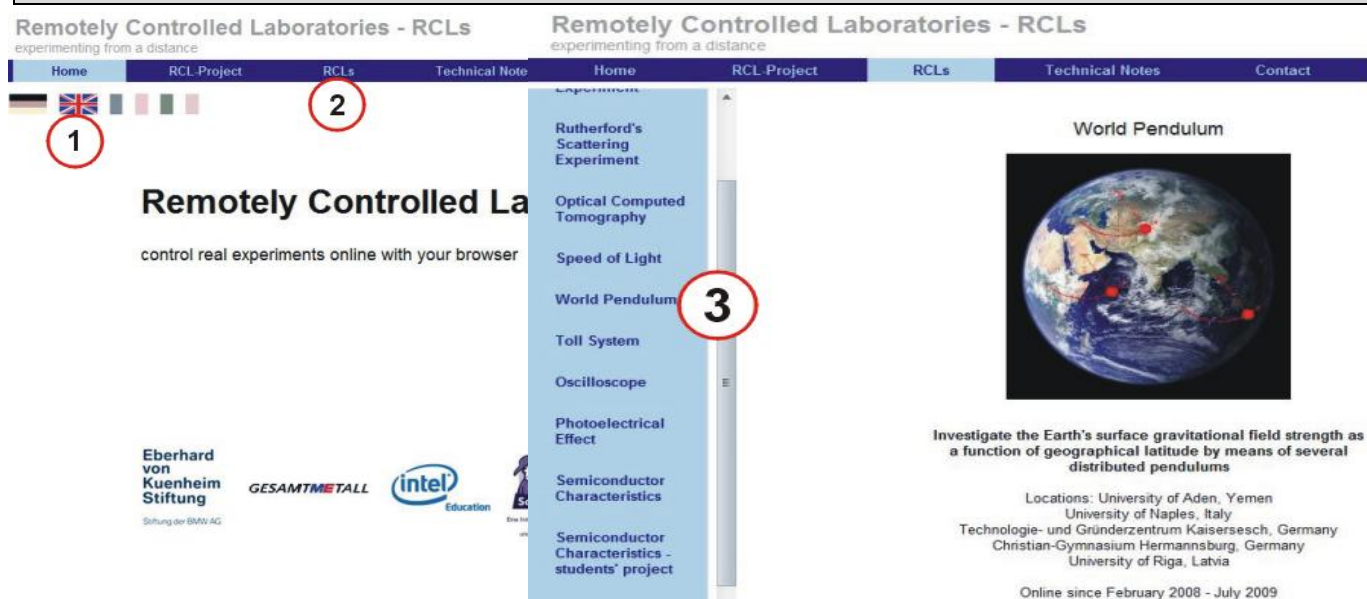
## Cíl

1. Seznámit se s vzdáleně ovládaným experimentem *Závislost tíhového zrychlení na zeměpisné šířce*.
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

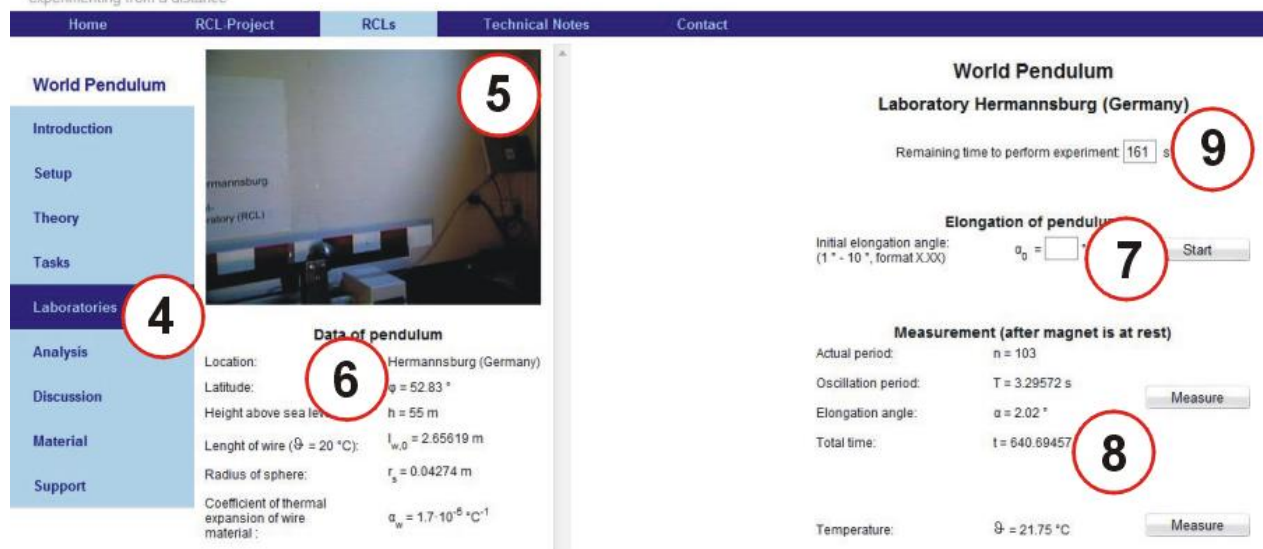


Obr. 2: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

Na webové stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (viz obr. 2) si nejprve vyberte jazykovou mutaci (nejlépe angličtinu; číslo 1) a poté klikněte na nápis "RCLs" v horní modré liště (číslo 2). Na další webové stránce se vám v levé části zobrazí seznam vzdáleně ovládaných experimentů. Klikněte na položku s názvem "World Pendulum" (číslo 3) a otevře se vám nová webová stránka s tímto experimentem (viz obr. 3). Na této webové stránce si můžete v levém modrém sloupci přečíst o tomto experimentu (teorie, úkoly, analýzy, sestava experimentu apod.). Pokud chcete přejít k měření, musíte kliknout na nápis "Laboratories" (číslo 4). Jelikož je tento experiment 4krát na 4 různých místech světa (viz tab. 1), zvolte si jednu z možností (ovládání je u všech stejné) a pokračujte dál. V levé části obrazovky je obraz z webové kamery, který sleduje aktuální změny na experimentu (číslo 5), pod ním (číslo 6) jsou údaje o experimentu (poloha, nadmořská výška, délka kyvadla, poloměr zavěšené kuličky apod.). V pravé části webové stránky je možno nastavit úhel, o který se kyvadlo vychýlí (číslo 7). V dolní části (číslo 8) jsou naměřené údaje (počet period, doba jedné periody, úhel vychýlení, teplota v místnosti apod.). V horní části stránky (číslo 9) se odpočítává čas, který ještě máte k provádění experimentu. Maximální čas je 180s.

Tab. 1 Seznam míst, kde jsou umístěna jednotlivá vzdáleně ovládaná matematická kyvadla.

Kaisersesch	Německo
Hermannsburg	Německo
Riga	Lotyšsko
Aden	Yemen



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://rcl.fysik.uni-kl.de/> (obr. 2-3).
2. Pokud by se na této webové stránce vyskytly chyby, vyzkoušejte tento experiment v jiném webovém prohlížeči.
3. Jelikož je experiment ve 4 verzích na 4 různých místech, vyberte nejprve experiment umístěný v Kaisersechu (Německo), pokud by zrovna tento odkaz nebyl funkční, vyberte jiný.
4. 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 (start, measure apod.).

Tab. 2

Umístění kyvadla (země)		
Zeměpisná šířka	$\varphi =$	
Nadmořská výška	$h =$	
Délka vlákna	$x =$	
Poloměr kuličky	$r =$	
Délka kyvadla	$L = x + r =$	

5. Z webových stránek si do tabulky opište umístění (Location), zeměpisnou šířku (Latitude), nadmořskou výšku (Height above sea level), délku vlákna (Length of wire), poloměr kuličky (Radius of sphere) a dopočítejte délku kyvadla  $L$ .
6. V pravé části obrazovky, kde je ovládání experimentu nastavte počáteční výchylku (Initial elongation angle) na  $10^\circ$  a klikněte na tlačítko "Start". Chvilí vyčkejte, než se dá kyvadlo do pohybu a zvolte první tlačítko "Measure". Po stisknutí tohoto tlačítka se vám zobrazí perioda kmitu mat. kyvadla "Oszillation period" a přesnější hodnota výchylky "Elongation angle", tyto hodnoty si zapište do tabulky. Zvolte si jinou hodnotu výchylky a hodnoty si opět zapište do tabulky. Celkem zvolte šest různých výchylek. Podle vzorce (6) vypočítejte hodnotu tíhového zrychlení  $g$ . Nezapomeňte uvádět správné jednotky!

Tab. 3

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

$\alpha =$		$T =$		
$\alpha =$		$T =$		
$\alpha =$		$T =$		

- Hodnoty z tabulky zakreslete do grafu, kde na ose  $x$  bude výchylka  $\alpha$  a na ose  $y$  tíhové zrychlení.
- Nyní se vraťte na úvodní webovou stránku a vyberte si stejný experiment, ale na jiném místě (pokud možno zvolte i jinou zemi). Zcela analogicky opakujte body 5-7.
- Ještě jednou se vraťte na úvodní webovou stránku a vyberte si stejný experiment, ale na jiném místě (pokud možno zvolte i jinou zemi). Zcela analogicky opakujte body 5-7. Celkem budete mít změřeny hodnoty ze tří různých míst na světě.
- Srovnejte jednotlivé měření ze tří různých mat. kyvadel. Z každého měření si vyberte hodnoty pro výchylku  $2^\circ$  a příslušnou zeměpisnou šířku a zaznamenejte tyto hodnoty do společného grafu, kde na ose  $x$  bude zeměpisná šířka  $\varphi$  a na ose  $y$  tíhové zrychlení  $g$ .
- 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

- Popište změny tíhového zrychlení na Zemi a vysvětlete pojem normálové tíhové zrychlení. Jak se mění tíhové zrychlení v různých zeměpisných šířkách a jaký vliv má na hodnotu tíhového zrychlení nadmořská výška? Jaká je hodnota tíhového zrychlení  $g$  na rovníku a jaká na pólu?
- Vysvětlete pojem kyv a kmit kyvadla. Jaký vliv na měření má délka závěsu kyvadla?
- 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.
- Pokuste se provést podobný experiment v laboratoři nebo ve třídě. Jaké pomůcky budete k tomuto pokusu potřebovat?

### Použitá literatura

- Lepil, O.: *Fyzika pro gymnázia. Mechanické kmitání a vlnění*. Prometheus Praha, 2001.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika. Část 2. Mechanika – Termodynamika*. VUTIUM, Brno, 2006.
- Reichl, J.: *Encyklopedie fyziky*. [on-line] [cit. 2010-8-12]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/>.
- <http://rel.physik.uni-kl.de/>. [on-line] [cit. 2010-8-12].