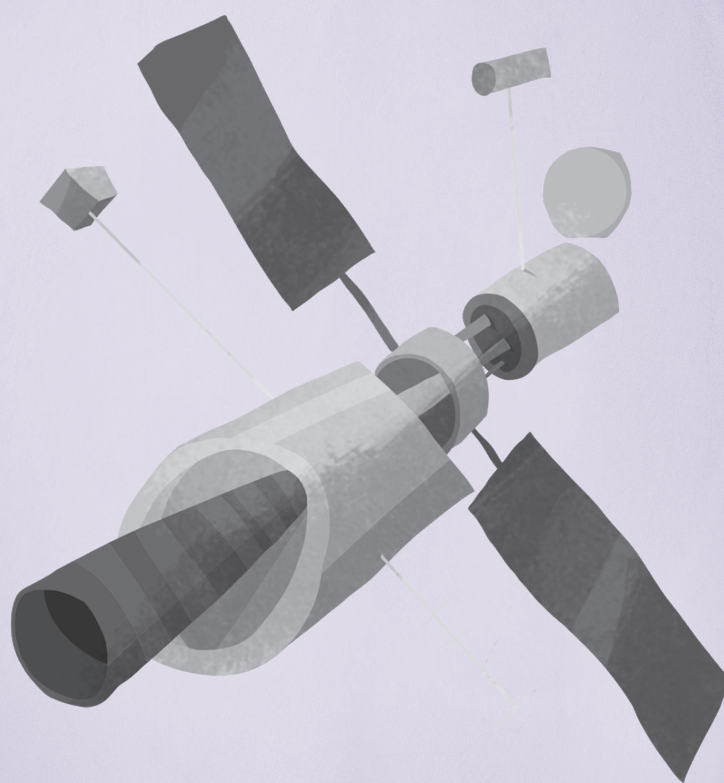


FYZIKA

MĚŘENÍ ČASU KYVADLEM



Akademie věd ČR hledá mladé vědce

OTEVŘENÁ VĚDA

AKADEMIE VĚD ČR



Úvodní list

Předmět:	Fyzika
Cílová skupina:	1. ročník SŠ/G
Délka trvání:	90 min.
Název hodiny:	Měření času kyvadlem
Výukový celek:	Kinematika hmotného bodu
Vzdělávací oblast v RVP:	Člověk a příroda
Průřezová témata:	<p><u>Výchova demokratického občana</u> – Rozvoj dovednosti formulovat vlastní myšlenky, výsledky pozorování, schopnost argumentace a obhajoba vlastního názoru.</p> <p><u>Osobnostní a sociální výchova</u> – Rozvoj kognitivních schopností, analytického myšlení, kooperace, práce ve dvojicích, práce ve skupinách.</p> <p><u>Mediální výchova</u> – Rozvoj schopnosti používat informační technologie, použití webové aplikace pro získání potřebných hodnot</p> <p><u>Výchova k myšlení v evropských a globálních souvislostech</u> – Uvědomění si možnosti celosvětové spolupráce díky globálnímu sdílení informací prostřednictvím internetu (využití zahraniční webové aplikace).</p>
Mezipředmětové vztahy:	<p>Biologie – určování tepové frekvence – technická zařízení nám umožňují diagnostikovat zdravotní stav člověka.</p> <p>Matematika – matematický popis fyzikálních jevů, empirické očekávání závislostí fyzikálních veličin a jejich porovnání s přesným matematickým vyjádřením.</p> <p>Anglický jazyk – použití webové stránky v anglickém jazyce.</p>
Výukové metody:	Výklad, heuristický rozhovor, samostatná práce, žákovský experiment, rozhovor, diskuse.
Organizační formy výuky:	Frontální, skupinová, párová, individuální.
Vstupní předpoklady:	Student je schopen si udělat základní představu o zadané fyzikální situaci a formulovat očekávaný výsledek pokusu. Rozumí rozdílu mezi matematickým modelem a fyzikálním objektem.



Očekávané výstupy:	Student chápe, jak je možné vyjádřit hodnoty některých fyzikálních veličin pomocí jiných veličin. Z daného vztahu umí určit, jak reaguje hodnota výsledné veličiny na změny jednotlivých vstupních veličin. Je si vědom, že výsledek každého fyzikálního měření je zatížen chybou, jejíž velikost závisí na použité metodě měření.
Výukové cíle:	Student dokáže vyrobit jednoduché kyvadlo a s jeho pomocí (a využitím délkového měřidla) změřit časový úsek a tak i například určit vlastní tepovou frekvenci.
Klíčové kompetence:	<p><u>Kompetence k učení:</u> Student se učí propojovat poznatky s ději v běžném životě (souvislost periody matematického kyvadla s měřením času).</p> <p><u>Kompetence k řešení problémů:</u> Student se učí porozumět danému problému (matematické kyvadlo). Učí se rozpoznat klíčové parametry zařízení (u kyvadla délka) a patřičně je zohlední při experimentu. Student se učí používat internetové zdroje informací (zjištění přesné hodnoty tíhového zrychlení v daném místě).</p> <p><u>Kompetence komunikativní:</u> Student se učí úsporně a přesně komunikovat prostřednictvím odborného jazyka (perioda, absolutní chyba měření, relativní chyba měření). Student se učí vyjadřovat přehledně graficky (tvorba grafu shrnujícího naměřené výsledky včetně chyb měření). Student se učí prezentovat výsledky svého měření ostatním.</p> <p><u>Kompetence sociální a personální:</u> Student se učí vytvářet sebehodnocení. Učí se vytvářet metodiku práce ve skupinách (výroba kyvadla a hledání tíhového zrychlení na internetu). Student je veden k přiměřenému kritickému posouzení práce své i svých spolužáků.</p> <p><u>Kompetence občanské:</u> Student se učí vážit si pomoci spolužáka a výsledku práce spolužáka.</p> <p><u>Kompetence pracovní:</u> Student se učí trpělivosti, pečlivosti a přesnosti při zhotovování kyvadla. (Pečlivost provedení přímo souvisí v přesnosti výsledku měření.) Učí se nenechat se odradit neúspěšně provedeným pokusem. Pokud výsledek měření není ve shodě s očekáváním, učí se najít zdroje chyb a navrhnout jiný postup k dosažení cíle.</p>
Formy a prostředky hodnocení:	Slovní hodnocení průběžné i závěrečné, sebehodnocení, zpětná vazba, porovnání naměřených výsledků s očekáváním.
Kritéria hodnocení:	Splnění stanovených cílů, dosažená přesnost měření, spolupráce ve dvojici/skupinkách, komunikativní a prezentační dovednosti žáka (prezentace vlastních výsledků ostatním skupinám).
Pomůcky:	Školní tabule, křídly/fixy, pomůcky k výrobě kyvadla (viz pokus), sešit, pracovní listy, psací potřeby. Výhodou je PC s připojením k internetu (nejlépe s možností přímé obsluhy studenty), alternativně je možné nahradit domácí přípravou pedagoga.



Časový a obsahový plán výukového celku (90 min.)

Název hodiny: Měření času kyvadlem

Čas (min.)	Struktura výuky	Činnost učitele	Činnost žáků	Organizační formy výuky		Hodnocení	Pomůcky	Poznámka
				Výukové metody				
5	Zahájení	Pozdrav, oznámení průběhu hodiny, tématu hodiny a cíle hodiny	Pozdrav, pochopení cíle	Frontální Výklad	Zpětná vazba			
15	Opakování	Rozdává pracovní listy na opakování učiva z předešlých hodin, rozdává pomůcky na pokus, po vypracování se studenty projde pracovní list opakování a sdělí správné odpovědi	Každý samostatně pracuje na řešení pracovního listu, provede opravu svých odpovědí	Frontální Samostatná práce	Kvantitativní	Pracovní listy pro studenty na opakování	Pracovní list je uveden v příloze <i>Opakování</i> , řešení pracovního listu je v dokumentu <i>Opakování – řešení pro pedagoga</i>	
15	Výklad nového učiva	Popisuje použití kyvadel k měření času, výpočet periody, chyby měření, dává studentům kontrolní otázky	Vyvolaní studenti odpovídají na dotazy	Frontální Výklad, heuristický rozhovor	Slovní, zpětná vazba	Tabule, křída/fixy		
10	Práce s internetem	Rozdá pracovní listy, popíše práci s webovou aplikací (wolframalpha.com), zorganizuje skupiny studentů v závislosti na vybavení počítači, pomáhá studentům při potížích	Hledají tíhové zrychlení v aplikaci podle zadání, výsledky zapisují do pracovních listů	Frontální, skupinová Výklad, samostatná práce	Kvantitativní	PC s připojením na internet, pracovní listy pro studenty	Pracovní list je uveden v příloze <i>Pracovní list pro studenta</i> , řešení pracovního listu je v dokumentu <i>Pracovní list pro pedagoga</i>	
30	Práce s kyvadlem	Dává pokyn k rozdělení žáků do skupin (dvojcí nebo trojic), následně kontroluje jejich práci, popř. pomáhá s řešením	Řeší úlohu podle pracovního listu (stavba kyvadla, měření periody a tepové frekvence)	Skupinová Samostatná práce	Kvantitativní, slovní, zpětná vazba	Pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty	Pokračování předchozího pracovního listu	
5	Ukončení experimentu a zadané práce	Úklid pomůcek	Úklid pomůcek	Frontální Samostatná práce	Slovní			



5	Společná diskuse	Řídí diskusi	Skupiny si vzájemně prezentují výsledky svých měření (shoda period v různém nastavení, tepové frekvence)	Skupinová Diskuse	Slovní, zpětná vazba		
5	Shnutí, ukončení hodiny	Zopakování nejzásadnějších poznatků z hodiny, dotazy na žáky	Odpovědi na dotazy vyučujícího	Frontální Rozhovor	Slovní		



Pracovní list pro studenty

Název: Měření času kyvadlem

Jméno:

a) Úkol

Vyrob kyvadlo pomocí dodaných pomůcek. Poté změř jeho parametry a vypočítej jeho periodu. Výsledek porovnej s měřením. Při porovnání správně pracuj s chybami (nejistotami) měření ve fyzice. Nakonec pomocí kyvadla změř svou tepovou frekvenci.

b) Výklad

Měření času dnes

Elektronické přístroje k přesnému měření času jsou v dnešní době tak rozšířené, že si jejich přítomnost často téměř neuvědomujeme (hodinky, mobilní telefony, GPS navigace,...). Tento luxus nám však přineslo až použití piezoelektrických krystalů, jež bylo poprvé provedeno pro účely měření času až roku 1928. Do té doby byla právě kyvadla zařízeními, která dokázala určovat čas s nejvyšší přesností.

Galileo Galilei

Základ měření času pomocí kyvadel dal roku 1602 italský vědec Galileo Galilei. Zjistil totiž, že perioda kyvadla vůbec nezávisí na výchylce (alespoň v přiblížení malých kmitů). Na rozdíl od matematického kyvadla dochází u reálného kyvadla k útlumu vlivem tření a výchylka kyvadla v krajních bodech se tedy zmenšuje. Galileův závěr však říká, že změna maximální výchylky nemá žádný vliv na periodu. Tato vlastnost, která předurčila kyvadla k měření času, se nazývá **izochronie**.

Výpočet periody

Konkrétní vyjádření periody T matematického kyvadla pro malé kmity je:

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

kde l je délka kyvadla a g tíhové zrychlení. Je důležité si všimnout, že perioda tedy jednak nezávisí na výchylce a dále také nijak nezávisí na hmotnosti závaží. Tyto dva poznatky budeme v naší úloze ověřovat a poté je využijeme k měření času kyvadlem.

Tíhové zrychlení

Tíhové zrychlení představuje sílu gravitačního pole Země v daném místě na jejím povrchu. Jeho přibližná hodnota je $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$, ale na různých místech Země se liší. Zde je několik příkladů:

Poloha na Zemi	Tíhové zrychlení
Na rovníku v úrovni mořské hladiny	$g = 9,780 \text{ m/s}^2$
45 ° zeměpisné šířky	$g = 9,806 \text{ m/s}^2$
Zemský pól	$g = 9,832 \text{ m/s}^2$
Praha	
Brno	
Ostrava	
Sydney	
Vaše obec:	



Tab. č. 1: Tíhové zrychlení v různých místech na Zemi.

Přesné hodnoty tíhového zrychlení přímo kdekoli na světě můžeš získat na následující adrese: <http://www.wolframalpha.com>. Zde zadej „gravitational field nazev_mesta“, kde zadáš název hledaného města / hledané obce. Do tabulky doplň chybějící údaje. U českých názvů nepoužívej diakritiku a můžeš přidat „Czech Republic“.

Chyby (nejistoty) měření

Vždy, když měříme nějakou fyzikální veličinu, je důležité mít na paměti, že ji nemůžeme určit libovolně přesně. Klasické pravítko nám například umožní v ideálním případě měřit vzdálenost s přesností $\pm 0,5$ mm. Zde se projevují nepřesnosti experimentátora, měřicího zařízení, samotného měřeného objektu a v některých případech i kolísání samotné měřené veličiny (například teplota vody). Všechny tyto faktory je třeba zohlednit a stanovit (vypočítat nebo alespoň odhadnout) jak přesný náš výsledek skutečně je.

Pokud tvrdíme, že dvě veličiny jsou shodné, opět zde máme na mysli shodu v rámci přesnosti měření a případně v rámci přesnosti použitého modelu. To se nám bude v této úloze hodit.

Pokud například naměříme délku $l = (52,1 \pm 0,2)$ cm, je takzvaná **absolutní chyba** měření rovna 0,2 cm. Absolutní chybu vždy udáváme s přesností jen na jednu platnou cifru. (Například 0,0238 cm zaokrouhlíme na 0,02 cm.) Často se však pracuje s **relativní chybou**, tedy hodnotou $0,2 \text{ cm} / 52,1 \text{ cm} = 0,0038 = 0,38 \%$, což zaokrouhlíme na 0,4 %. Relativní chyba tedy neudává, o kolik jednotek se může výsledek lišit, ale o jakou část naměřené hodnoty.

Správný zápis výsledku

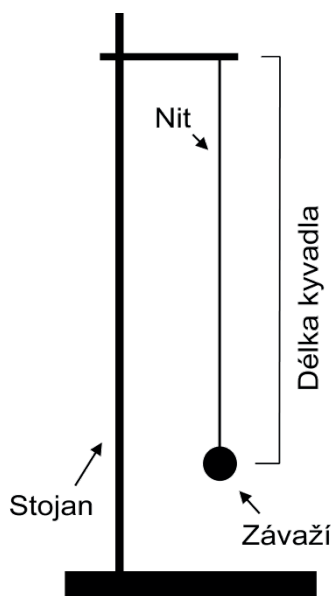
Naměřené výsledky budeme vždy udávat zaokrouhlené na řád daný chybou měření. Například je-li chyba 0,6 m (chyba několik desetín metru) a naměřená hodnota 9,57846 m, zapíše výsledek jako $(9,6 \pm 0,6)$ m (tedy zaokrouhlený na desetiny metru). Hodnotu 35 628 J s chybou 300 J napíšeme jako $(35\,600 \pm 300)$ J a podobně. (Jak jsme si již řekli, pokud by nám vyšla chyba například 348 J, použili bychom stejně hodnotu chyby 300 J.)

c) Pomůcky

Stojan, rezná nit, kovové podložky jako závaží, měřítko, stopky (případně hodinky se stopkami, mobilní telefon,...).

d) Pracovní postup

1. **Vyrob kyvadlo.** Sestav stojan. Ustřižni asi 1,5 m dlouhý kus rezné nitě a přivaž ho ke stojanu (podle schématu). Na druhý konec nitě uvaž háček tak, aby se při puštění volně kýval nad stolem (vhodně upravte délku nitě). Na háček zavěs jednu podložku.



Obr. č. 1: Schéma kyvadla.

2. **Změř délku kyvadla** a odhadni **chybu** měření. K určení chyby zde jistě nepoužiješ pravítko poloviny nejmenšího dílku měřidla (tedy nejspíše 0,5 mm). Daleko větší nejistota totiž vzniká při otázce, odkud a kam vlastně délku měřit. Je třeba měřit od středu kružnice, po které se závaží pohybuje, do těžiště závaží. Polohu těžiště je třeba co nejlépe odhadnout. Vypočti také relativní chybu.
3. Podle uvedeného vzorce **vypočítej** předpokládanou **periodu** kyvadla. Stanov **relativní i absolutní chybu** periody. Vyjdi z toho, že relativní chyba bude přibližně poloviční než u měření délky kyvadla. (Chyba tíhového zrychlení je zanedbatelná.)
4. Urči, s jakou přesností dokážeš měřit čas. K tomu použij následující metodu: Vynuluj stopky, spusť odečet času a okamžitě je zase zastav. (Snaž se tedy udělat dvě stisknutí co nejrychleji za sebou.) Proveď 5 měření, zaznamenej do tabulky a spočti aritmetický průměr. (Pokud se nějaká hodnota výrazně liší, vyraď ji.) Spočtený průměr použij jako **absolutní chybu při každém měření času**.
5. **Změř periodu kyvadla**. Vychyl kyvadlo o přibližně 10 cm z rovnovážné polohy a pusť. (Volíme jen malou výchylku kvůli přesnosti měření.) Zapni stopky, když je kyvadlo v krajní poloze, a zastav je v okamžiku, kdy se do stejné polohy vrátí. Pro zpřesnění výsledku neměř jednu periodu, ale změř jich 10 v kuse a výsledný čas poté vyděl deseti. V tomto případě je třeba vydělit i absolutní chybu měření, takže výsledná chyba bude menší.
6. **Ověř nezávislost** periody **na výchylce**. Proveď měření přesně jako v předchozím bodě, ale na začátku vychyl kyvadlo o přibližně 20 cm.
7. **Ověř nezávislost** periody **na hmotnosti** závaží. Proveď měření přesně jako v předchozích bodech, ale před měřením přidej na háček kyvadla další kovovou podložku. (Vychýlení vol libovolně mezi 10 cm a 20 cm.)
8. **Vynes** naměřené hodnoty **do** připraveného **grafu včetně chyb**. Na vodorovné ose jsou jednotlivá měření, na svislé ose perioda kyvadla (spočtená nebo naměřená). Měřítka svislé osy i její počátek vol tak, aby byl výsledný graf co nejvíce vypovídající. Pokud například vyjdou všechna měření okolo 1,7 s s chybami kolem 0,1 s, můžeš zvolit počátek osy například 1,4 s a jeden tučný čtvereček jako 0,2 s. Hodnoty vynes podle vzoru: Puntík označuje naměřenou hodnotu a kolem je vyznačena velikost chyby daného měření.
9. **Využij kyvadlo ke zjištění tvé tepové frekvence**. Nahmatej si pulz na zápěstí a spočítej, kolik tepů proběhne za jednu minutu. K měření času **NEPOUŽÍVEJ**



STOPKY, ale kyvadlo. S kyvadlem nejspíše nepůjde odměřit přesně minuta. Můžeš odměřit jiný časový úsek a výsledek přepočítat.

e) *Zpracování pokusu*

Délka kyvadla: (..... ±) cm, relativní chyba: %

Vypočtená perioda kyvadla: (..... ±) s, relativní chyba: %

Absolutní chyba při měření času

Měření	1	2	3	4	5	Průměr
Čas						

Stanovená absolutní chyba při měření času: s

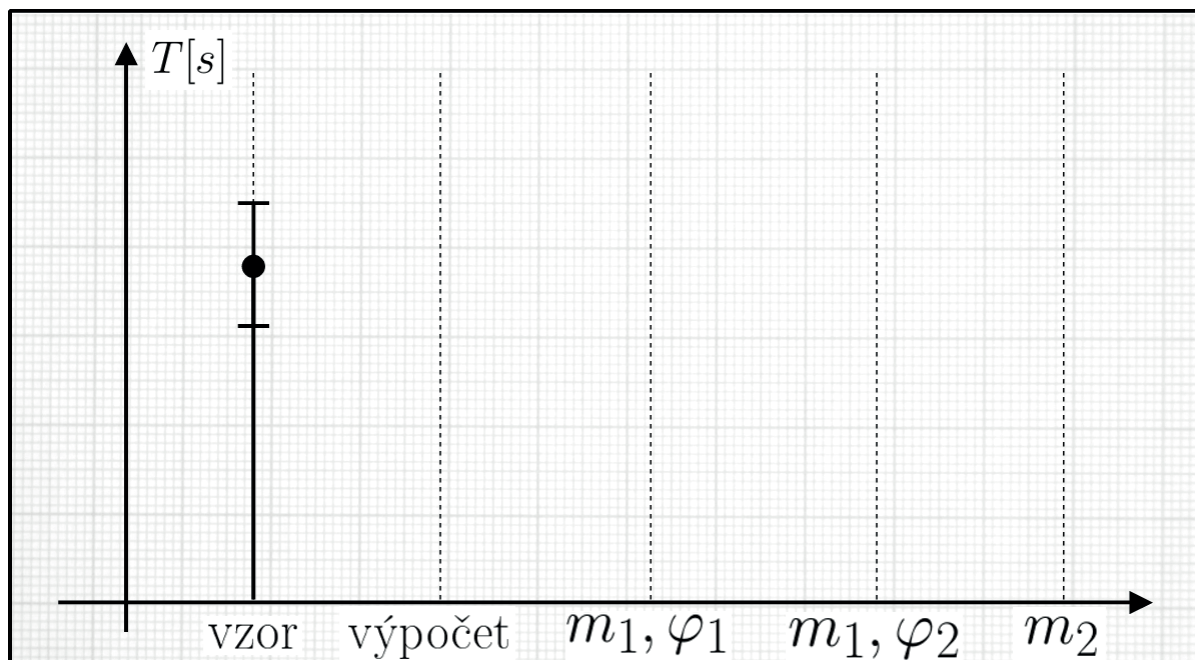
Změřená perioda kyvadla – jedno závaží, vých. 10 cm: (..... ±) s

Změřená perioda kyvadla – jedno závaží, vých. 20 cm: (..... ±) s

Změřená perioda kyvadla – dvě závaží: (..... ±) s

Tepové frekvence:

Student	Počet tepů	Počet period	Tepy za minutu



Obr. č. 2: Graf s výsledky měření znázorňující naměřené hodnoty a chyby daných měření.



f) Závěr

Podle tebou vytvořeného grafu urči, zda se skutečně potvrdila nezávislost periody na výchylce i hmotnosti a zda je použitý vzorec pro výpočet správný. V ideálním případě by se měly chybové intervaly každé dvojice měření překrývat.

Pokud některé měření vybočuje, zvaž možné příčiny:

- 1) Hrubá chyba měření. (Například jsi omylem naměřil(a) jen 9 period a počítal(a) 10.)
- 2) Změna konstrukce kyvadla – při manipulaci došlo ke změně délky kyvadla.
- 3) Příliš optimistický odhad chyby – skutečná přesnost měření je horší, a proto se výsledek do daného intervalu nevešel.
- 4) Jakékoli další příčiny...

Tvůj závěr:



Pracovní list pro pedagoga

Název: Měření času kyvadlem

a) Úkol

Vyrob kyvadlo pomocí dodaných pomůcek. Poté změř jeho parametry a vypočítej jeho periodu. Výsledek porovnej s měřením. Při porovnání správně pracuj s chybami (nejistotami) měření ve fyzice. Nakonec pomocí kyvadla změř svou tepovou frekvenci.

b) Výklad

Měření času dnes

Elektronické přístroje k přesnému měření času jsou v dnešní době tak rozšířené, že si jejich přítomnost často téměř neuvědomujeme (hodinky, mobilní telefony, GPS navigace,...). Tento luxus nám však přineslo až použití piezoelektrických krystalů, jež bylo poprvé provedeno pro účely měření času až roku 1928. Do té doby byla právě kyvadla zařízeními, která dokázala určovat čas s nejvyšší přesností.

Galileo Galilei

Základ měření času pomocí kyvadel dal roku 1602 italský vědec Galileo Galilei. Zjistil totiž, že perioda kyvadla vůbec nezávisí na výchylce (alespoň v přiblížení malých kmitů). Na rozdíl od matematického kyvadla dochází u reálného kyvadla k útlumu vlivem tření a výchylka kyvadla v krajních bodech se tedy zmenšuje. Galileův závěr však říká, že změna maximální výchylky nemá žádný vliv na periodu. Tato vlastnost, která předurčila kyvadla k měření času, se nazývá **izochronie**.

Poznámka: Později se ukázalo, že pro velké výchylky tento poznatek neplatí a že se s rostoucí výchylkou perioda kyvů prodlužuje (teoreticky až do nekonečna pro úhel 180° , kde se nachází labilní rovnovážní poloha). Pro malé kmity je však odchylka malá. Například pro 23° je to méně než 1 %.

Výpočet periody

Konkrétní vyjádření periody T matematického kyvadla pro malé kmity je:

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

kde l je délka kyvadla a g tíhové zrychlení. Je důležité si všimnout, že perioda tedy jednak nezávisí na výchylce a dále také nijak nezávisí na hmotnosti závaží. Tyto dva poznatky budeme v naší úloze ověřovat a poté je využijeme k měření času kyvadlem.

Tíhové zrychlení

Tíhové zrychlení představuje sílu gravitačního pole Země v daném místě na jejím povrchu. Jeho přibližná hodnota je $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$, ale na různých místech Země se liší. Zde je několik příkladů:

Poloha na Zemi	Tíhové zrychlení
Na rovníku v úrovni mořské hladiny	$g = 9,780 \text{ m/s}^2$
45° zeměpisné šířky	$g = 9,806 \text{ m/s}^2$
Zemský pól	$g = 9,832 \text{ m/s}^2$



Praha	$g = 9,8137 \text{ m/s}^2$
Brno	$g = 9,8127 \text{ m/s}^2$
Ostrava	$g = 9,8134 \text{ m/s}^2$
Sydney	$g = 9,7961 \text{ m/s}^2$
Vaše obec:	???

Tab. č. 1: Tíhové zrychlení v různých místech na Zemi.

Přesné hodnoty tíhového zrychlení přímo kdekoli na světě, můžeš získat na následující adrese: <http://www.wolframalpha.com>. Zde zadej „gravitational field nazev_mesta“, kde zadáš název hledaného města/obce. Do tabulky doplň chybějící údaje. U českých názvů nepoužívej diakritiku a můžeš přidat „Czech Republic“.

Pozn.: Pokud to umožňuje vybavení učebny, nechte studenty provést hledání samostatně (případně v rámci domácí přípravy), jinak je možné výsledek předem připravit. V případě shody jmen obcí a nalezení nesprávné zkuste přidat například „Pardubický kraj“. V případě komplikací můžete zkusit vyhledat nejbližší okresní město – nepřesnost nebude mít žádný vliv na výsledek úlohy nebo můžete zadat přímo GPS souřadnice.

Chyby (nejistoty) měření

Vždy, když měříme nějakou fyzikální veličinu, je důležité mít na paměti, že ji nemůžeme určit libovolně přesně. Klasické pravítko nám například umožní v ideálním případě měřit vzdálenost s přesností $\pm 0,5 \text{ mm}$. Zde se projevují nepřesnosti experimentátora, měřicího zařízení, samotného měřeného objektu a v některých případech i kolísání samotné měřené veličiny (například teplota vody). Všechny tyto faktory je třeba zohlednit a stanovit (vypočítat nebo alespoň odhadnout) jak přesný náš výsledek skutečně je.

Pokud tvrdíme, že dvě veličiny jsou shodné, opět zde máme na mysli shodu v rámci přesnosti měření a případně v rámci přesnosti použitého modelu. To se nám bude v této úloze hodit.

Pokud například naměříme délku $l = (52,1 \pm 0,2) \text{ cm}$, je takzvaná **absolutní chyba** měření rovna $0,2 \text{ cm}$. Absolutní chybu vždy udáváme s přesností jen na jednu platnou cifru. (Například $0,0238 \text{ cm}$ zaokrouhlíme na $0,02 \text{ cm}$.) Často se však pracuje s **relativní chybou**, tedy hodnotou $0,2 \text{ cm} / 52,1 \text{ cm} = 0,0038 = 0,38 \%$, což zaokrouhlíme na $0,4 \%$. Relativní chyba tedy neudává, o kolik jednotek se může výsledek lišit, ale o jakou část naměřené hodnoty.

Správný zápis výsledku

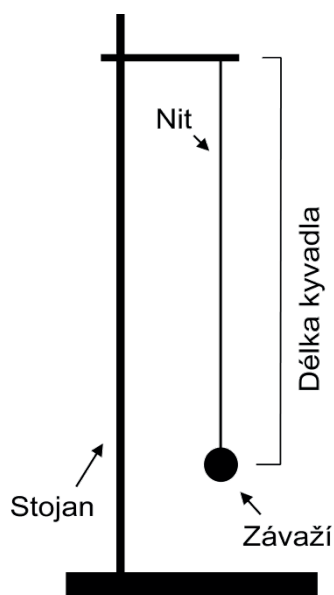
Naměřené výsledky budeme vždy udávat zaokrouhlené na řád daný chybou měření. Například je-li chyba $0,6 \text{ m}$ (chyba několik desetin metru) a naměřená hodnota $9,57846 \text{ m}$, zapíše výsledek jako $(9,6 \pm 0,6) \text{ m}$ (tedy zaokrouhlený na desetiny metru). Hodnotu $35\,628 \text{ J}$ s chybou 300 J napíšeme jako $(35\,600 \pm 300) \text{ J}$ a podobně. (Jak jsme si již řekli, pokud by nám vyšla chyba například 348 J , použili bychom stejně hodnotu chyby 300 J .)

c) Pomůcky

Stojan, rezná nit, kovové podložky jako závaží, měřítko, stopky (případně hodinky se stopkami, mobilní telefon,...).

d) Pracovní postup

1. **Vyrob kyvadlo.** Sestav stojan. Ustřižni asi $1,5 \text{ m}$ dlouhý kus rezné nitě a přivaž ho ke stojanu (podle schématu). Na druhý konec nitě uvaž háček tak, aby se při puštění volně kýval nad stolem (vhodně upravte délku nitě). Na háček zavěs jednu podložku.



Obr. č. 1: Schéma kyvadla.

1. **Změř délku kyvadla** a odhadni **chybu** měření. K určení chyby zde jistě nepoužiješ pravítko poloviny nejmenšího dílku měřidla (tedy nejspíše 0,5 mm). Daleko větší nejistota totiž vzniká při otázce, odkud a kam vlastně délku měřit. Je třeba měřit od středu kružnice, po které se závaží pohybuje, do těžiště závaží. Polohu těžiště je třeba co nejlépe odhadnout. Vypočti také relativní chybu.
2. Podle uvedeného vzorce **vypočítej** předpokládanou **periodu** kyvadla. Stanov **relativní i absolutní chybu** periody. Vyjdi z toho, že relativní chyba bude přibližně poloviční než u měření délky kyvadla. (Chyba tíhového zrychlení je zanedbatelná.)
3. Urči, s jakou přesností dokážeš měřit čas. K tomu použij následující metodu: Vynuluj stopky, pusť odečet času a okamžitě je zase zastav. (Snaž se tedy udělat dvě stisknutí co nejrychleji za sebou.) Proveď 5 měření, zaznamenej do tabulky a spočti aritmetický průměr. (Pokud se nějaká hodnota výrazně liší, vyraď ji.) Spočtený průměr použij jako **absolutní chybu při každém měření času**.
4. **Změř periodu kyvadla**. Vychyl kyvadlo o přibližně 10 cm z rovnovážné polohy a pusť. (Volíme jen malou výchylku kvůli přesnosti měření.) Zapni stopky, když je kyvadlo v krajní poloze, a zastav je v okamžiku, kdy se do stejné polohy vrátí. Pro zpřesnění výsledku neměř jednu periodu, ale změř jich 10 v kuse a výsledný čas poté vyděl deseti. V tomto případě je třeba vydělit i absolutní chybu měření, takže výsledná chyba bude menší.
5. **Ověř nezávislost** periody **na výchylce**. Proveď měření přesně jako v předchozím bodě, ale na začátku vychyl kyvadlo o přibližně 20 cm.
6. **Ověř nezávislost** periody **na hmotnosti** závaží. Proveď měření přesně jako v předchozích bodech, ale před měřením přidej na háček kyvadla další kovovou podložku. (Vychýlení vol libovolně mezi 10 cm a 20 cm.)
7. **Vynes** naměřené hodnoty **do** připraveného **grafu včetně chyb**. Na vodorovné ose jsou jednotlivá měření, na svislé ose perioda kyvadla (spočtená nebo naměřená). Měřítka svislé osy i její počátek vol tak, aby byl výsledný graf co nejvíce vypovídající. Pokud například vyjdou všechna měření okolo 1,7 s s chybami kolem 0,1 s, můžeš zvolit počátek osy například 1,4 s a jeden tučný čtvereček jako 0,2 s. Hodnoty vynes podle vzoru: Puntík označuje naměřenou hodnotu a kolem je vyznačena velikost chyby daného měření.
8. **Využij kyvadlo ke zjištění tvé tepové frekvence**. Nahmatej si pulz na zápěstí a spočítej, kolik tepů proběhne za jednu minutu. K měření času **NEPOUŽÍVEJ**



STOPKY, ale kyvadlo. S kyvadlem nejspíše nepůjde odměřit přesně minuta. Můžeš odměřit jiný časový úsek a výsledek přepočítat.

e) *Zpracování pokusu*

Délka kyvadla: (..... ±) cm, relativní chyba: %

Vypočtená perioda kyvadla: (..... ±) s, relativní chyba: %

Absolutní chyba při měření času

Měření	1	2	3	4	5	Průměr
Čas						

Stanovená absolutní chyba při měření času: s

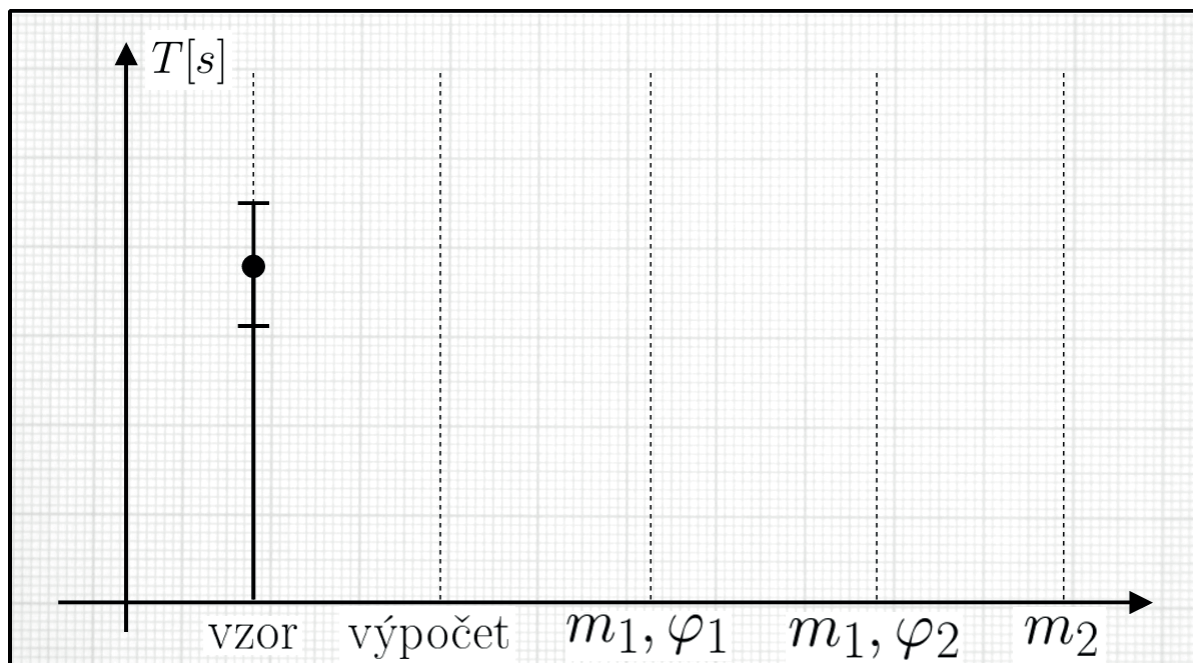
Změřená perioda kyvadla – jedno závaží, vých. 10 cm: (..... ±) s

Změřená perioda kyvadla – jedno závaží, vých. 20 cm: (..... ±) s

Změřená perioda kyvadla – dvě závaží: (..... ±) s

Tepové frekvence:

Student	Počet tepů	Počet period	Tepy za minutu



Obr. č. 2: Graf s výsledky měření znázorňující naměřené hodnoty a chyby daných měření.



f) Závěr

Podle tebou vytvořeného grafu urči, zda se skutečně potvrdila nezávislost periody na výchylce i hmotnosti a zda je použitý vzorec pro výpočet správný. V ideálním případě by se měly chybové intervaly každé dvojice měření překrývat.

Pokud některé měření vybočuje, zvaž možné příčiny:

- 1) Hrubá chyba měření. (Například jsi omylem naměřil(a) jen 9 period a počítal(a) 10.)
- 2) Změna konstrukce kyvadla – při manipulaci došlo ke změně délky kyvadla.
- 3) Příliš optimistický odhad chyby – skutečná přesnost měření je horší, a proto se výsledek do daného intervalu nevešel.
- 4) Jakékoli další příčiny...

Tvůj závěr:

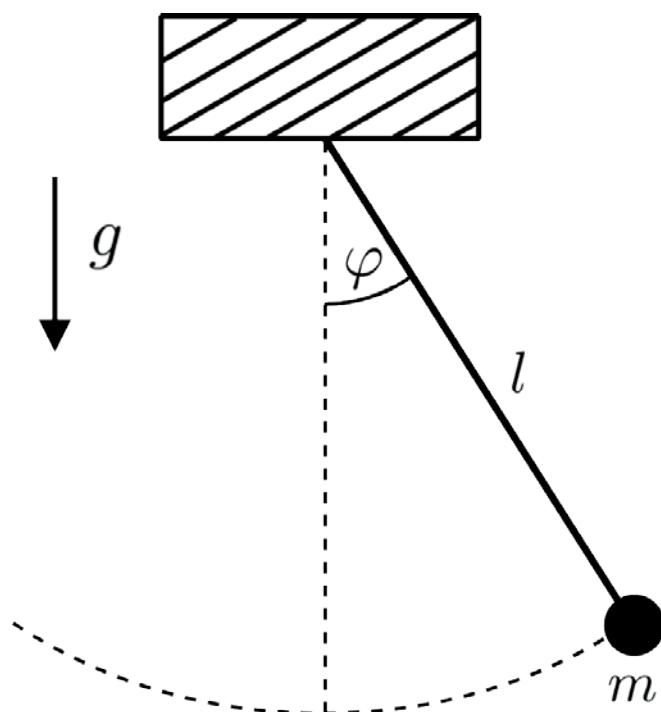


Opakování

Název: Měření času kyvadlem

Jméno:

- 1) Hmotný bod je *fyzikální objekt / matematický model* (nehodící se škrtněte), který je úplně popsán pouze svou
- 2) Pokud zavěsíme hmotný bod o hmotnosti m na nehmotný závěs délky l (představme si velmi tenkou nit zanedbatelné hmotnosti) v gravitačním poli, vytvoříme tak **matematické kyvadlo**. Jedná se tedy opět o *fyzikální objekt / matematický model* (nehodící se škrtněte). Zde je obrázek matematického kyvadla:



Pokud kyvadlo vychýlíme z **rovnovážné polohy** o úhel φ a pustíme, bude kyvadlo vykonávat **periodické pohyby** – kývání z jedné strany na druhou. Dobu, za kterou kyvadlo vykoná kyv doleva a zpět doprava (tedy se opět dostane do původní krajní polohy) nazýváme **perioda** a značíme T .

- 3) Pokus se vyjádřit, jak závisí perioda kyvu kyvadla na veličinách, které kyvadlo popisují (hmotnost m , délka l , úhel vychýlení φ) a případně na dalších vnějších veličinách (tíhové zrychlení g).
 - a) Prodloužením závěsu se perioda zvětší / zmenší / nezmění.
 - b) Zvýšením hmotnosti závaží se perioda zvětší / zmenší / nezmění.
 - c) Vychýlením o větší počáteční úhel se perioda zvětší / zmenší / nezmění.



- 4) Následující tvrzení označ jako pravda (P), nebo nepravda (N). Pokud tvrzení není pravdivé, oprav jej. Vysvětli.
- a) Na vesmírných stanicích je možné k měření času použít kyvadlové hodiny.

 - b) Pohyb kyvadla se nezmění, pokud jej umístíme na Měsíc.

 - c) Pokud kyvadlo vychýlíme a pustíme v letadle, které padá volným pádem, kyvadlo zůstane ve vychýlené poloze bez pohybu.

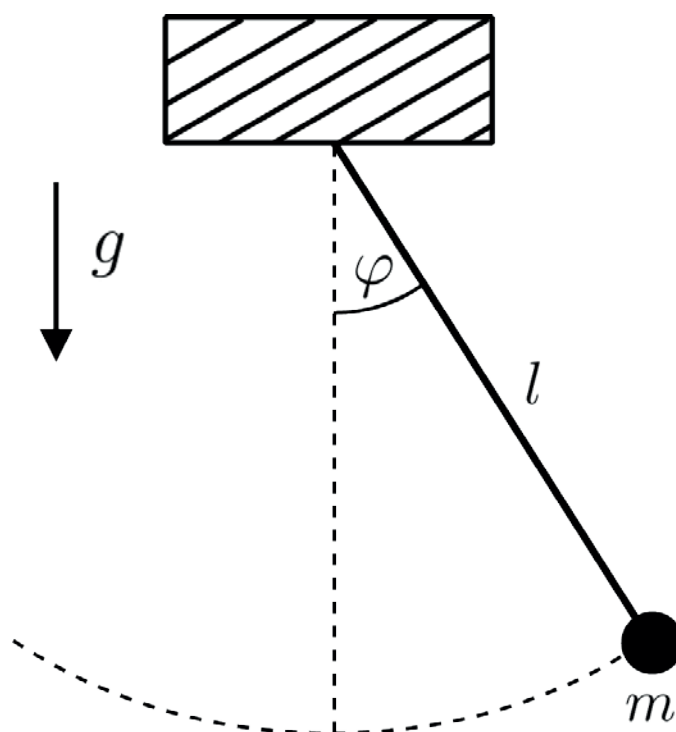
 - d) Je-li kyvadlo umístěno ve výtahu, který se začne rozjíždět nahoru nebo dolů, pohyb kyvadla se nezmění.



Opakování – řešení pro pedagoga

Název: Měření času kyvadlem

- 1) Hmotný bod je ~~fyzikální objekt~~ / *matematický model* (nehodící se škrtněte), který je úplně popsán pouze svou **hmotností**.
- 2) Pokud zavěsíme hmotný bod o hmotnosti m na nehmotný závěs délky l (představme si velmi tenkou nit zanedbatelné hmotnosti) v gravitačním poli, vytvoříme tak **matematické kyvadlo**. Jedná se tedy opět o ~~fyzikální objekt~~ / *matematický model* (nehodící se škrtněte). Zde je obrázek matematického kyvadla:



Pokud kyvadlo vychýlíme z **rovnovážné polohy** o úhel φ a pustíme, bude kyvadlo vykonávat **periodické pohyby** – kývání z jedné strany na druhou. Dobu, za kterou kyvadlo vykoná kyv doleva a zpět doprava (tedy se opět dostane do původní krajní polohy) nazýváme **perioda** a značíme T .

- 3) Pokus se vyjádřit, jak závisí perioda kyvu kyvadla na veličinách, které kyvadlo popisují (hmotnost m , délka l , úhel vychýlení φ) a případně na dalších vnějších veličinách (tíhové zrychlení g).
 - a) Prodloužením závěsu se perioda **zvětší** / **zmenší** / **nezmění**.
 - b) Zvýšením hmotnosti závaží se perioda **zvětší** / **zmenší** / **nezmění**.
 - c) Vychýlením o větší počáteční úhel se perioda **zvětší** / **zmenší** / **nezmění**.

(Bod 3 viz poznámka v pracovním listu pro pedagoga.)



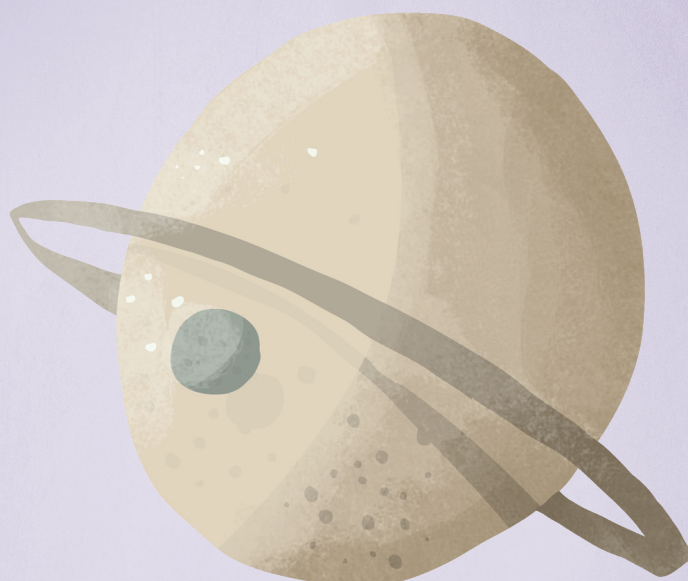
- 4) Následující tvrzení označ jako pravda (P), nebo nepravda (N). Pokud tvrzení není pravdivé, oprav jej. Vysvětli.
- a) Na vesmírných stanicích je možné k měření času použít kyvadlové hodiny.
N: Pohyb kyvadla je na zemi vyvolán tíhovou silou, která na vesmírných stanicích chybí.
- b) Pohyb kyvadla se nezmění, pokud jej umístíme na Měsíc.
N: Perioda kyvadla je závislá na tíhovém zrychlení. Jelikož je na povrchu Měsíce slabší gravitace než na povrchu Země, bude se kyvadlo kývat pomaleji (perioda bude delší).
- c) Pokud kyvadlo vychýlíme a pustíme v letadle, které padá volným pádem, kyvadlo zůstane ve vychýlené poloze bez pohybu.
A: Při volném pádu se kyvadlo nachází ve stavu bez tíže a situace je analogická té na vesmírné stanici.
- d) Je-li kyvadlo umístěno ve výtahu, který se začne rozjíždět nahoru nebo dolů, pohyb kyvadla se nezmění.
N: Zrychlení výtahu se projevuje stejně jako změna tíhové síly. Pokud se výtah rozjíždí nahoru, jeho zrychlení se sčítá s tíhovým zrychlením, a tedy perioda bude kratší, při rozjezdu dolů se zase odčítá a perioda se prodlužuje. Po ustálení rychlosti výtahu tento efekt pomine a perioda se vrátí na původní hodnotu.





Měření času kyvadlem

Bc. Zuzana Dočekalová, Ing. Jan Mareš



www.otevrenaveda.cz



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ