

Fyzikální experimenty se zvukovou kartou PC

ČENĚK KODEJŠKA – ANEŽKA RAICHOVÁ – JIŘÍ BERNÝ – LUKÁŠ KOZÁK

Gymnázium, Nový Bydžov

V rámci zatraktivnější výuky fyziky jsme se zabývali využitím zvukové karty počítače a několika dalších jednoduchých pomůcek (fotodiody, laserové ukazovátka, papírový hřeben, kyvadlo) k provedení fyzikálních experimentů, které by mohly být alternativou profesionálních školních měřicích systémů typu ISES, Vernier nebo Coach.

Všechny experimenty využívají jednoduchou optickou bránu, která je sestavena z laserového ukazovátka a fotodiody, ze které je signál přiveden na mikrofonní vstup zvukové karty. Princip optické brány je pak zřejmý: přerušением laserového paprsku dojde ke změně napětí na fotodiodě a na výstupu je pulz, jehož průběh odpovídá průběhu přechodného děje.

Tímto způsobem můžeme tedy měřit jak dlouhé, tak i velmi krátké časové úseky řádově 10^{-4} s. Toho lze využít např. při měření doby volného pádu, zrychlení tělesa, pohybu kyvadla nebo i rychlosti zvuku při použití mikrofonu místo fotodiody.

V experimentech jsme průběžně použili následující pomůcky: notebook nebo PC, fotodiodu 1 PP 75 (součást starších fyzikálních školních souprav) nebo nový typ BPW 34, laserové ukazovátka (červené nebo zelené), kyvadlo a papírový hřeben se stejně širokými zuby vystřížený z kartonu. Fotodiody musí mít přijímací frekvenci ve viditelné oblasti.

K záznamu a vyhodnocení signálu jsme použili freewareový program pro úpravu zvuku *Free Audio Editor*. Jeho výhodou je přehledná a snadná obsluha. Tento program dokáže zaznamenaný signál dále upravovat, můžeme

tedy např. provést výběr části signálu a program vyhodnotí jeho délku (okénko nazvané Length) nebo lze slabý signál zvětšit. Před vlastním měřením stačí nastavit pouze typ vstupu (mono nebo stereo), u vstupního zařízení (Input Device) zvolit mikrofon, úroveň signálu (Input Level) nastavit tak, aby při přerušení laserového paprsku signál z fotodiody nepřesáhl 100 %, a pak již spustit vlastní měření (záznam zvuku) tlačítkem Record. Po proběhnutí experimentu (zpravidla stačí 10 s až 15 s) ukončíme měření tlačítkem Keep. Zobrazí se nám zaznamenaný signál, se kterým pak dále pracujeme pomocí myši. Záznam lze samozřejmě i uložit ve formátu WAV zvukového souboru, takže si můžeme data experimentu kdykoliv znovu vyhodnotit.

Závěrem připomeňme důležitý fakt, že pomocí zvukové karty lze měřit pouze střídavé napětí do cca 1,5 V (výstup z fotodiody je řádově 100 mV, takže nemusíme mít obavu ze zničení zvukové karty při přímém zapojení výstupu diody do mikrofonního vstupu pomocí 3,5 mm jack konektoru). Stejnoseměrné napětí kvůli oddělovacímu kondenzátoru za vstupem zvukové karty nelze zaznamenat. Výhodou použití zvukové karty oproti jiným systémům je vysoká vzorkovací frekvence (standardně 44,1 kHz, ale v dnešní době lze jít až k hodnotám řádově MHz).

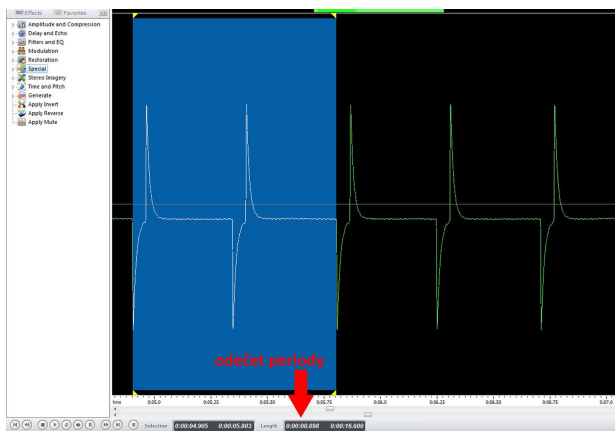
V další části příspěvku popíšeme stručně pět experimentů z oblasti mechaniky a teorie kmitů.

1 Měření tíhového zrychlení z periody kmitů kyvadla



Obr. 1

Při určení hodnoty tíhové zrychlení z periody kmitů kyvadla vycházíme ze známého vztahu pro periodu kmitů matematického kyvadla. Vlastní kyvadlo sestavíme např. z válečku zavěšeného na niti nebo provázku a laserový paprsek zaměříme na střed válečku, který pro účely našeho měření ztotožníme s jeho těžištěm. Provedení experimentu vidíme na obr. 1 a zaznamenaný signál na obr. 2. Při tomto i dalších experimentech využíváme optickou bránu sestavenou z laserového ukazovátka a fotodiody, jejíž výstup je připojen na vstup zvukové karty. Jednoduchá optická brána má oproti klasickému měření (prováděnému např. pomocí stopek) několik výhod: odpadá systematická chyba měření způsobená reakcí žáka při mačkání stopek, periodu jsme schopni odečíst s přesností 10^{-4} s. Lepších výsledků dosáhneme s větší délkou kyvadla a maximální výchylkou kyvadla do 10° . Free Audio Editor využijeme k záznamu signálu a přímému odečtu hodnoty periody v okénku Length.



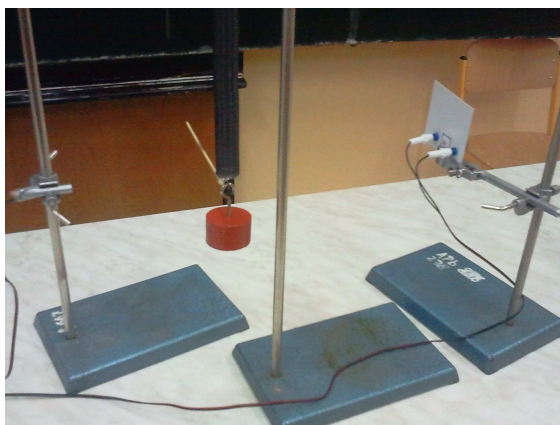
Obr. 2

Měření lze provést pro různé hodnoty délky závěsu kyvadla a na konci experimentu porovnat, pro jakou délku závěsu vychází přesnější hodnoty ve srovnání s hodnotou $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Při našem měření byla zjištěna průměrná hodnota periody kyvadla $T = 1,583 \text{ s}$. Vzhledem k tomu, že délka kyvadla byla určena s odchylkou 1 mm, je vypočtená hodnota tíhového zrychlení $g = 9,77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, tzn. odchylka tíhového zrychlení od standardní hodnoty je 0,4 %.

2 Měření tuhosti pružiny dynamickou metodou

Experiment sestavíme obdobným způsobem. Místo kyvadla použijeme pro přerušení paprsku špejli, kterou přichytíme pomocí izolepy k závaží zavěšenému na pružině. Ze vztahu pro periodu kmitů pružinového oscilátoru vyjádříme tuhost a dosadíme experimentálně zjištěné hodnoty periody T , které určíme pomocí Free Audio Editoru. Uspořádání je na obr. 3.

Měření bylo provedeno pro dvě závaží o hmotnostech $m_1 = 0,44$ kg a $m_2 = 0,72$ kg. Měření byly zjištěny průměrné periody kmitů $T_1 = 0,81$ s a $T_2 = 1,01$ s a výpočtem byly zjištěny průměrné hodnoty tuhosti pružiny $k_1 = 26$ N · m⁻¹ a $k_2 = 28$ N · m⁻¹.



Obr. 3

3 Ověření vztahu pro periodu matematického kyvadla v závislosti na velikosti maximální výchylky

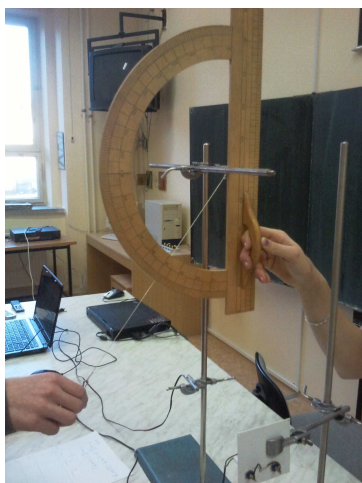
Experiment uspořádáme stejným způsobem jako experiment 1 s tím rozdílem, že nyní měříme pomocí optické závory periodu kyvadla pro stejnou délku kyvadla při různém úhlu maximální počáteční výchylky. Naměřené hodnoty pak porovnáme s teoretickou hodnotou pro periodu kyvadla nezávislejší na výchylce a s teoretickou hodnotou závislejší na výchylce α_{\max} podle vztahu

$$T = 2\pi^2 \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\alpha_{\max}}{2} + \dots \right). \quad (1)$$

Pro účely běžného měření postačí vzít v úvahu první člen rozvoje, další členy již výsledek zásadním způsobem neovlivní. Uspořádání experimentu je na obr. 4 a hodnoty pro tři různé úhly jsou v tabulce 1. T_0 je hodnota periody vypočtená bez závislosti na výchylce, T je perioda určená ze vztahu (1) a průměrné hodnoty experimentálně změřené periody jsou ve sloupci $\overline{T}_{\text{exp.}}$.

Tabulka 1 Závislost periody na maximální výchylce kyvadla

α_{max} (°)	T_0 (s)	T (s)	$\overline{T}_{\text{exp.}}$ (s)
30	1,316	1,337	1,333
45	1,316	1,364	1,348
60	1,316	1,398	1,380



Obr. 4

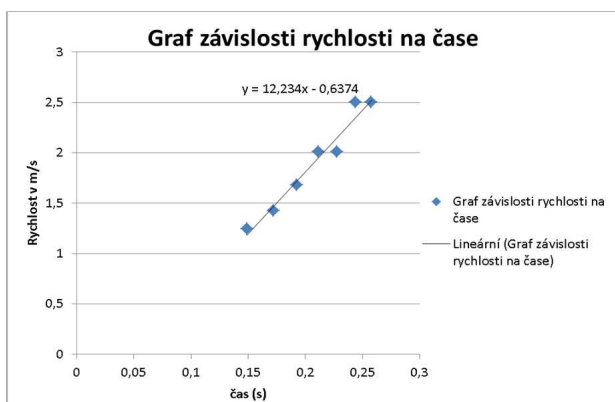


Obr. 5

4 Ověření vztahu pro rychlost volného pádu jako rovnoměrně zrychleného pohybu

V tomto experimentu si kromě obvyklých pomůcek musíme nachystat i papírový hřeben, který vystříhneme z tvrdého kartonového papíru. Hřeben by měl mít všechny zuby stejně široké, my jsme zvolili šířku zubu

$d = 1$ cm a celkovou délkou hřebene cca 25 cm. Hřeben necháme padat volným pádem ze stále stejné výšky mezi laserovým ukazovátkem a fotodiodou a zaznamenáme přerušování paprsku laseru jednotlivými zuby. Protože známe šířku i -tého zubu, můžeme ve Free Audio Editoru určit celkový čas průchodu i -tého zubu paprskem a ze vztahu $v_i = d/t_i$ vypočítat přibližnou hodnotu okamžité rychlosti i -tého zubu. Protože se jedná o pohyb zrychlený, má první zub nejmenší rychlost a i -tý zub největší rychlost. Grafická závislost rychlosti na čase je pak lineární funkce, kde konstantou úměrnosti je hodnota tíhového zrychlení ($v = gt$). Uspořádání experimentu vidíme na obr. 5. V tabulce 2 jsou naměřené hodnoty a na obr. 6 je odpovídající graf vytvořený programem MS Excel (Δt je doba průchodu i -tého zubu optickou závorou, v je okamžitá rychlost daného zubu a t je celkový čas od puštění hřebene).



Obr. 6

Tabulka 2 Volný pád hřebene

Číslo zubu	Δt (s)	v (m/s)	t (s)
1	0,012	0,83	1,764
2	0,010	1,00	1,785
3	0,008	1,25	1,803
4	0,007	1,43	1,820
5	0,006	1,67	1,836
6	0,005	2,00	1,851
7	0,004	2,50	1,863

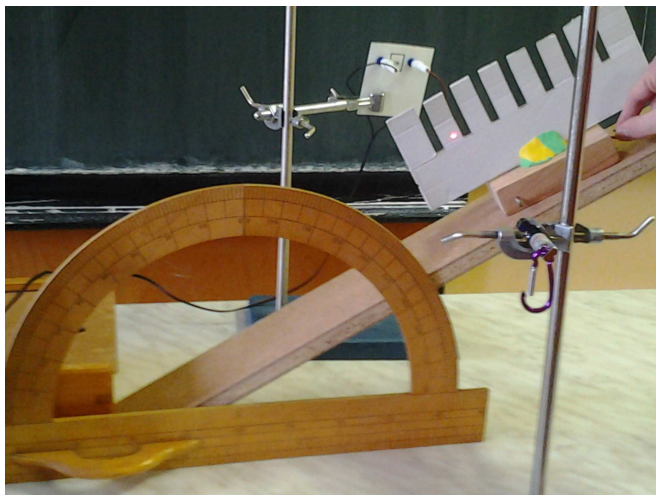
5 Určení součinitele smykového tření ze zrychlení tělesa na nakloněné rovině

Uspořádání experimentu je patrné z obr. 7. Dřevěný kvádr necháme klouzat po nakloněné rovině pod určitým úhlem. Na kvádr jsme pomocí modelíny připevnili papírový hřeben se zuby z minulé úlohy. Při zrychleném pohybu kvádrů s hřebenem po nakloněné rovině zuby hřebene protínají laserový paprsek optické závory. Můžeme tedy ze záznamu signálu určit čas průchodu prvního zubu, čas průchodu posledního (v našem případě sedmého) zubu a z rozdílu rychlostí a rozdílu času vypočítat zrychlení soustavy. Ze vztahu pro zrychlení tělesa na nakloněné rovině

$$a = g(\sin \alpha - f \cos \alpha)$$

vyjádříme součinitel smykového tření f a do vztahu dosadíme hodnoty úhlu a zrychlení změřené při experimentu:

$$f = \operatorname{tg} \alpha - \frac{a}{g \sin \alpha}$$



Obr. 7

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3. Časy t_1 a t_2 jsou doby průchodu prvního a sedmého zubu optickou závorou, rychlosti v_1 a v_2 jsou

přibližné okamžité rychlosti zubů (šířka zubu je vždy 1 cm), $\Delta v = v_7 - v_1$, Δt je celkový čas mezi průchodem prvního a sedmého zubu laserovým paprskem, a je zrychlení při pohybu na nakloněné rovině vypočítané ze vztahu $a = \Delta v / \Delta t$ a f je vypočtený součinitel smykového tření.

Tabulka 3 Určení součinitele smykového tření (dřevo – dřevo)

t_1 (s)	t_7 (s)	v_1 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	v_7 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Δv ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Δt (s)	a ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	f
0,020	0,012	0,50	0,83	0,33	0,24	1,40	0,29
0,023	0,014	0,44	0,71	0,28	0,23	1,22	0,33
0,022	0,013	0,46	0,77	0,31	0,22	1,43	0,28
0,021	0,014	0,47	0,71	0,24	0,21	1,14	0,34
0,021	0,014	0,47	0,71	0,24	0,20	1,17	0,34

Průměrná hodnota součinitele smykového tření je $\bar{f} = 0,32$, tabulková pro povrch dřevo – dřevo $f = 0,3$.

Závěr

Při našich experimentech se zvukovou kartou jsme ověřili na několika experimentech z oblasti mechaniky i teorie kmitů, že optická brána sestavená z laserového ukazovátka a fotodiody umožňuje provádět měření srovnatelná s experimenty uskutečněnými s využitím profesionálních souprav typu ISES, Vernier nebo Coach. Předností je možnost realizovat experimenty nejen jako demonstrace, ale zejména jako laboratorní cvičení žáků. Výhodou je také cenová dostupnost použitých pomůcek, která může pro řadu základních i středních škol představovat zajímavou alternativu k velmi drahým profesionálním soupravám.

Experimenty se zvukovou kartou lze rozšířit i o další oblasti fyziky: pokusy se zvukem (rychlost, frekvence), demonstrace rázů, zákon zachování mechanické energie, vrhy, měření tepové frekvence, elektrická měření se střídavým proudem (*RLC*), modul pružnosti určený z torzních kmitů, měření teploty a mnohé další.