



MOLAPP

MOBILNÍ LABORATOR
PŘÍRODOVEDNÝCH
PŘEDMĚTŮ

Experimenty s Vernierem

Fyzika



„Radost vidět a rozumět, to je nejkrásnější dar přírody.“
Albert Einstein

Knížka, kterou právě držíte v rukou, si klade za cíl ulehčit učitelům práci a pomoci jim modernizovat a zatraktivnit výuku. Obsahuje návody na experimentování s měřicím systémem Vernier, jež lze využít jak k demonstračním aktivitám v hodině, tak jako přípravu na laboratorní práce. Její autoři – učitelé přírodovědných předmětů na Gymnáziu Matyáše Lercha Brno a externí spolupracovníci – sestavili pestrou škálu zajímavých návodů, jak používáním moderních technologií ozvláštnit výklad a učinit jej pro žáky přitažlivějším.

Jestli se jim podařilo cíl naplnit, můžete posoudit sami.

Příjemné čtení a hodně experimentální radosti!

Mirek Kubera a Vojtěch Beneš
za kolektiv autorů

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat vedení Gymnázia Matyáše Lercha, neboť nás v naší snaze rozvíjet výuku přírodovědných předmětů neustále podporuje a povzbuzuje.

Děkujeme také všem spolupracovníkům a rodinným příslušníkům, bez nichž by tato brožura vůbec nevznikla.

Tato publikace vznikla díky operačnímu programu **Vzdělávání pro konkurenceschopnost** v projektu **Mobilní laboratoř přírodovědných předmětů**, který byl v letech 2011–2012 realizován na Gymnáziu Matyáše Lercha v Brně.

Obsah

<i>sekunda</i>		
1	Studium rovnoměrného přímočarého pohybu a pohybu rovnoměrně zrychleného	7
2	Skládání sil, určování velikosti výsledné síly	11
3	Objevení Archimédova zákona	15
<i>tercie</i>		
4	3. Newtonův zákon	19
5	Srovnání měrné tepelné kapacity vody a lihu	21
6	Účinnost různých způsobů ohřevu vody	23
7	Měrné skupenské teplo tání ledu	27
8	Absorpce světla	31
9	Vodivost osolené a ocukrované vody	35
<i>kvarta</i>		
10	Určení šířky ultrazvukového kuželu sonaru	37
<i>kvinta</i>		
11	Průměrná rychlost	41
12	Trajektorie pohybu, charakteristiky pohybu	47
13	Měření tíhového zrychlení	53
14	Studium pohybu na nakloněné rovině	57
15	2. Newtonův pohybový zákon	61
16	Impuls síly	67
17	Deformační zóna automobilu	69
18	Měření třecí síly	73
19	Spotřeba chladničky	79
20	Ověření zákona zachování mechanické energie na nakloněné rovině	83
21	Analýza pohybu skákajícího míče	87
22	Model mostu, rozložení sil	91

sexta

23	Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa	95
24	Stavová rovnice ideálního plynu	99
25	Trhací zkouška vlasů	105
26	Deformační křivka pevných látek, Hookův zákon	109
27	Křivka tání pevné látky	115
28	Měrné skupenské teplo tání ledu	119
29	Kinematika mechanického kmitání	123
30	Určení tíhového zrychlení z periody kmitu matematického kyvadla	129
31	Studium kmitavého pohybu a určení setrvačné hmotnosti tělesa	133
32	Závislost hladiny intenzity zvuku na počtu zdrojů zvuku	139
33	Jak se mění se vzdáleností hladina intenzity zvuku	141

septima

34	Voltampérová charakteristika spotřebiče	145
35	Magnetické pole cívky	151
36	Jouleův jev	157
37	Studium zdrojů světla pomocí rychlého měření s luxmetrem	163
38	Nabíjení kondenzátoru	167
39	Střídavý RC obvod	171
40	Měření kapacity kondenzátoru	177
41	Přechodový jev v obvodu s cívkou	185
42	Fázové posunutí napětí a proudu na cívce	191

oktáva

43	Studium závislosti osvětlení na vzdálenosti od zdroje	197
44	Emisní spektra různých zdrojů	201

Studium rovnoměrného přímočarého pohybu a pohybu rovnoměrně zrychleného

Vítězslav Nečas

- Výstup RVP:** žák užívá základní kinematické vztahy k řešení problémů a úloh o pohybech rovnoměrných a rovnoměrně zrychlených/zpomalených
- Klíčová slova:** dráha, rychlost, zrychlení, rovnoměrný přímočarý pohyb, pohyb rovnoměrně zrychlený

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

20 min

Obtížnost:

střední

Úkol Studujte rovnoměrný přímočarý pohyb pro dvě různé rychlosti vozičku – graf závislosti dráhy na čase, graf závislosti rychlosti na čase.

Studujte rovnoměrně zrychlený pohyb – graf závislosti dráhy na čase, graf závislosti rychlosti na čase.

Pomůcky Počítač s programem Logger Pro napojený na dataprojektor, sonar Go!Motion, propojovací kabel, vozidlo s pohonem pohybující se rovnoměrným přímočarým pohybem, vozík bez pohonu, kulečnicková koule, dřevěná deska o délce minimálně 1,5 m

Teoretický úvod U rovnoměrného přímočarého pohybu je velikost i směr rychlosti konstantní. Dráha rovnoměrného přímočarého pohybu je přímo úměrná době pohybu.

U rovnoměrně zrychleného pohybu je velikost rychlosti lineární funkcí doby pohybu.

Dráha závisí na čase podle vztahu $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$.

Dráha je rovna ploše pod křivkou v grafu závislosti rychlosti na čase.

Vypracování Rovnoměrný pohyb vozičku

Připojte k počítači sonar. Přepínač sonaru nastavíme na pozici voziček, nebo míč podle toho, co budeme sledovat. Z míst, kudy bude vozík projíždět, odstraníme všechny předměty, které by mohly odrážet zvukové vlny.

Nejprve je třeba v programu Logger Pro následovně nastavit počátek měření: **Experiment** → **Sběr Dat** → **Trigger** → **Spustit měření**, když je vzdálenost větší než 0,3 m. V tomto místě je také možno nastavit dobu měření, u rovnoměrného přímočarého pohybu stačí 4 sekundy.

Chcete-li získat hladké grafy, doporučuji pouštět vozík po nalakované dřevěné desce (demonstrační stůl není dostatečně rovný). Vozík postavte těsně k sonaru, aby se na dráze 30 cm stihl rozjet.

Spustíte měření.

V případě, že není graf hladký v celé oblasti, je možné nastavit souřadnicové osy na pozici, kde graf nejvíce vyhovuje (dvojklikem na souřadnicovou osu).

Označením požadované oblasti a kliknutím na ikonku **Integrál**  (v tomto pořadí!) lze spočítat plochu pod křivkou v grafu závislosti rychlosti na čase a ukázat, že toto odpovídá uražené dráze za tuto dobu.

Body v grafu závislosti dráhy na čase u rovnoměrného přímočarého pohybu je možné proložit přímkou (ikonka  a nechat spočítat směrnici přímky (rychlost); ukázat, že toto odpovídá rychlosti v grafu závislosti rychlosti na čase.

Do jednoho grafu lze vložit dvě měření – pro rychlejší a pomalejší pohyb vozičku. Zvolíme **Experiment** → **Uchovat poslední měření** (případně klávesová zkratka **Ctrl + L**) a spustíme stejný experiment s jinou rychlostí vozičku.

Dvojklikem na oblast grafu nebo volbou **Nastavení** → **Nastavení grafu** lze graf dále upravit, například přidělit mu název apod.

Studium rovnoměrného přímočarého pohybu a rovnoměrně zrychleného pohybu

Rovnoměrný pohyb kulečnickové koule

Doba měření = 2 s, trigger ponechat.

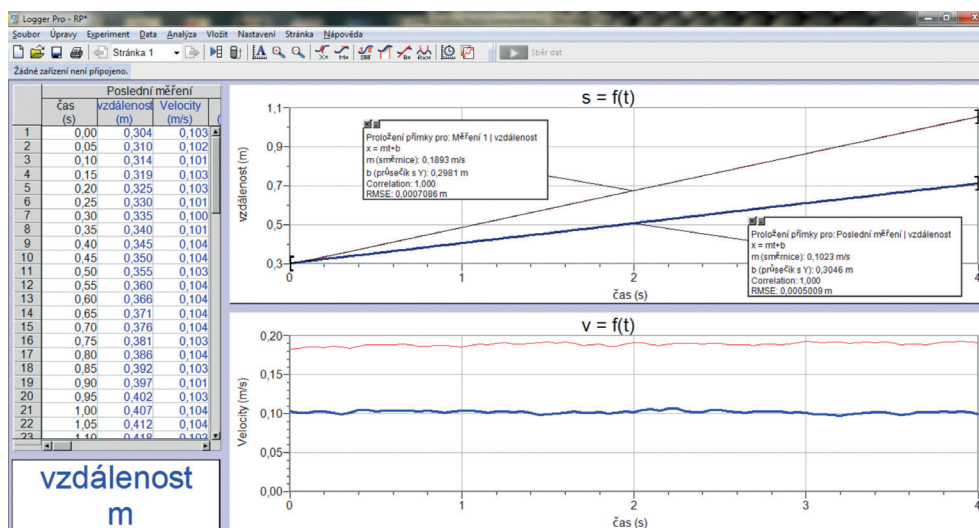
Opět doporučuji kouli pouštět po nalakované desce.

Pohyb vozíku po nakloněné rovině

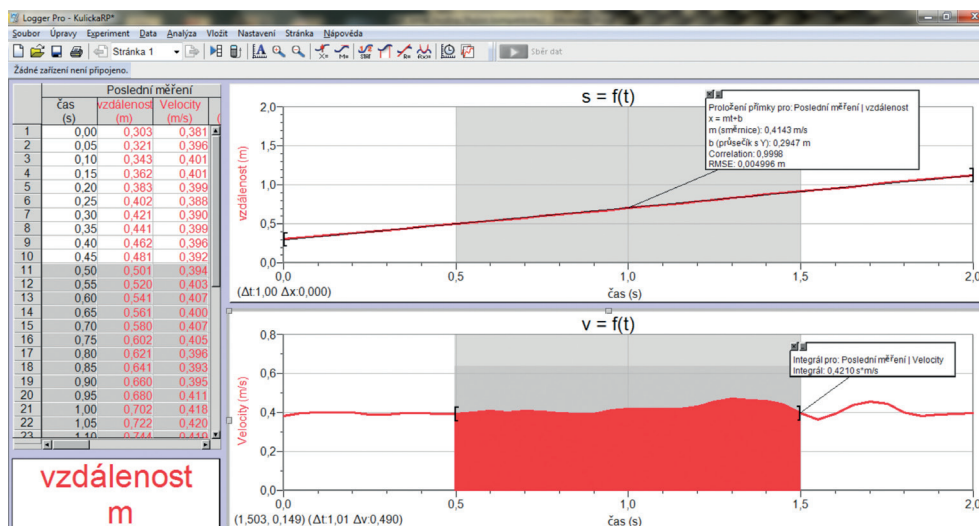
Doba měření = 1 s, trigger: spustit měření, když vzdálenost přesáhne 0,2 m.

Parabola v grafu $s = f(t)$ se hodně podobá přímce. Chceme-li tento nedostatek potlačit, je třeba, aby se vozík rozjížděl téměř z klidu (počáteční vzdálenost od sonaru necht' je co největší, např. 15 až 18 cm).

Výsledky a výpočty Vozíček pohybující se rovnoměrným přímočarým pohybem – nejprve volba menší, poté větší rychlosti vozíčku:



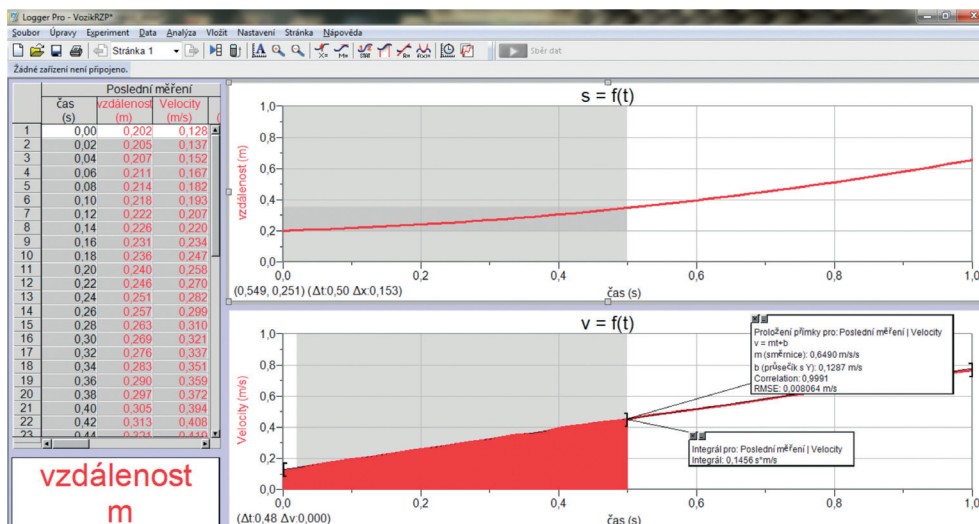
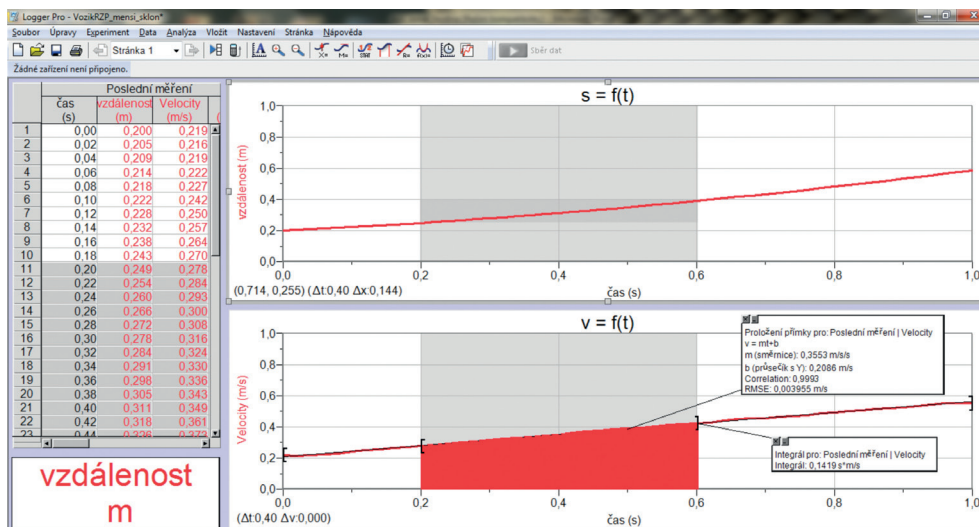
Kulečnicková koule pohybující se rovnoměrným přímočarým pohybem:



Studium rovnoměrného přímočarého pohybu a rovnoměrně zrychleného pohybu

úloha
1

Rovnoměrně zrychlený pohyb vozičku po nakloněné rovině dolů (nejprve menší sklon, poté větší):



Další poznámky Rovnoměrně zrychlený pohyb lze realizovat buď jako pohyb tělesa po nakloněné rovině, nebo jako volný pád – sonar se upevní na neměnnou pozici a upustí se těleso, které od něj padá volným pádem.

Tělesa je lepší volit pravidelných tvarů; ideální odrazná plocha pro sonar je plocha rovinná. Jen tak se docílí ideálně hladkých křivek. Je také vhodnější volit kratší dobu měření, aby v grafu bylo zachyceno co nejméně nepřesností způsobených nerovnostmi podložky, nepřesností sonaru (odrazná plocha tělesa není dokonale hladká a rovinná) apod.

Skládání sil, určování velikosti výsledné síly

Vítězslav Nečas

Výstup RVP: žák změří velikost působící síly, určí v konkrétní jednoduché situaci druhy sil působících na těleso, jejich velikost, směry a výslednici

Klíčová slova: tíhová síla, tahová síla, třecí síla, magnetická síla, výslednice sil

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

10–45 min

Obtížnost:

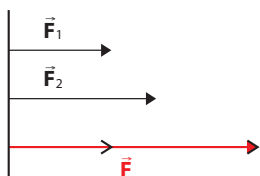
nízká

Úkol S pomocí třech siloměrů vysvětlíte pravidla pro skládání sil.

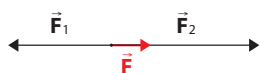
Pomůcky Počítač s programem Logger Pro, LabQuest, 3 siloměry (rozsah 50 N), plošný siloměr, propojovací kabely, háček s magnetem, silný magnet, těžké břemeno

Teoretický úvod Síla, která má na těleso stejný účinek jako několik současně působících sil, se nazývá **výslednice** těchto sil. Nalezení výslednice sil se nazývá **skládání sil**.

Výslednice dvou sil **stejněho směru** má s oběma silami stejný směr a její velikost se rovná součtu velikostí obou sil. Pohybový účinek síly na pevné těleso se nezmění, posune-li se její působíště do jiného bodu tělesa po přímce, ve které síla působí.



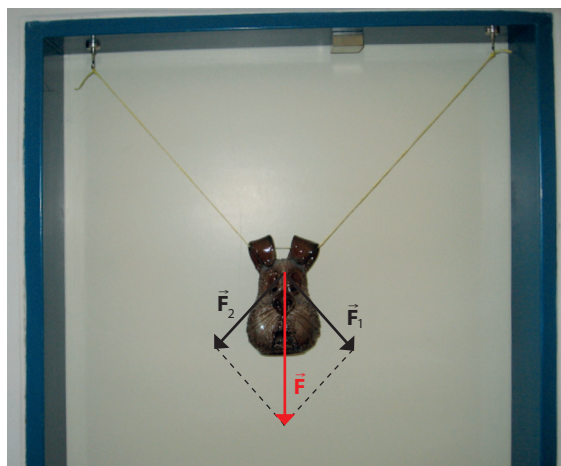
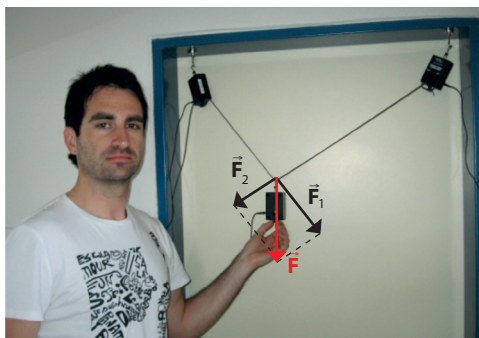
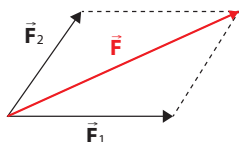
Výslednice dvou sil **opačného směru** má stejný směr jako větší síla a její velikost se rovná rozdílu velikostí obou sil.



Dvě síly stejné velikosti a opačného směru, které působí současně na těleso v jedné přímce, mají nulovou výslednici. Říkáme, že síly jsou v **rovnováze**. Jejich pohybové účinky na těleso se ruší.

Skládání sil, určování velikosti výsledné síly

U dvou sil **různého směru** získáme výslednici doplněním na rovnoběžník (viz obrázek).



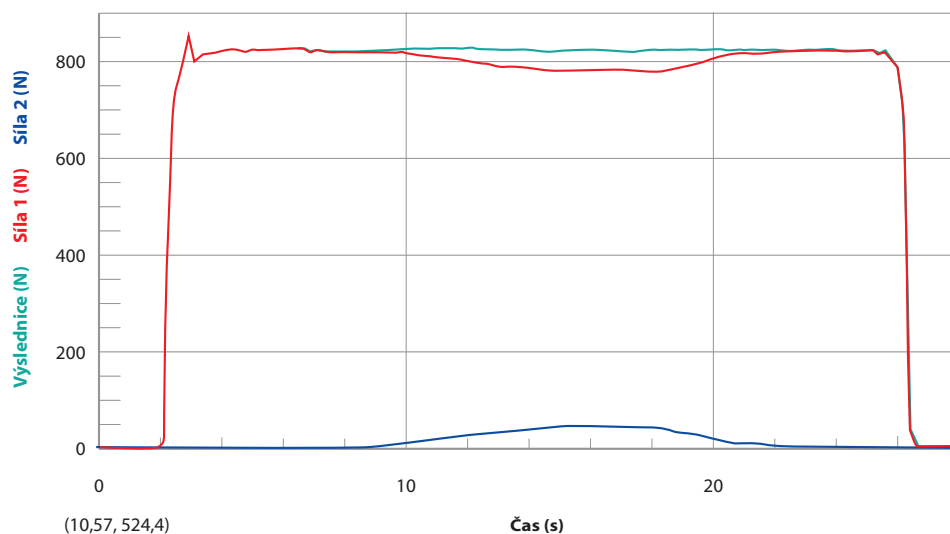
Postup Připojte k počítači LabQuest, do něj pak plošný siloměr a siloměr 50 N. Spustíte program Logger Pro. Před každým zahájením experimentu je třeba provést nulování čidel: **Experiment** → **Nulovat**.... Pro studenty budou zajímavé pouze hodnoty velikostí sil, není třeba nic nastavovat, pouze je vhodné pole ukazující velikosti sil zvětšit na celou obrazovku.

Prováděné aktivity



- 1) Postavíme na plošný siloměr (Force Plate, dále jen FP) těžší břemeno (například akumulátor ze sbírky fyziky), určíme velikost působící tíhové síly na těleso. Poté si sami na FP stoupneme (nebo ještě lépe, postavíme sem dobrovolníka studenta), určíme velikost tíhové síly, která působí na nás. Postavíme se na FP i s břemenem. Vysvětlíme (skládání sil stejného směru).
- 2) Na kovovou zárubeň dveří umístíte háček, na ten zavěste siloměr 50 N (Force Sensor, FS). Pod něj na zem umístíme plošný siloměr a postavíme se na něj. Poté zatáhneme jemně za siloměr FS (umístěný nad sebou) až do maximálního rozsahu (50 N). Sledujeme hodnotu síly na FP a FS. Součet naměřených hodnot je konstantní. Vysvětlíme (skládání sil opačného směru).

**Skládání
dvou sil
opačného
směru**

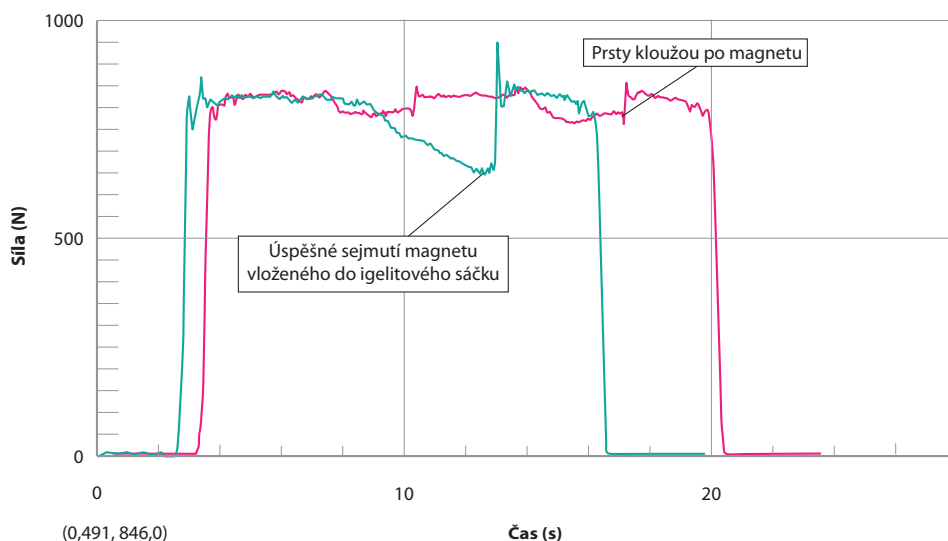


3) Na kovovou zárubeň dveří umístíme velmi silný magnet. Nabídneme studentům, že kdo jej zvládne sejmout tahovou silou působící kolmo dolů, může si jej odnést domů. Díky tomu, že prsty po magnetu kloužou (malá třecí síla, chybí upevnění), magnet sundat nejde. S pomocí FP určíme, jakou maximální silou tímto způsobem na magnet kolmo dolů působíme. Student při snímání magnetu stojí na FP.



V tomto případě je vhodné využít grafu. Nastavíme delší dobu měření **Experiment** → **Sběr dat**. Zde nastavíme alespoň 30 sekund. Spustíme měření. Minimální hodnotu pak lze zjistit pomocí funkce **Analýza** → **Odečet hodnot**. Síla, kterou působíme na magnet, je rovna rozdílu tíhy studenta a nejmenší tíhy při snímání magnetu.

**Snímání
magnetu
z kovových
zárubní**



V našem případě má velikost 179 N, zatímco při pokusu o sejmutí magnetu pouhými prsty měla velikost 45 N.

4) Na dva háčky zavěsíme siloměry FS1 a FS2 (viz obrázek). K těmto silům připevníme další siloměr FS3. Sledujeme velikost výslednice (FS3) dvou sil různého směru (FS1 a FS2) v závislosti na velikosti úhlu, který tyto síly svírají. Provedeme několik měření pro různé úhly (různá délka provázku). Měření nevyčísľujeme – jde pouze o to ukázat

Skládání sil, určování velikosti výsledné síly

studentům, že výslednice dvou stejných sil je větší v případě, kdy tyto síly svírají mezi sebou menší úhel.



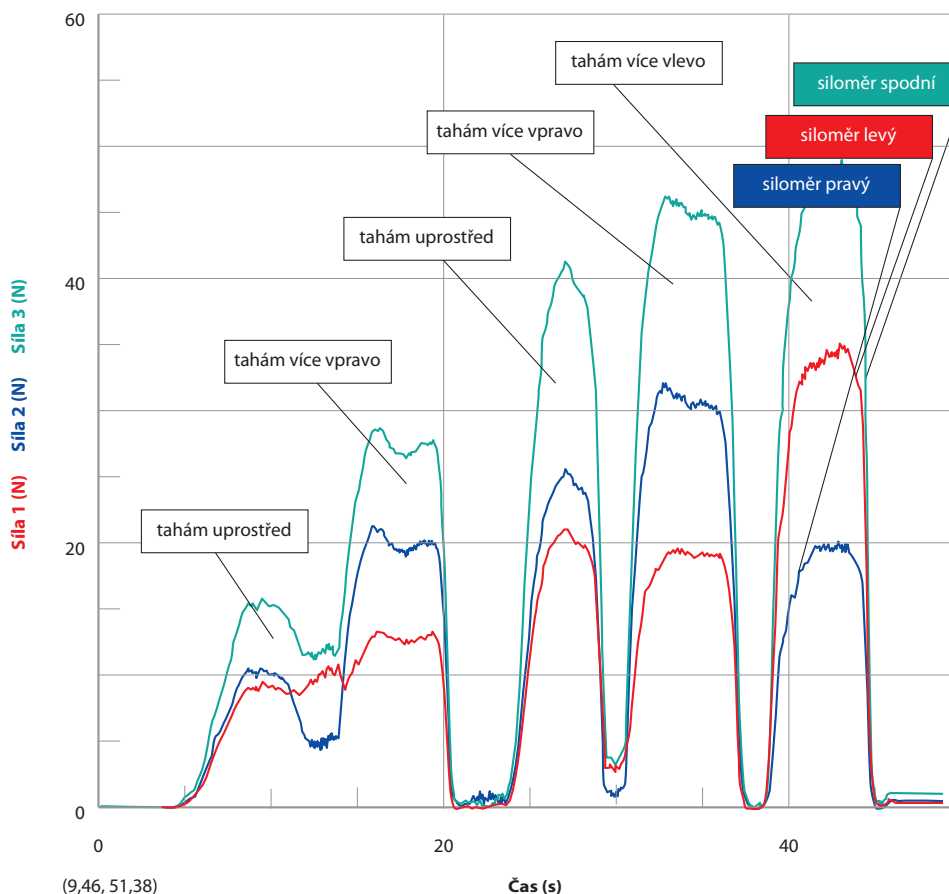
Poznámky U aktivity 1) je vhodné použít dobrovolníky z řady studentů. Také místo břemene je lepší použít dalšího studenta. Ochotně se budou snažit oba stoupnout na váhu společně.

Pozor na maximální rozsah siloměru 50 N!

U aktivity 4) pozor, aby magnet nespadl na zem, je velmi křehký.

Použité obrázky: <http://wearesuperclass.blog.cz>, <http://www.mojewiki.cz>

**Skládání
dvou sil
různých
směrů**



Objevení Archimédova zákona

Vítězslav Nečas

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, na základě výsledků měření se pokusí formulovat Archimédův zákon

Klíčová slova: tíhová síla, vztlaková síla

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

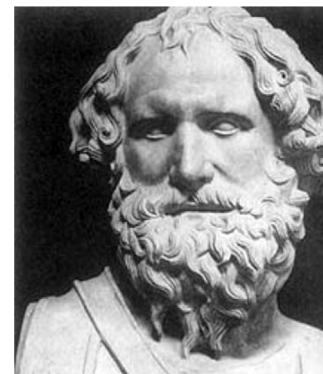
90 min

Obtížnost:

střední

Úkol Objeďte Archimédův zákon, tedy experimentálně zjistěte, na čem závisí velikost vztlakové síly působící na těleso ponořené do kapaliny.

Pomůcky Siloměr Vernier, LabQuest, voda, líh, kádinka, dvě větší tělesa o stejném objemu a různé hustotě, jedno těleso menšího objemu (stejně hmotnosti, jako je hmotnost většího tělesa s menší hustotou), plastová nádobka s vnitřním objemem stejným, jako je objem většího tělesa



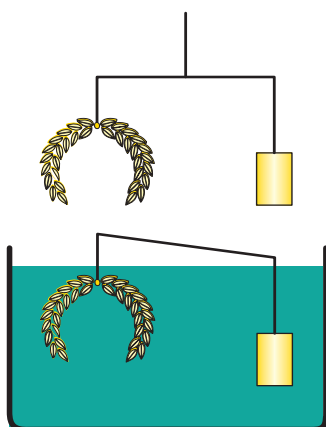
Teoretický úvod Archimédés ze Syrakus (287 př. n. l. – 212 př. n. l. Syrakusy), byl řecký matematik, fyzik, filozof, vynálezce a astronom.

Archimédés je považován za zakladatele hydrostatiky. Jeho objevy týkající se hustoty a vztlaku jsou tradovány i v anekdotické historce o zlaté koruně syrakuského krále:

Král Hierón II. si nechal zhotovit novou zlatou korunu ve tvaru vavřínového věnce a požádal Archiméda, aby zjistil, je-li vyrobena z ryzího zlata a zda do ní nepoctivý zlatník nepřidal méně ušlechtilé kovy. Archimédés musel vyřešit problém bez poškození koruny, takže ji nemohl přetavit do pravidelného geometrického tvaru, u kterého by mohl spočítat objem, z hmotnosti pak určit i jeho hustotu a porovnat s hustotou zlata. Řešení ho prý napadlo při koupeli, když si všiml, že hladina stoupla, když se ponořil do vody.

UVědomil si, že může využít nestlačitelnost vody; ponoří-li korunu do nádoby naplněné vodou až po okraj, bude objem přeteklé vody rovný objemu koruny. Podle legendy vyskočil z koupele, zcela nahý probíhal syrakuskými ulicemi a volal *Heuréka!* (což znamená *Nalezl jsem!*). Poté zjistil, že koruna byla vyrobena převážně ze zlata, ale bylo do ní přidáno i stříbro.

Objevení Archimédova zákona



Proveditelnost popsané metody bývá zpochybňována vzhledem k extrémní přesnosti, se kterou by musel být změřen objem přeteklé vody. Spekuluje se, že Archimédés mohl namísto toho použít jiné řešení založené na Archimédově zákonu, který se pokusíme sami objevit.

Studenty tímto k objevu tohoto zákona motivujeme. Po provedení měření se vrátíme k Archimédovu úkolu a vysvětlíme, že

– podle Archimédova zákona je těleso ponořené do kapaliny nadlehčováno silou rovnou tíze kapaliny tělesem vytlačené (neboli tíze kapaliny o stejném objemu, jako je objem ponořené části tělesa). Mohl tedy např. na vzduchu vyvážit na pákových vahách korunu ryzím zlatem a ponořit korunu i zlaté závaží do vody. Kdyby koruna měla menší hustotu, měla by větší objem a byla více nadlehčována. Taková metoda by přitom byla dostatečně citlivá. Již Galileo Galilei považoval za pravděpodobnější, že právě tuto metodu Archimédés použil, neboť kromě její velké přesnosti je navíc založena na zákoně objeveném a popsaném Archimédem.

Postup Student obdrží Labquest a siloměr, tento připojí do kanálu CH 1. V případě použití počítače připojíme LabQuest k počítači za pomoci USB kabelu. Není třeba nic nastavovat, systém budeme používat pouze jako velmi přesný siloměr.

Pouze je nutné provést nulování siloměru před zahájením měření (v počítači volba **Experiment** → **Nulovat...**, případně na LabQuestu volba **Vynulovat**) a před určováním tíhové síly působící na kapalinu (zavěsíme nádobku, nulujeme a teprve poté nalijeme kapalinu). Zvolíme vhodnou motivaci studentů (např. komu prvním se podaří vyslovit Archimédův zákon, tedy vyzkoumat, na čem závisí vztlaková síla a toto experimentálně dokázat, dostává jedničku).

V případě, že si delší dobu studenti neví rady, podáváme následující nápovědy v tomto pořadí:

1. Určete velikost tíhové síly působící na všechna tělesa, která máte k dispozici.
2. Určete velikost vztlakové síly, která působí na všechna tělesa, která máte k dispozici. Jako kapalinu použijte nejprve vodu, poté líh.
3. Určete velikost tíhové síly působící na vodu v plastové nádobce a tíhovou sílu působící na líh v plastové nádobě.

Poté, co se podaří studentům vyslovit Archimédův zákon, vrátíme se k úvodní historice a necháme studenty přemýšlet, jak Archimédés mohl nejlépe a nejpresněji pravost klenoty ověřit.

Naměřené hodnoty *Velikost tíhové síly (tělesa ve vzduchu):*

Malé těleso železné:	$F_G = 0,55 \text{ N}$
Velké těleso z hliníku:	$F_G = 0,57 \text{ N}$
Velké těleso železné:	$F_G = 1,57 \text{ N}$

Naměřená výslednice tíhové a vztlačové síly ve vodě:

Malé těleso železné:	$F = 0,48 \text{ N}$
Velké těleso z hliníku:	$F = 0,37 \text{ N}$
Velké těleso železné:	$F = 1,37 \text{ N}$

Naměřená výslednice tíhové a vztlačové síly v lihu:

Malé těleso železné:	$F = 0,53 \text{ N}$
Velké těleso z hliníku:	$F = 0,52 \text{ N}$
Velké těleso železné:	$F = 1,52 \text{ N}$

Tedy vztlačová síla působící na tělesa ve vodě ($F_{vz} = F_G - F$):

Malé těleso železné:	$F_{vz} = 0,07 \text{ N}$
Velké těleso z hliníku:	$F_{vz} = 0,20 \text{ N}$
Velké těleso železné:	$F_{vz} = 0,20 \text{ N}$

Vztlačová síla působící na tělesa v lihu ($F_{vz} = F_G - F$):

Malé těleso železné:	$F_{vz} = 0,02 \text{ N}$
Velké těleso z hliníku:	$F_{vz} = 0,05 \text{ N}$
Velké těleso železné:	$F_{vz} = 0,05 \text{ N}$

Velikost tíhové síly působící na vodu v nádobce o stejném objemu, jako je objem většího tělesa:
 $F_G = 0,20 \text{ N}$

Velikost tíhové síly působící na lín v nádobce o stejném objemu, jako je objem většího tělesa:
 $F_G = 0,05 \text{ N}$

Závěr Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlačovou silou, jejíž velikost je rovna tíze kapaliny o stejném objemu, jako je objem ponořené části tělesa.

Velikost vztlačové síly závisí tedy na objemu tělesa a hustotě kapaliny.

Poznámka Použitý zdroj: <http://cs.wikipedia.org>

3. Newtonův zákon

Eva Bochníčková

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje získaná data formou grafu; porovná získanou závislost s teoretickou předpovědí a vysvětlí odlišnosti

Klíčová slova: síla, siloměr, akce a reakce, Newtonovy zákony

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

20 min

Obtížnost:

střední

Úkol Pozorujte chování sil akce a reakce.
Stanovte vlastnosti těchto sil.
Formulujte na základě měření 3. Newtonův zákon.

Pomůcky Počítač, LabQuest, 2 siloměry Vernier (rozsah 50 N), gumové vlákno, provázek

Teoretický úvod 3. Newtonův zákon je známý také pod názvem *zákon akce a reakce*. Na rozdíl od prvních dvou Newtonových zákonů, které popisují chování jednotlivých objektů, si tento zákon všímá vzájemného působení dvou těles.

Zákon akce a reakce známe z mnoha běžných situací, např.:

- držíme v ruce těžkou tašku,
- snažíme se odstrčit kamaráda na bruslích,
- opřeme se dlaní o stůl.

Co pociťujeme v těchto situacích? Vymyslíte další podobné příklady?

K pozorování těchto situací budete používat dva vzájemně propojené siloměry, které představují dvě na sebe působící tělesa. Siloměr zároveň poskytne informaci o velikosti a orientaci působících sil.

- Postup**
1. Připojíme k LabQuestu oba siloměry a LabQuest propojíme s počítačem.
 2. Na počítači spustíme program Logger Pro. Na obrazovce jsou okna pro sledování aktuálních hodnot obou siloměrů.
 3. Na siloměrech zvolíme rozsah 50 N a v nabídce **Experiment** → **Sběr dat** nastavíme čas měření 20 s.
 4. Vynulujeme oba siloměry v nabídce **Experiment** → **Nulovat...**
 5. Nyní je potřeba na jednom siloměru změnit znaménko měřených hodnot. V nabídce **Experiment** → **Nastavení sensorů** vybereme **Zobrazit všechna rozhraní**. Získáme tak přehled o všech aktivních senzorech. Vybereme jeden ze siloměrů a v nabídce zvolíme **Opačný směr**.
 6. Měření můžeme uskutečnit v několika variantách:
 - zahákneme siloměry a taháme je směrem od sebe,
 - jeden siloměr pevně upevníme do stojanu a taháme pouze za jeden z nich,
 - oba siloměry propojíme gumovým vláknem nebo provázkem,
 - siloměry propojíme pevnou tyčkou a tlačíme k sobě,
 - každý siloměr drží jiný člověk.
 7. Spustíme vlastní měření (ikona **Sběr dat**) a siloměry periodicky zatěžujeme.
 8. Ve všech případech pozorujeme na ploše vznikající graf závislosti velikosti a orientace obou sil na čase.
 9. Po ukončení měření můžeme ještě vyzkoušet následující pokus – v nabídce **Data** → **Nový dopočítávaný sloupec** vytvoříme další sloupec tabulky, ve kterém získáme údaje o algebraickém součtu obou sil.

3. Newtonův zákon

Nová dopočítávaná datová řada

Nastavení sloupce: Nastavení

Jednotky a popisky

Název:

Značka: notky:

Cíl:

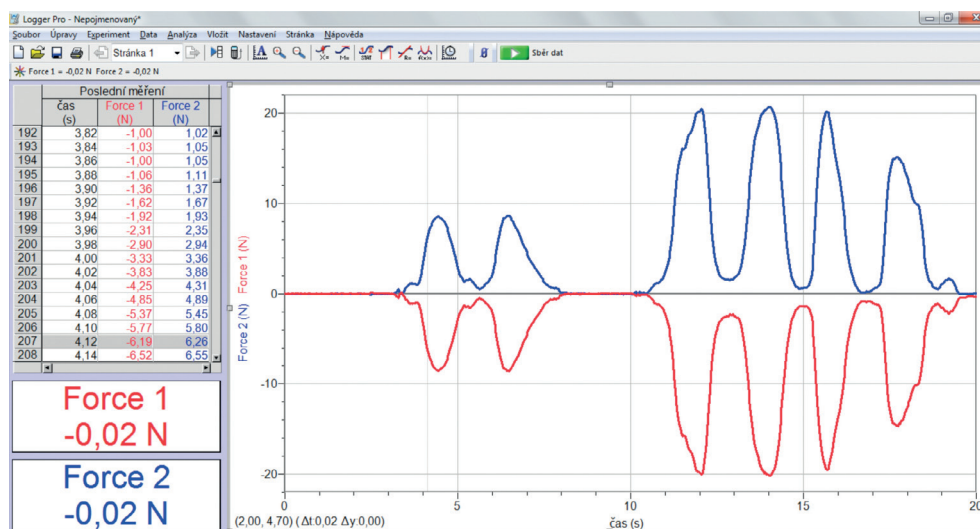
Datová řada: ☒ Přidat všem podobným datovým řadám

Řovnice:

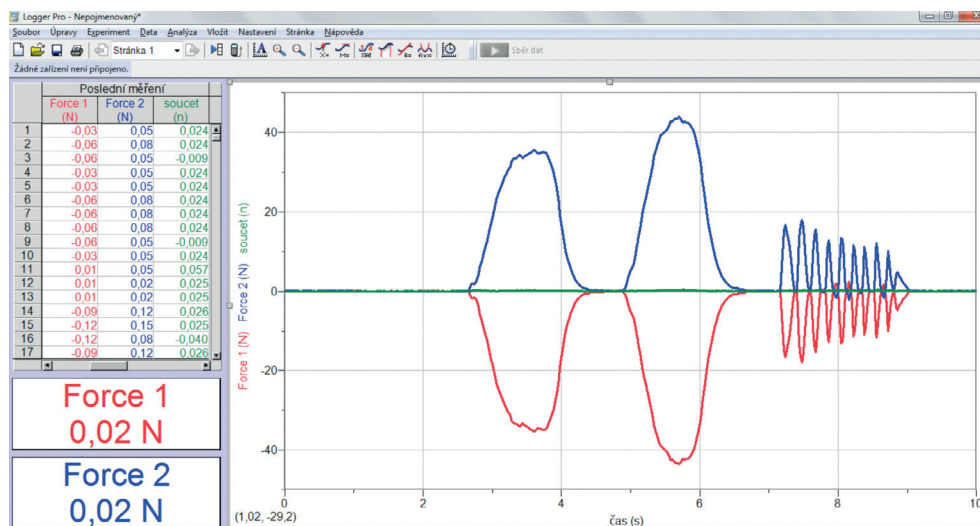
Do stávajícího grafu necháme dokreslit ještě závislost velikosti tohoto „součtu“ na čase. Potvrzuje výsledek vaše závěry o vlastnostech sil akce a reakce?

10. Formulujte 3. Newtonův zákon, jaké vlastnosti vykazují síly akce a reakce?

Výsledky Ukázka naměřených hodnot:



Jiný experiment doplněný o znázornění „součtu“:



Srovnání měrné tepelné kapacity vody a lihu

Vítězslav Nečas

Výstup RVP: žák určí v jednotlivých případech teplo přijaté či odevzdané tělesem

Klíčová slova: teplota, teplo, měrná tepelná kapacita, hmotnost

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

10 min

Obtížnost:

nízká

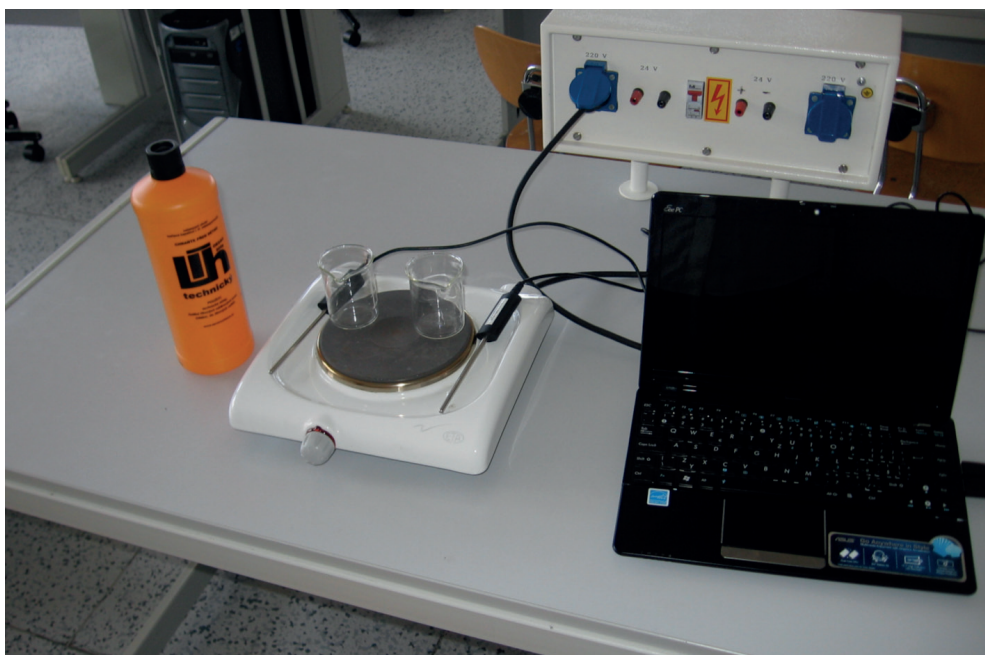
Úkol Studujte závislost teploty dané hmotnosti lihu a vody na dodávaném teple.

Pomůcky Počítač s programem Logger Pro, dva teploměry Go!Temp, dvě kádinky, líh, voda, elektrický vaříč.

Teoretický úvod Změna teploty daného množství látky je přímo úměrná množství dodaného tepla. Konstanta vyjadřující, kolik tepla je třeba dodat jednomu kilogramu dané látky, aby změnila teplotu o jeden kelvin, se nazývá měrná tepelná kapacita; označuje se c . Tato veličina je charakteristická pro každou látku.

Tabulková hodnota měrné tepelné kapacity vody je $4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, lihu $2460 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Vypracování



Připojte k počítači dva teploměry Go!Temp.

Na plotýnku vaříče postavte jednu kádinku s vodou a druhou s lihem. V obou kádinkách je třeba mít stejnou **hmotnost** dané látky (nikoliv objem). Toto je nutné studentům s patřičným důrazem zdůvodnit. Sami přijdou na to, které látky musí být víc, není problém spočítat, kolik musí být lihu, jestliže vody je 100 ml (hustota vody $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, hustota lihu $790 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

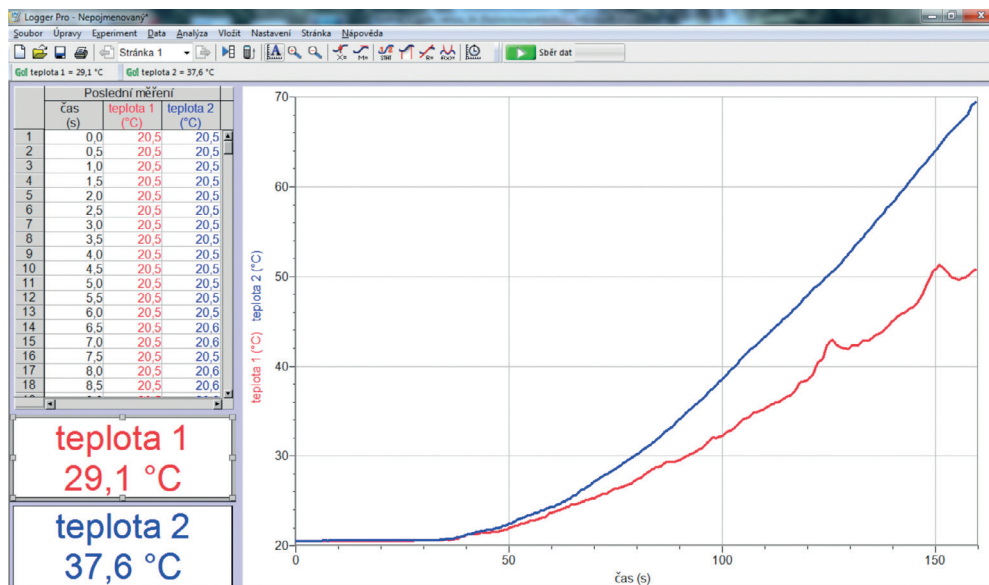
Obě látky musí mít stejnou počáteční teplotu (toho docílíme tím, že používáme vodu odstátou, nikoliv přímo z vodovodu). Do kádinek ponoříme teploměry a provedeme nastavení v programu Logger Pro.

V případě, že oba teploměry neukazují na vzduchu po ustálení stejnou teplotu, je třeba je kalibrovat (**Experiment** → **Kalibrovat**; zatrhnout volbu kalibrace pro oba teploměry a zapsat jednotnou teplotu).

Další nastavení není třeba provádět. Pokud by nevyhovovala doba měření 180 sekund, je možné tuto dobu upravit (**Experiment** → **Sběr dat**). V případě použití 75 ml kádinky však pro věrohodný důkaz stačí i 150 sekund (závisí na výkonu použitého elektrického vaříče).

Srovnání měrné tepelné kapacity vody a lihu

Výsledky a výpočty voda versus líh, sklokeramická deska:



Vzhledem k nižší měrné tepelné kapacitě lihu je výsledná teplota (po dodání stejného množství tepla) u lihu vyšší než u vody.

Přestože dodáváme lihu i vodě stejné množství tepla, teplota u lihu narůstá rychleji.

Poznámky Pozor u lihu na teplotu varu – cca 70 °C. Při experimentu se této teplotě nesmíme přiblížit, mohlo by dojít k vyvření lihu na plotýnku vařiče a případně k jeho vznícení! Je vhodné použít vodu i líh z lednice, abychom začínali na nižší startovací teplotě a nemuseli se varu lihu obávat.

Je možné použít i jinou srovnávací látku než líh. Úlohu jsme vyzkoušeli i s glycerolem, u kterého nehrozí vzplanutí.

Obě kádinky na plotýnku umístíme symetricky, aby bylo teplo dodáváno stejným způsobem lihu i vodě. Studentům vysvětlíme, že časová závislost je stejná přímá úměra, jakoby šlo o závislost teploty na dodávaném teple.

V úvodní části grafu vidíme oblast, kde se elektrická plotýnka sama zahřívá. Pokud chceme tuto oblast odstranit, je vhodné spustit měření až v okamžiku, kdy na jednom teploměru zpozorujeme nárůst teploty, nebo kádinky položit na již rozehřátou plotýnku (to však nedoporučuji – měření by musel spouštět někdo další, trigger v tomto případě nelze použít).

Během měření dbáme, aby se ani jeden teploměr nedotýkal dna ani bočního skla kádinky (dotkneme-li se teploměrem nádoby, způsobí to na grafu vlnku, což vidíme dvakrát na grafu u vody). Kapaliny pomocí teploměrů průběžně mícháme.

Účinnost různých způsobů ohřevu vody

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření

Klíčová slova: práce, výkon, účinnost, (měrná) tepelná kapacita

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

45 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Porovnejte účinnost ohřevu vody v rychlovarné konvici a v mikrovlnné troubě.

Pomůcky Rychlovarná konvice, mikrovlnná trouba, nádoba s vodou, teploměr Go!Temp, wattmetr Vernier, notebook nebo LabQuest

Teoretický úvod Účinnost přeměny elektrické energie na teplo dodané ohřívané vodě závisí na typu spotřebiče a způsobu ohřevu.

Na ohřátí 1 kg vody o 1 °C je potřeba za ideálních podmínek přibližně 4,2 kJ energie, skutečná hodnota je ale vždy vyšší v důsledku nejrůznějších ztrát.



Vypracování

	rychlovarná konvice	mikrovlnná trouba
množství použité vody		
tepelná kapacita použité vody		
počáteční teplota vody		
koncová teplota vody		
o kolik vzrostla vnitřní energie vody		
dobu ohřevu		
změřený příkon		
kolik energie bylo při ohřevu spotřebováno		
účinnost ohřevu		

Závěr Ve kterém spotřebiči je výhodnější vařit vodu?
Kam se ztrácí energie v jednotlivých případech?
Kolik stojí uvaření vody na čaj?

Účinnost různých způsobů ohřevu vody

Pavel Böhm

Zpracování Lze zařadit i další spotřebiče, třeba plotýnkový vaříč, indukční vaříč apod. Vařit můžeme s pokličkou a bez pokličky pro porovnání rozdílů.

Wattmetr Vernier měří jak činný, tak zdánlivý výkon. Z těchto hodnot se dá určit jalový výkon, který sice prochází vedením, ale není spotřebováván. Jalový výkon souvisí s fázovým posunutím proudu a napětí v důsledku indukčnosti a kapacity daného spotřebiče.

Mikrovlnnou troubu je nejlepší zapnout na plný výkon. Pomocí časového průběhu naměřeného wattmetrem se lze přesvědčit, že režimy s nižším výkonem (například 80 %) pracují tak, že střídavě jede trouba na plný výkon a střídavě neohřívá. Poměrem těchto dob je dosahováno požadovaného průměrného výkonu.

Nemáme-li k dispozici wattmetr Vernier umožňující určovat mnoho různých veličin a graf jejich průběhu v čase, lze použít jednoduché „domácí wattmetry“ (viz obrázek).

Pokud ani jednoduchý wattmetr bez možnosti grafického výstupu není k dispozici, mohou žáci přechít nominální příkon na štítku spotřebiče. Tato hodnota ovšem odpovídá skutečnosti jen zhruba, takže je výsledky měření potřeba brát opatrně.

Ukázky výsledků

	rychlouvarná konvice	mikrovlnná trouba
množství použité vody	1 litr, přibližně 1 kg	1 litr, přibližně 1 kg
tepelná kapacita použité vody	4,2 kJ·°C ⁻¹	4,2 kJ·°C ⁻¹
počáteční teplota vody	15,1 °C	15,0 °C
koncová teplota vody	41,4 °C	22,7 °C
o kolik vzrostla vnitřní energie vody	110 kJ	32 kJ
doba ohřevu	60 s	60 s
změřený příkon	2 020 W	1 100 W
kolik energie bylo při ohřevu spotřebováno	121 kJ	66 kJ
účinnost ohřevu	91 %	49 %

Závěr Vodu je jednoznačně výhodnější vařit v rychlouvarné konvici, protože má mnohem vyšší účinnost (zhruba 90 % oproti zhruba 50 %).

Ztráty u rychlouvarné konvice jsou nejspíše způsobovány odpařováním vody a přestupem tepla do okolí dotykem a sáláním. U mikrovlnné trouby se na ztrátách podílí zejména nutnost zařízení chladit – větracím otvorem odchází mnoho tepla, které tak není použito na ohřev vody.

Běžná cena kilowatthodiny elektrické energie se dnes pohybuje okolo 5 Kč.

Pro ohřátí vody na půllitr čaje z 15 °C na 100 °C při účinnosti ohřevu 90 % potřebujeme

$$Q = \frac{mc\Delta t}{\eta} = \frac{0,5 \cdot 4200 \cdot (100 - 15)}{0,9} \text{ J} = 198 \text{ kJ}$$

Jedna kilowatthodina je 1000 W · 3600 s = 3,6 MJ

Při ceně 5 Kč za kilowatthodinu tak stojí ohřátí vody na čaj zhruba 0,3 Kč.

Změny skupenství látek

Měrné skupenské teplo tání ledu

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, objasní souvislost mezi vlastnostmi látek různých skupenství a jejich vnitřní strukturou

Klíčová slova: led, skupenství, změna skupenství, měrné skupenské teplo tání, teplo, tání, kalorimetr

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

45 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Určete na základě experimentu měrné skupenské teplo tání ledu. Výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou.

Pomůcky Počítač, USB teploměr Go!Temp, kádinka 250 ml, pěnový pohárek, váha, teplá voda, odměrný válec 100 ml, papírové ubrousky či ručníky, kostky ledu



Teoretický úvod Během tání je teplo pohlcováno tajícím tělesem. V tomto experimentu se pokusíme určit, kolik tepla je potřeba k roztání 1 g ledu (jinak řečeno, určíme měrné skupenské teplo tání ledu). Teplo (v J) potřebné k tání ledu pochází z ochlazující se teplé vody. Změříme ho za pomoci kalorimetru – izolované nádoby doplněné teploměrem. Vytvoříme si jednoduchý kalorimetr z pěnového pohárku, 250 ml kádinky a USB teploměru spojeného s počítačem.

- Postup**
- 1) Spojte počítač s USB teploměrem. Abychom měli jistotu, že všechen led roztaje dříve, než skončí měření, nastavme dobu měření na 300 s.
 - 2) Umístěte pěnový pohárek do kádinky nebo sklenice. Získa lepší stabilitu. Zvažte kalorimetr (pěnový pohárek + kádinka). Změřenou hodnotu zapište do tabulky.
 - 3) V odměrném válci odměřte 100 ml vody o teplotě asi 30 °C. Nalijte ji do pěnového pohárku a znovu zvažte celou soustavu (pěnový pohárek + kádinka + voda). Změřenou hodnotu zapište do tabulky.
 - 4) Vložte do teplé vody teploměr. Před přidáním ledu musí být teploměr ve vodě alespoň 45 s.
 - 5) Rozbijte na ručníku ledovou kostku. Spusťte měření. Po načtení několika teplot vložte do vody v pěnovém pohárku kousky ledu, které jste předtím osušili.
 - 6) Obsah v pěnovém pohárku lehce míchejte teploměrem. Když všechen led roztaje, teplota přestane klesat. Nyní můžete zastavit měření.
 - 7) Znovu zvažte soustavu (pěnový pohárek + kádinka + voda + roztátý led).
 - 8) Z grafu odečtěte počáteční a koncovou teplotu vody v kalorimetru.

Naměřené hodnoty (každé měření provedte dvakrát):

hmotnost pěnového pohárku a kádinky (g)		
hmotnost pěnového pohárku, kádinky a teplé vody (g)		
hmotnost pěnového pohárku, kádinky, teplé vody a roztátého ledu (g)		
počáteční teplota vody (maximum) ... t_1 (°C)		
konečná teplota vody (minimum) ... t_2 (°C)		

Určení měrného skupenského tepla tání ledu

- Výpočty**
- 1) Určete (v g) hmotnost teplé vody, kterou jste přilili do kalorimetru.
 - 2) Vypočítejte rozdíl teploty vody Δt ($\Delta t = t_1 - t_2$).
 - 3) Spočítejte teplo odevzdané vodou při jejím ochlazování: $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$. V tomto vztahu Q značí teplo (v J), Δt změnu teploty (ve $^{\circ}\text{C}$), m hmotnost ochlazované vody (v g) a c je konstanta $c = 4,18 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$.
 - 4) Určete hmotnost tajícího ledu (v g).
 - 5) Vypočítejte za pomoci předchozích výsledků teplo potřebné k roztátí 1 g ledu (v J/g).
 - 6) Tabulková hodnota tepla potřebného k roztátí 1 g ledu je 334 J/g ($= 334 \text{ kJ/kg}$). Vypočítejte procentuální odchylku vašeho měření podle vztahu

$$\% \text{ odchylka} = \frac{I_{\text{exp}} - I_{\text{teor}}}{I_{\text{teor}}} \cdot 100 \%$$

- 7) Jaký předpoklad jsme museli učinit o teple odevzdaném vodou v kalorimetru v porovnání s teplem získaným ledem?

Výsledky měření

	měření č. 1	měření č. 2
hmotnost teplé vody (g)		
rozdíl teplot ($^{\circ}\text{C}$)		
dodané teplo (J)		
hmotnost tajícího ledu (g)		
měrné skupenské teplo tání ledu (J/g)		
procentuální odchylka		

- Úloha pro zvidavé** Navrhněte a realizujte experiment, který by měl odpovědět na otázku, zda kostka ledu vztá přímo z mrazáku a umístěná do kalorimetru potřebuje ke svému roztátí stejnou energii na 1 g jako led, který byl vyjmut z mrazáku deset minut před experimentem.

Změny skupenství látek

Měrné skupenské teplo tání ledu

Mirek Kubera

Chcete-li mladším studentům ulehčit měření, namíchejte větší množství vlažné vody před hodinou.

Ledové kostky by měly být mokré, což znamená, že mají teplotu tání. Je potřeba je vyndat z mrazáku 15–20 minut před realizací experimentu. Pomáhá také, když dáme led do studené vody. Získáme tak směs vody a ledu o teplotě tání.

Před umístěním kousků ledu do kalorimetru je osušte papírovou utěrkou nebo ručníkem.

**Ukázka
výsledků
(naměřené
hodnoty)**

hmotnost pěnového pohárku a kádinky (g)	90,5	97,0	95,3
hmotnost pěnového pohárku, kádinky a teplé vody (g)	187,3	195,5	193,9
hmotnost pěnového pohárku, kádinky, teplé vody a roztátého ledu (g)	210,7	222,9	224,9
počáteční teplota vody (maximum) ... t_1 (°C)	28,5	27,5	26,9
konečná teplota vody (minimum) ... t_2 (°C)	8,7	6,7	4,2

**Ukázka
výsledků
(vypočítané
hodnoty)**

	měření č. 1 kelímek KFC	měření č. 2 kelímek McDonald	měření č. 3 kelímek Lavazza
hmotnost teplé vody (g)	96,8	98,5	98,6
rozdíl teplot (°C)	19,8	20,8	22,7
dodané teplo (J)	8012	8564	9356
hmotnost tajícího ledu (g)	23,4	27,4	31,0
měrné skupenské teplo tání ledu (J/g)	342	312	302
procentuální odchylka	2,4 %	6,6 %	9,6 %

Procentuální odchylka naměřené hodnoty (první měření) a teoretické hodnoty je přibližně 2,4 %, což lze považovat za výborný výsledek. Většinou měření vychází s odchylkou kolem 10 %. Vezmeme-li v úvahu tepelnou kapacitu kalorimetru (kelímku + kádinky + teploměru), která je přibližně 7 J/°C, zmenší se odchylka měření o 3 %. V práci s mladšími žáky však tuto hodnotu doporučuji zanedbat.

Absorpce světla

Petra Směšná

Výstup RVP: žák využívá poznatky o vzájemných přeměnách různých forem energie a jejich přenosu při řešení konkrétních problémů a úloh

Klíčová slova: tepelné záření, absorpce světla, solární termální panel, kolektor

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

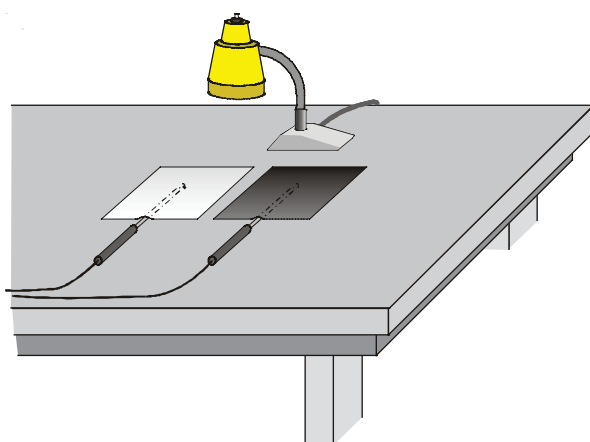
15 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Porovnejte absorpci světla tmavým a světlým povrchem.

Pomůcky Černý a bílý papír, stolní lampa s žárovkou o příkonu min. 40 W, dvě bodová teplotní čidla Vernier, počítač, LabQuest, program Logger Pro



Teoretický úvod Barva předmětů je dána vlnovou délkou světla (nebo složením více vlnových délek), které tento předmět vyzařuje. Tato barva závisí na osvětlení předmětu, na odrazivosti jeho povrchu, i na vlastním vyzařování. Pokud předmět sám nevyzařuje, je barva dána jeho absorpcí. Čím více světla (energie) předmět absorbuje, tím tmavší se nám zdá jeho barva. Tato absorbovaná energie se nejčastěji přeměňuje v energii tepelnou.

Tento jev nejčastěji vnímáme, když se v létě oblečeme do tmavého oblečení. Černé tričko se zahřeje na vyšší teplotu než při stejných podmínkách bílé tričko. Další použití tohoto jevu může být na solárních termálních panelech.

Solární termální kolektory bývají klasifikovány do tří skupin: nízkoteplotní, středněteplotní a vysokoteplotní. Nízkoteplotní kolektory se používají nejčastěji k ohřívání bazénů, středněteplotní kolektory už i k ohřívání vzduchu a vody v rodinných domcích a vysokoteplotní kolektory jsou používány k výrobě elektrické energie.

Pro výrobu elektrické energie je potřeba dosáhnout větších teplot média (kterým bývá voda, případně olej). Tohoto se dosahuje pomocí systému zrcadel nebo čoček, které na kolektor soustřeďují sluneční paprsky. Výsledkem je pára, která pohání parní turbíny. Pro rozmístění zrcadel se používá uspořádání, které nejlépe vyhovuje nárokům na co nejméně místa. Toho se dá docílit pomocí parabolických koryt, věží, disků nebo Fresnelovými reflektory.

Solární termální elektrárny jsou schopny skladovat teplo pomocí roztavené směsi solí (60% dusičnan sodný, 40% dusičnan draselný). Tak může elektrárna produkovat elektřinu i v noci nebo za špatného počasí.

Stavba solárních termálních elektráren je na vzestupu zejména ve Španělsku a USA.

Absorpce světla



Věž Solar Two, poušť Mojave, USA (zbourána roku 2009)
zrcadla odrážejí světlo na vrchol věže



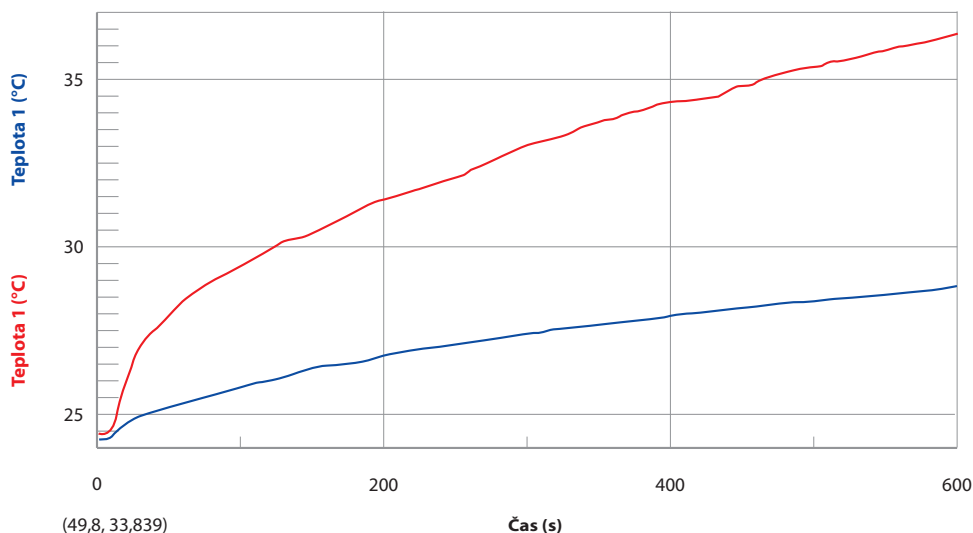
Uspořádání do parabolických koryt
4 elektrárny z komplexu SEGs, Mojave, USA



Fresnelovy reflektory
solární termální elektrárna Kimberlina, USA
(fotografie převzaty z wikipedia.org)

- Postup**
- 1) Izolepou připevníme teplotní čidla k povrchu stolu tak, jak je zobrazeno na obrázku.
 - 2) Jedno čidlo překryjeme bílým papírem a druhé černým papírem (stejná tloušťka, vhodný formát A5).
 - 3) Teplotní čidla připojíme přes LabQuest k počítači.
 - 4) Umístíme žárovku lampy nad oba papíry ve výšce asi 10 cm tak, aby byla ve stejné vzdálenosti od obou čidel.
 - 5) Zapišeme počáteční teploty obou čidel (je vhodnější nechat čidla nějakou dobu ustá-
lit, aby se jejich teploty příliš nelišily) a nastavíme čas měření na 10 minut.
 - 6) Spustíme měření a zapneme lampičku.
 - 7) Po skončení měření zaznamenáme závěrečné hodnoty teplot obou teplotních čidel.

Výsledky
Graf
závislosti
teploty
na čase



	černý papír	bílý papír
čas (s)	teplota (°C)	teplota (°C)
1	24,4	24,2
600	36,4	28,8

Spočítáme rozdíly teplot obou teplotních čidel.

1. čidlo (černý papír): $\Delta t_1 = 36,4 - 24,4 = 12 \text{ °C}$

2. čidlo (bílý papír): $\Delta t_2 = 28,8 - 24,2 = 4,6 \text{ °C}$

U kterého čidla nastala největší změna teploty? Které barvě papíru odpovídá?

Do jaké barvy se obléknete v létě, aby vám nebylo horko?

Jaká barva se nejlépe hodí na solární termální panely?

Rozšíření Změřte nárůst teploty pro různé barvy papíru.

Odkazy http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_energy

Solární termální energie – v angličtině

http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations

Seznam postavených i dostavovaných solárních termálních elektráren – v angličtině

<http://rescompass.org/cesky,132/obnovitelna-energie,133/8-solarni-termalni,113.html>

<http://www.ekobydleni.eu/tag/solarni-elektrarny>

Vodivost osolené a ocukrované vody

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák zpracuje a vyhodnotí výsledky měření

Klíčová slova: vodivost, viskozita

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

10 min

Obtížnost:

nízká

- Úkol**
1. Odhadněte, jak se bude měnit vodivost (zvyšovat, snižovat, neměnit) při solení a cukrování vody z vodovodu.
 2. Ověřte odhady pomocí konduktometru.

Pomůcky Voda z vodovodu, sklenička, lžička na míchání, pytlík soli, pytlík cukru, senzor vodivosti Vernier, LabQuest

Teoretický úvod U kapalin se míra schopnosti vést elektrický proud vyjadřuje veličinou *měrná vodivost* udávanou v jednotkách siemens/cm (S/cm). Čím vyšší měrná vodivost, tím lepším je daná kapalina vodičem elektrického proudu.

Destilovaná voda má hodnoty blízké nule, protože v ní chybí volné nosiče elektrického náboje.



Vodivost osolené a ocukrované vody

Nejprve necháme žáky, aby provedli odhad. Obvykle vědí, že sůl vodivost zvyšuje, u cukru váhají. Nakonec se nejčastěji přikloní k tomu, že cukr vodivost ani nezvyšuje, ani nesnižuje.

Ve skutečnosti cukr vodivost znatelně snižuje. Řepný cukr (sacharóza) ve vodě nedisociuje, tím pádem nezvyšuje množství iontů a jeho rozpouštěním vodivost nemůže vzrůstat. Molekuly sacharózy jsou velké v porovnání s molekulami vody, což má za následek, že volné ionty mají v roztoku menší pohyblivost.

Při provádění experimentu naměříme například tyto hodnoty:

Na vzduchu (neponořeno): 0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (pokud není nula, doporučuji čidlo vynulovat)

Experiment→Nulovat...

Obyčejná voda z vodovodu: 630 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Obyčejná voda z vodovodu osolená špetkou soli: 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Obyčejná voda z vodovodu ocukrovaná lžičkou cukru: 617 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Obyčejná voda z vodovodu ocukrovaná pěti lžičkami cukru: 582 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Voda z kohoutku je vodivá. Sůl vodivost vody zvyšuje, cukr snižuje.

Výše uvedená metoda je vhodná do hodiny, nemusíme nic přesně vážit a odměřovat, vždy to vyjde stejně (sůl zvyšuje vodivost, cukr snižuje), jedná se o rychlou kvalitativní demonstraci.

Dalším rozšířením například do laboratorních prací by mohlo být zjišťování závislosti změny vodivosti na přesném množství vody a přidaném množství soli/cukru (pro malá množství bych očekával lineární závislost).

Určení šířky ultrazvukového kuželu sonaru

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření

Klíčová slova: měření, goniometrické funkce

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

25 min

Obtížnost:

střední

Úkol Vymyslete a realizujte vhodnou metodu pro určení šířky ultrazvukového kuželu sonaru při jednotlivých polohách přepínače.

Pomůcky Sonar Go!Motion, počítač s programem Logger Pro nebo LabQuest, další pomůcky podle přání studentů

Teoretický úvod Ultrazvukový senzor polohy a pohybu (sonar) má výklopnou hlavici, pod kterou se nachází přepínač. Tímto přepínačem lze nastavit šířku kužele ultrazvukových vln, které sonar vysílá.

Pro některé experimenty je vhodnější spíše úzký kužel (přepínač vlevo – režim „vozíček“), aby nebyly registrovány objekty po stranách, které nás v tu chvíli nezajímají.

V jiných typech experimentu je vhodnější širší kužel, například při sledování skákajícího míče (přepínač vpravo – režim „míč“). Míč totiž má tendenci odsakovat do stran, takže širší kužel umožní sonaru zachytit míč, i když není úplně přesně pod sonarem.

Vypracování

poloha přepínače	šířka kužele	odhadovaná neurčitost
vlevo (vozíček)		
vpravo (míč)		

Závěr Znázorněte graficky oba případy.

Určení šířky ultrazvukového kuželu sonaru

Pavel Böhm

Zpracování Doporučuji žáky rozdělit do dvojic a nechat je, aby sami vymysleli pro měření vhodnou metodu. Přitom je může učitel obcházet, pomáhat jim ze slepých uliček, pokládat návodné otázky a podobně.

Pro žáky je tato aktivita příležitostí k procvičení kreativity. Při některých typech postupů si též procvičí goniometrické funkce.

Jak by žáci mohli postupovat: spustí měření a v určité vzdálenosti od sonaru se začnou přibližovat rukou z oblasti mimo kužel (sonar zjevně ruku nezaznamenává) před hlavicí sonaru. Jakmile sonar začne ukazovat vzdálenost ruky, znamená to, že ruka již je v oblasti ultrazvukového kuželu. Stačí nyní změřit úhel nebo patřičné vzdálenosti a úhel dopočítat.

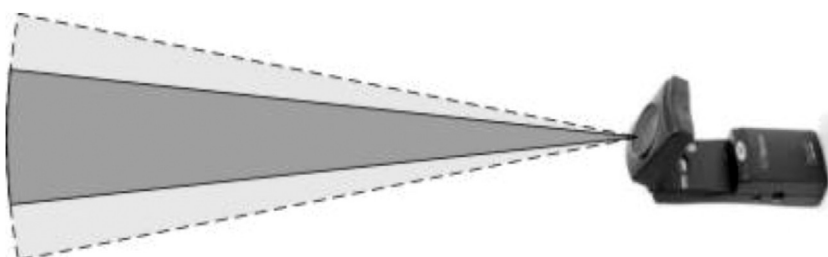
Jak stanovit neurčitost měření: Místo, kde sonar začne ruku zaznamenávat, není obvykle zcela jednoznačně dané. Žáci budu spíše schopni stanovit nějaký rozsah, ve kterém hranice zcela jistě leží. Když pak vypočítají šířku kužele pro jednu a druhou hranici tohoto rozsahu, dostanou dolní a horní odhad šířky kuželu. Neurčitost měření mohou snížit tím, že budou měřit ve větší vzdálenosti.

Když jsem tuto aktivitu s žáky prováděl, překvapilo mě, že pro ně zdaleka nebyla tak snadná, jak jsem si původně představoval.

**Ukázky
výsledků**

poloha přepínače	šířka kužele	odhadovaná neurčitost
vlevo (vozíček)	14°	3°
vpravo (míč)	21°	2°

Závěr Pro lepší představu je vhodné ještě grafické znázornění:



Průměrná rychlost

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, užívá základní kinematické vztahy při řešení problémů

Klíčová slova: kinematika, rychlost, průměrná rychlost, vzdálenost, doba pohybu

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Studujte definici průměrné rychlosti. Naučte se ji měřit třemi různými metodami.

Pomůcky LabQuest, délkové měřidlo (metr, pásmo), stopky (součást LabQuestu), dvě optické závory, dvě laserová ukazátka, plastelína, ocelová kulička, deska délky 1 m, lepicí páska

Teoretický úvod Průměrná rychlost je definována jako podíl uražené vzdálenosti d za dobu Δt . Její základní jednotkou je m/s, častěji ovšem pracujeme s jednotkou km/h.

$$v_p = \frac{d}{\Delta t}$$

Pro pomalé pohyby si vystačíme s metrem a stopkami (aktivita 1). Jakmile však studujeme tělesa, která se pohybují rychleji, musíme zpřesnit měření času. Pro pohyb kuličky po nakloněné rovině použijeme dvě optické závory a LabQuest (aktivita 2). Pro elektronické snímání pohybu velkých těles pak s výhodou použijeme laserové ukazátko, pomocí kterého rozšíříme „závoru“ na odpovídající velikost (aktivita 3).

V případě, že mnohokrát opakujeme stejné měření, musíme naměřené hodnoty statisticky zpracovat. Hodnotu absolutní chyby měření nalezneme podle vzorce

$$\Delta v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{v} - v_i)^2}{n \cdot (n-1)}}, \text{ kde } n \text{ je počet měření. Můžeme si také pomoci statistickým režimem}$$

na kalkulačce nebo zpracováním v Excelu.

Postup Aktivita 1

V této aktivitě se naučíme měřit průměrnou rychlost klasickou metodou. Na pracovním stole odměříme vzdálenost 1 m. Připravíme si stopky a měříme čas průjezdu malého automobilu na baterie na tuto vzdálenost. Měření opakujeme celkem pětkrát a statisticky zpracujeme.

č. m.	Δt (s)	d (m)	v (m/s)
1		1,0	
2		1,0	
3		1,0	
4		1,0	
5		1,0	

Aktivita 2

Pro měření rychlých pohybů je vhodné použít například počítač. Omezíme tím chybu spojenou s reakční dobou experimentátora, která může být až 0,2 s. Pro detekci pohybu malé ocelové kuličky použijeme dvě optické závory. Je to digitální zařízení, které pracuje tím způsobem, že když je optický svazek mezi konci závory nepřerušen, závora hlásí **Unblocked (Neblokováno)**, a když je svazek přerušen, závora signalizuje **Blocked (Zablokováno)**. V okamžicích, kdy dojde k požadované změně (předmět se dostane na pozici závory), zaznamenáváme čas. Můžeme tedy snadno detekovat průjezd kuličky závorami umístěnými ve vzdálenosti d od sebe a automaticky dopočítat průměrnou rychlost kuličky.

Průměrná rychlost

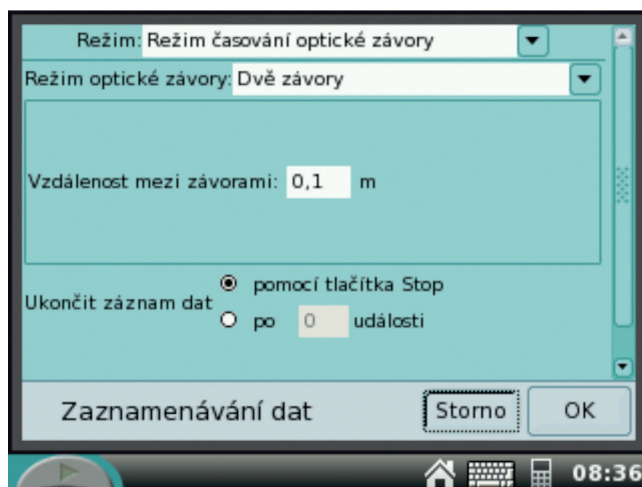
Optické závory zapojíme do digitálních vstupů LabQuestu.



Umístíme je do vzdálenosti $d = 10$ cm od sebe na konec nakloněné roviny mírného sklonu.



Na LabQuestu nastavíme **Režim časování optické závory** → **Dvě závory**. Doplníme vzdálenost mezi závory. Přístroj sám vypočítá z naměřených časů průměrnou rychlost kuličky.



Zahájíme měření a v jeho průběhu pouštíme kuličku po nakloněné rovině ze vzdálenosti d od první optické závory. Doplníme následující tabulku, přičemž hodnoty rychlosti kuličky odečítáme na LabQuestu v tabulce naměřených hodnot (sloupec R_y (m/s)).

Měření 1			
D1: Stav	D2: Stav	Peri (s)	Ry (m/s)
	Blocked	0,117353	0,852
	Unblocked		
Blocked			
Unblocked			
	Blocked	0,107775	0,928
	Unblocked		

**Tabulka
naměřených
hodnot**

l (m)	v (m/s)
0,1	
0,2	
0,3	
0,4	
0,5	

Existuje nějaký jednoduchý vztah mezi měřenými veličinami? Vytvořte graf závislosti rychlosti na uražené vzdálenosti. Výsledek komentujte.

Aktivita 3

V této aktivitě se pokusíme změřit rychlost pohybu člověka (ať už se jedná o jeho pomalou chůzi nebo běh). Použijeme opět dvě optické závory. Přepneme je na použití laserového svazku (zavřeme clonu uvnitř závory), abychom mohli zvětšit „bránu“ pro pohyb velkých těles a osob. Závory uspořádáme podle obrázku, vždy laserové ukazovátko naproti optické závoři. Obě závory umístíme ve vzdálenosti několika metrů (podle délky kabelů k LabQuestu).



Průměrná rychlost

Ukazovátko i závoru je vhodné upevnit pomocí plastelíny (snáze docílíte jejího namíření do optické závory), případně zachytit izolepou či kobercovou páskou, aby nemohlo dojít k jeho samovolnému posunutí.



Opět musíme na LabQuestu nastavit **Režim časování optické závory** → **Dvě závory** a odpovídající vzdálenost mezi závorami. Poté již měření probíhá jako v předchozí aktivitě. Pro potlačení chyb měření experiment pětkrát zopakujeme a výsledky statisticky zpracujeme.

č. m.	v (m/s)
1	
2	
3	
4	
5	

Průměrná rychlost

Mirek Kubera

Ukázka Aktivita 1
naměřených
hodnot

č. m.	Δt (s)	d (m)	v (m/s)
1	15,5	1,0	0,065
2	14,9	1,0	0,067
3	12,6	1,0	0,079
4	16,0	1,0	0,062
5	13,1	1,0	0,076

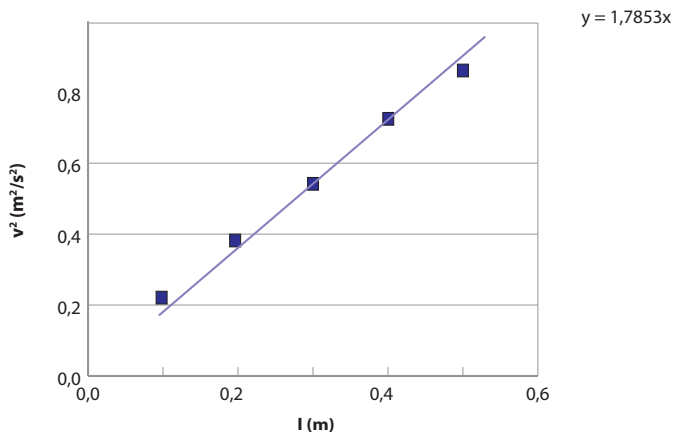
Z tabulky je jasné patrné, že při měření rukou dochází k ovlivnění měřeného času experimentátorem. Druhým faktorem, který ovlivňuje výsledek měření, je fakt, že vozík nemusí při opakování experimentu jet stejně rychle. Pomocí statistického režimu kalkulačky můžeme dopočítat průměrnou rychlost a chybu měření a zapsat výsledek v odpovídajícím tvaru: $v = (0,070 \pm 0,003) \text{ m/s}$.

Aktivita 2

l (m)	v (m/s)
0,1	0,470
0,2	0,618
0,3	0,736
0,4	0,852
0,5	0,928

V tomto případě vidíme, že rychlost kuličky roste s rostoucí vzdáleností l . Čím déle se kulička pohybuje na nakloněné rovině, tím větší je její rychlost měřená optickými závorymi. Chceme-li prozkoumat tento vztah podrobněji, můžeme vytvořit graf druhé mocniny rychlosti v závislosti na uražené vzdálenosti l . Můžeme snadno potvrdit, že druhá mocnina rychlosti a uražená vzdálenost jsou si přímo úměrné.

Rychlost
kuličky
na
nakloněné
rovině



Průměrná rychlost

Aktivita 3

č. m.	v (m/s)
1	1,70
2	1,77
3	1,60
4	1,51
5	1,52

Výsledky ukazují, že člověk se pohybuje rychlostí přibližně 1,62 m/s s absolutní chybou 0,05 m/s.

Poznámka Je možné v Aktivitě 3 vyhlásit soutěž o nejrychlejšího žáka. Dbejte však na bezpečnost takové soutěže. Laboratoře fyziky nebývají k těmto aktivitám uzpůsobené. Pokud přesto chcete s dětmi soutěžit, vyjděte s nimi raději do tělocvičny nebo na sportovní hřiště, kde získáte odpovídající prostor. Mobilní měřicí přístroje vám to umožní.

Trajektorie pohybu, charakteristiky pohybu

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák užívá základní kinematické vztahy při řešení problémů a úloh o pohybech rovnoměrných a rovnoměrně zrychlených/zpomalených

Klíčová slova: trajektorie, rychlost, GPS, souřadnice, pohyb, klid

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

25 min

(nutno naměřit reálná data)

Doba na provedení:

30 min

Obtížnost:

střední

Úkol: V rámci své běžné denní činnosti (cesta do školy) nebo jiné činnosti (školního výletu) zaznamenejte trasu svého pohybu. Trajektorii pohybu zanešte do mapy. Studujte rychlost a směr pohybu. Určete celkovou uraženou vzdálenost.

Pomůcky LabQuest, modul GPS, počítač s připojením na internet, program Logger Pro

Teoretický úvod GPS neboli Global Positioning System je soustava 24 satelitů (+ 3 satelity záložní) obíhající Zemi ve výšce přibližně 20 000 km rychlostí asi 4,4 km/s. Satelity vysílají zprávy obsahující čas vyslání zprávy, polohu satelitu a informaci o přibližném stavu a poloze ostatních satelitů. Z těchto informací pak přijímač GPS určí informace o své poloze (metoda triangulace). K dobrému určení polohy musíme mít informace alespoň od 4 satelitů.

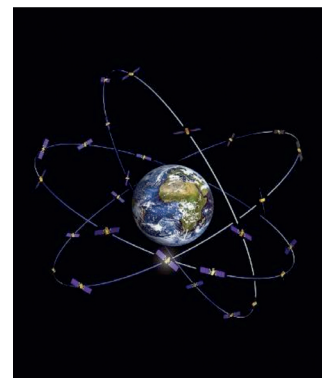
Informace o čase je dána velice přesnými atomovými hodinami. Musíme však pracovat s obecnou a speciální teorií relativity, protože tyto hodiny se docela rychle pohybují a navíc se vyskytují v blízkosti velmi hmotného objektu – naší Země. Bez těchto relativistických oprav by byla přesnost určení polohy pomocí GPS přibližně 10 km, což nelze považovat za uspokojivé.

Vypracování Zapněte LabQuest a po jeho startu vložte do USB portu modul GPS. Vyčkejte jeho spojení se satelity. Na displeji přístroje se objeví vaše souřadnice. (Uvnitř budovy signál většinou nezachytíte.)



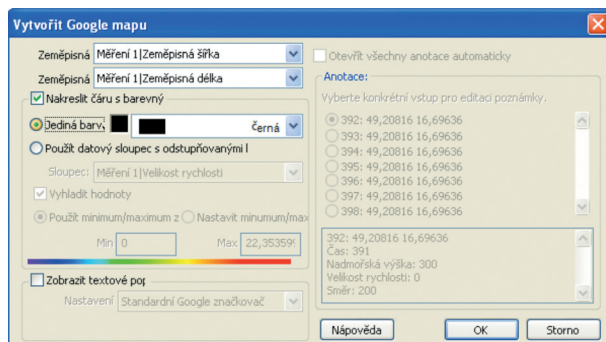
Podle délky zamýšlené trasy a předpokládané rychlosti pohybu nastavte měření. Například při jízdě autem do školy můžeme nastavit následující hodnoty: *délka měření 3 600 s, vzorkovací frekvence 1 vzorek/sekunda*. Spustíte měření, odložíte LabQuest do tašky a věnujete se cestě. Po příjezdu na místo určení ukončíte měření v LabQuestu. Měření uložte.

Výsledky a výpočty Přestože se můžeme ihned podívat na naměřená data, pro podrobné a pohodlnější zpracování bude vhodnější přenést data do počítače. Abychom mohli exportovat trajektorii do mapy, musí být počítač připojen k internetu. Budeme potřebovat program Logger Pro. Otevřeme-li datový soubor (má příponu .cmbl, zatímco soubory Logger Pro mají příponu .qmb) v programu Logger Pro, zobrazí se tabulka naměřených hodnot a graf závislosti zeměpisné šířky na zeměpisné délce (pokud máte naměřená data stále v LabQuestu, můžete je dostat do počítače připojením LabQuestu přes USB k počítači a zvolením funkce **Sou-**

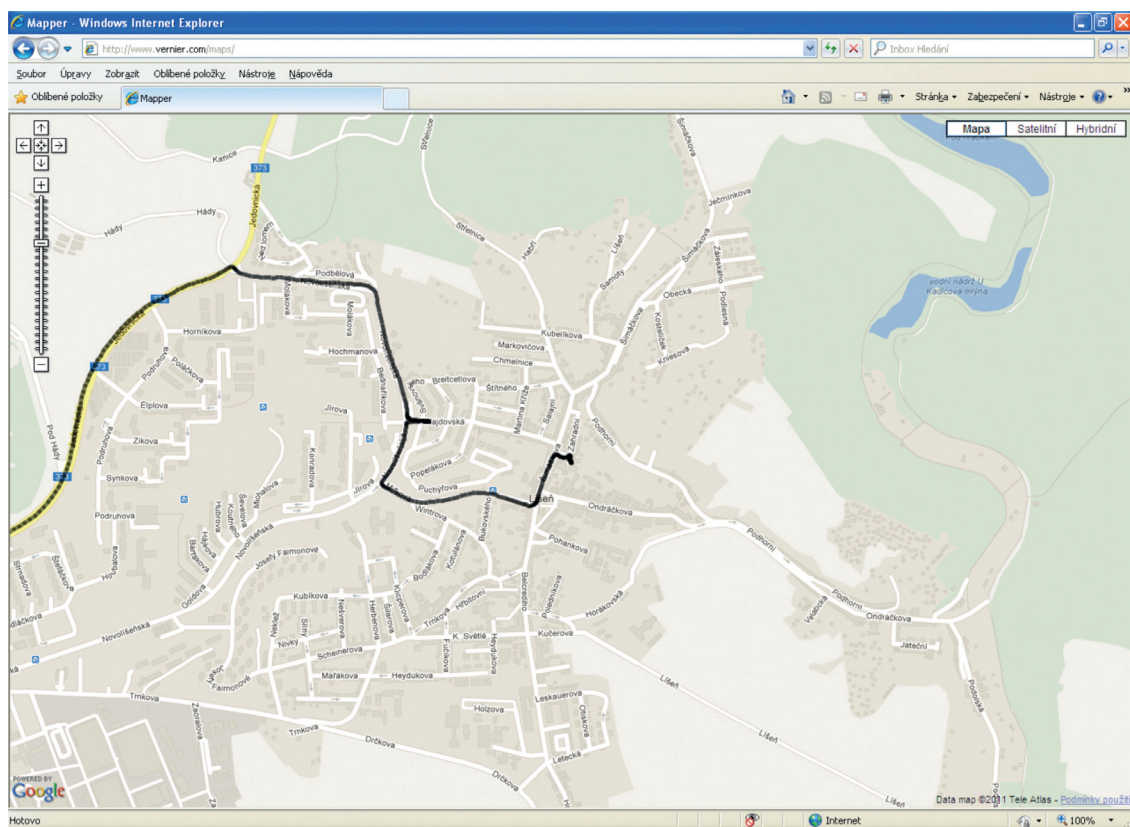


Trajektorie pohybu, charakteristiky pohybu

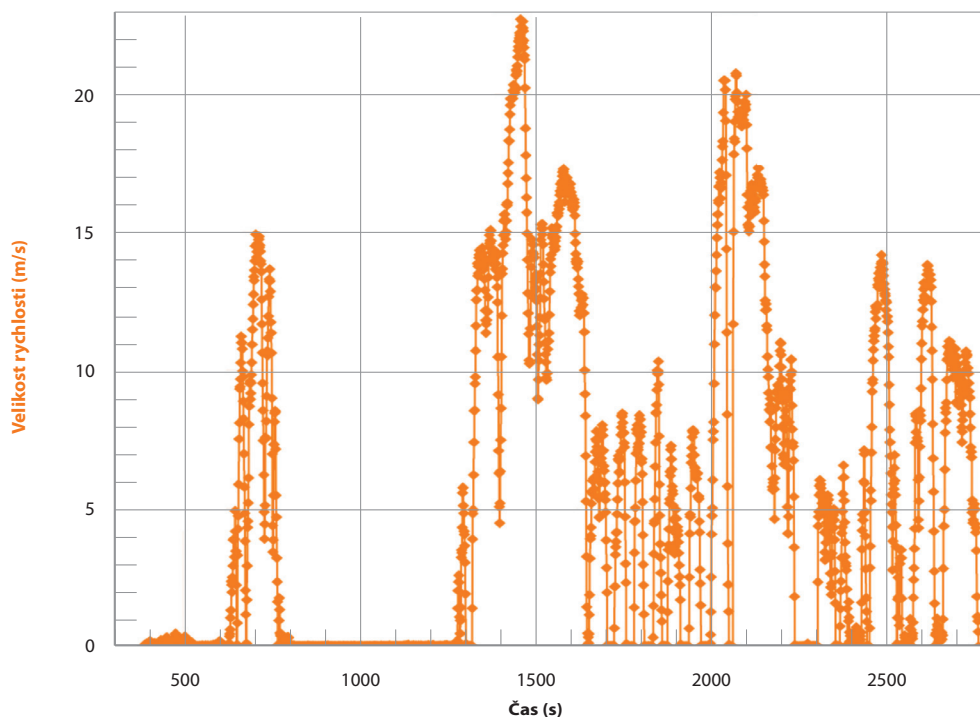
bor→**Prohlížeč souborů v LabQuestu**). Otevřený graf již je v podstatě záznam trajektorie; vidíme její tvar, těžko však určíme polohu tělesa. Proto budeme exportovat trajektorii do skutečné mapy. Využijeme funkci **Soubor**→**Exportovat jako**→**Google mapy...**



Na následujícím obrázku můžeme vidět poměrně přesný (a hlavně reálný a pravdivý) tvar trajektorie našeho tělesa, v tomto případě automobilu. Funkce přenosu trajektorie tělesa do mapy může trvat poměrně dlouho, záleží na kvalitě internetového připojení, ale hlavně také na množství naměřených bodů. Je-li jich mnoho, každé další překreslování mapy je velice dlouhé.



Jestliže tedy víme, kam se těleso pohybuje a jaký má tvar jeho trajektorie pohybu, pojďme se podívat na další charakteristiku pohybu – jeho rychlost. V programu Logger Pro můžeme jednoduše vybrat na osy zobrazení velikost rychlosti v závislosti na čase.

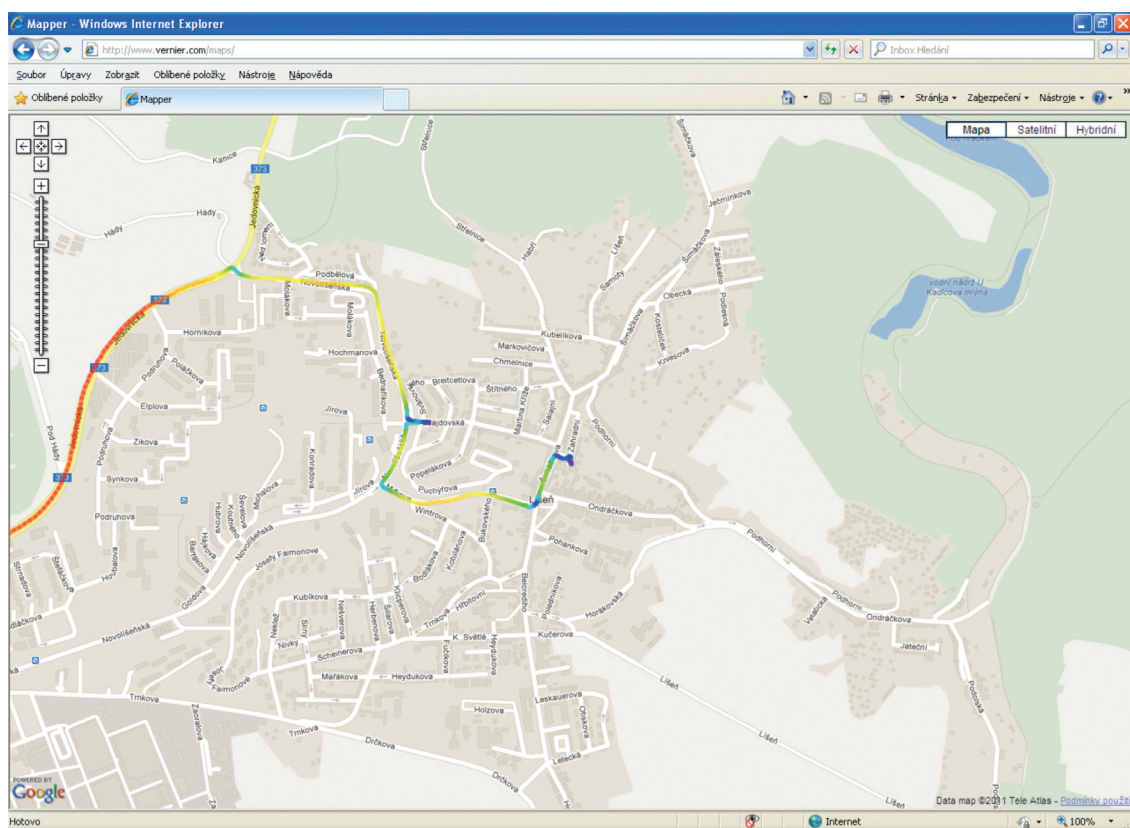
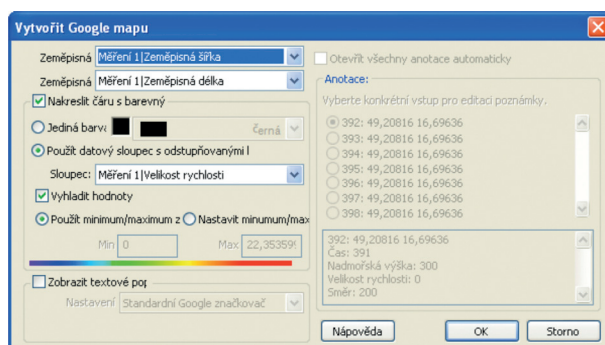


Graf se může zdát nepřehledný, ale určitě v něm vidíme, že automobil při cestě po městě na své trase několikrát zastavil. Prvních 630 s se předmět vůbec nepohyboval. Stačí se podívat na konstantní hodnoty obou zeměpisných souřadnic.

Po krátké jízdě, která trvala 157 s a automobil dosáhl rychlosti 15 m/s, se opět na delší dobu (8 min 20 s) zcela zastavil (nezbytné vyložení dcery ve školce). Další zastávky automobilu (celkem 16x) již odpovídají plynulosti dopravy ve městě Brně.

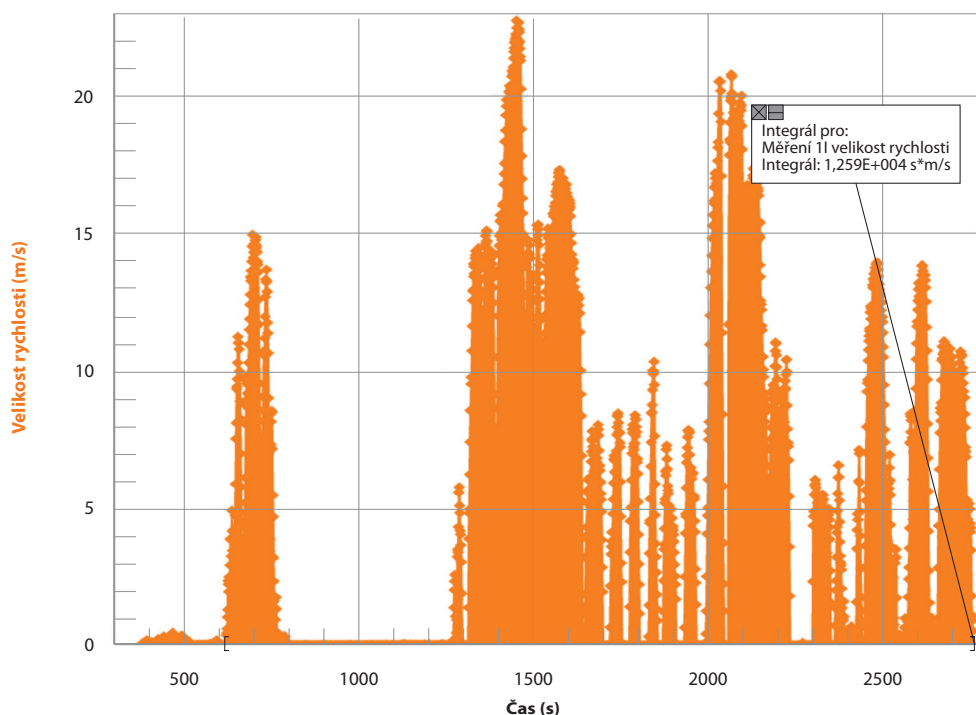
Trajektorie pohybu, charakteristiky pohybu

Exportujeme ještě jednu trajektorii do Google Maps, ale exportujeme současně hodnoty rychlosti. Barevně označená trajektorie tak bude vypovídat o hodnotě rychlosti v jednotlivých částech trajektorie.



Posledním úkolem je výpočet uražené vzdálenosti. Je to pokročilá funkce, studenti 1. ročníku neznají integrální počet, nicméně se snažíme jim vysvětlit, že plocha pod grafem může mít a v mnoha případech ve fyzice má určitý, zcela přesný význam. Toto reálné měření tak může vyústit ve zcela praktickou ukázkou využití integrálu. Stačí vybrat ikonu **Integrál** a případně upravit počátek nebo konec označované oblasti.

V našem případě je velikost plochy pod grafem rychlosti v závislosti na čase 12 590 m neboli 12,6 km. To velice dobře odpovídá délce trajektorie při cestě do školy měřené na tachometru automobilu. Pečlivým „oklikáním“ délky trasy v mapě na serveru <http://amapy.centrum.cz/mereni-vzdalenosti-m7> dostáváme výsledek **12,3 km**, což lze považovat za dobrou shodu.



Jistě vás napadnou další možnosti, jak využít senzor GPS a možnost exportu trajektorie do mapy.

Další odkazy Odkaz na článek na fyzwebu:
<http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=185>
Informace o principu GPS a jeho využití:
<http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?106864-gps>
Navigační systém Galileo Evropské vesmírné agentury:
<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>



Měření tíhového zrychlení

Eva Bochníčková

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje získaná data formou grafu; zpracováním grafu určí hledanou veličinu, kterou porovná s její tabulkovou hodnotou; diskutuje případné odlišnosti

Klíčová slova: gravitační pole, tíhové zrychlení, pohyb rovnoměrně zrychlený

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

Úkol Určete tíhové zrychlení s využitím volného pádu tělesa *Picket Fence*.

Pomůcky Pomůcka *Picket Fence* („tyčkový plot“), LabQuest, optická závora Vernier Photogate, stojan, počítač

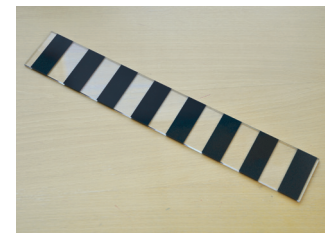
Teoretický úvod Volný pád je nejjednodušším příkladem pohybu těles v tíhovém poli Země. Pokud zanedbáme sílu odporu prostředí, působí na těleso padající volným pádem pouze síla tíhová, která dle druhého Newtonova zákona udává tělesu konstantní zrychlení. Těleso se jejím působením pohybuje rovnoměrně zrychleně se zrychlením g . Hodnota tíhového zrychlení závisí na naší poloze na Zemi: největší hodnoty dosahuje na pólech a nejmenší na rovníku. Dohodou je stanoveno tzv. normální zrychlení $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

Pro rychlost a dráhu volného pádu platí:

$$v = g \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Pomůcka *Picket Fence* je plastová destička, která je opatřena osmi zcela neprůhlednými pásky o přesně definované šířce (šířka pásky a mezery je 5 cm). Při průchodu optickou závorou je tímto páskem svazek v závoře zastíněn a umožňuje nám měřit dobu průchodu pásky optickou závorou. Pokud destička padá volným pádem, doba zaclonění závoře se u jednotlivých po sobě jdoucích pásků zkracuje s tím, jak se rychlost volného pádu zvyšuje. Program Logger Pro zaznamená do tabulky stav závoře (1 = blocked, 0 = unblocked), vzdálenost uraženou padajícím tělesem (tedy šířku pásky) a dopočítá okamžitou rychlost a zrychlení.



- Postup**
1. Optickou závoru upevníme do stojanu v horizontální poloze a propojíme s LabQuestem (pozor – digitální vstup DIG 1 na pravé straně).
 2. LabQuest propojíme s počítačem a spustíme program Logger Pro.
 3. Na ploše ponecháme grafy $v = f(t)$ a $a = f(t)$. V nabídce **Nastavení grafu** zrušíme možnost **Spojovat body**.
 4. Upravíme vhodně parametry experimentu. V nabídce **Sběr dat** ponecháme časovou závislost a délku trvání zvolíme podle toho, provádíme-li měření sami nebo ve dvojici. V prvním případě lze doporučit 20 s, abychom mohli měření spustit a pak v klidu zvládnout vypuštění tělesa.
 5. Spustíme měření, *Picket Fence* necháme volným pádem projít optickou závorou. Výsledky se zaznamenají do tabulky a současně se objeví grafy. K úpravě rozsahů grafů použijeme možnost **Automatické měřítko**.
 6. Data v grafu závislosti rychlosti na čase proložíme přímkou, jejíž směrnice je rovna hodnotě tíhového zrychlení.
 7. Měření opakujeme celkem 5x. Hodnoty zrychlení zapíšeme do tabulky a statisticky zpracujeme.
 8. Srovnáme s reálnou hodnotou tíhového zrychlení a uvážíme, co mohlo způsobit případnou odchylku.

Měření tíhového zrychlení

Tabulka:

číslo měření	1	2	3	4	5
$g \text{ (m/s}^2\text{)}$					

$$g = (\quad \pm \quad) \text{ m/s}^2$$

Pohyb těles v gravitačním poli

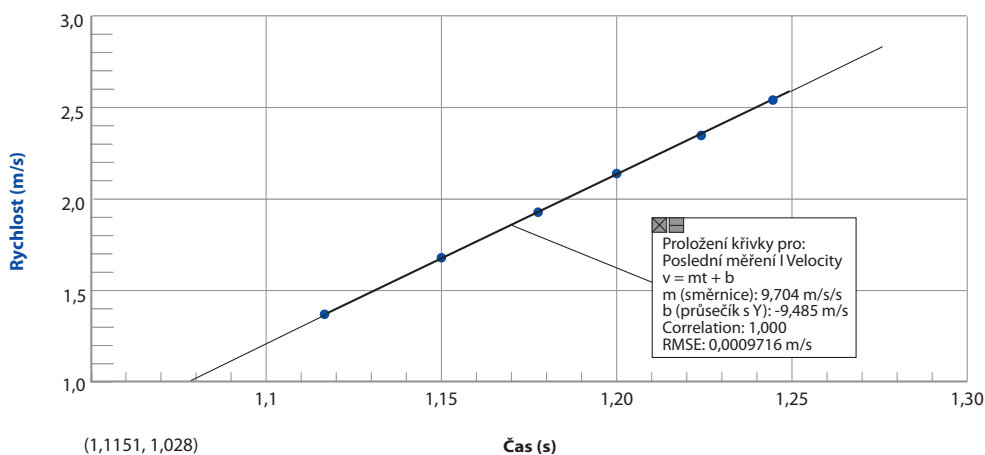
Měření tíhového zrychlení

Eva Bochníčková

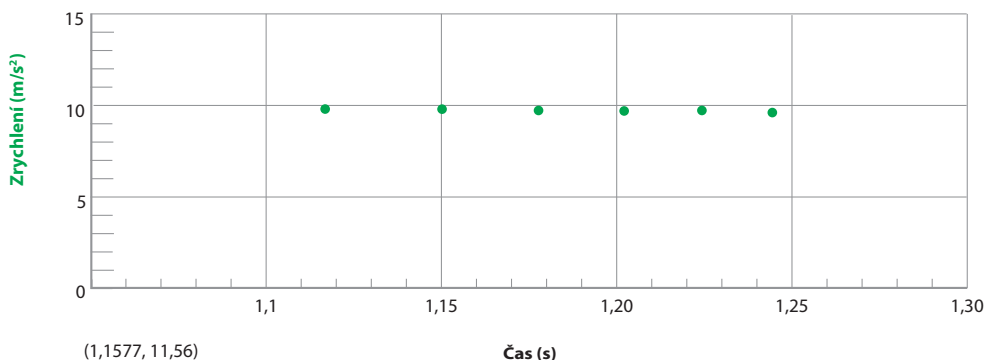
Ukázka tabulky s výsledky tří měření:

GateState = Odblokováno Vzdálenost = 0,350 m Velocity = 2,491 m/s Acceleration = 9,65 m/s ²									
Poslední měření					Měření 1				
čas (s)	GateState	d (m)	Velocity (m/s)	acc (m/s ²)	čas (s)	GateState	d (m)	Velocity (m/s)	acc (m/s ²)
1	1	0,000			1,075124	1	0,000		
2	1				1,098318	0			
3	1	0,050	1,170	9,73	1,118337	1	0,050	1,367	9,74
4	1				1,135288	0			
5	1	0,100	1,530	9,70	1,151085	1	0,100	1,686	9,75
6	1				1,165096	0			
7	1	0,150	1,819	9,67	1,178554	1	0,150	1,954	9,71
8	1				1,190779	0			
9	1	0,200	2,068	9,69	1,202699	1	0,200	2,188	9,68
10	1				1,213686	0			
11	1	0,250	2,289	9,62	1,224502	1	0,250	2,399	9,69
12	1				1,234574	0			
13	1	0,300	2,491	9,65	1,244534	1	0,300	2,592	9,56
14	1				1,253899	0			
15	1	0,350			1,263184	1	0,350		
16	1				1,271967	0			
17									
18									

Ukázka zpracování výsledků jednotlivého měření – graf $v = f(t)$, proložení přímkou. Hodnota tíhového zrychlení určená ze směrnice je 9,704 m/s².



Na druhém grafu je závislost zrychlení na čase při jednom průchodu plastové destičky optickou závorou.

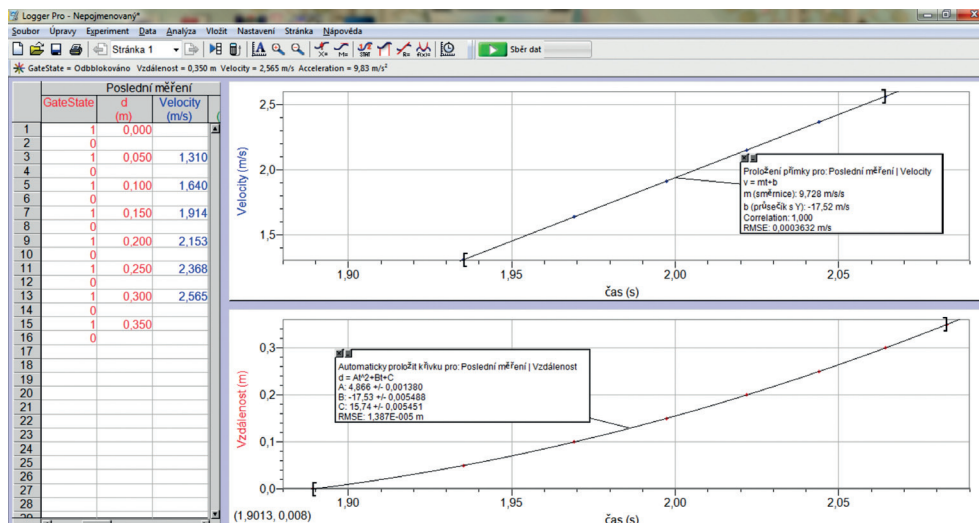




Měření tíhového zrychlení

Ukázka druhého pokusu, $g = 9,728 \text{ m/s}^2$.

Třetí graf ukazuje možnost ověření hodnoty g užitím závislosti dráhy na čase a proložení parabolou ve tvaru $A \cdot t^2 + B \cdot t + C$. Koeficient A je roven $\frac{1}{2}g$, a tedy dává hodnotu $g = 2 \cdot A = 9,732 \text{ m/s}^2$.



Tabulka s výsledky pěti pokusů:

číslo měření	1	2	3	4	5
$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	9,804	9,722	9,800	9,771	9,748

$$g = (9,77 \pm 0,02) \text{ m/s}^2$$

Poznámka

Je nutné zajistit, aby *Picket Fence* dopadal na měkký povrch, a nedošlo tak k jeho poškození.

Pro dobré výsledky je důležité, aby *Picket Fence* procházel závorou kolmo na svazek. V opačném případě neodpovídá garantovaná vzdálenost 5 cm.

Studium pohybu na nakloněné rovině

Vítězslav Nečas

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, analyzuje způsob pohybu kuličky na nakloněné rovině

Klíčová slova: rychlost, zrychlení

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

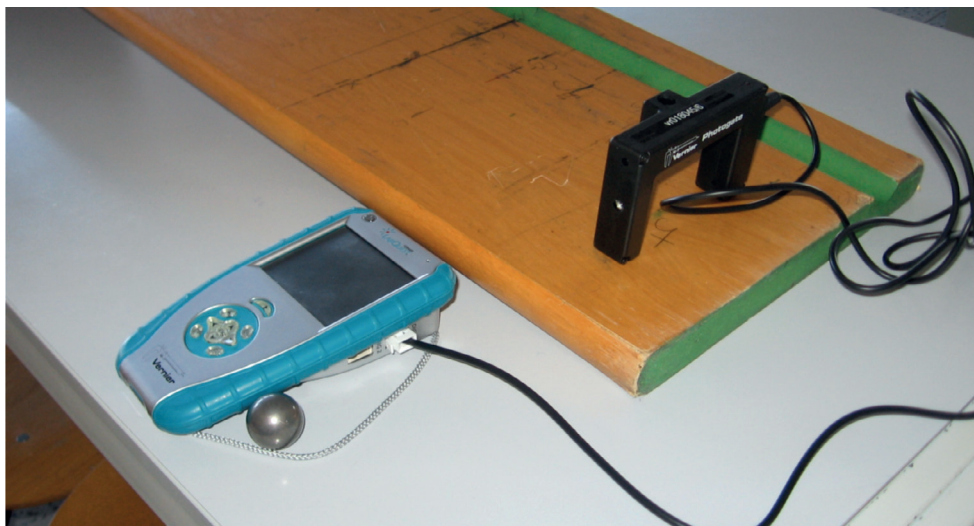
Úkol Ověřte, jestli pohyb kuličky na nakloněné rovině je rovnoměrně zrychlený s konstantním zrychlením. Určete zrychlení kuličky. Sestrojte graf závislosti zrychlení na dráze uražené kuličkou. Měření zpracujte na počítači v MS Excel.

Pomůcky Ocelová kulička, posuvné měřidlo, experimentální měřicí systém Vernier – LabQuest, optická závora (Photogate), nakloněná rovina, délkové měřidlo

Teoretický úvod Pohyb kuličky po nakloněné rovině je rovnoměrně zrychlený s konstantním zrychlením, které závisí pouze na úhlu sklonu nakloněné roviny.

Rychlost kuličky ve spodní části nakloněné roviny bude závislá na dráze, kterou kulička urazí (na době zrychleného pohybu).

Vypracování



Na konec nakloněné roviny umístíte optickou závoru Photogate připojenou k LabQuestu do kanálu DIG 1 (případně můžete LabQuest připojit k počítači přes USB kabel).

Před měřením ověřte, že je okénko pro paprsek v optické závoře otevřené, ověřte také funkčnost závory (*blocked* při zatemnění, *unblocked* při odtemnění).

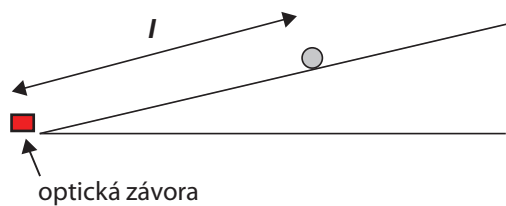
Není třeba nic nastavovat (v Labquestu ani v počítači); zajímat nás budou pouze časové údaje v tabulce. Dobu zatemnění paprsku při daném měření určete odečtením hodnoty času, kdy byla závora blokována (*blocked*) a odblokována (*unblocked*). Tyto hodnoty přenechte do tabulky. Další výpočty a tvorba grafů probíhají standardním způsobem v Excelu. Vzdálenost, ze které kuličku pouštíte, postupně zvyšujte o 15 cm (viz obrázek). Optická závora je stále na stejném místě!

Z času t určeného optickou závorou pak lze snadno vypočítat rychlost kuličky v při přechodu

na vodorovnou podložku (d je průměr kuličky): $v = \frac{d}{t}$.

Tuto rychlost považujeme za okamžitou.

Studium pohybu na nakloněné rovině



Ze vztahů $l = \frac{1}{2}at^2$ a $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ lze vyjádřit zrychlení $a = \frac{v^2}{2l}$.

Sestrojte graf závislosti zrychlení na dráze, kterou kulička urazila na nakloněné rovině, určete zrychlení kuličky.

Studium pohybu na nakloněné rovině

Vítězslav Nečas

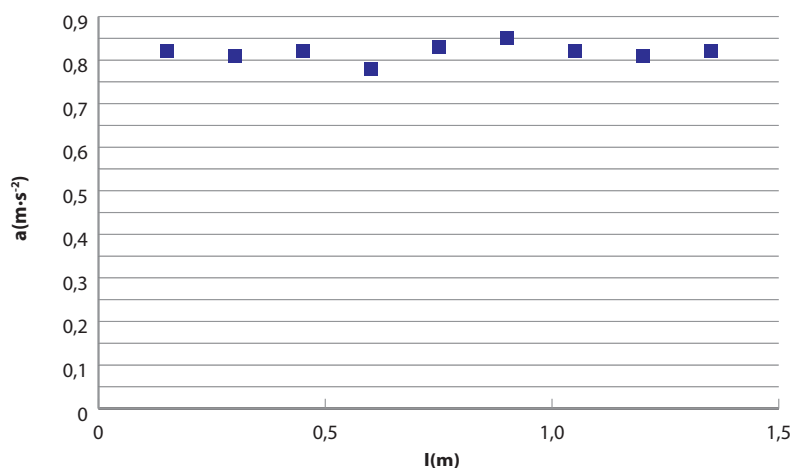
Výsledky a výpočty průměr kuličky: $d = 0,0223 \text{ m}$

Tabulka naměřených hodnot:

$l(\text{m})$	$t(\text{s})$	$v(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$a(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$
0	0	0,00	0
0,15	0,045	0,50	0,82
0,3	0,032	0,70	0,81
0,45	0,026	0,86	0,82
0,6	0,023	0,97	0,78
0,75	0,02	1,12	0,83
0,9	0,018	1,24	0,85
1,05	0,017	1,31	0,82
1,2	0,016	1,39	0,81
1,35	0,015	1,49	0,82

$$a = (0,82 \pm 0,01) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Závislost velikosti zrychlení na délce l



Ideální je, pokud má kulička stejný poloměr, jako je vzdálenost paprsku optické závory od podložky (8,5 mm). Ukazuje se však, že drobná odchylka má na výsledky měření pouze malý vliv, je možné tedy tuto nepřesnost někdy zanedbat.

Například při použití kuličky mající poloměr 13 mm je ve výšce 8,5 mm nad nakloněnou

rovinou vzdálenost, která zatmívá paprsek optické závory, $24,4 \text{ mm}$ ($2 \cdot \sqrt{13^2 - 4,5^2}$) namísto chybně uvažovaných 26 mm. V tomto případě je chyba již 6 %, je tedy vhodné použít tuto již vypočtenou hodnotu, nikoliv pouze průměr. Se šikovnými studenty je možné při výpočtu uvažovat i tuto skutečnost, a měření tak zpřesnit.

2. Newtonův pohybový zákon

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, určí v konkrétních situacích síly působící na těleso, určí výslednici sil, využívá Newtonovy pohybové zákony k předvídání pohybu těles

Klíčová slova: síla, hmotnost, zrychlení, Newtonovy zákony

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

Úkol Experimentálně ověřte 2. Newtonův pohybový zákon:

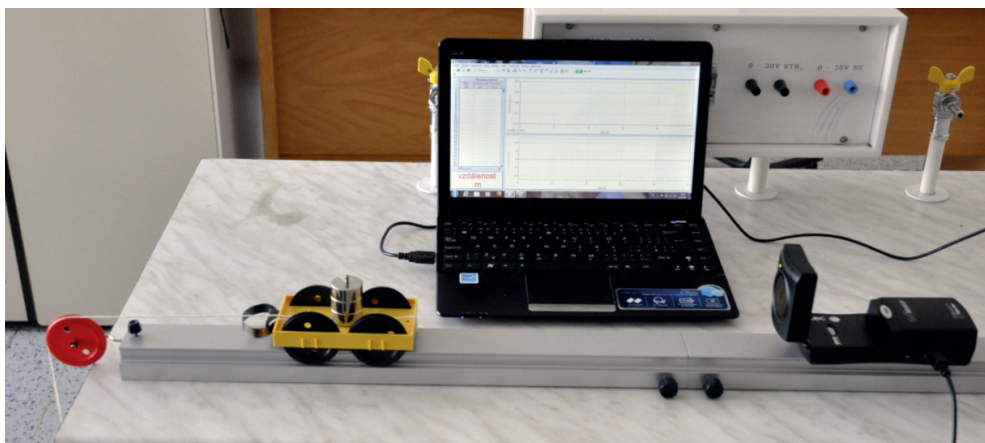
- 1) zjistěte, jak závisí zrychlení na hmotnosti,
- 2) zjistěte, jak závisí zrychlení na síle.

Pomůcky Mechanika – souprava pro studium pohybů, počítač s programem Logger Pro, sonar Go!Motion.

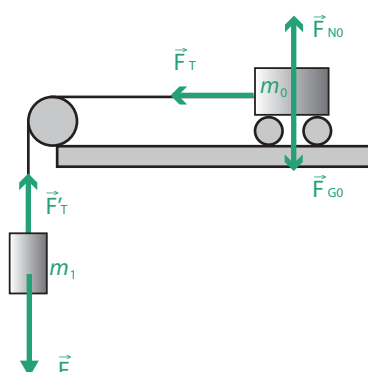
Teoretický úvod Druhý Newtonův zákon je důležitým přírodním zákonem. Udává vztah mezi vnějším silovým působením a pohybem (změnou rychlosti). Tento zákon můžeme aplikovat na každé těleso stálé hmotnosti, jehož rychlost je mnohem menší než rychlost světla.

V tomto praktiku budeme experimentálně zkoumat, jak spolu souvisí hmotnost M , síla F a zrychlení a .

Vozík o hmotnosti m_0 se může volně pohybovat po vodorovné kolejnici. Přes kladku je spojen nití se závažím o hmotnosti m_1 . Toto závaží se nesmí dotýkat země, musí stále viset. Celková hmotnost soustavy {vozík + závaží} je $M = m_0 + m_1$.

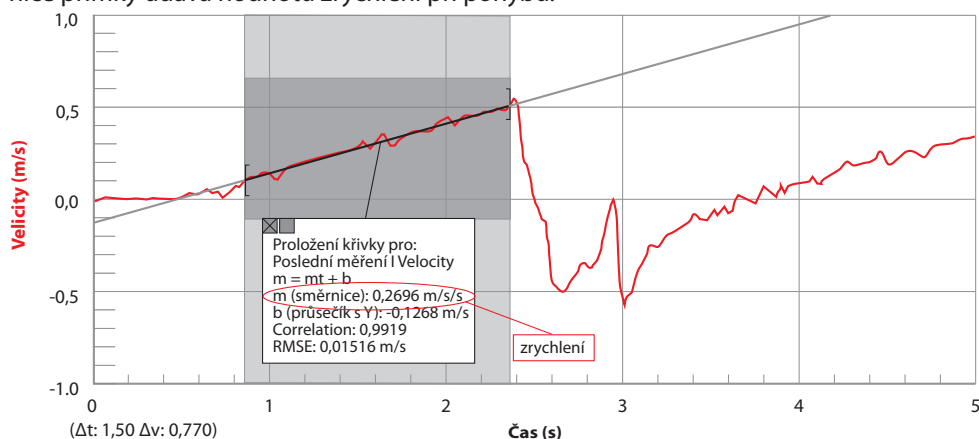


Je zřejmé, že jediná síla, která může uvést soustavu do pohybu, je tíha závaží $\vec{F}$ ($\vec{F}_T$ a $\vec{F}_T'$ jsou vnitřní síly soustavy, $\vec{F}_{G0}$ a $\vec{F}_{N0}$ se navzájem vyruší). Sílu tedy určíme výpočtem, známe-li hmotnost závaží: $F = m_1 \cdot g$. Zrychlení vozíku je možné určit na základě měření polohy sonarem Go!Motion připojeným k počítači přes USB port. Sonar přepneme do režimu „vozíček“ a položíme na konec kolejnice. V programu Logger Pro nastavíme vzorkovací frekvenci 50 Hz, ostatní ponecháme. Měření zahájíme klikem na zelenou ikonu **Sběr dat**. Po vykreslení grafů (program automaticky vykresluje časové závislosti dráhy $s = f(t)$ a rychlosti $v = f(t)$) označíme část křivky, ve které rychlost rovnoměrně narůstá, a proložíme touto částí přímkou. Směr-



2. Newtonův pohybový zákon

nice přímky udává hodnotu zrychlení při pohybu.



Vypracování Vyhledejte definici pojmů *hmotnost*, *síla* a *zrychlení*.

Experiment 1: Zrychlení v závislosti na hmotnosti

Je třeba zajistit, aby se neměnila síla, proto necháme zavěšen jen prázdný háček, který bude mít stálou hmotnost $m_1 = 10$ g.

$F = \dots\dots\dots$

Měníme hmotnost vozíku (prázdný vozík má hmotnost 55 g, naložíme na něj čtyři padesátigramová závaží) a měříme odpovídající zrychlení.

m_0 (g)	255	205	155	105	55
M (kg)					
a (m.s ⁻²)					

- Jaký výsledek experimentu můžeme předpovědět podle 2. Newtonova zákona?
- V Excelu sestrojte graf závislosti zrychlení a na hmotnosti M .
- O jakou křivku se jedná? Jaké matematické funkci odpovídá?
Najděte rovnici regrese této křivky.
- Rozhodněte, zda je váš výsledek v souladu s předpovědí v bodě a), a učiňte závěr.

Experiment 2: Zrychlení v závislosti na síle

Je třeba zajistit, aby hmotnost soustavy M zůstala konstantní. Proto přivažky, které sejme-me z visícího háčku, nebudeme odkládat, ale umístíme je na vozíček. Zvolíme $m_0 = 205$ g.

$M = \dots\dots\dots$

Měníme sílu a měříme odpovídající zrychlení.

m_1 (g)	50	40	30	20	10
F (N)					
a (m.s ⁻²)					

- Jaký výsledek experimentu můžeme předpovědět podle 2. Newtonova zákona?
- Sestrojte graf závislosti zrychlení a na síle F .
- O jakou křivku se jedná? Jaké matematické funkci odpovídá? Najděte rovnici regrese této křivky.
- Rozhodněte, zda je váš výsledek v souladu s předpovědí v bodě a), a učiňte závěr.

Závěr Podařilo se vám ověřit 2. Newtonův zákon?

Pokud ne, najděte příčiny chyb měření.

2. Newtonův pohybový zákon

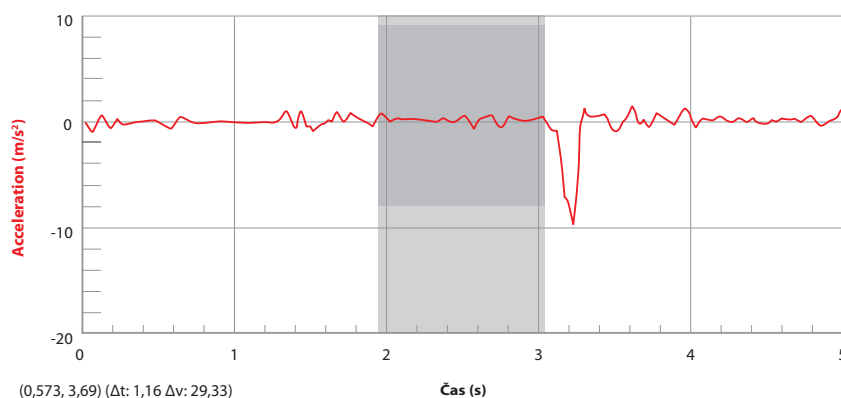
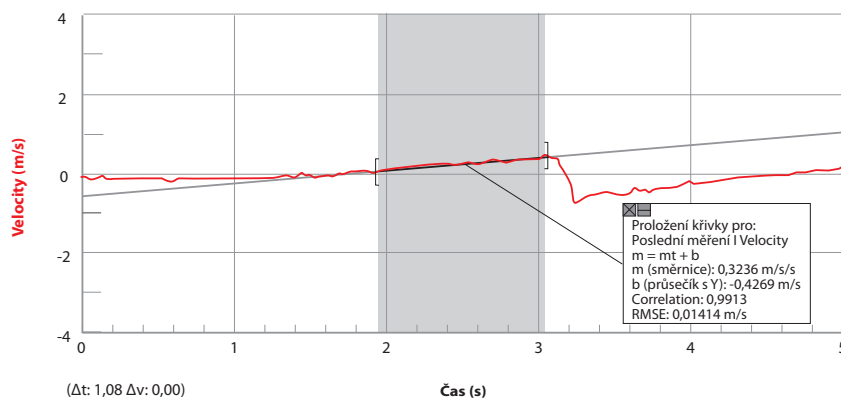
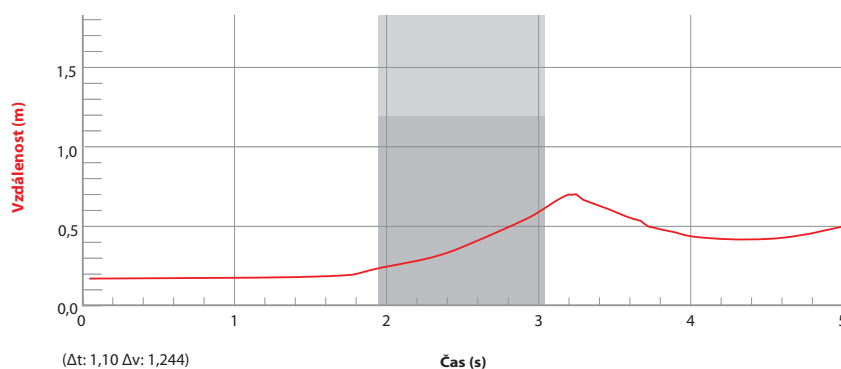
Vojtěch Beneš

Ke zdárnému provedení experimentu je třeba si ohlídat několik maličkostí:

- kolejnice musí být vodorovná,
- zkontrolovat, zda se kladka volně otáčí,
- použít ne příliš silný provázek, nejlépe režnou nit,
- vozík zepředu opatřit nárazníkem,
- dráha, na které vozík zrychluje, musí být alespoň 50 cm; čím delší, tím lépe,
- z dosahu sonaru odstranit předměty, které by mohly odrážet zvukové pulzy.

Zpracování Program automaticky vykresluje graf $s = f(t)$ a $v = f(t)$. Graf zrychlení můžeme zobrazit pomocí menu **Vložit** → **Vložit graf**. Graf zrychlení je překrytý šumem, nemá pro měření vypovídací hodnotu.

Při označování vyberte dostatečně velkou oblast, kde dráha narůstá kvadraticky, rychlost lineárně. Zejména není vhodné přetáhnout do oblasti, kde je zrychlení záporné.



Při opakování měření se odchylky výsledného zrychlení pohybují kolem 0,02 m/s².

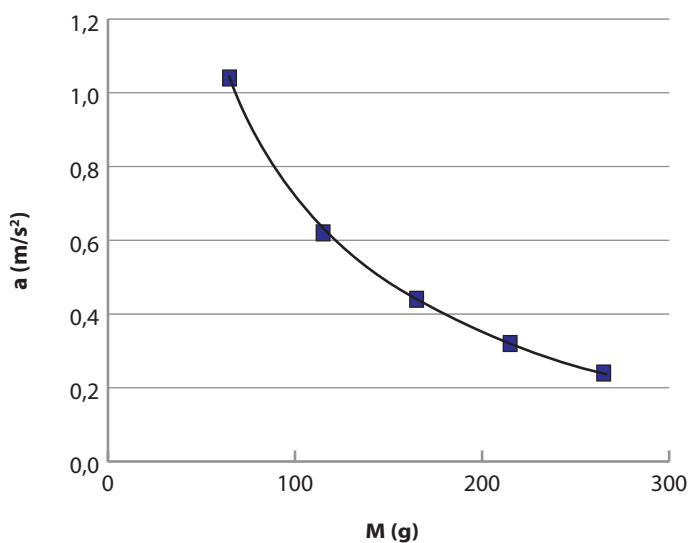


2. Newtonův pohybový zákon

 Ukázka Experiment 1:
 výsledků

$$F = 98,1 \text{ mN}$$

m (g)	M (g)	a (m/s ²)
10	265	0,24
10	215	0,32
10	165	0,44
10	115	0,62
10	65	1,04

 Graf
 závislosti
 zrychlení na
 hmotnosti


$$a = 78,9 \cdot M^{-1,028}$$

Z 2. NPZ plyne, že $a = F/M$.

Experiment dává pěknou hyperbolu, exponent $-1,028$ u M je blízký očekávané hodnotě -1 , takže se podařilo ověřit nepřímou úměrnost mezi a a M .

Koeficient 78,9 dává sílu v milinewtonech, očekáváme hodnotu 98 mN. Tato zhruba dvacetiprocentní odchylka je způsobena třením (kola o kolejnici, kola v ose, kladka v ose, deformace provázku) a odporem vzduchu. Výsledek můžeme interpretovat tak, že jsme vlastně zjistili velikost odporových sil.

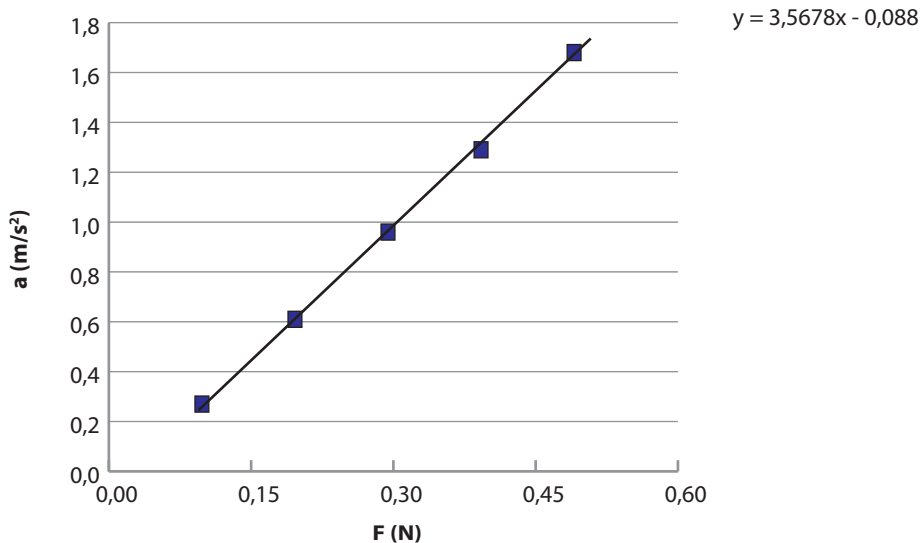
Zvýšením celkové síly (přidáním přivažků) zmenšíme vliv smykového tření, zvýší se odpor vzduchu a šum sonaru.

Experiment 2:

$M = 255 \text{ g}$

$m \text{ (g)}$	$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	$F \text{ (N)}$
50	1,68	0,4905
40	1,29	0,3924
30	0,96	0,2943
20	0,61	0,1962
10	0,27	0,0981

**Graf
závislosti
zrychlení
na síle**



Newtonův zákon dává $a = (1/M) \cdot F$.

Přímá úměrnost se potvrzuje v grafu.

Konstanta $3,57 \text{ kg}^{-1}$ je blízká hodnotě $1/M = 3,92 \text{ kg}^{-1}$ s odchylkou 10 %.

Aditivní konstanta $0,088 \text{ N/kg}$ zhruba odpovídá odporové síle (zjištěné v 1. experimentu) dělené hmotností ($0,075 \text{ N/kg}$).

Závěr Podařilo se ověřit, že při konstantní síle je zrychlení nepřímo úměrné hmotnosti.

Podařilo se ověřit, že při konstantní hmotnosti je zrychlení přímo úměrné síle.

Můžeme uzavřít, že se podařilo 2. NPZ v této konkrétní situaci ověřit.

Impuls síly

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, určí v konkrétních situacích síly působící na těleso, určí výslednici sil, využívá Newtonovy pohybové zákony k předvídání pohybu těles

Klíčová slova: síla, hmotnost, Newtonovy zákony, hybnost, impuls síly

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

20 min

Obtížnost:

střední

Úkol Na základě měření průběhu síly při odrazu zjistěte, do jaké výšky člověk vyskočí.

Pomůcky Počítač s programem Logger Pro připojený na dataprojektor, LabQuest, plošný siloměr (Force Plate)

Teoretický úvod Podle 2. Newtonova zákona je výslednice sil působících na těleso rovna změně hybnosti za čas $\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$.

Změnu hybnosti při odrazu vypočítáme podle vztahu $\Delta \vec{p} = \sum \vec{F} \cdot \Delta t$.

Výraz $\sum \vec{F} \cdot \Delta t$ se nazývá *impuls síly*, má jednotku N·s a vyjadřuje časový účinek síly. Není-li síla konstantní, určíme impuls síly jako integrál $\int \vec{F} \cdot dt$ (plocha pod křivkou).

Aktivita si klade za cíl ukázat praktické použití 2. NZ ve tvaru $\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$. Bylo by výborné diskusí studenty přivést k tomu, aby jeden z nich položil následující základní otázku:

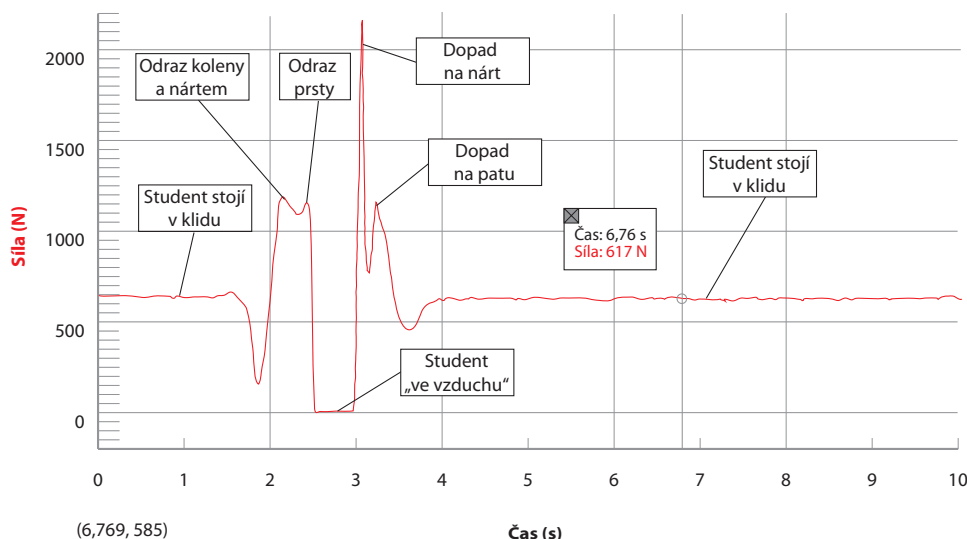
Víme-li, jakou silou se člověk odrazí od země, je možné předpovědět, do jaké výšky vyskočí?

Vypracování Zjištění síly při odrazu

Plošný siloměr zapojíme do LabQuestu, ten propojíme s USB portem počítače. V programu Logger Pro v menu **Experiment** → **Sběr dat** nastavíme dobu měření 10 s a vzorkovací frekvenci 50 Hz. Siloměr před měřením vynulujeme (**Experiment** → **Nulovat...**).

Dobrovolníka z řad studentů požádáme, aby se postavil na siloměr a asi 3 s po spuštění měření se odrazil a vyskočil snožmo co nejvyš.

Průběh síly při výskoku snožmo



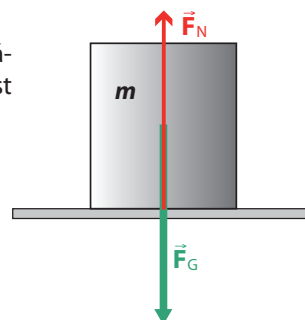
Impuls síly

Analýza sil

Během odrazu působí na studenta dvě síly: tíhová F_G a normálová F_N . Plošný siloměr ukazuje velikost normálové síly. Velikost výslednice sil $F = |F_N - F_G|$.

Stojí-li student v klidu, $F_G = F_N = 617 \text{ N}$ (viz graf).

Jeho hmotnost je $m = 63 \text{ kg}$.



Hybnost po odrazu

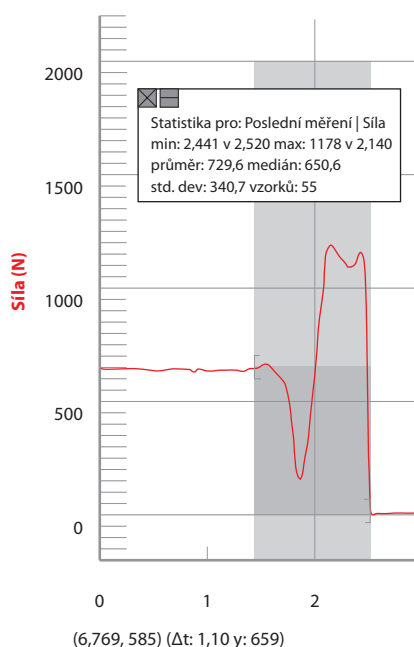
Hybnost těsně po odrazu $\Delta \vec{p} = (\vec{F}_N + \vec{F}_G) \cdot \Delta t$.

Pro velikosti $\Delta p = p - 0 = (F_N - F_G) \Delta t$, takže $p = (F_N - F_G) \Delta t$.

Normálová síla F_N se během odrazu mění, do vzorce dosadíme průměrnou hodnotu (integrální průměr).

V grafu (viz níže) označíme myší oblast odpovídající odrazu a v menu **Analýza** zvolíme **Statistika**.

Určení
průměrné
normálové
síly odrazu



Celková doba odrazu $\Delta t = 1,10 \text{ s}$,

maximální normálová síla při odrazu $F_{Nmax} = 1178 \text{ N}$,

průměrná normálová síla během odrazu $F_{Nstř} = 730 \text{ N}$,

hybnost po odrazu $p = (730 - 617) \cdot 1,10 = 124 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

Výška výskoku

Platí $p = m \cdot v$, takže rychlost těžiště po výskoku je $v = 124/63 = 1,97 \text{ m/s}$.

Z kinematických vztahů snadno odvodíme, že výška výskoku je

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{1,97^2}{2 \cdot 9,81} = 0,20 \text{ m} = 20 \text{ cm}.$$

Poznámky

Během výskoku není lidské tělo tuhé těleso; poloha těžiště se mění v závislosti na tom, co dělají ruce a nohy. Navíc výskok snožmo z klidu není energeticky nejvýhodnější způsob, jak se dostat co nejvýš. Získaný výsledek není v rozporu s tím, že basketbalista dosáhne na koš (rozběh, natažení rukou).

Výšku výskoku lze (snadněji) určit i z doby, po kterou je člověk ve vzduchu. Toto ovšem není pedagogickým záměrem.

Deformační zóna automobilu

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák změří velikost působící síly, určí v konkrétní jednoduché situaci druhy působících sil

Klíčová slova: síla, deformace, účinky síly na těleso

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

15 min

Doba na provedení:

10 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Změřte velikost síly působící na vozík při nárazu. Objasněte význam deformačních zón automobilu.

Pomůcky Siloměr Vernier se dvěma rozsahy, LabQuest, počítač, dráha nakloněné roviny, vozíček se závažími (2x50 g), pružina, plastelína, balónek atd.

Teoretický úvod K tomu, abychom zastavili pohybující se těleso, je potřeba působit na něj silou proti směru pohybu. Toto silové působení musí být tím větší, čím větší je rychlost tělesa a jeho hmotnost (lze říci *čím větší je jeho hybnost*). Tuto veličinu však na úrovni ZŠ běžně nezavádíme. V následujícím experimentu se proto omezíme pouze na měření silového působení na pohybující se vozík při jeho zastavování.

Důsledek nárazu automobilu do překážky



Modelovou situaci nárazu vozíku můžeme přirovnat k nárazu automobilu při dopravní nehodě. Nepřipoutaný řidič automobilu, který narazí do překážky v rychlosti 80 km/h, je vržen vpřed silou 9000 N. Během 0,1 s je vržen zpět nárazem na volant automobilu. Po těchto nárazech již bývá zpravidla mrtvý. Jak můžeme zvýšit jeho šance na přežití? Především tím, že ho upoutáme bezpečnostními pásy, velice rychle nafoukneme airbag a automobilu dovolíme, aby se hodně zdeformoval. Tato opatření umožní zvýšit jeho šance na přežití. Pokusme se modelovat popsanou situaci v laboratorních podmínkách.

Uspořádání experimentu



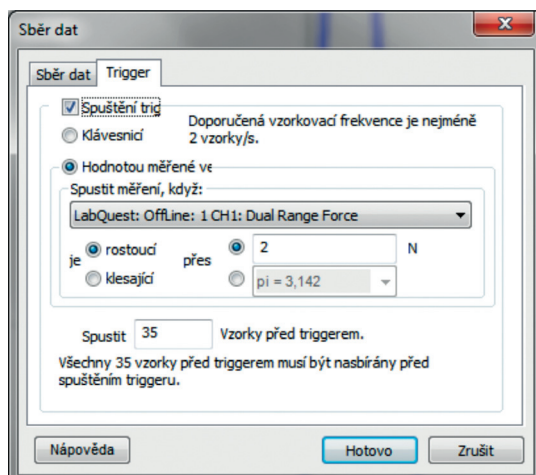
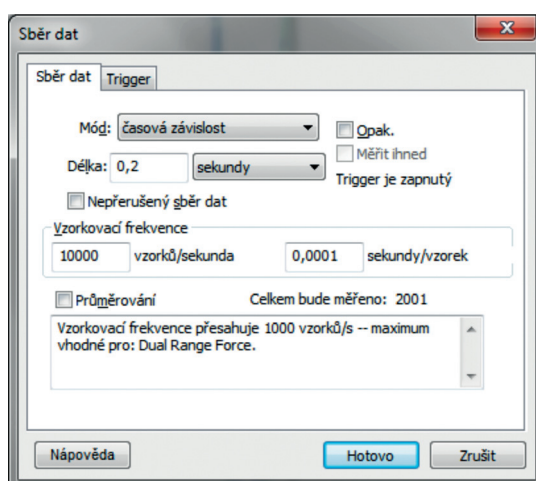
Deformační zóna automobilu

Vypracování Sestavíme kolejnici pro pohyb vozíku. Vytvoříme nakloněnou rovinu o mírném sklonu. Na dolním konci upevníme na stativovou tyč siloměr připojený k LabQuestu a počítači. Z určité polohy na nakloněné rovině budeme pouštět bez počáteční rychlosti vozík se závažím cca 100 g.

Siloměr bude registrovat nárazy vozíku a měřit velikost síly, která na něj působí při nárazu. Pro pohodlné měření, které oceníme zvláště při demonstraci v hodině, je vhodné nastavit několik parametrů:

Experiment→**Sběr dat**→**délka měření 0,2 s, vzorkovací frekvence 10 000 Hz** (náraz trvá velmi krátce a potřebujeme dostatek naměřených hodnot), **trigger start měření 2 N** (měření se začne zaznamenávat po překročení síly o velikosti 2 N); rovněž je nutné zaznamenat dostatečný počet dat před nárazem.

Tyto hodnoty závisí na sklonu dráhy, hmotnosti vozíku a také pružině či balónku. Musíme je odladit předem, abychom v experimentu se žáky zobrazili do jednoho grafu všechny modelové situace a mohli je porovnávat. Na příklad takového nastavení se můžete podívat na následujících obrázcích.



Výsledky a výpočty Nejprve pustíme bez počáteční rychlosti samotný vozík. Síla při jeho nárazu na siloměr má velikost 12 N, náraz trvá 21 ms. Pozorujeme krátkou dobu nárazu a velkou deformační sílu. Tedy i velkou sílu působící na osobu v automobilu.

V druhém experimentu umístíme před čidlo siloměru mírně nafouknutý balónek. Výsledek je zcela jiný. Změříme sílu o velikosti 3 N, náraz trvá přibližně 57 ms. Při prodloužení délky nárazu se snižuje velikost působící síly.

Nakonec na vozík připevníme pružinu. Doba nárazu se prodloužila až na 76 ms, velikost působící síly je pouze 2,2 N.

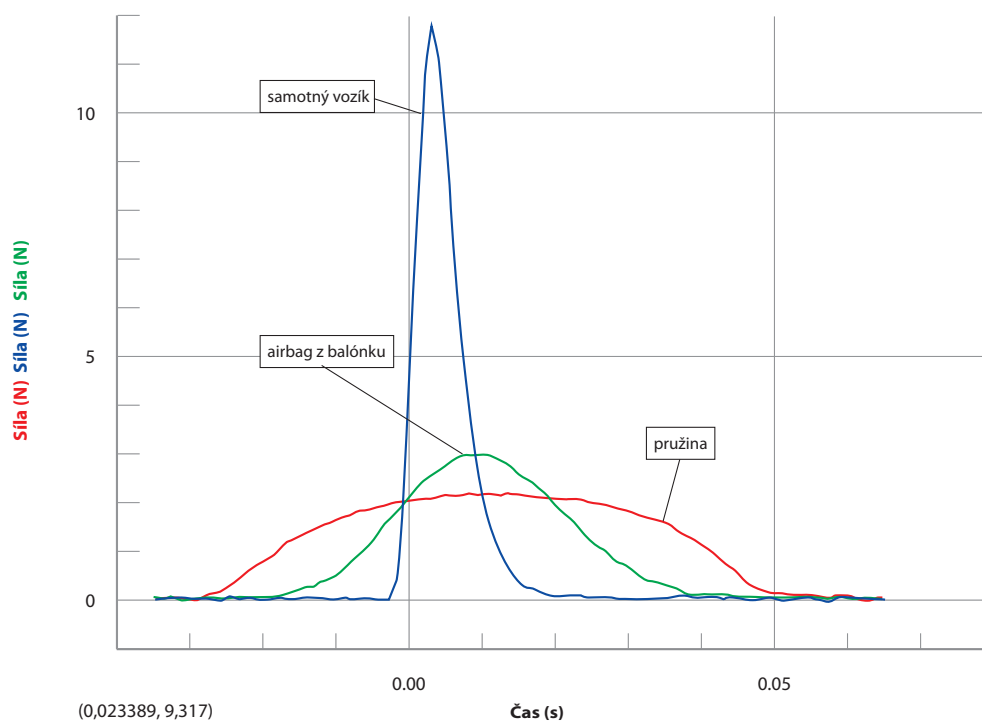
Je tedy zřejmé, že chceme-li ochránit cestující v automobilu, musíme zajistit, aby při případné havárii automobilu trvala interakce co nejdéle a působící síly byly co nejmenší. Toho se dosahuje kombinací použití bezpečnostních pásů, deformačních zón automobilu a airbagu.



MOLAPP
MOBILNÍ LABORÁTOR
PŘÍRODOVĚDNÝCH
PŘEDMĚTŮ



**Nárazy
vozíku
na pevnou
překážku**



Použité zdroje <http://www.autotube.cz/crashtesty/571-bmw-530d-crash-test-euro-ncap-video.html>
<http://www.auto.cz/stitky/crashtest>
<http://www.euroncap.com/home.aspx>
<http://www.tuv-sud.cz/cz>

Měření třecí síly

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření

Klíčová slova: síla, velikost síly, siloměr, tření smykové, tření klidové, součinitel smykového tření

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

Úkol 1) Aktivita 1 – Na čem závisí velikost třecí síly?

Zkoumejte závislost velikosti třecí síly na drsnosti třecích ploch, na velikosti síly působící kolmo na plochu kontaktu a na velikosti obsahu styčné plochy.

2) Aktivita 2 – Bacha, tady to hrozně klouže!

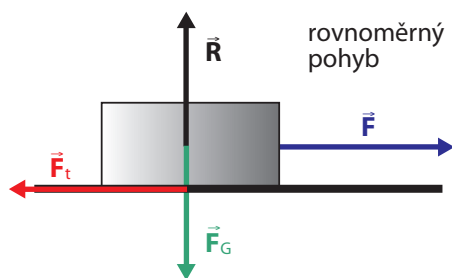
Porovnejte velikosti třecí síly na běžném povrchu (linoleum, keramická dlažba, parkety) a stanovte vliv vlhké podlahy na velikost třecí síly.

Pomůcky Siloměr Vernier (rozsah 10 N a 50 N), LabQuest, souprava pro měření velikosti třecí síly (dřevěné kvádry, různé povrchy), sportovní obuv a trepky, láhev 1,5 l s vodou jako zátěž, provázek

Teoretický úvod Posouvání pevných těles po povrchu jiných těles je vždy doprovázeno třením. Příčinou tření jsou nerovnosti dotkových ploch těles. Pohybující se těleso brzdí tzv. **třecí síla**, obvykle ji označujeme F_t .

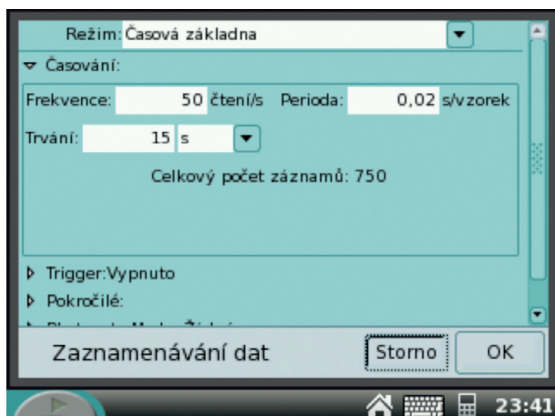
Jak změříme velikost třecí síly?

Sílu měříme při posouvání pevného tělesa (rovnoměrný pohyb) po podložce. Na následujícím obrázku vidíme znázorněné síly, které na těleso působí. Jsou to: tahová síla $\vec{F}$, tíhová síla $\vec{F}_G$, třecí síla $\vec{F}_t$ a reakce podložky $\vec{R}$. Při rovnoměrném přímočarém pohybu tělesa se tyto síly navzájem vyruší (jejich součet je podle 1. Newtonova zákona roven nule) a velikost třecí síly $\vec{F}_t$ je tedy rovna velikosti síly tahové $\vec{F}$. Siloměr tedy ukazuje velikost třecí síly mezi tělesem a podložkou.



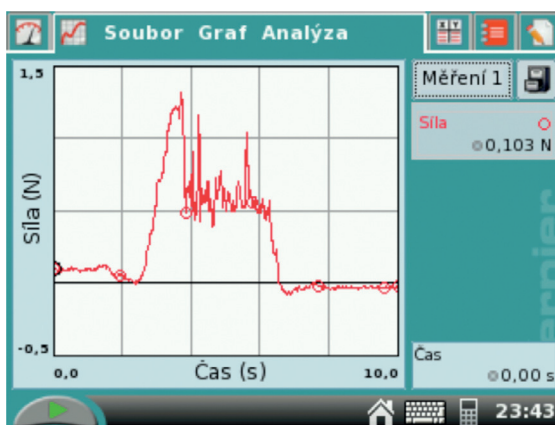
Vypracování Připravte vlastní měření třecí síly. Zapněte LabQuest a zapojte do něj modul siloměr. Podle tíhy posunovaných kvádrů vyberte vhodný rozsah (10 N nebo 50 N). Nastavte délku měření například na 15 s. Vzorkování postačí 50 Hz, není třeba jej měnit.

Měření třecí síly

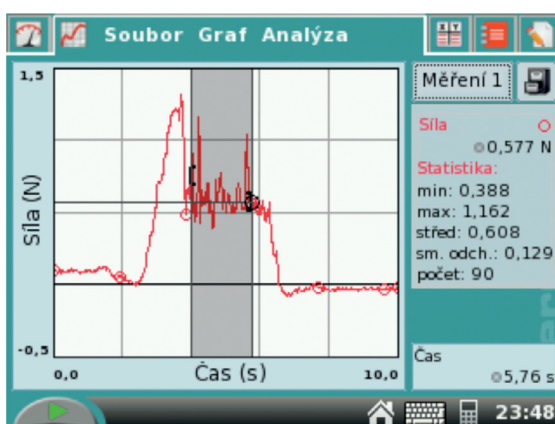


V průběhu 15 s pak musíte uvést těleso do pohybu a táhnout ho po podložce rovnoměrným pohybem.

Na displeji přístroje dostanete přibližně tento graf:



Označte úsek, kdy byla síla přibližně konstantní (vyhnete se statickému tření na začátku pohybu), vyberte **Analýza**→**Statistika** a do tabulky запиšte průměrnou hodnotu třecí síly (tzv. **střed**). Při opakování experimentu byste měli dojít ke srovnatelným údajům.

**Aktivita 1: Na čem závisí velikost třecí síly?**

Postupně proveďte několik experimentů:

Posunujte dřevěný kvádr po různých podložkách. Vždy stejnou rychlostí a přímočarým pohybem. Na siloměru odečtěte velikost třecí síly působící mezi kvádrem a podložkou.

Posunujte 1, 2 či 3 kvádry položené na sobě vždy po stejné podložce. Opět porovnávejte velikosti třecích sil v jednotlivých případech.

Porovnejte velikost třecí síly v závislosti na obsahu styčné plochy. Kvádr má tři různé plochy, které posunujte vždy po stejné podložce.



Ve všech případech запиšte výsledky do tabulky a dopočítejte velikost součinitele smykového tření f .

**Tabulka
naměřených
hodnot**

materiál	smirkový papír	hladké dřevo	koberec	molitan
F_t (N)				
F_G (N)				
$f = F_t / F_G$				

hmotnost tělesa	1 m	2 m	3 m
F_t (N)			
F_G (N)			
$f = F_t / F_G$			

obsah plochy ($S_1 < S_2 < S_3$)	S_1	S_2	S_3
F_t (N)			
F_G (N)			
$f = F_t / F_G$			

Měření třecí síly

Aktivita 2: Bacha, tady to hrozně klouže!

Postupujte stejným způsobem. Opět měřte velikost třecí síly. Rozdíl je v tom, že tentokrát měříte velikost třecí síly mezi sportovní obuví a povrchem podlahy (linoleum, dlažba...)

K měření použijte trepku nebo sportovní obuv. Zatižte ji závažím o hmotnosti např. 1,5 kg (PET láhev s vodou) a přes provázek (nebo za tkaničku) ji tahejte po různých površích. Naměřená data zanechte do tabulky a prozkoumejte.



**Tabulka
naměřených
hodnot**

materiál	LINOLEUM		KERAMICKÁ DLAŽBA	
F_t (N)	suchý povrch	mokrý povrch	suchý povrch	mokrý povrch
1. pokus				
2. pokus				
3. pokus				
F_t (N) – průměr				
F_G (N)				
$f = F_t / F_G$				

Měření třecí síly

Mirek Kubera

Výsledky Aktivita 1: a výpočty

materiál	smrkový papír	hladké dřevo	koberec	molitan
F_t (N)	0,73	0,43	0,56	1,35
F_G (N)	1,47	1,47	1,47	1,47
$f = F_t / F_G$	0,50	0,29	0,38	0,92

hmotnost tělesa	1 m	2 m	3 m
F_t (N)	0,73	1,47	2,3
F_G (N)	1,47	2,92	4,44
$f = F_t / F_G$	0,50	0,50	0,52

obsah plochy ($S_1 < S_2 < S_3$)	S_1	S_2	S_3
F_t (N)	Nezměřeno	0,79	0,73
F_G (N)	X	1,47	1,47
$f = F_t / F_G$	X	0,54	0,50

Výsledky měření odpovídají očekávaným teoretickým závislostem. Zaprvé součinitel smykového tření f (a tím i velikost třecí síly) závisí na povrchu materiálu, po kterém se těleso posouvá. Závisí samozřejmě i na materiálu tělesa, to jsme ovšem cíleně nezkoumali. Další měření ukazuje, že hmotnost tělesa sice zvýší velikost třecí síly (opět v souladu s teorií), ale velikost součinitele smykového tření zůstává beze změny. V poslední části se ukazuje, že velikost obsahu třecí plochy nemá vliv ani na velikost třecí síly ani na velikost součinitele smykového tření. Poslední měření pro nejmenší plochu S_1 nebylo zaznamenáno. Kvádr je ze dřeva a plochy nejsou zcela stejně hladké.

Aktivita 2:

materiál	LINOLEUM		KERAMICKÁ DLAŽBA	
F_t (N)	suchý povrch	mokrý povrch	suchý povrch	mokrý povrch
1. pokus	6,90	8,50	9,27	6,71
2. pokus	7,20	8,38	10,32	5,47
3. pokus	6,88	7,52	11,19	5,12
F_t (N) – průměr	6,99	8,13	10,26	5,77
F_G (N)	15	15	15	15
$f = F_t / F_G$	0,47	0,54	0,68	0,38

Druhé měření, přestože stejné jako předchozí, je pro studenty podstatně zajímavější. Proměřují reálné situace, do měření vstupují s určitými představami a v průběhu měření je konfrontují s výsledky měření. Nejednou dochází k překvapivým zjištěním – obuv značky Crocs na vlhké podlaze opravdu méně klouže (hodnoty v tabulce patří obyčejné trepce ☺).

Děti je na chystané měření nutné upozornit, aby si přinesly vhodnou sportovní obuv, kterou by chtěly prozkoumat.

Měření probíhá i mimo učebnu.

Je nutné mít přichystané dostatečné množství hadrů na podlahu. Děti dokáží udělat při měření, které je baví, velký nepořádek...

Spotřeba chladničky

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák zpracuje a vyhodnotí výsledky měření

Klíčová slova: práce, výkon, kilowatthodina

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

20 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Provedte analýzu dat naměřených wattmetrem Vernier připojeným k chladničce a určete:

- příkon kompresoru chladničky
- příkon vnitřního osvětlení chladničky
- odhad denní spotřeby chladničky (kWh)
- odhad roční ceny provozu chladničky (Kč)
- dobu práce kompresoru
- dobu, kdy je kompresoru v klidu

Potřebné hodnoty zjistěte ze souboru s naměřenými daty a na internetu (aktuální přibližná cena elektřiny).

Pomůcky Soubor *data-chladnicka.xls*, počítač, internet

Teoretický úvod Pro určení množství elektrické energie často používáme jednotku kilowatthodina (kWh), která odpovídá příkonu 1 kW (1000 J za sekundu) po dobu jedné hodiny (3 600 sekund).

Vypracování Sestrojte graf závislosti příkonu chladničky na čase a identifikujte jednotlivé části křivky.

Jaký byl příkon kompresoru chladničky (W)?	
Jaká je zhruba průměrná denní spotřeba chladničky (kWh)?	
Kolik zhruba stojí provoz chladničky za 1 rok?	
Jaká je spotřeba světla chladničky (W)?	
Jak dlouho zhruba pracuje kompresor?	
Jaká je zhruba pauza mezi spínáním kompresoru?	

Spotřeba chladničky

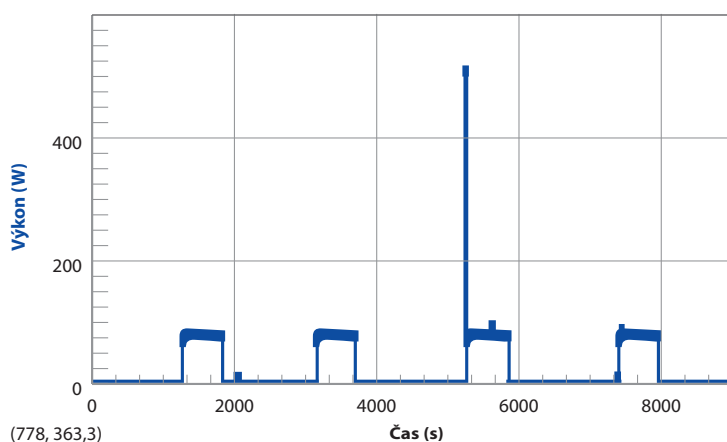
Pavel Böhm

Zpracování V rámci této aktivity si žáci mohou procvičit také zpracování dat v tabulkovém editoru, tvorbu grafů a práci se vzorci v tabulkovém editoru. Rovněž budou muset hledat na internetu informace o aktuální ceně elektřiny (cca 5 Kč za kWh).

Lze případně žákům půjčit wattmetr Vernier, aby v rámci domácího či školního projektu proměřili jinou chladničku nebo úplně jiné zařízení.

V grafu lze pozorovat celkem pět různých fází:

- příkon je nulový (kompresor neběží a světlo nesvítí)
- příkon je asi 15 W (kompresor neběží, ale chladnička je otevřená a svítí světlo)
- příkon je asi 80 W (kompresor běží, chladnička je zavřená a světlo nesvítí)
- příkon je asi 95 W (kompresor běží a světlo svítí, protože je chladnička otevřená)
- příkon je asi 500 W (proudový ráz při startu kompresoru)



Ukázky výsledků

Jaký byl příkon kompresoru chladničky (W)?	80
Jaká je zhruba průměrná denní spotřeba chladničky (kWh)?	0,51
Kolik zhruba stojí provoz chladničky za 1 rok?	1000 Kč
Jaká je spotřeba světla chladničky (W)?	15
Jak dlouho zhruba pracuje kompresor?	9 minut
Jaká je zhruba pauza mezi spínáním kompresoru?	20 až 30 minut

Ověření zákona zachování mechanické energie na nakloněné rovině

Vítězslav Nečas

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, analyzuje zákon zachování mechanické energie na nakloněné rovině

Klíčová slova: rychlost, výška, potenciální energie, rotační kinetická energie, translační kinetická energie, celková mechanická energie

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

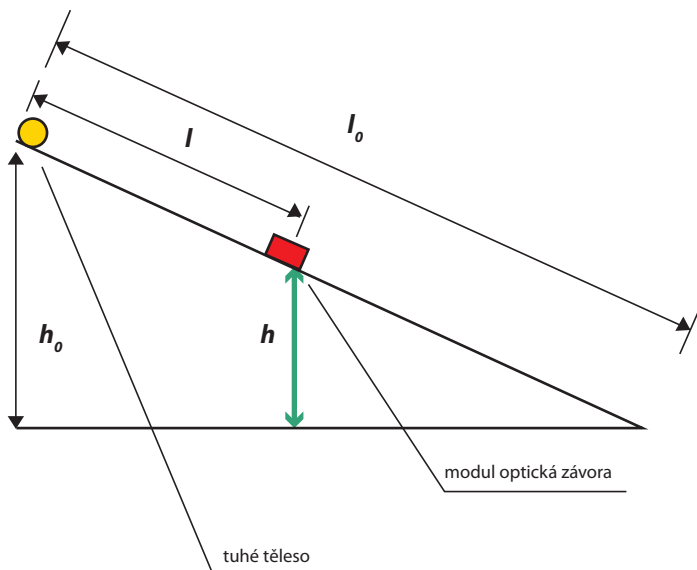
Obtížnost:

střední

Úkol Sestrojte graf závislosti potenciální (E_p), kinetické (E_k) a celkové mechanické (E_c) energie na dráze, kterou urazí ocelová kulička při pohybu na nakloněné rovině. Na základě získaných závislostí ověřte platnost zákona zachování mechanické energie. Data zpracujte v MS Excel.

Pomůcky Posuvné měřidlo, ocelová kulička, nakloněná rovina, experimentální měřicí systém Vernier – optická závora (Photogate), LabQuest, digitální váhy.

Teoretický úvod Umístěním kuličky do horní části nakloněné roviny kulička získá potenciální energii. Po uvolnění kuličky se zvyšuje její kinetická energie na úkor energie potenciální (kulička se valí dolů). Pokud platí zákon zachování mechanické energie, musí být ve kterémkoliv místě na nakloněné rovině součet potenciální, kinetické rotační a kinetické translační energie konstantní.



Celková energie E_c :

$E_c = E_p + E_{kt} + E_{kr}$, kde E_p je potenciální energie, E_{kt} kinetická translační a E_{kr} kinetická energie rotační. Pro moment setrvačnosti koule J platí vztah $J = \frac{2}{5}mr^2$, kde r je poloměr koule a m její hmotnost.

$$E_{kt} = \frac{1}{2}mv^2,$$

$$E_{kr} = \frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}mr^2 \cdot \left(\frac{v}{r}\right)^2 = \frac{1}{5}mv^2,$$

Ověření zákona zachování mechanické energie na nakloněné rovině

Okamžitou rychlost v získáme z doby zakrytí paprsku u optické závory, kterou vložíme kuličku do cesty v místě, kde chceme okamžitou rychlost měřit. Ze získaných hodnot času můžeme vypočítat okamžitou rychlost kuličky:

$v = \frac{d}{t}$, kde d je průměr kuličky a t doba zatmění paprsku u optické závory (hodnoty znamená v LabQuestu).

Snadno tak můžeme získat hodnotu kinetické energie kuličky v kterémkoliv místě na nakloněné rovině.

Potenciální energii získáme následujícím výpočtem (použité veličiny viz obrázek výše):

$$E_p = mgh = m \cdot g \cdot h_0 \cdot \left(1 - \frac{l}{l_0}\right)$$

Připravíme si nakloněnou rovinu, změříme její výšku a délku. Určíme hmotnost a průměr kuličky.

Vypracování Kuličku při každém měření pouštíme z nejvyššího bodu. Její rychlost pak měříme v deseti místech nakloněné roviny (optickou závoru posouváme po 15 cm). Hodnoty doby zatmění paprsku vyčteme po ukončení všech měření z tabulky v LabQuestu.

Optickou závoru připojíme k LabQuestu do kanálu DIG 1. V případě použití počítače připojíme LabQuest k počítači za pomoci USB kabelu.

Před měřením ověříme, že je okénko pro paprsek v optické závoře otevřené, a ověříme funkčnost závory (*blocked* při zatmění, *unblocked* při odtemnění).

Není třeba nic nastavovat (v LabQuestu ani v počítači), zajímat nás budou pouze časové údaje v tabulce. Doba zatmění paprsku při daném měření určíme odečtením hodnoty času, kdy byla závora blokována (*blocked*) a odblokována (*unblocked*). Tyto hodnoty přeneseme do tabulky (viz níže). Další výpočty a tvorba grafů probíhají standardním způsobem v Excelu.

Výsledky $h_0 =$ m

a výpočty $l_0 =$ m

$d =$ m

$m =$ kg

n	$l(\text{m})$	$h(\text{m})$	$\Delta t(\text{s})$	$v(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$E_p(\text{J})$	$E_{\text{kt}}(\text{J})$	$E_{\text{kr}}(\text{J})$	$E_k(\text{J})$	$E_c(\text{J})$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Sestrojte grafy E_{kr}, E_p, E_c v závislosti na délce l .

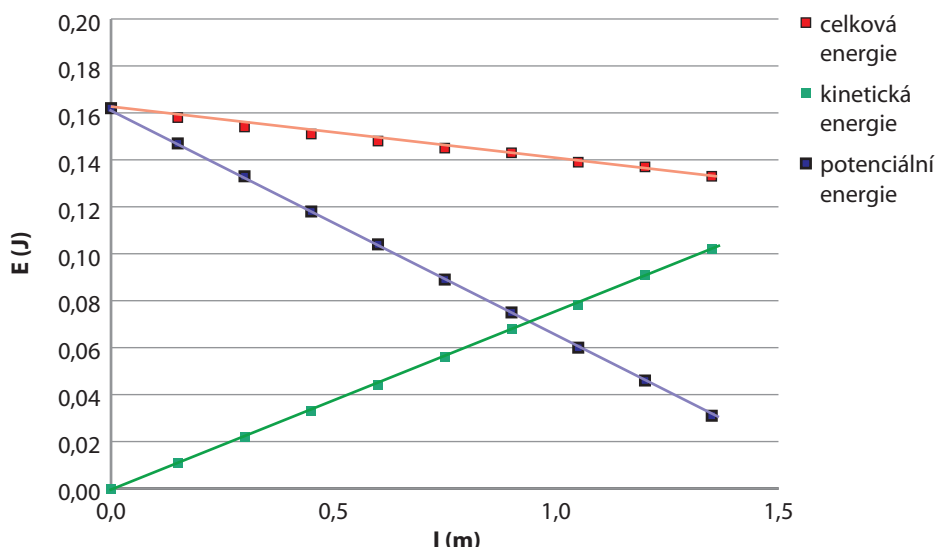
Ověření zákona zachování mechanické energie na nakloněné rovině

Vítězslav Nečas

Ukázka $h_0 = 0,25 \text{ m}$, $l_0 = 1,67 \text{ m}$
výsledků $d = 0,0223 \text{ m}$, $m = 0,095 \text{ kg}$

$l(\text{m})$	$t(\text{s})$	$v(\text{m.s}^{-1})$	$E_p(\text{J})$	$E_{kr} + E_{kt}(\text{J})$	$E_c(\text{J})$
0	0	0	0,162	0	0,162
0,15	0,046	0,482	0,147	0,011	0,158
0,3	0,033	0,685	0,133	0,022	0,154
0,45	0,026	0,844	0,118	0,033	0,151
0,6	0,023	0,981	0,104	0,044	0,148
0,75	0,02	1,099	0,089	0,056	0,145
0,9	0,018	1,213	0,075	0,068	0,143
1,05	0,017	1,303	0,06	0,078	0,139
1,2	0,016	1,405	0,046	0,091	0,137
1,35	0,015	1,487	0,031	0,102	0,133

Graf energie kuličky na nakloněné rovině



Pozor při měření délky l_0 . Pokud je h_0 výška horního okraje desky, nejde pouze o délku samotné desky! Studenti zapomínají, že ve spodní části musíme měřit délku získanou prodloužením desky až na podložku, nikoliv pouze *délku* desky.

Poznámky Ideální je, pokud má kulička stejný poloměr, jako je vzdálenost paprsku optické závery od podložky (8,5 mm). Ukazuje se však, že drobná odchylka má na výsledky měření pouze malý vliv, je tedy možné tuto nepřesnost někdy zanedbat.

Například při použití kuličky o poloměru 13 mm je ve výšce 8,5 mm nad nakloněnou rovinou vzdálenost, která zatmívá paprsek optické závery, $24,4 \text{ mm}$ ($2 \cdot \sqrt{13^2 - 4,5^2}$) namísto chybně uvažovaných 26 mm. V tomto případě je chyba již 6 %, je tedy vhodné použít tuto již vypočtenou hodnotu, nikoliv pouze průměr. S šikovnými studenty je možné při výpočtu uvažovat i tuto skutečnost a měření tak zpřesnit. Je třeba si však uvědomit, kterým směrem tato chyba výsledek posouvá – celková energie se touto korekcí ještě sníží, tedy úbytek celkové mechanické energie je ve skutečnosti ještě větší, než vyplývá z měření (viz výše).

Analýza pohybu skákajícího míče

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření; využívá zákon zachování energie při řešení problémů a úloh

Klíčová slova: zachování energie, ztráty energie, periodické děje, exponenciální funkce

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

45 min

Obtížnost:

vysoká

- Úkol**
- 1) Změřte pomocí sonaru polohu těžiště skákajícího míče.
 - 2) Najděte vztah mezi sousedními maximálními dosaženými výškami.
 - 3) Proložte lokálními maximy vhodnou křivku.

Pomůcky Sonar Vernier Go!Motion, počítač s programem Logger Pro, délkové měřidlo na změření průměru míče, gymnastický míč, pumpička na nafouknutí míče

Teoretický úvod Při pohybu skákajícího míče dochází ke ztrátám energie zejména v důsledku deformace míče při odrazu. Důsledkem je snižující se maximální výška, do které míč po odrazu vyletí.

- Vypracování**
- 1) Nafoukněte velký gymnastický míč a změřte jeho průměr.
 - 2) Nastavte sonar do polohy s širším kuzelem (přepínač v poloze „Míč“) a připojte k počítači. Dobu měření nastavte na 15 s (**Experiment**→**Sběr dat**).
 - 3) Umístěte míč zhruba 20 až 30 cm pod sonar, spusťte měření a upustěte míč.
 - 4) Pro lepší přehlednost invertujte v grafu směr osy y tak, aby poloha rostla směrem dolů. Toho dosáhnete přepsáním krajních hodnot.
 - 5) Zaznamenaný průběh pohybu uložte. Pokud míč příliš brzy odskočil mimo kužel ultrazvukových vln, měření zopakujte. Měli byste mít aspoň 5 zachycených odrazů.
 - 6) Vyplňte tabulku maximálních výšek těžiště. Při odečtu z grafu použijte ikonu **Odečet hodnot**. Nezapomeňte, že sonar měří vzdálenost mezi hlavicí a pláštěm míče!

po kterém odrazu	výška těžiště nad zemí (m)
1	
2	
3	
4	
5	

- 7) Najděte přibližný matematický vztah mezi sousedními hodnotami v tabulce.
- 8) S využitím menu **Analýza**→**Model** najděte vhodnou matematickou funkci, kterou lze proložit lokální maxima naměřeného grafu.

Analýza pohybu skákajícího míče

Pavel Böhm

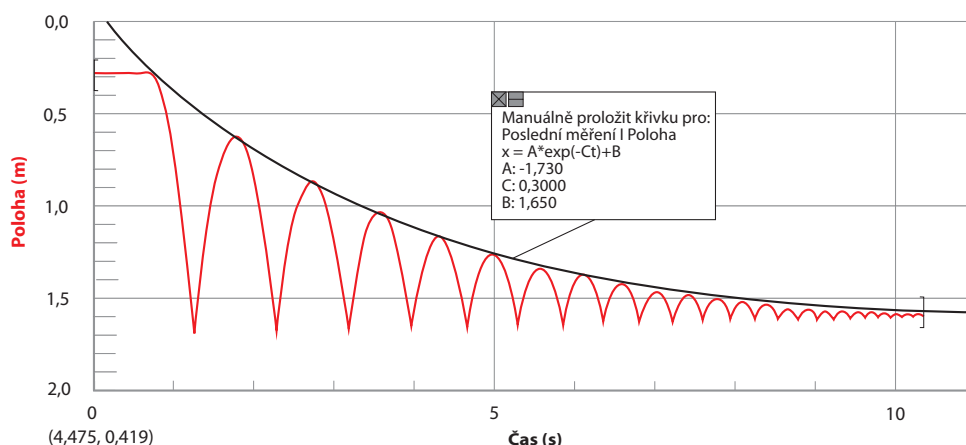
Zpracování Při zpracování grafu je potřeba naměřené hodnoty přepočítat na polohu těžiště. K tomu je zapotřebí znát poloměr míče. Zjistil jsem, že samotný úkol „změřte poloměr/průměr míče“ je pro řadu žáků netriviální.

Moji žáci vymysleli a použili dva různé způsoby měření průměru míče:

- 1) Změřili délku provázku obtočeného kolem „rovníku“ a průměr dopočetli.
- 2) Přitiskli jemně míč ke stěně (aby se nedeformoval) a z druhé strany přiložili sešit tak, aby se jedna strana dotýkala země a druhá míče. Pak změřili vzdálenost rohu sešitu od stěny.

Ukázka výsledků Průměr hodně nafouknutého míče byl 61 cm.

Graf ukazuje typická naměřená data (červeně) včetně proložení exponenciály (černě).



po kterém odrazu	výška těžiště nad zemí (m)	podíl nové a předchozí hodnoty
1	1,36	
2	1,11	0,82
3	0,94	0,85
4	0,86	0,92
5	0,71	0,82

Průměrný úbytek energie po každém odrazu je asi 15 %.

V programu Logger Pro lze přímo vkládat model (křivku dle zvolených parametrů): **Analýza**→**Model**. Žáci tak mohou zkoušet nejrůznější křivky a jejich parametry. Metodou pokus-omyl tak zjistí, že lokálními maximy lze dobře proložit exponenciálou.

Poznámka Úlohu je možno zařadit také do předmětu Matematika v kapitole Exponenciální funkce.

Model mostu, rozložení sil

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák určí v konkrétních situacích síly a jejich momenty působící na těleso a určí výslednici sil

Klíčová slova: síla, moment síly, podmínky rovnováhy

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

15 min

Obtížnost:

střední

Úkol Sestrojte model mostu, po kterém projíždí automobil. Proveďte experiment, který tento pohyb simuluje, a změřte síly, které působí na pilíře mostu. Výsledky porovnejte se silami vypočtenými na základě podmínek rovnováhy.

Odvoďte z podmínek rovnováhy vztahy pro velikosti sil působících na pilíře mostu:

$$F_1 = mg \frac{r_2}{l} \quad \text{a} \quad F_2 = mg \frac{r_1}{l}.$$

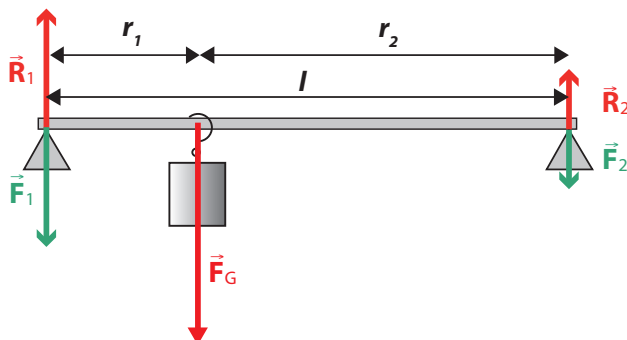
Pomůcky 2 stojany, 2 siloměry Vernier (rozsah 10 N), LabQuest, špejle se špendlíky na koncích, závaží 100 g

Teoretický úvod Pevné těleso, které se nachází v rovnováze, splňuje dvě podmínky rovnováhy:

Součet sil, které na něj působí, je roven nule.

Součet momentů těchto sil je také roven nule.

Matematicky vyjádřeno: $\sum \vec{F} = \vec{0}$ a $\sum \vec{M}(\vec{F}) = \vec{0}$.



Tyto podmínky jsou nutné, nikoliv dostačující. Těleso nesmí být ani v posuvném ani v otáčivém pohybu. Schéma zachycující modelovanou situaci je vidět na předchozím obrázku. Zapišme podmínky rovnováhy pro naši situaci. Síly působící na těleso mostu jsou: tíha automobilu $\vec{F}_G$ a reakce pilířů $\vec{R}_1$ a $\vec{R}_2$. Pro ně musí platit:

$$\vec{F}_G + \vec{R}_1 + \vec{R}_2 = \vec{0} \quad (1)$$

$$\vec{M}(\vec{R}_1) + \vec{M}(\vec{F}_G) + \vec{M}(\vec{R}_2) = \vec{0} \quad (2)$$

První rovnice je splněním 1. Newtonova zákona. Druhá vyjadřuje součet momentů sil působících na těleso. Vyjádříme-li momenty sil například vůči působišti síly $\vec{F}_G$ a přejdeme-li od vektorových rovnic ke skalárním, dostanou obě rovnice následující tvar:

$$F_G = R_1 + R_2 \quad (1)$$

$$-R_1 r_1 + 0 + R_2 r_2 = 0 \quad (2)$$



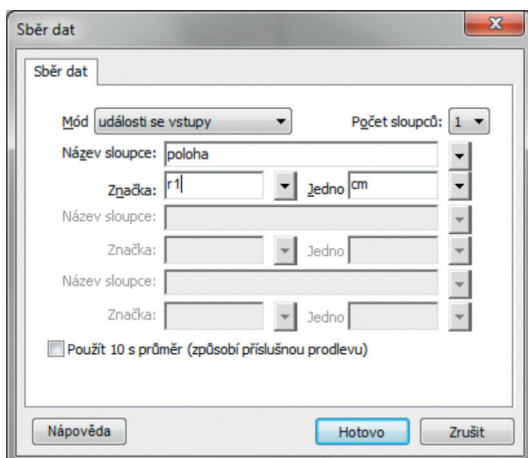
Model mostu, rozložení sil

Jejich řešením pak nalezneme výsledné vztahy pro velikosti sil R_1 a R_2 . Tyto velikosti jsou pak rovny silám F_1 a F_2 , kterými působí most na pilíře: $F_1 = mg \frac{r_2}{l} = mg \frac{l - r_1}{l}$ a $F_2 = mg \frac{r_1}{l}$. Tyto vztahy používáme k výpočtům a ověřujeme, zda odpovídají experimentu.

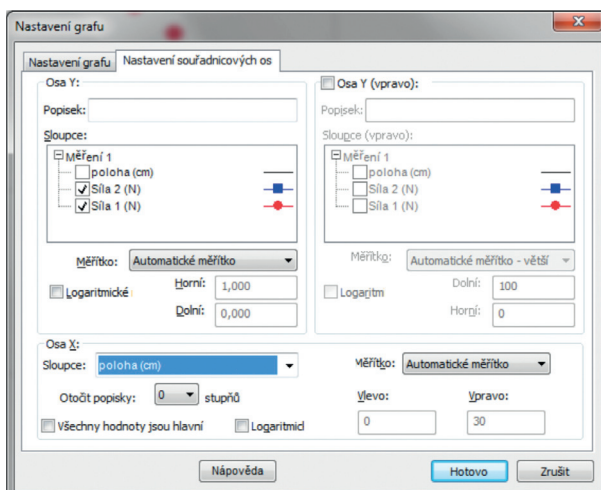
Vypracování Uchytíme dva siloměry na stojany přibližně do stejné výšky.



Mezi nimi zachytíme špejli do vodorovné polohy pomocí špendlíků. Špejle symbolizující most se nesmí při posouvání závaží pohybovat. Spustíme program Logger Pro a nastavíme měření. Ve **Sběru dat** nastavíme **Události se vstupy**. Událost, kterou budeme zadávat ručně, je poloha závaží r_1 v cm. Před vlastním měřením oba siloměry vynulujeme.

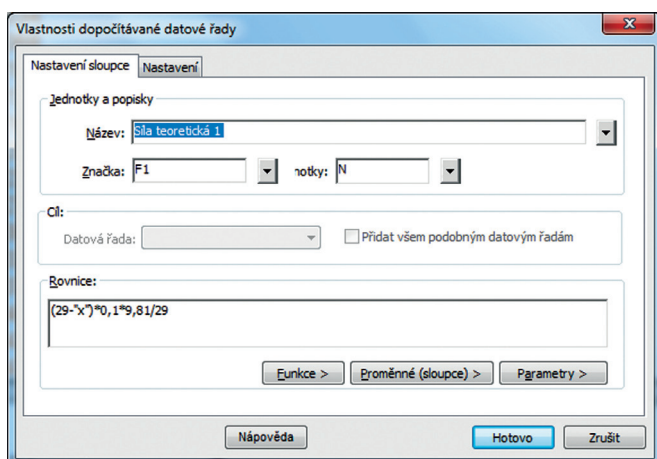


Dále nastavíme zobrazení grafu. Chceme zobrazit síly F_1 a F_2 působící na pilíře v závislosti na poloze závaží r_1 . Zvolíme tedy **Nastavení grafu** → **Nastavení souřadnicových os**. Zatrhneme možnost zobrazování síly F_1 a F_2 současně.



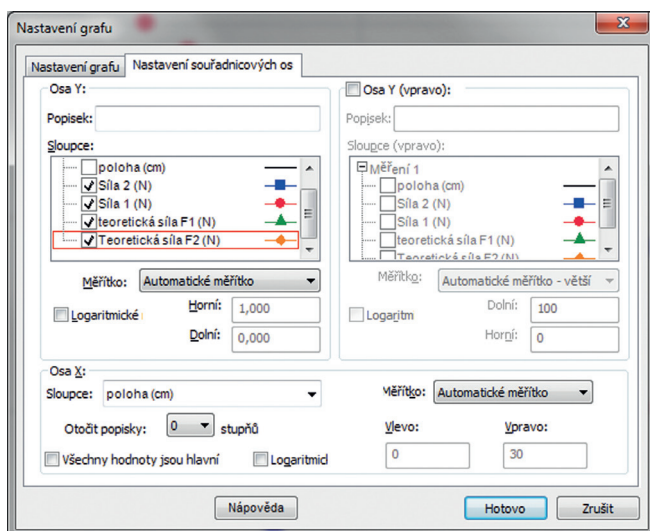
Poté již můžeme spustit samotné měření. Při něm posunujeme závaží 100 g po 1 cm od jednoho siloměru k druhému a měříme obě síly působící na pilíře mostu v závislosti na poloze závaží. Výsledky se ukládají do tabulky a na počítači pozorujeme vznikající graf.

Změřené hodnoty porovnáme s hodnotami vypočtenými z podmínek rovnováhy tělesa. Toto porovnání můžeme provést například graficky. Zadejme **Nový dopočítávaný sloupec**, respektive dva. Budeme chtít v programu Logger Pro zadat teoretické vzorce pro měřené síly. Zde je ukázka nastavení:



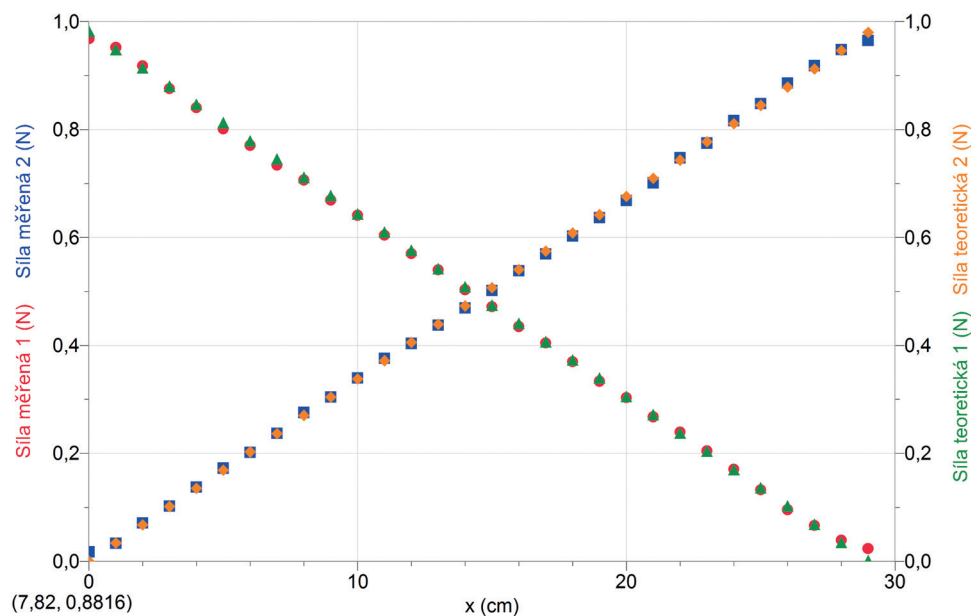
Takto vypočítáme sílu působící na první pilíř. V našem experimentu se od něj těleso vzdaluje. Zadaný vzorec odpovídá použitým podmínkám rovnováhy. Vzorec pro výpočet síly působící na druhý pilíř je analogický.

Všechny síly, ať už teoretické nebo prakticky naměřené, zobrazíme do jednoho grafu. Otevřeme **Nastavení grafu** a zde zatrhneme další dvě dopočítávané síly.




Model mostu, rozložení sil

Výsledky a výpočty Po ukončení měření, stejně jako v jeho průběhu, se můžeme zabývat porovnáním sil teoretických a skutečně naměřených působících na oba pilíře mostu. Shoda je více než dobrá, hodnoty naměřené a vypočítané si odpovídají. Podmínky rovnováhy tedy můžeme považovat za platné.

Porovnání sil


Tato úloha může být provedena dvěma způsoby – dle tohoto návodu jako demonstrační experiment, nebo jako laboratorní práce, kde měření provádějí sami studenti. Pro realizaci laboratorní úlohy potřebujeme pro každou skupinu dva siloměry, což se může ukázat jako nesplnitelný požadavek. Úloha měřená na počítači je podstatně rychleji provedená a je vhodné připravit doplňující úlohu, ať už praktickou nebo teoretickou.

Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa

Mirek Kubera

- Výstup RVP:** žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření; objasní souvislost mezi vlastnostmi látek různých skupenství a jejich vnitřní strukturou
- Klíčová slova:** teplota, teplo, kalorimetr, kalorimetrická rovnice, izolovaná soustava, tepelná kapacita, měrná tepelná kapacita

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

Úkol Určete na základě experimentu měrnou tepelnou kapacitu pevného tělesa. Výslednou hodnotu porovnejte s tabulkovou. Odhadněte přesnost měření a případně navrhněte, jak postup zpřesnit.

Pomůcky LabQuest, bodový teploměr Vernier, varná konvice, směšovací kalorimetr, pevné těleso z hliníku, železa nebo mosazi, váhy, odměrný válec

Teoretický úvod Směšovací kalorimetr je tepelně izolovaná nádoba skládající se ze dvou od sebe oddělených a tepelně izolovaných nádob. Jeho součástí je víčko, míchačka a teploměr. Kalorimetr jako takový se při experimentech v něm prováděných zahřeje nebo ochladí, a tím odebere nebo předá část energie studované soustavě. V experimentální praxi je vždy nutné nejprve určit jeho tepelnou kapacitu neboli množství tepla, které musíme kalorimetru dodat/odebrat, aby změnil svou teplotu o 1 °C. Její jednotkou je J/°C.

Ve vlastním experimentu určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa sestavíme kalorimetrickou rovnici následujícím způsobem: $Q_1 + Q_c = Q_2$, kde Q_1 je teplo přijaté studenou vodou v kalorimetru, Q_c je teplo přijaté kalorimetrem a Q_2 teplo odevzdané horkým tělesem. Tato rovnice vyjadřuje zákon zachování energie izolované soustavy kalorimetru.

Po dosazení za tepla Q získá rovnice tvar $c_1 m_1 (t - t_1) + C(t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t)$. Pro hledanou měrnou tepelnou kapacitu pevného tělesa c_2 pak dostáváme:

$$c_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_1) + C(t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)}$$

V případě určení tepelné kapacity kalorimetru je rovnice stejná, konstanty c_1 a c_2 jsou shodné (měrná tepelná kapacita vody) a z rovnice vyjadřujeme tepelnou kapacitu C .

Vypracování



Měrná tepelná kapacita pevného tělesa

a) Určení tepelné kapacity kalorimetru

V tomto přípravném experimentu nalijeme do kalorimetru horkou vodu o známé hmotnosti. V odměrném válci si poté odměříme určitý objem (a tím i hmotnost) studené vody. Bodovým teplotním čidlem připojeným k LabQuestu změříme teplotu studené vody a potom horké vody v kalorimetru. Studená voda mezitím nezměnila svou teplotu, takže ji můžeme smíchat s horkou vodou v kalorimetru. Měříme výslednou teplotu po ustálení tepelné rovnováhy. Z kalorimetrické rovnice určíme výpočtem tepelnou kapacitu kalorimetru. Experiment opakujeme třikrát a spočítáme aritmetický průměr těchto měření.

b) Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa

Teprve nyní můžeme přistoupit k měření měrné tepelné kapacity pevného tělesa. Pevné těleso z vybraného kovu ohříváme přibližně 5 minut ve vodě ve varné konvici. Do kalorimetru mezitím nalijeme studenou vodu o známé hmotnosti a teplotě. Horké těleso, jehož teplotu určíme měřením teploty vody v konvici, **rychle přeneseme** do vody v kalorimetru. **Musí být celé ponořené!** Uzavřeme kalorimetr, vyčkáme ustanovení tepelné rovnováhy a odečteme výslednou teplotu na LabQuestu. Z kalorimetrické rovnice vypočítáme měrnou tepelnou kapacitu daného materiálu. V případě dostatku času opakujeme i toto měření třikrát.

Závěr Výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou a odhadněte přesnost měření. Určete procentuální odchylku od tabulkové hodnoty.

Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa

Mirek Kubera

Výsledky a výpočty V následujících tabulkách se můžete seznámit s hodnotami naměřenými v naší laboratoři. Nejprve byla měřena 15x tepelná kapacita kalorimetru metodou „horká voda do studené“, poté 15x metodou „studená do horké“.

Následuje 10x měření měrné tepelné kapacity tělesa z mosazi. V těchto výpočtech byla vždy použita hodnota tepelné kapacity kalorimetru $C = 44 \text{ J/}^\circ\text{C}$.

a1) měření tepelné kapacity kalorimetru (**horká voda do studené**)

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1 \text{ (g)}$	$t_1 \text{ (}^\circ\text{C)}$	$m_2 \text{ (g)}$	$t_2 \text{ (}^\circ\text{C)}$	$t \text{ (}^\circ\text{C)}$	$C \text{ (J/}^\circ\text{C)}$
48	20,0	45	83,5	44,4	100,8
52	21,8	51	87,0	49,1	78,6
65	22,0	47	87,0	43,5	125,8
51	24,4	61	59,0	39,6	111,2
66	19,2	55	78,5	42,7	74,4
průměrná hodnota (J/}^\circ\text{C)}					98,0

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1 \text{ (g)}$	$t_1 \text{ (}^\circ\text{C)}$	$m_2 \text{ (g)}$	$t_2 \text{ (}^\circ\text{C)}$	$t \text{ (}^\circ\text{C)}$	$C \text{ (J/}^\circ\text{C)}$
55	19,4	44	82,4	43,7	63,0
53	24,5	71	80,9	52,3	83,8
71	20,3	48	75,7	39,8	72,6
57	17,9	68	74,5	44,7	77,8
62	17,0	55	70,9	39,5	61,7
průměrná hodnota (J/}^\circ\text{C)}					72,0

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
$m_1 \text{ (g)}$	$t_1 \text{ (}^\circ\text{C)}$	$m_2 \text{ (g)}$	$t_2 \text{ (}^\circ\text{C)}$	$t \text{ (}^\circ\text{C)}$	$C \text{ (J/}^\circ\text{C)}$
58	15,4	50	81,1	41,0	84,9
50	21,2	66	80,1	49,5	89,3
58	19,3	71	76,5	46,5	84,9
60	16,6	49	72,0	37,8	79,6
67	15,0	42	69,7	33,1	74,9
průměrná hodnota (J/}^\circ\text{C)}					83,0

Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa

a2) měření tepelné kapacity kalorimetru (studená voda do horké)

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
m_1 (g)	t_1 (°C)	m_2 (g)	t_2 (°C)	t (°C)	C (J/°C)
55	18,6	55	55,1	38,6	48,8
71	16,8	58	54,7	35,2	37,6
62	17,1	64	67,9	44,8	43,2
59	16,2	57	66,6	43,1	44,0
77	15,6	67	67,3	41,7	48,1
průměrná hodnota (J/°C)					44,0

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
m_1 (g)	t_1 (°C)	m_2 (g)	t_2 (°C)	t (°C)	C (J/°C)
70	18	60,3	72,2	45,4	47,1
47	18	51,7	72	48,7	42,7
44	18,2	55,1	74,6	52	44,7
36	18,8	67,8	70	53,7	38,8
67	18,5	63,5	79,6	50,4	40,5
průměrná hodnota (J/°C)					43,0

studená voda		horká voda		výsledná teplota	tepelná kapacita
m_1 (g)	t_1 (°C)	m_2 (g)	t_2 (°C)	t (°C)	C (J/°C)
30	16,3	56	56,7	43,9	36,3
57	14,3	56	66,7	42,6	45,7
71	14,1	50	62,7	37,2	59,8
74	13,3	73	65,5	41,5	58,3
41	13,6	65	61,8	44,8	42,8
průměrná hodnota (J/°C)					49,0

b) měření měrné tepelné kapacity mosazi ($c = 383 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$)

studená voda		horké těleso		výsledná teplota	měrná tepelná kapacita
m_1 (g)	t_1 (°C)	m_2 (g)	t_2 (°C)	t (°C)	c (J/(kg°C))
64	19,8	200	87,8	33,3	385,8
75	17,6	200	82,3	29,3	394,6
77,5	17,7	200	75,2	27,7	387,3
76	17,7	200	70,1	27,0	390,2
75	17,5	200	66,5	26,3	391,3
průměrná hodnota (J/(kg°C))					390,0

studená voda		horké těleso		výsledná teplota	měrná tepelná kapacita
m_1 (g)	t_1 (°C)	m_2 (g)	t_2 (°C)	t (°C)	c (J/(kg°C))
75	14,0	200	83,5	26,9	407,4
88	15,5	200	73,7	24,9	396,6
80	15,6	200	68,5	24,8	398,3
71	16,1	200	63,9	25,1	395,2
80	16,1	200	59,6	23,8	406,9
průměrná hodnota (J/(kg°C))					401,0

Při měření tepelné kapacity kalorimetru je měření ovlivněno experimentálním postupem. Při umístění studené vody do kalorimetru a dolévání horké vody získáme $C = 80 \text{ J/}^\circ\text{C}$. Při umístění horké vody v kalorimetru a dolévání studené pak $50 \text{ J/}^\circ\text{C}$. Pozor! Manipulace s horkou vodou nebo s horkým tělesem jsou častým zdrojem experimentálních chyb. Např. horké těleso změní při pomalém přenosu z varné konvice do kalorimetru svou povrchovou teplotu o 2°C . Myslete při realizaci experimentu na to, aby veškerá práce probíhala rychle a nedocházelo ke zbytečným tepelným ztrátám, které mohou zásadním způsobem ovlivnit výsledek.

Pečlivost realizace se odráží v přesnosti výsledků.

Stavová rovnice ideálního plynu

Vojtěch Beneš

- Výstup RVP:** žák měří vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, aplikuje s porozuměním termodynamické zákony při řešení konkrétních fyzikálních úloh
- Klíčová slova:** stavová rovnice, ideální plyn, izoděje, tlak, objem, teplota, Boyle-Mariottův zákon, Charlesův zákon

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

15 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

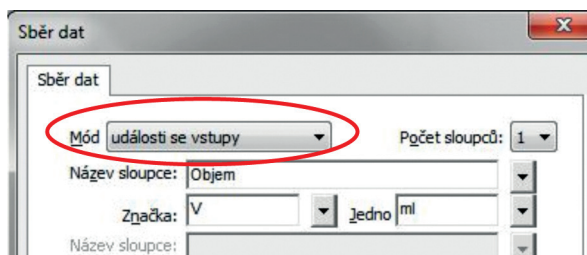
vysoká

- Úkol**
1. Experimentálně ověřte Boyle-Mariottův zákon.
 2. Experimentálně ověřte Charlesův zákon, odvoďte z něj teplotu absolutní nuly.

Pomůcky Tlakoměr Vernier s příslušenstvím, teploměr Go!Temp, LabQuest, počítač s programem Logger Pro, stojan, kónická baňka, nádobka o objemu cca 1 l, varná konvice.

- Teoretický úvod**
- V ideálním plynu se stálým množstvím částic platí následující zákony:
- 1) Boyle-Mariottův zákon: Nemění-li se teplota ideálního plynu, je jeho tlak nepřímo úměrný objemu.
 - 2) Charlesův zákon: Nemění-li se objem ideálního plynu, je jeho tlak přímo úměrný absolutní teplotě.

- Vypracování**
- 1) Boyle-Mariottův zákon**
- Provedeme jedenáct měření pro objemy od 15 ml do 5 ml.



Na stříkačce (je příslušenstvím tlakoměru) nastavte objem 10 ml. Připojte ji takto k tlakoměru zašroubováním o půl otáčky. Zapojte tlakoměr do analogového vstupu LabQuestu a LabQuest propojte s počítačem.

V programu Logger Pro zvolíme **Experiment** → **Sběr dat** a změníme **Mód** na **Události se vstupy**, popis dle obrázku.

Měření zahájíme kliknutím na ikonu  **Sběr dat**. Poté, co na stříkačce nastavíme požadovaný objem, stiskneme  **Zachovat** a do okna, které se otevře, zapíšeme objem v ml. Hodnota odpovídajícího tlaku mu bude automaticky přiřazena. Postupujte od 10 ml do 5 ml a pak od 11 ml do 15 ml vždy po 1 ml.

Pozor, objem nesmí klesnout pod 5 ml!

- Vyhodnocení**
- V nastavení grafu necháme zobrazit jednotlivé body, které nebudeme spojovat. Identifikujte typ křivky $p = f(V)$ a odpovídající matematickou funkci. Prostřednictvím menu **Analýza** → **Proložit křivku** proložte body vhodnou křivkou. Na základě tvaru křivky a rovnice regrese rozhodněte, zda se podařilo ověřit Boyle-Mariottův zákon.

Stavová rovnice ideálního plynu

2) Charlesův zákon

Provedeme sedm měření v teplotním intervalu 20 °C až 90 °C.



Do kónické baňky vsuneme gumovou zátku se dvěma otvory (je příslušenstvím tlakoměru). Do jednoho z nich našroubujeme uzávěr (ponecháme otevřený). Do druhého napojíme hadičku, jejíž druhý konec zašroubujeme do tlakoměru. Tlakoměr je zapojen v LabQuestu, LabQuest do počítače. Baňku připevníme ke stojanu a ponoříme do nádoby s vodou o pokojové teplotě.

V tento okamžik zavřeme ventil; tento musí zůstat uzavřený po celou dobu měření. Zátka musí v hrdle baňky držet pevně, aby vzduch nemohl zevnitř uniknout.

Do USB portu počítače vsuneme teploměr Go!Temp.

V programu Logger Pro zvolíme **Experiment** → **Sběr dat** a nastavíme **Mód Vybrané události**.

Postupně budeme měnit teplotu vody v nádobě a budeme sledovat tlak a teplotu plynu. Na  klikneme až poté, co se hodnoty tlaku a teploty ustálí (přibližně 30 s).

Pozor, nádoba s vodou o 90 °C je horká!

Vyhodnocení V programu Logger Pro sestrojíte graf závislosti tlaku na teplotě. Proložte jej vhodnou křivkou. Na základě grafu rozhodněte, zda jste ověřili Charlesův zákon.

Absolutní nula je teplota, při které by se zastavil tepelný chaotický pohyb. V tom případě by i tlak plynu poklesl na nulu. Graficky nebo pomocí rovnice regrese najděte experimentální hodnotu absolutní nuly ve °C a porovnejte ji se známou hodnotou. Učiňte závěr.

Vylepšení (pro šikovné) Oba zákony jste pravděpodobně ověřili se značnou chybou.



V případě Boyleva zákona je chyba způsobena tím, že přívodní hadička ke tlakoměru má nenulový objem V_1 . Přeneste naměřená data do Excelu a najděte, jaký objem V_1 musíme přičíst ke změřenému objemu V , aby byl součin $p \cdot V_{\text{celkový}}$ konstantní.

Provedte kvalifikovaný odhad chyby, s jakou byly zákony ověřeny: vypočítejte aritmetické průměry hodnot $p \cdot V_{\text{celkový}}$ a p/T (teplotu jste si převedli na kelviny) a určete, o kolik procent se liší od aritmetického průměru nejvíce vzdálená hodnota.

Stavová rovnice ideálního plynu

Vojtěch Beneš

Aby nedošlo k poškození přístroje, je třeba hlídat, aby žáci dodržovali pokyny k práci s tlakoměrem. Zejména dejte pozor:

- aby se žáci nesnažili plyn stlačit co nejvíce,
- aby s napojením stříkačky na tlakoměr manipulovali velmi opatrně,
- aby zátka pevně držela, ale nebyla zaražena příliš hluboko,
- aby se hadička vedoucí k tlakoměru nedotýkala horké nádoby,
- aby nebrali nádobu s horkou vodou do ruky atp.

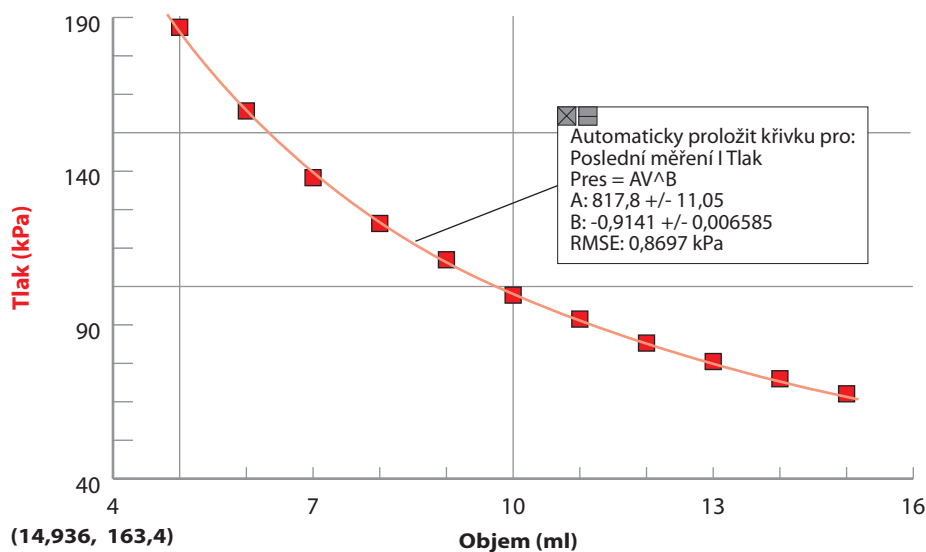
Použití plastové nádoby nedoporučujeme, není zaručena tvarová stálost.

Je třeba neztrácet čas, veškerá měření a zpracování je nutno provést v programu Logger Pro, tj. ve škole.

Výsledky Boyle-Mariottův zákon:

V (ml)	p (kPa)
5	186,8
6	159,6
7	137,9
8	123,0
9	111,2
10	99,7
11	91,9
12	84,1
13	78,1
14	72,5
15	67,6

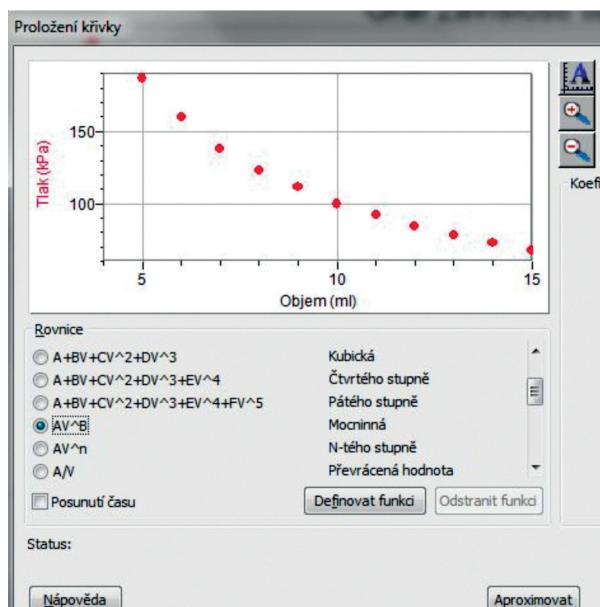
Graf závislosti tlaku na objemu



Boyle-Mariottův zákon říká, že součin tlaku a objemu je pro konstantní množství plynu při stálé teplotě konstantní. Takže p je nepřímo úměrné V . V grafu vidíme rameno hyperboly, budeme tedy prokládat body mocninovou funkcí.

Stavová rovnice ideálního plynu

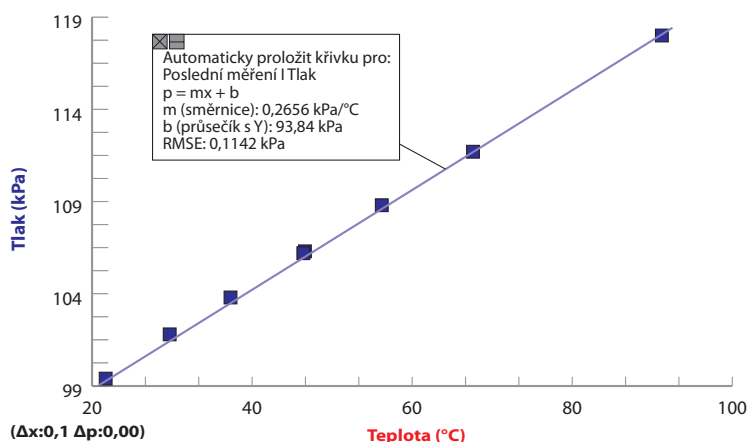
Exponent proložené funkce je blízký -1 , takže experimentálně bylo ověřeno, že tlak je nepřímo úměrný objemu čili byl ověřen Boyleův zákon. Odchylka exponentu o 9 % oproti správné hodnotě je způsobena přítomností parazitního objemu plynu v napojení stříkačky na tlakové čidlo.



Charlesův zákon:

t (°C)	p (kPa)
21,7	99,4
29,7	101,8
37,3	103,8
46,6	106,3
46,4	106,2
56,2	108,8
67,6	111,7
91,2	118,0

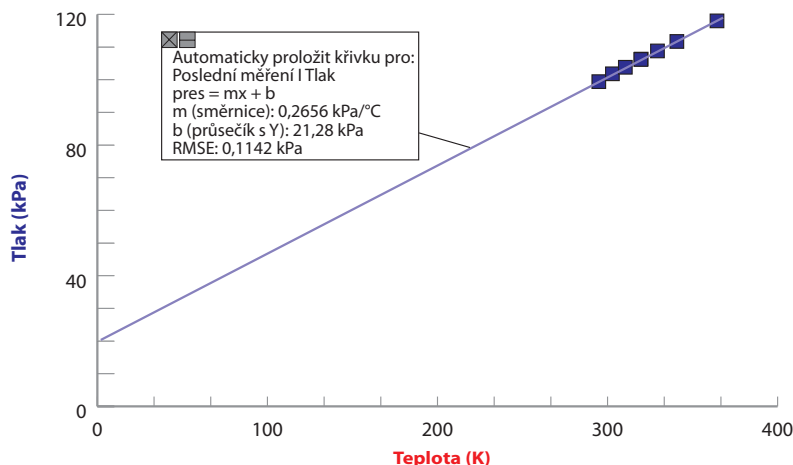
Graf závislosti tlaku na teplotě



Tlak je lineární funkcí teploty ve stupních Celsia. Charlesův zákon byl ověřen.

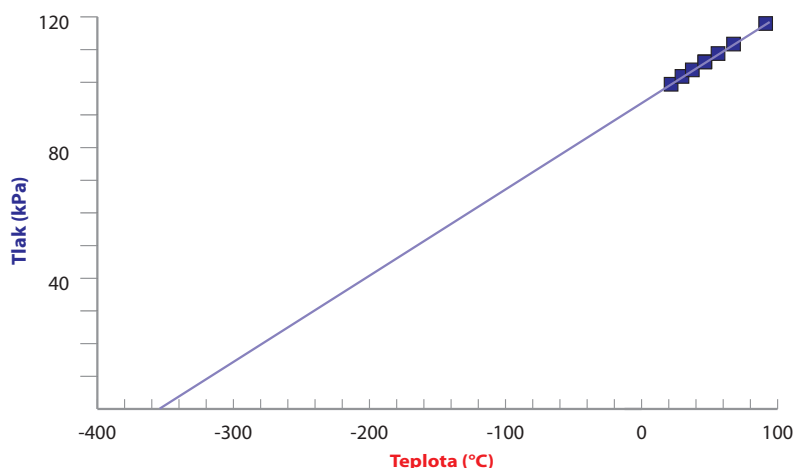
Pozn.: Kdybychom vynášeli teplotu v kelvinech, byl by tlak přímo úměrný této (absolutní) teplotě. Kvůli nepřesnostem měření ovšem většinou regresní přímka neprochází počátkem grafu $p = f(T)$. Je na učiteli, aby rozhodl, kterému grafu dá přednost.

Graf závislosti tlaku na teplotě



Teplotu absolutní nuly získáme z rovnice regrese $p = 0,2656 \cdot t + 93,84$ dosazením za $p = 0$. Vychází $t_{abs} = -353$ °C. Graficky dostaneme tentýž výsledek vhodnou volbou minimální hodnoty na osách:

Graf závislosti tlaku na teplotě



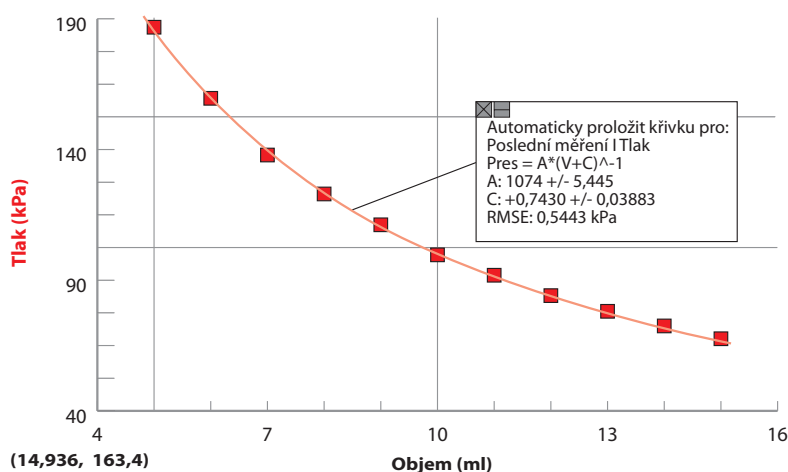
Nesoulad se správnou hodnotou $-273,15$ °C je způsoben především gradientem teploty uvnitř hadičky vedoucí ke tlakovému čidlu.

Vylepšení Parazitní objem hadičky

Výrobce udává hodnotu 0,8 ml.

Hodnotu V_1 lze získat v programu Logger Pro proložením (fitováním) pomocí nově definované funkce (**Analýza** → **Proložit křivku...** / **Definovat funkci**) $f(V) = A/(V+C)$. Potom pro změřené hodnoty vychází (viz graf) $V_1 = C = 0,74$ ml.

Graf závislosti tlaku na objemu

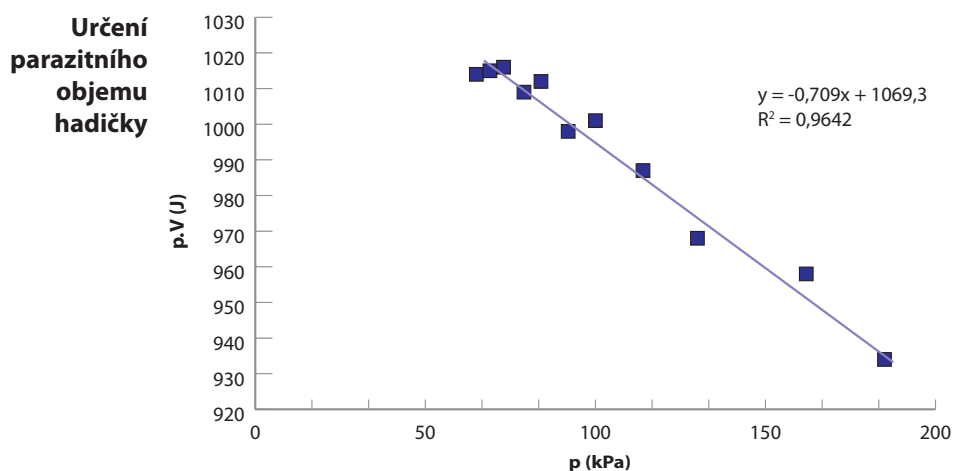




Stavová rovnice ideálního plynu

V Excelu je možné dospět k týmž hodnotám následujícím postupem:

$p(V + V_1) = p \cdot V_{\text{celkový}} = \text{konst}$, takže $p \cdot V = \text{konst} - p \cdot V_1$. Sestrojíme graf závislosti součinu $p \cdot V$ na tlaku a směrnice této klesající přímky je parazitní objem V_1 . Vychází $V_1 = 0,71$ ml.



Chyba měření Po opravě objemu o 0,71 ml je aritmetický průměr součinů $p \cdot V_{\text{celkový}} = 1\,069$ J, maximální hodnota 1 080 J, takže zákon byl ověřen s chybou 1 %.

Aritmetický průměr hodnot p/T (použita byla správná hodnota teploty absolutní nuly) činí 0,332 kPa/K, nejmenší hodnota je 0,324 kPa/K, takže zákon byl ověřen s chybou asi 2,4 %.

Struktura a vlastnosti pevných látek

Trhací zkouška vlasů

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, analyzuje průběh deformace pružných těles v konkrétní situaci

Klíčová slova: síla, deformace, pevnost, pevné látky, modul pružnosti, relativní prodloužení, normálové napětí

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

- Úkol**
- Získejte od dvou osob celkem 10 vlasů.
 - Určete průměr vlasů d , maximální relativní prodloužení ε a mez pevnosti v tahu σ_p .
 - Diskutujte výsledky pro jednotlivé vlasy dvou různých osob a porovnejte je s hodnotami meze pevnosti různých materiálů uvedenými v tabulkách.
 - Odhadněte, jak těžké závaží by unesl cop spletený z vlasů, které má průměrný mladý Evropan na hlavě.

Pomůcky Dvakrát pět vlasů délky alespoň 20 cm od dvou různých osob, mikrometrické měřidlo přesnosti alespoň 0,01 mm, siloměr Vernier s rozsahem 10 N, samolepky, izolepa, pinzeta, tmavý a bílý papír formátu A4, pravítko.

Teoretický úvod Při měření využíváme základní vztahy pro deformaci pevného tělesa tahem. Normálové napětí je definováno vztahem $\sigma_n = \frac{F}{S}$ a relativní prodloužení pak $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$.

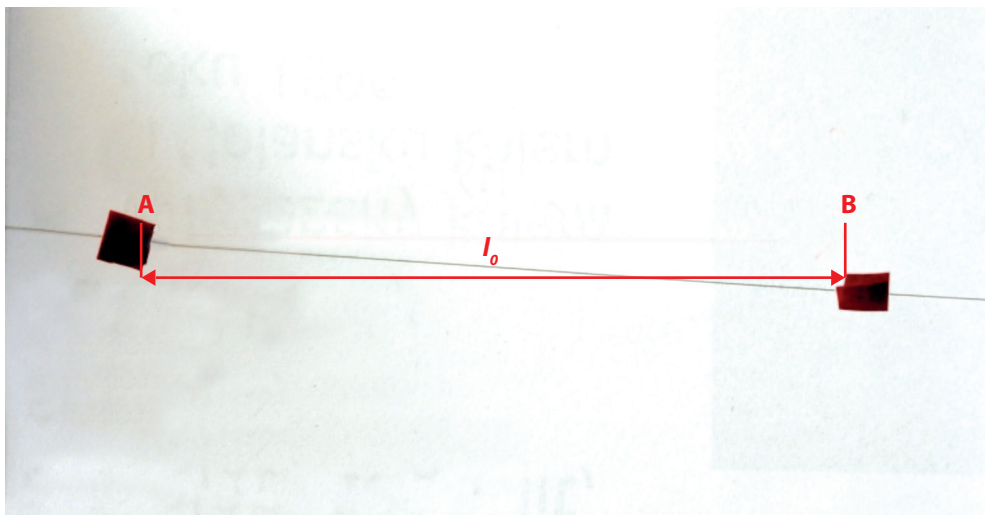
Za předpokladu zachování objemu vlasu při deformaci můžeme odvodit

$$\text{hledaný vztah: } \sigma_p = \frac{F}{S_0} \cdot (1 + \varepsilon).$$

Vypracování Nejprve změříme průměr vlasu. Při určování průměru vlasu nelze vlas sevřít mezi čelisti mikrometru, protože by se rozdrtil a při trhací zkoušce praskl v místě poškození. Seřídíme tedy nulu mikrometru, nastavíme vzdálenost 0,05 mm a polohu zafixujeme. Zkusíme, jestli vlas mezi čelistmi projde. Pokud ne, zvětšíme mezeru na 0,06 mm a pokračujeme tak dlouho, dokud vlas neprovlékne. Tak určíme průměr d s určitou nepřesností, např. $0,05 \text{ mm} \leq d \leq 0,06 \text{ mm}$. Za průměr vlasu budeme tedy brát střední hodnotu 0,055 mm.

Vlas je třeba uchytit na obou koncích natolik pevně, aby neprokluzoval a zároveň nedošlo k jeho zlomení či uskřípnutí. Uvedeným požadavkům vyhovuje např. přilepení konců vlasu ke dvěma kouskům papíru izolepou nebo jejich přilepení na pásku a následné omotání kolem špejlí. Mezi uchycenými konci by měla zůstat délka vlasu nejméně 10 cm. Při práci se světlými vlasy napomáhá viditelnosti tmavý papír jako podložka, pro tmavé vlasy pak bílý papír.

**Označení
původní
délky vlasu**



Trhací zkouška vlasů

Před vlastním měřením na vlas nalepíme pomocí pinzety dvě maličké samolepky (asi 10 cm od sebe), na nich můžeme tužkou vyznačit rysky, a tak při experimentu dobře uvidíme prodlužování. Jeden konec vlasu držíme rukou, ke druhému připojíme siloměr (zachytíme do kousku papíru či za špejli) a ve vodorovném směru na stole lehce napneme. Ze vzdálenosti samolepek určíme počáteční délku l_0 . Pomalu napínáme vlas siloměrem, sílu F zobrazujeme na počítači (nastavte délku měření cca 20 s). Délku vlasu l při přetržení určíme přímým pozorováním (vhodná je spolupráce dvou studentů). Zjištěné hodnoty délky a síly při přetržení dovolí vypočítat pevnost vlasu.

Nezapomeneme nastavit siloměr na nižší rozsah (10 N). K trhání vlasů není zapotřebí velké síly.

Úloha pro zvídavé Dokažte, že pro mez pevnosti v tahu platí $\sigma_p = \frac{F}{S_0} \cdot (1 + \varepsilon)$, kde S_0 je průřez vlasu před natáhováním, F je síla při přetržení a ε je relativní prodloužení.

Struktura a vlastnosti pevných látek

Trhací zkouška vlasů

Mirek Kubera

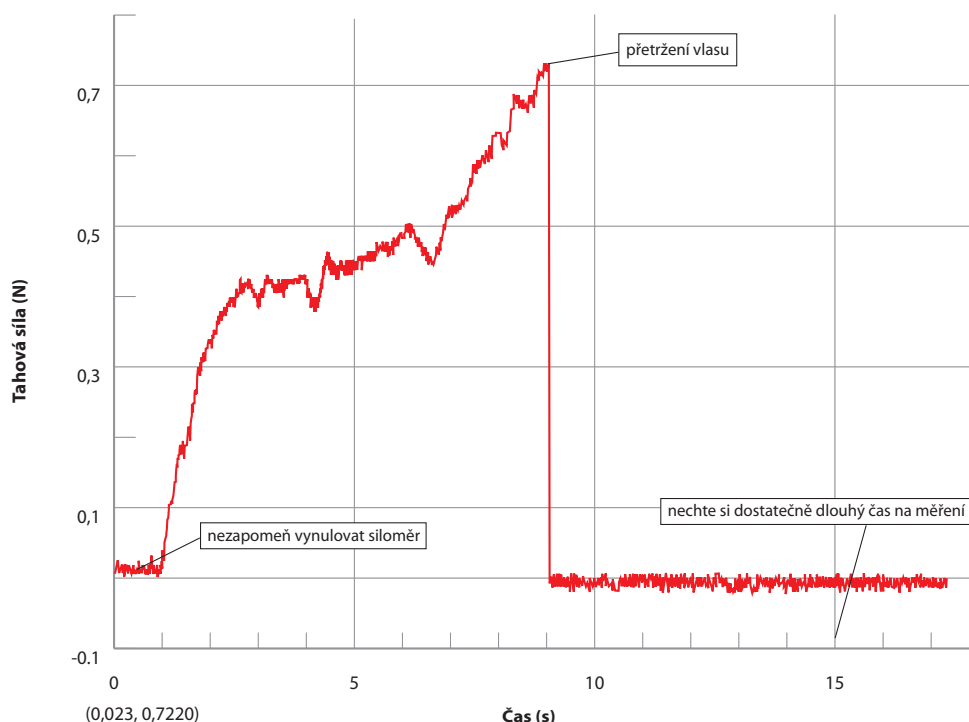
Výsledky Použitý vlas má průměr přibližně $d = 75 \mu\text{m}$.

a výpočty Jak můžeme vidět v přiloženém grafu, vlas se přetrhl při síle 0,72 N a jeho délka těsně před přetržením byla $l = 10,7 \text{ cm}$, zatímco původní délka $l_0 = 7,8 \text{ cm}$. Dosazením do níže odvozeného vztahu (4) dostáváme výsledek $\sigma_p = 223 \text{ MPa} = 233 \text{ N/mm}^2$.

Výsledky dalších měření jsou v následující tabulce:

č. m.	$d (\mu\text{m})$	$l_0 (\text{cm})$	$l (\text{cm})$	$F (\text{N})$	$\varepsilon (\%)$	$\sigma_p (\text{N/mm}^2)$
1	85	13,8	17,5	1,0	27	224
2	105	21,6	30,5	1,4	41	227
3	75	8,4	11,0	1,2	31	356
4	75	7,8	10,7	0,72	37	223
5	80	7,0	12,2	0,92	74	320
6	80	7,7	13,1	0,70	70	237

Trhací zkouška vlasu



Při porovnání s běžnými materiály použijeme následující tabulku (převzato z wikipedia.cz):

látka	mez pevnosti v tahu (MPa)
hliník	40–50
měď	210
zlato	100
železo	350
nikl	140–195
stříbro	170
tantal	200
cín	15–200
titan	240–370
wolfram	550–620
zinek	110–200
ocel	400–2000



Trhací zkouška vlasů

Porovnání s přírodními materiály přinese druhá tabulka (převzato z wikipedia.cz):

látka	mez pevnosti v tahu (MPa)
bambus	265
beton	3
karbonové vlákno	5650
hedvábí pavouka	1200
kevlar	4000
borovicové dřevo	40

Lidský vlas je oproti oceli méně pevný, srovnatelný je naopak s mědí či stříbrem.

Cop o tloušťce 2 cm má asi 60 000 vlasů, což odpovídá maximální síle 43 kN. Teoreticky je možné po copu vyšplhat do věže. Traduje se dokonce, že se dříve zvedaly do zvoníc těžké zvony na provazech upletených z lidských vlasů.

Průměrný Evropan má na hlavě přes 100 000 vlasů, jeho cop by tak mohl teoreticky unést až 10 tun.

Odvození vztahu – úloha pro zvědavé Při měření využíváme základní vztahy pro deformaci pevného tělesa tahem. Normálové napětí je definováno vztahem $\sigma_n = \frac{F}{S}$ (1) a relativní prodloužení pak $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$ (2). F je síla působící na vzorek a S jeho příčný průřez, l a l_0 jsou délky vzorku při namáhání a bez zatížení.

Při odvozování vztahu pro mez pevnosti vycházíme z předpokladu, že vlas má téměř po celé délce tvar válce, který při deformaci tahem zachovává svůj objem. Napíšeme tedy $V = V_0$, kde V_0 vyjadřuje objem vlasu před deformací. Při známém průřezu vlasu (měříme mikrometrem) pak dostáváme $S \cdot l = S_0 \cdot l_0$ (3). Vezmeme vztah pro normálové napětí a napíšeme jej pro mez pevnosti (F znamená sílu při přetržení a S průřez při přetržení). Tuto

neznámou hodnotu nahradíme z (3) výrazem $S = S_0 \cdot \frac{l_0}{l}$. Uvědomíme-li si, že $1 + \varepsilon = l/l_0$,

dostáváme hledaný vztah $\sigma_p = \frac{F}{S_0} \cdot (1 + \varepsilon)$. (4)

- Poznámky**
- upevnění pomocí papíru a izolepy je spolehlivé, lze jej však řešit i jinak (např. <http://www.vernier.cz/video/co-muze-viset-na-vlasku>),
 - je nutné měřit průměr každého trhaného vlasu (mohou se od sebe lišit i vzorky od jedné osoby – např. 85–105 μm),
 - přesnější měření tloušťky vlasu by bylo pomocí difrakce nebo interference, což může být předmětem samostatné laboratorní úlohy.
 - převodní vztah: 1 MPa = 1 N/mm²
 - obtížná manipulace s malými předměty

Další odkazy <http://21století.cz/blog/2008/05/20/veda-odhaluje-pohadkova-kouzla/>
<http://www.zbozi-vlasy.cz/Prodej-vlasu-c379.html>

Deformační křivka pevných látek, Hookův zákon

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, analyzuje průběh deformace pružných těles v konkrétní situaci

Klíčová slova: síla, deformace, pevnost, pevné látky, modul pružnosti, relativní prodloužení, normálové napětí, Hookův zákon

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

70 min

Obtížnost:

střední

- Úkol**
- 1) Studujte, jak se mění délka drátu v závislosti na velikosti působící síly. Pokud je to možné, formulujte jednoduchý zákon, který její chování při deformaci popisuje.
 - 2) Určete hodnotu meze úměrnosti a meze pevnosti. Naměřené hodnoty porovnejte s různými běžnými materiály.

Pomůcky Počítač s programem Logger Pro, LabQuest, siloměr, sonar Go!Motion, tenké dráty různých materiálů (např. měděný drát 0,2 mm, chromnikl 0,2 mm)

Teoretický úvod Deformací pevného tělesa rozumíme změnu rozměrů, tvaru nebo objemu způsobenou vnějšími silami. Podle směru působení těchto sil rozlišujeme například deformaci v tahu, v tlaku, smykem apod. Při deformaci tahem působí na opačné konce materiálu stejně velké deformující síly. Tyto síly těleso natahují (působí směrem ven) a vyvolávají v tělese stav napjatosti popsaný veličinou normálové napětí σ_n . Toto napětí je definováno vztahem

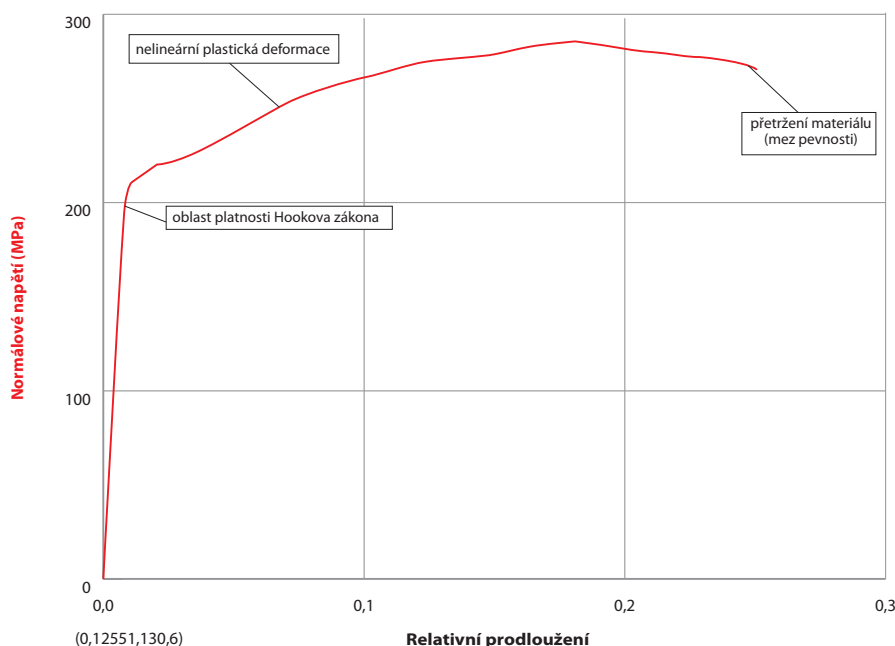
$\sigma_n = \frac{F}{S}$ (1), kde F je velikost působící síly a S obsah plochy příčného průřezu materiálu.

Jeho jednotkou je tedy pascal (Pa).

Při deformaci tahem se délka tělesa (původně l_0) zvětšuje. Lze tedy definovat relativní prodloužení ε vztahem $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$ (2). Je to bezrozměrná veličina, která se často vyjadřuje v procentech.

Vztah mezi těmito veličinami je znázorněn na grafu deformační křivky. Na vodorovnou osu umístíme relativní prodloužení ε a na svislou normálové napětí σ_n . Při vlastním měření umísťujeme na svislou osu působící sílu a na vodorovnou osu délku deformovaného drátu; teprve v závěru přepočteme naměřené hodnoty na normálové napětí a relativní prodloužení, ze kterých vykreslíme deformační křivku daného materiálu.

Deformační křivka (ukázka)



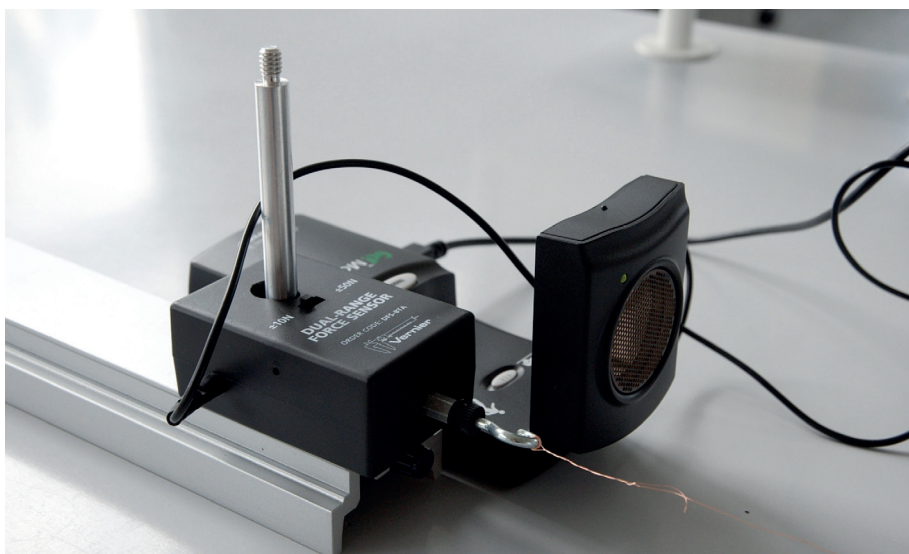
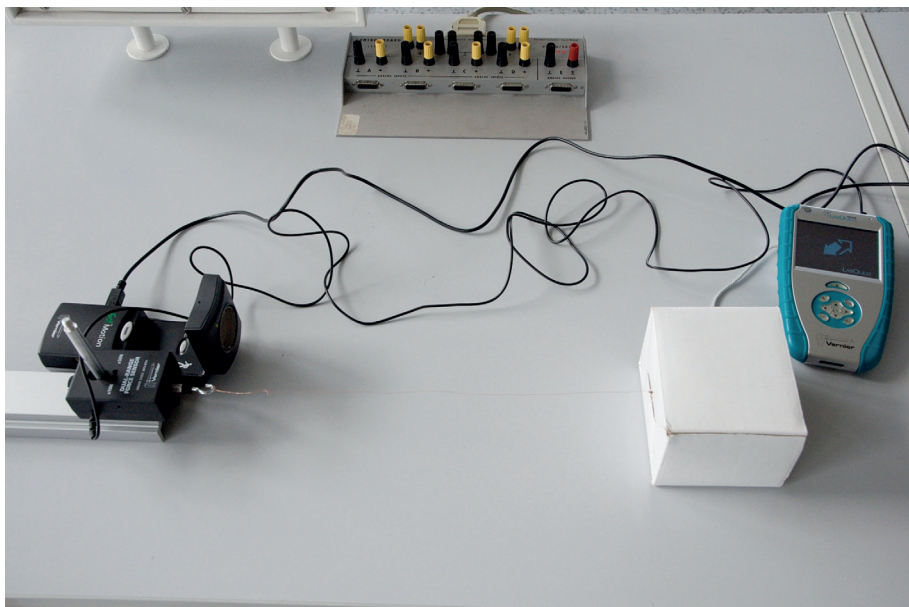
Deformační křivka pevných látek Hookův zákon

V první fázi – oblast platnosti Hookova zákona – je normálové napětí přímo úměrné relativnímu prodloužení. Můžeme psát $\sigma_n = E \cdot \varepsilon$. Koeficient přímé úměrnosti E je modul pružnosti v tahu (jednotkou je pascal, skutečné hodnoty jsou však dost velké, takže je vyjadřujeme v MPa). Mez pevnosti deformační křivku ukončuje, zde dochází k přetržení materiálu. Mez pevnosti stejně jako modul pružnosti jsou materiálové konstanty a lze je nalézt v tabulkách.

Lineární část grafu také přibližně odpovídá elastické deformaci tělesa. Jestliže deformační síly přestanou působit, těleso se vrátí do původního tvaru.

Po překročení této meze nastává plastická (trvalá) deformace. Těleso takzvaně „teče“. Poruchy způsobené v krystalové mříži působícími silami jsou již tak velké, že dochází k posouvání celých vrstev materiálu, jeho délka se velmi prodlužuje, aniž by bylo nutno působit obrovskými silami. Poté již dochází k přetržení materiálu.

Postup Odmotáme si přibližně 30 cm drátu. Jeden konec obtočíme kolem háčku siloměru, druhý konec například kolem tužky. Důležité je drát několikrát ovinout kolem háčku i tužky, aby nemohlo dojít při jeho natahování k proklouznutí. Siloměr zapojíme do LabQuestu, sonar do počítače. LabQuest spojíme kabelem USB s počítačem. Detaily uspořádání si můžete prohlédnout na následujících obrázcích.



Deformační křivka pevných látek Hookův zákon



Nastavíme měření: délka měření 20 s, vzorkovací frekvence 50 Hz. Protože budeme zobrazovat „deformační křivku“, musíme si v grafu zobrazit na svislou osu sílu F a na vodorovnou prodloužení drátu. Umístíme sonar vedle siloměru. Uchopíme do ruky tužku s jedním koncem drátu a lehce jej napneme. Sonar bude snímat vzdálenost ruky, a tím tedy jeho délku. Když tužku s rukou schováte do krabice, budou se ultrazvukové vlny lépe odrážet a lépe změříte délku drátu. Siloměr je nutné přidržovat druhou rukou. V tomto okamžiku vynulujeme siloměr **Experiment** → **Nulovat...** Sonar nenulujte, protože budete později určovat počáteční délku drátu.

Nyní již postupně napínáme drát, dokud nepraskne, a měříme odpovídající veličiny.

Zpracování Měření proběhne velice rychle, nastavený časový interval je vhodný pro pohodlnou manipulaci.

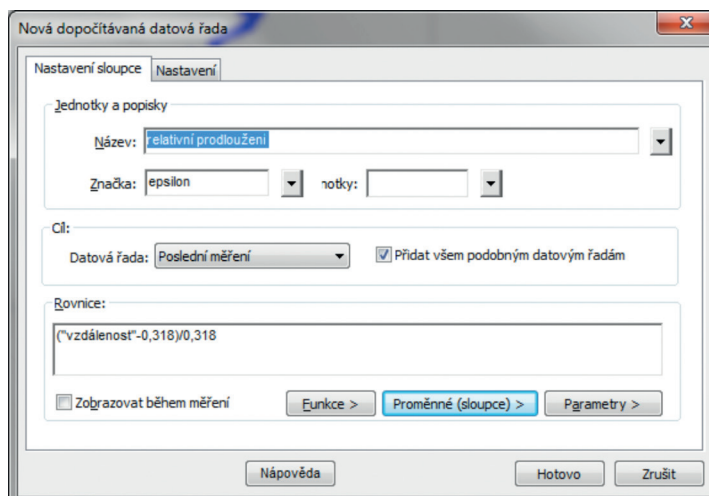
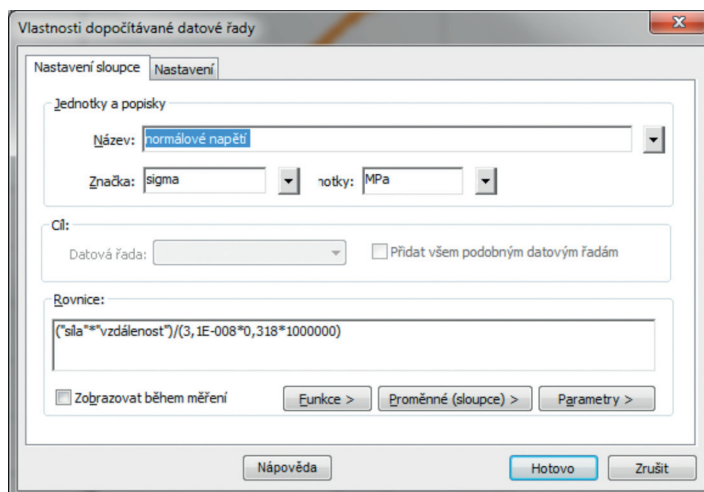
Hodnoty lze poměrně snadno přepočítat na požadované. Normálové napětí σ_n počítáme z naměřené síly F a odpovídajícího příčného průřezu S podle vztahu (1). Před deformací měl drát průřez S_0 a délku l_0 , při deformaci pak průřez S a délku l . Předpokládejme, že se při deformaci zachovává objem drátu, tedy že $S_0 \cdot l_0 = S \cdot l$. Snadno pak odvodíme, že průřez drátu při deformaci klesá s jeho aktuální délkou $S = S_0 \frac{l_0}{l}$. Relativní prodloužení pak počítáme

přímo ze vztahu (2). Před zadáním vzorce do nové datové řady musíme určit počáteční délku drátu l_0 . Nalezněte v tabulce hodnot první změřenou délku a tuto hodnotu si запиšte jako l_0 . Pomocí mikrometru si změříme průměr drátu.

Deformační křivka pevných látek

Hookův zákon

Chceme-li tedy v programu Logger Pro zobrazit deformační křivku, zvolíme **Data→Nový dopočítávaný sloupec** pro Normálové napětí a Relativní prodloužení.

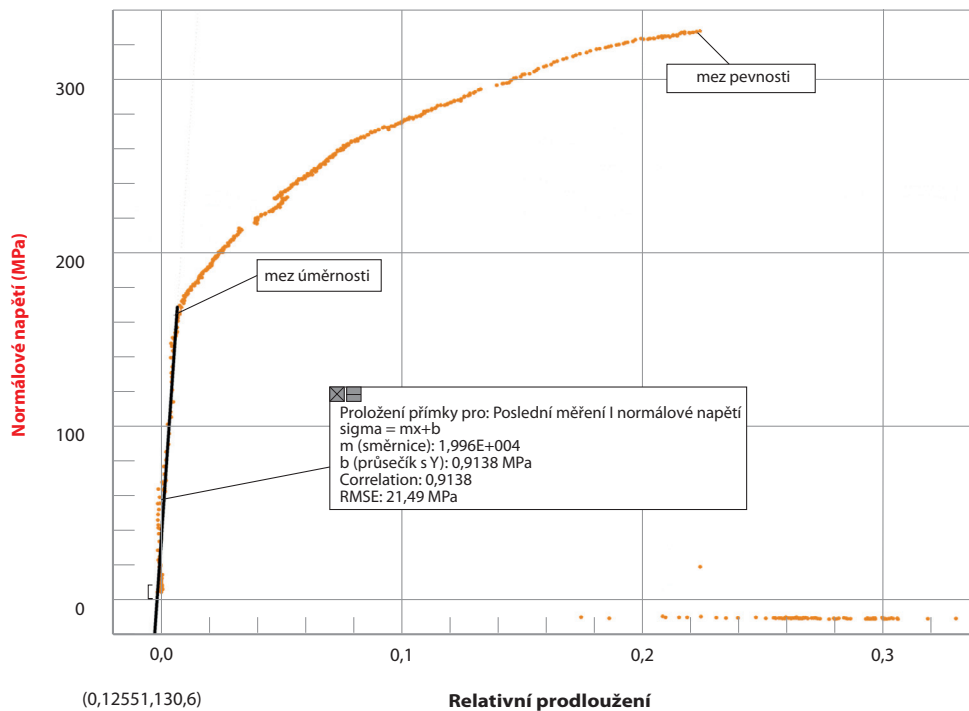
Ve finálním zobrazení umístíme na svislou osu grafu (**Nastavení→Nastavení grafu→Nastavení souřadnicových os**) „Normálové napětí“ a na vodorovnou osu „Relativní prodloužení“. Výsledek opět odpovídá běžné deformační křivce.

Deformační křivka pevných látek, Hookův zákon

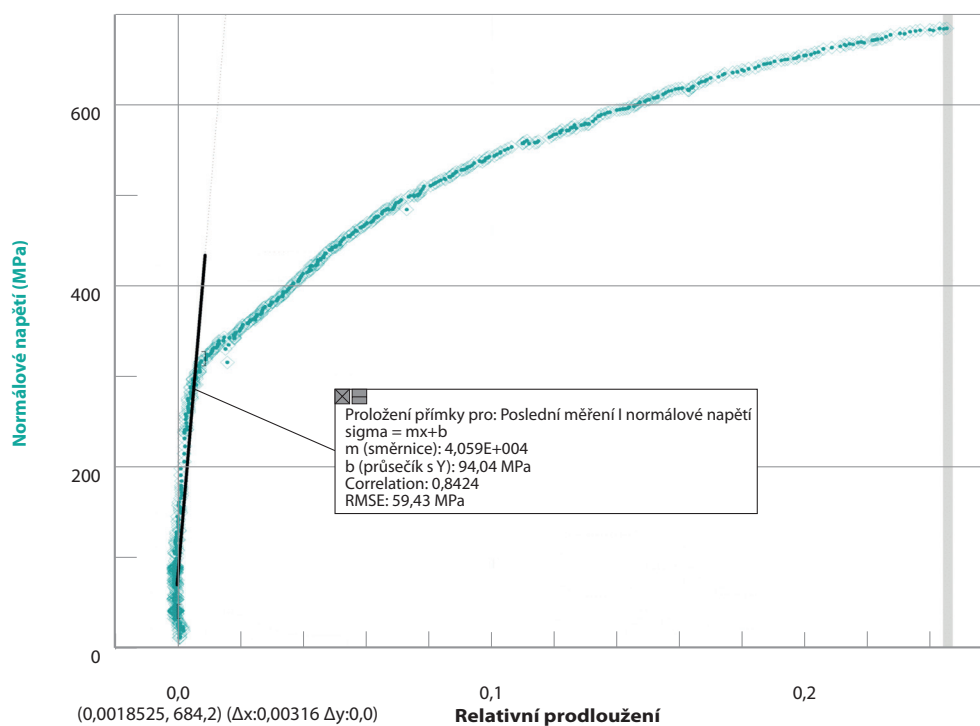
Mirek Kubera

Ukázka naměřených hodnot

**Deformační
křivka
(měděný drát
0,2 mm)**



Z grafu, ve kterém je lineární část – oblast platnosti Hookova zákona – proložená přímkou, můžeme odečíst modul pružnosti v tahu $E = 20$ GPa. Tuto hodnotu nalezneme jako směrnici proložené přímkou. Tabulková hodnota modulu pružnosti mědi v tahu je 120 GPa. Mez pevnosti odpovídá poslední naměřené hodnotě normálového napětí. Z grafu či tabulky můžeme odečíst hodnotu $\sigma_p = 327$ MPa (tabulková hodnota je přitom 210 MPa). Opakovaná měření, prováděná autorem i jinými osobami, dávají hodnoty meze pevnosti od 275 MPa do 363 MPa. Modul pružnosti v těchto měřeních vychází od 5 GPa do 11 GPa. Hodnoty se tedy značně liší od tabulkových. I přesto můžeme úlohu doporučit k realizaci se studenty. Vhodné je porovnat dva různé dráty, například měď a chromnikl.

Deformační křivka pevných látek
Hookův zákon**Deformační
křivka
(chromnikl
0,2 mm)****Použité** <http://fyzweb.cuni.cz/knihovna/deformace/index.htm>
zdroje

Změny skupenství. Tání a tuhnutí.

Křivka tání pevné látky

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák objasní souvislost mezi vlastnostmi látek různých skupenství a jejich vnitřní strukturou

Klíčová slova: tání, změna skupenství, thiosíran sodný, kapalina, pevná látka, teplo, skupenské teplo tání, teplota tání

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

20 min

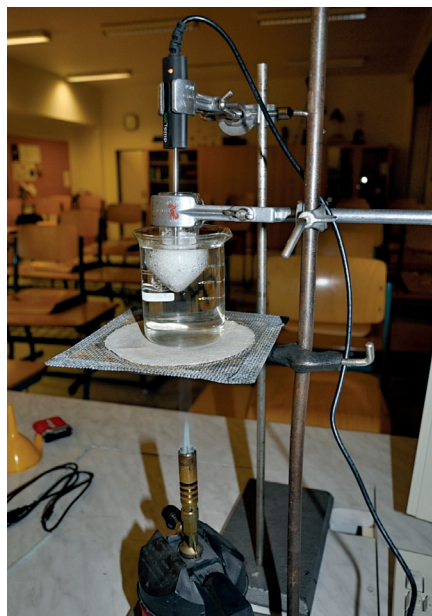
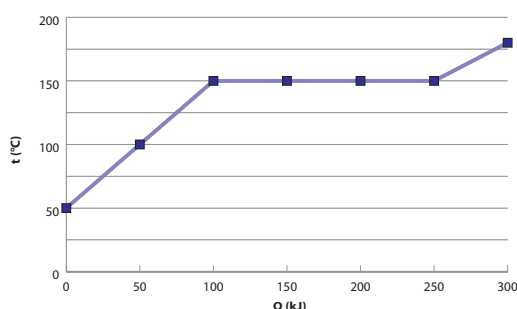
Obtížnost:

střední

Úkol Sledujte změnu teploty a skupenství thiosíranu sodného při jeho postupném zahřívání ve vodní lázni.

Pomůcky Širší silnostěnná zkumavka, kádinka, stojan, držák teploměru, teploměr Go!Temp, počítač s programem Logger Pro, kahan nebo rychlovarná konvice, azbestová mřížka, thiosíran sodný ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

Teoretický úvod Změna skupenství pevného na kapalné se nazývá tání. Při tání přijímá pevná látka teplo z okolí. Budeme-li krystalické pevné látky rovnoměrně dodávat teplo, nejprve se bude zahřívat, a když dosáhne teploty tání, začne měnit skupenství. Její teplota se však během tání měnit nebude. Teprve když veškerá pevná látka roztaje, obnoví se nárůst teploty. Vše je přehledně zaznamenáno v následujícím ilustračním obrázku:



Při změně skupenství látka přijímá teplo, aniž by se měnila její teplota. Proto v grafu závislosti teploty na čase můžeme vidět při změně skupenství úsek s konstantní teplotou. Tato teplota se nazývá teplota tání a pro krystalické látky je (při konstantním tlaku) pevně dána.

Postup Dle obrázku sestavíme aparaturu. Spustíme program Logger Pro, propojíme USB teploměr Go!Temp s počítačem. Nastavíme parametry měření. Podle množství vody v lázni zvolíme dobu měření 600 s, vzorkovací frekvenci můžeme nechat přednastavenou (2 Hz). Zapálíme kahan a ohříváme vodní lázeň. Spustíme **Sběr dat**. Dbáme zejména na to, aby se teploměr nedotýkal stěn zkumavky a aby po změně skupenství teploměr zůstal ponořen v kapalné fázi. Mezi krystalky thiosíranu jsou drobné vzduchové mezery, objem kapalné látky tedy bude menší než objem v pevném skupenství.





Křivka tání pevné látky

Výsledky a výpočty

V průběhu experimentu můžeme komentovat probíhající změny. Nejprve dochází k zahřívání pevného thiosíranu sodného. Nárůst teploty je přibližně lineární. Případné odchylky jsou způsobeny tím, že thiosíran je krystalická látka, a není tedy vždy přímo v kontaktu s teploměrem.

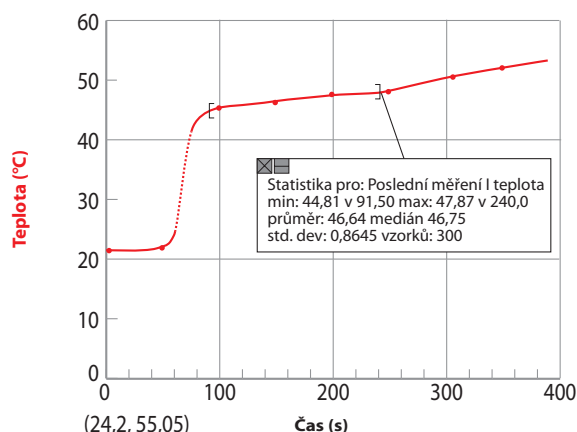
Při dosažení teploty tání (pro čistý bezvodý thiosíran sodný je to 48 °C) již nedochází k růstu teploty, přestože je látka stále zahřívána. Dochází ke změně skupenství, kterou můžeme také přímo pozorovat. Mléčné a neprůhledné krystalky thiosíranu mizí a ve zkumavce se objevuje stále více a více kapalné průhledné látky.

Protože je látka dále zahřívána, začne se i po změně skupenství, která probíhá za přibližně konstantní teploty, dále zahřívát a můžeme pozorovat opětovný nárůst teploty. Protože se však jedná o látku jiného skupenství, její měrná tepelná kapacita je jiná a graf teploty na čas nemá nutně stejný sklon jako před změnou skupenství. (V případě vložení zkumavky pouze do horké lázně je velmi těžké zajistit rovnoměrné ohřívání, a porovnávání sklonů přímků zobrazujících změny teploty dvou fází je tak zcela zbytečné.)

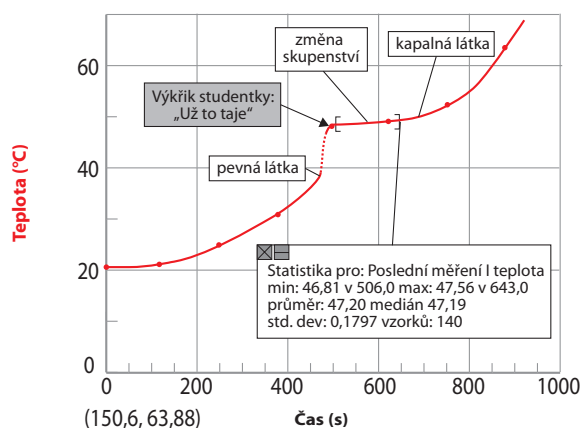
Poznámky

Při realizaci experimentu si můžeme vybrat mezi dvěma způsoby. Prvním z nich je ohřívání zkumavky s pevným thiosíranem v horké vodní lázni. Druhým způsobem je ohřev zkumavky s pevným thiosíranem umístěné ve studené vodní lázni, kterou kahanem postupně zahříváme. Tyto způsoby se liší změnou teploty před dosažením teploty tání. Jestliže vložíme zkumavku s thiosíranem do horké vodní lázně, thiosíran se rychle zahřeje a začne brzy měnit skupenství. Jestliže zahříváme studenou vodu a přes ni thiosíran, je nárůst teploty pozvolnější. Jakmile je však dosaženo teploty tání, grafy jsou velmi podobné. První způsob má nevýhodu v tom, že horká lázeň postupně chladne, a není schopna dále ohřívát thiosíran.

Křivka tání thiosíranu sodného – ohřívání v horké vodní lázni



Tání thiosíranu sodného

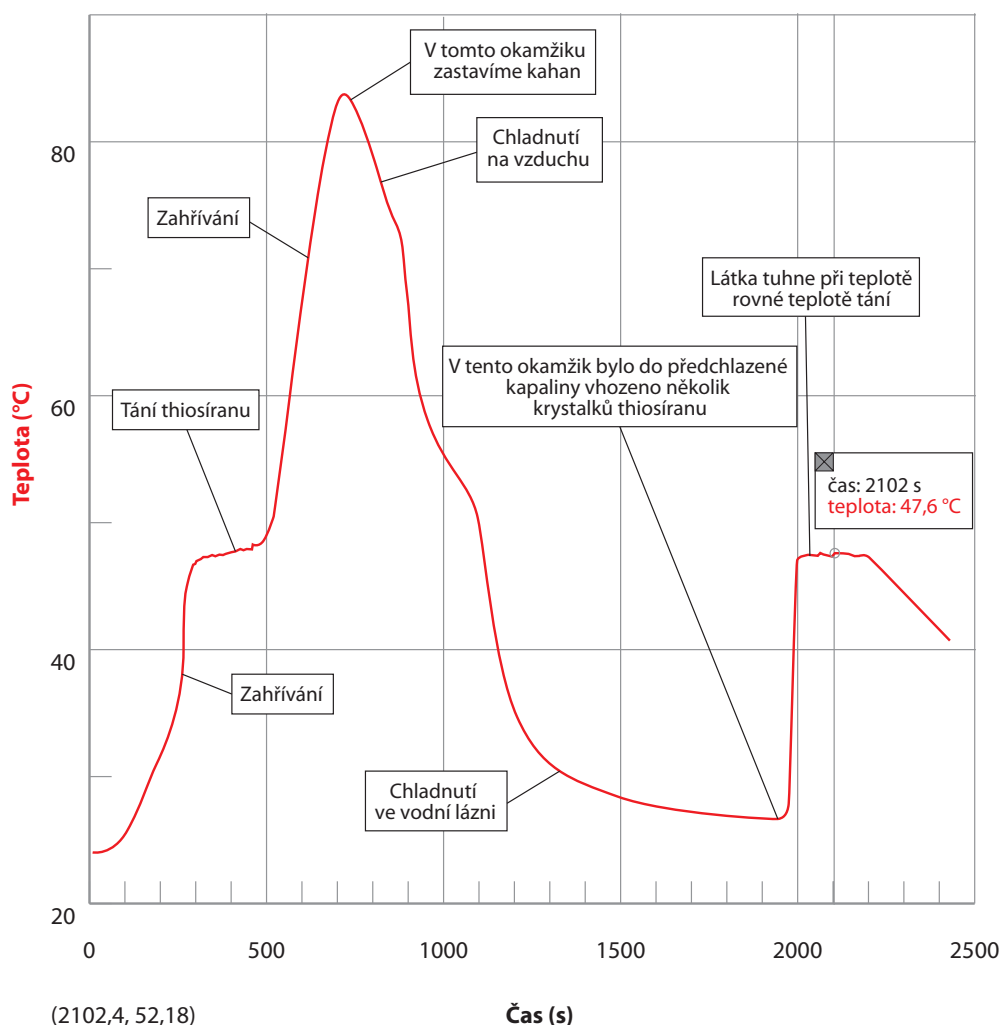


Pro úspěšnost experimentu je bezpodmínečně nutné použít čerstvý pentahydrát thiosíranu sodného – tato látka váže vlhkost, a při dlouhodobém skladování se stává pro tento experiment nepoužitelnou; její teplota tání se změní.

Zajímavé by bylo pozorovat též ochlazování. V tomto případě doporučujeme nastavit dobu měření např. 40 min (tj. 2 400 s) a vzorkovací frekvenci 0,5 Hz. Experiment probíhá po celou vyučovací hodinu.

Budeme-li tedy postupně čistý thiosíran ochlazovat, můžeme získat přechlazenou kapalinu o teplotě 20 °C. Vhodíme-li do ní několik zrněk krystalické látky, dojde k jejímu rychlému ztuhnutí a uvolnění velkého množství tepelné energie. Látka se ohřeje na svou teplotu tání 48 °C.

**Teplota
thiosíranu
v závislosti
na čase**



Odkazy http://cs.wikipedia.org/wiki/Thios%C3%ADran_sodn%C3%BD
http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_11/11_25_Vicha.html

Měrné skupenské teplo tání ledu

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, objasní souvislost mezi vlastnostmi látek různých skupenství a jejich vnitřní strukturou

Klíčová slova: led, skupenství, změna skupenství, měrné skupenské teplo tání, teplo, tání

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

90 min

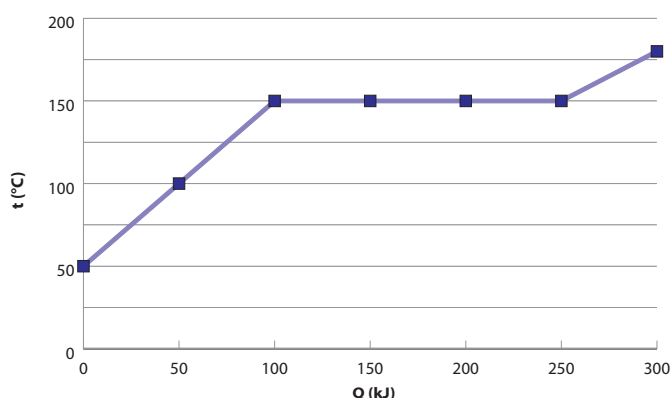
Obtížnost:

nízká

Úkol Určete na základě experimentu měrné skupenské teplo tání ledu. Výslednou hodnotu porovnejte s tabulkovou. Odhadněte přesnost měření a navrhněte, jak postup zpřesnit.

Pomůcky Bodové teplotní čidlo, LabQuest, varná konvice, ledové kostky, směšovací kalorimetr, váhy, odměrný válec, utěrka

Teoretický úvod Až doposud jsme studovali pouze tepelnou výměnu mezi tělesy, která nemění své skupenství. Dobře však víme, že např. při varu vody se nárůst teploty zastaví, i když dále probíhá přenos energie ve formě tepla směrem k ohřívané vodě. Jak to vysvětlit, když tvrdíme, že přenos tepla je vždy spojen se změnou teploty?



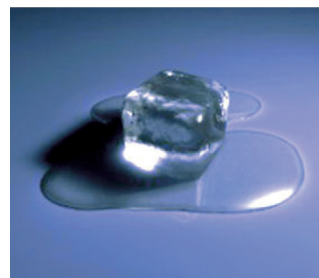
Není tomu tak právě při změnách skupenství, jako jsou tání a tuhnutí, vypařování a kondenzace, sublimace a desublimace. Při změnách skupenství je látce teplo dodáváno, nebo odebíráno bez změny teploty (viz obrázek). Nelze tedy použít teoretický vztah pro velikost přijatého nebo odebraného tepla $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$, ale musíme toto teplo potřebné ke změně skupenství vyjádřit např. vztahem $L_t = m \cdot l_t$, kde m je hmotnost dané látky a l_t je její měrné skupenské teplo fázové změny (teplo potřebné k tomu, aby 1 kg dané látky při teplotě změny skupenství zcela své skupenství změnil). Tuto hodnotu se pokusíme naším experimentem určit.

Vypracování a) Určení tepelné kapacity kalorimetru

Nejprve je nutné určit tepelnou kapacitu kalorimetru. V tomto přípravném experimentu smíchejte v kalorimetru studenou a horkou vodu o známé hmotnosti i teplotě a měřte výslednou teplotu po ustálení tepelné rovnováhy. Z kalorimetrické rovnice určete výpočtem tepelnou kapacitu kalorimetru (viz experiment *Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa*).

b) Určení měrného skupenského tepla tání ledu

Provedte následující experiment: do kalorimetru nalijte vhodné množství teplé vody a změřte přímo v kalorimetru její teplotu. Vhodte několik kostek ledu o teplotě 0 °C, kalorimetr uzavřete a za stálého měření teploty vody v kalorimetru vodu míchejte. Jakmile všechny led roztaje a teplota se již nemění, odečtěte výslednou teplotu. Sestavte kalorimetrickou rovnici a vypočítejte měrné skupenské teplo tání ledu.



Závěr Výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou a určete odchylku od teoretické hodnoty.

Měrné skupenské teplo tání ledu

Mirek Kubera

Zpracování Velmi důležitou aktivitou v tomto experimentu je experimentální určení tepelné kapacity kalorimetru. Pokud ji nechcete určovat pokusně se studenty a znáte její správnou hodnotu, pak je možné bez problémů realizovat druhý experiment za 45 minut, a to včetně několika opakování měření. Postup měření tepelné kapacity kalorimetru je podrobně zpracován v úloze *Určení měrné tepelné kapacity pevného tělesa*.

Zpracujme výsledky druhého měření. Sestavíme kalorimetrickou rovnici. Horká voda a zahřátý kalorimetr odevzdávají tepla Q_1 a Q_c . Tato tepla jsou přijata ledem, aby roztál (teplo L_t), a studenou vodou vzniklou roztátím ledu, aby se ohřála na výslednou teplotu (teplo Q_2).

Kalorimetrická rovnice má tedy tvar $Q_1 + Q_c = L_t + Q_2$. Dosadíme-li obvyklé výrazy, získáme rovnici $c \cdot m_1 \cdot (t_1 - t) + C \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot l_t + c \cdot m_2 \cdot (t_2 - t)$, kde c značí měrnou tepelnou kapacitu vody, C tepelnou kapacitu kalorimetru, m_1 hmotnost horké vody v kalorimetru, t_1 její teplotu, t výslednou teplotu, m_2 hmotnost přidaného ledu a vody z něj vzniklé, t_2 pak teplota tání ledu.

Výsledný vzorec pro výpočet měrného skupenského tepla tání má tvar

$$l_t = \frac{c \cdot [m_1 \cdot (t_1 - t) - m_2 \cdot (t_2 - t)] + C \cdot (t_1 - t)}{m_2}$$

Příklad naměřených hodnot (pro výpočet používáme tepelnou kapacitu kalorimetru $C = 50 \text{ J/}^\circ\text{C}$, měrnou tepelnou kapacitu vody $c = 4186 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$).

horká voda		led		výsledná teplota	měrné skup. teplo tání
m_1 (g)	t_1 ($^\circ\text{C}$)	m_2 (g)	t_t ($^\circ\text{C}$)	t ($^\circ\text{C}$)	l_t (kJ/kg)
62	62,2	21	0,0	31,2	326
56	60,0	32	0,0	17,1	310

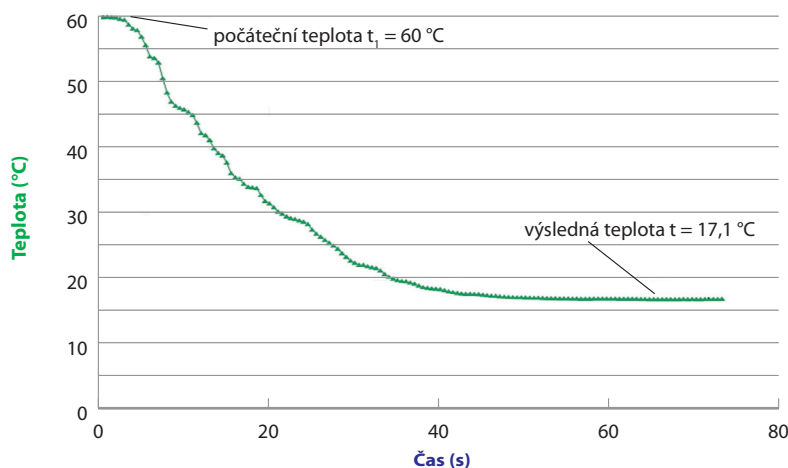
Průměrná hodnota 318 kJ/kg se liší o přibližně 5 % od tabulkové hodnoty 334 kJ/kg , což lze považovat za dobrý výsledek.

Další poznámky Je důležité několik minut před začátkem hodiny umístit kostky ledu do vody a vytvořit směs vody a ledu o teplotě tání 0°C . Po vložení ledu do kalorimetru musí led ihned odtávat.

Kostky ledu před vložením do kalorimetru osušíme utěrkou.

Při měření můžeme také použít časovou závislost. Není potřeba nic nastavovat; měření proběhne přibližně za 90 s, záleží, jaké množství a jak horkou vodu máme v kalorimetru. Původní teplotu horké vody i teplotu výslednou lze jednoduše odečíst v jednom grafu.

Tání ledu v kalorimetru



Kinematika mechanického kmitání

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák užívá základní kinematické vztahy při řešení problémů a úloh o pohybech

Klíčová slova: mechanické kmitání, kinematika, harmonický oscilátor

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

25 min

Obtížnost:

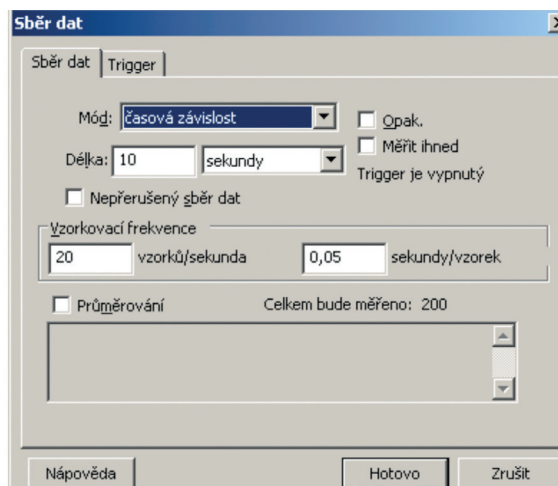
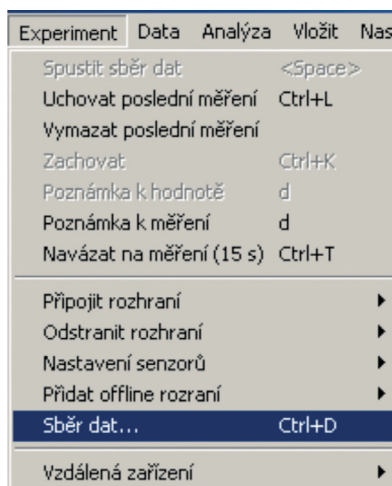
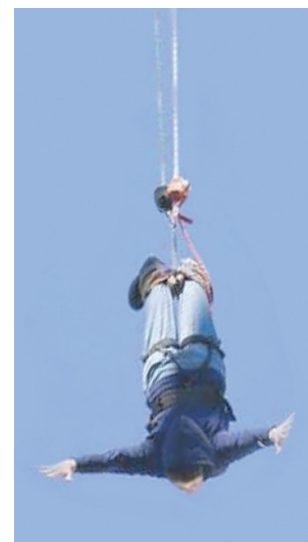
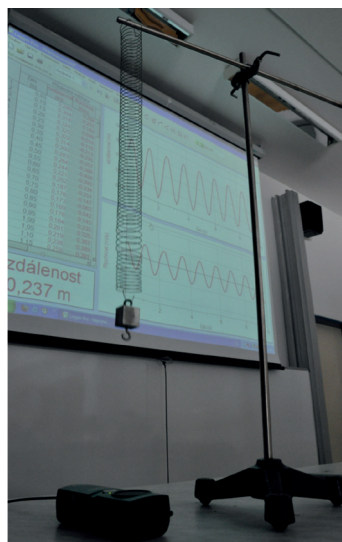
střední

Úkol V reálném čase prozkoumejte časové závislosti polohy, rychlosti a zrychlení pro netlumený a tlumený volný mechanický oscilátor.

- 1) Zaznamenejte polohu, rychlost a zrychlení závaží svisle kmitajícího na pružině.
- 2) Z grafů určete základní charakteristiky pohybu.
- 3) Porovnejte kmitání závaží o různých hmotnostech.
- 4) Porovnejte tlumený a netlumený oscilátor.

Pomůcky Stojan, svorka, tyčka, pružina s nepříliš velkou tuhostí, závaží 50 g, 100 g, 200 g, sonar Go!Motion, počítač s programem Logger Pro, karton 20 x 20 cm

- Vypracování**
- Ke stojanu svorkou připevněte vodorovnou tyčku, na niž zavěste pružinu. Na konec pružiny připevněte závaží.
 - Pod závaží umístěte sonar (přepínač v poloze „vozíček“) a ten zapojte do USB portu počítače. Je třeba, aby bylo závaží v každém okamžiku pohybu minimálně 15 cm nad mřížkou sonaru.
 - V programu Logger Pro v menu **Experimenty** → **Sběr dat** nastavte dobu měření 10 s, ostatní parametry ponechte (viz níže).
 - Uvedte oscilátor do pohybu a měření zahajte kliknutím na  **Sběr dat**.

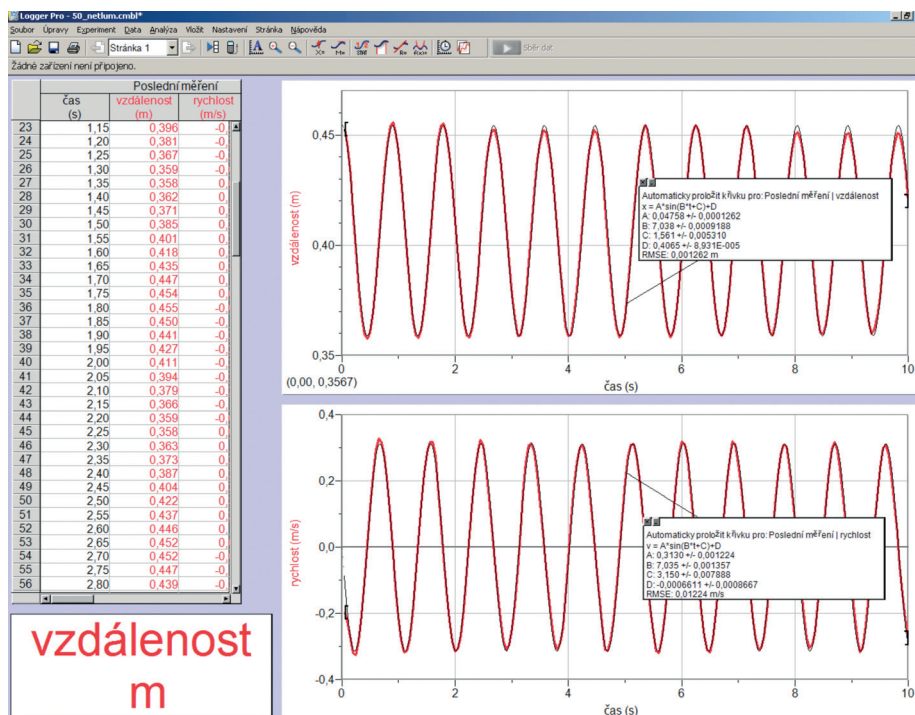




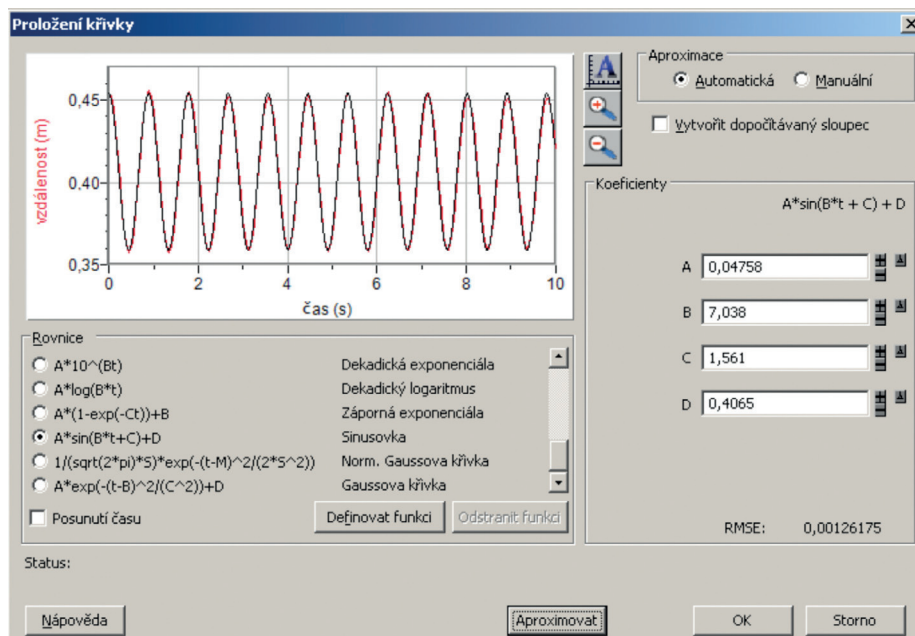
Kinematika mechanického kmitání

 úloha
 29

Výsledky Hmotnost 50 g, bez kartonu

 Kmitání
 volné
 netlumené


Proložení se provede v menu **Analýza** → **Proložit křivku ...**, po výběru sinusoidy kliknout na **Aproximovat**. Pokud proložení křivky „sedí“, potvrdit.



Interpretace Graf závislosti polohy na čase

Grafem je sinusoida $y(t) = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) + D$

A je maximální výchylka (amplituda) v metrech, $A = y_m = 4,76 \text{ cm}$

B je rovná úhlová frekvence v rad/s, $\omega = 2\pi f = 2\pi/T = 7,038 \text{ rad/s}$

C je počáteční fáze v radiánech (zde mezi 0 a 2π), $\varphi_0 = 1,56 \text{ rad}$

D je výška rovnovážné polohy nad sonarem, $D = 40,7 \text{ cm}$

Graf závislosti rychlosti na čase

Grafem je sinusoida $v(t) = v_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$

A je amplituda rychlosti, čili maximální rychlost, je možno číselně ověřit vztah

$v_m = \omega y_m = 7,038 \cdot 0,0476 = 0,335 \text{ m/s}$. Rozdíl oproti hodnotě $0,313 \text{ m/s}$ je dán numeric-kou derivací.

B je úhlová frekvence totožná s předchozím grafem

C je počáteční fáze $\varphi_1 = \varphi_0 + \frac{\pi}{2} = 3,15 \text{ rad}$

D je nula (rychlost kmitá kolem nuly)

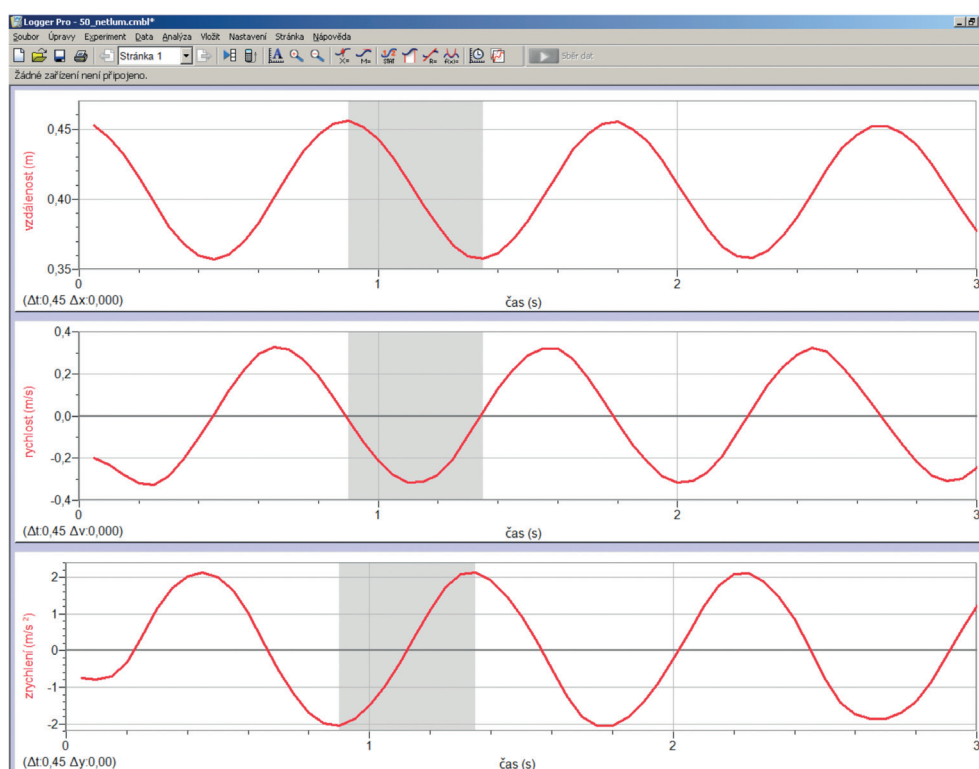
Graf zrychlení zobrazíme příkazem menu **Vložit**→**Graf**.

Automatické uspořádání oken lze provést klávesovou zkratkou **CTRL + R**.

**Fázový posuv
rychlosti
a zrychlení
vůči grafu
polohy**

V těchto třech grafech studenti názorně vidí, že když je výchylka maximální, je rychlost nulová a zrychlení dosahuje maximální velikosti. Naopak když je výchylka z rovnovážné polohy nulová, je rychlost maximální a zrychlení v tento okamžik rovněž nulové.

Vyždřeno řeči matematiky, cosinus má maximum právě tehdy, když sinus je nula, a naopak.



Kinematika mechanického kmitání

Význam Pro pokročilejší studenty (4. ročník) je možné názorně vysvětlit význam derivace.

derivace Derivace je mírou změny dané veličiny, říká „jak moc“ se daná veličina mění.

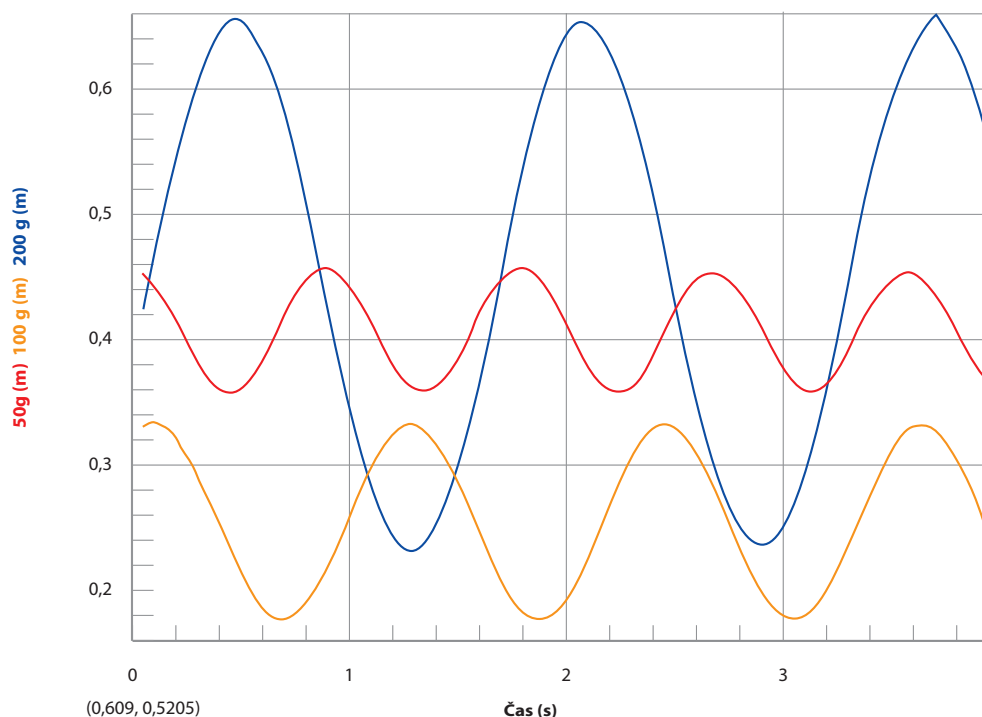
Klesá-li poloha, její derivace (rychlost) je záporná.

V okamžiku, kdy poloha nabývá maxima (minima), je její derivace nula.

V intervalu, kde poloha roste, je derivace kladná (podobně pro zrychlení).

Závislost periody na hmotnosti Teoreticky lze odvodit $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$, kde m je hmotnost závaží a k je tuhost pružiny. Zvětšíme-li hmotnost čtyřikrát, stoupne perioda dvakrát. Následující graf je možno obdržet postupným přidáváním měření: naměřit kmity se závažím 50 g, v menu **Experiment** kliknout na **Uchovat poslední měření** a totéž provést pro 100 g a 200 g.

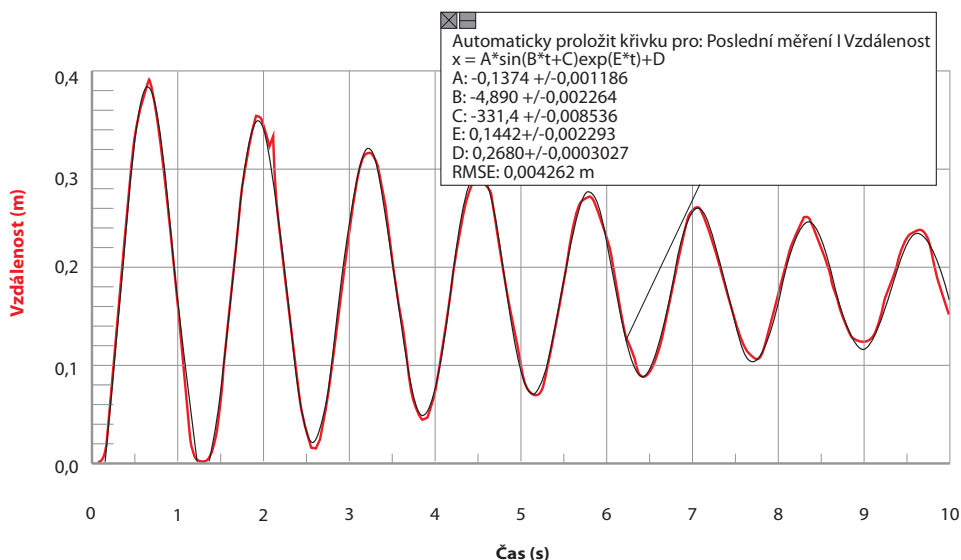
Graf závislosti polohy na čase



Perioda při 200 g není přesně dvakrát větší než u 50 g, protože ke hmotnosti oscilátoru přispívá i pružina.

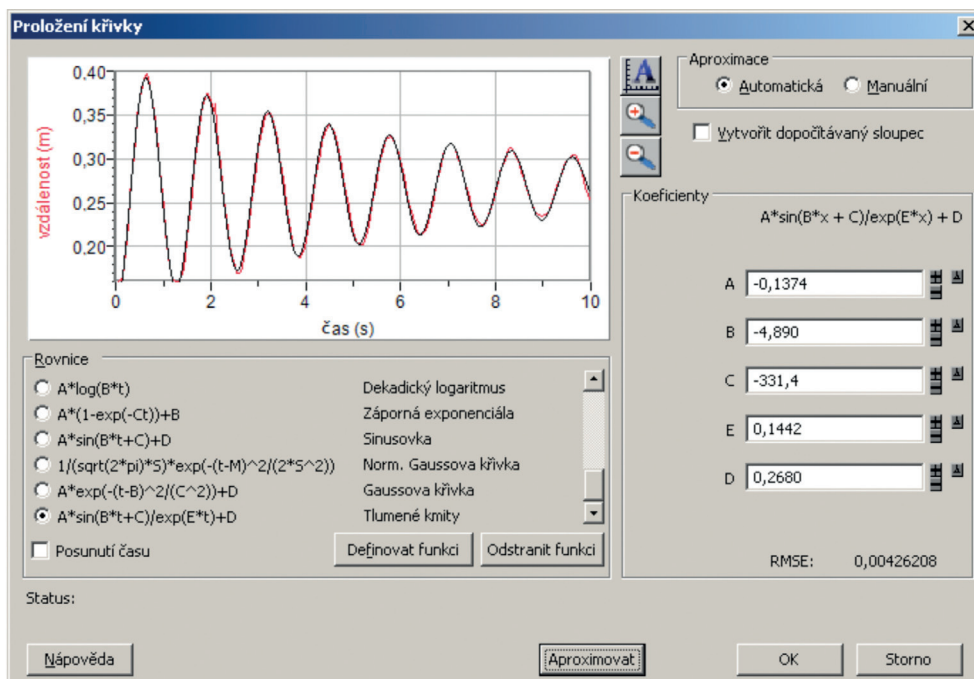
Tlumené kmity K pozorování tlumených kmitů připevníme k závaží 50 g karton o rozměrech 20 x 20 cm.

Graf závislosti polohy na čase



Není-li tlumení příliš velké, vykonává oscilátor opět sinusové kmity, jejichž amplituda se s časem snižuje. V tomto případě není odporová síla vzduchu zanedbatelná. Protože směřuje vždy proti směru pohybu, koná zápornou práci. S poklesem amplitudy se snižuje i mechanická energie oscilátoru – mechanická energie se přeměňuje na vnitřní energii (oscilátoru a vzduchu).

Pokročilé zpracování Vhodné jen pro matematicky zdatné (4. ročník SŠ nebo 1. ročník VŠ). V Logger Pro je možné definovat vlastní funkci, kterou chcete prokládat danou křivku (menu **Analýza**→**Proložit křivku...**). Zkusil jsem exponenciálně tlumenou sinusoidu s 5 parametry $f(t) = A \cdot \exp(-E \cdot t) \cdot \sin(B \cdot t + C) + D$. K mému příjemnému překvapení to program zvládl a prokázal, že modelování tlumení členem úměrným rychlosti daným experimentálními podmínkami odpovídá.



Určení tíhového zrychlení z periody kmitu matematického kyvadla

Vítězslav Nečas

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, získá hodnotu tíhového zrychlení

Klíčová slova: perioda kmitu, tíhové zrychlení, kyvadlo, matematické kyvadlo

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

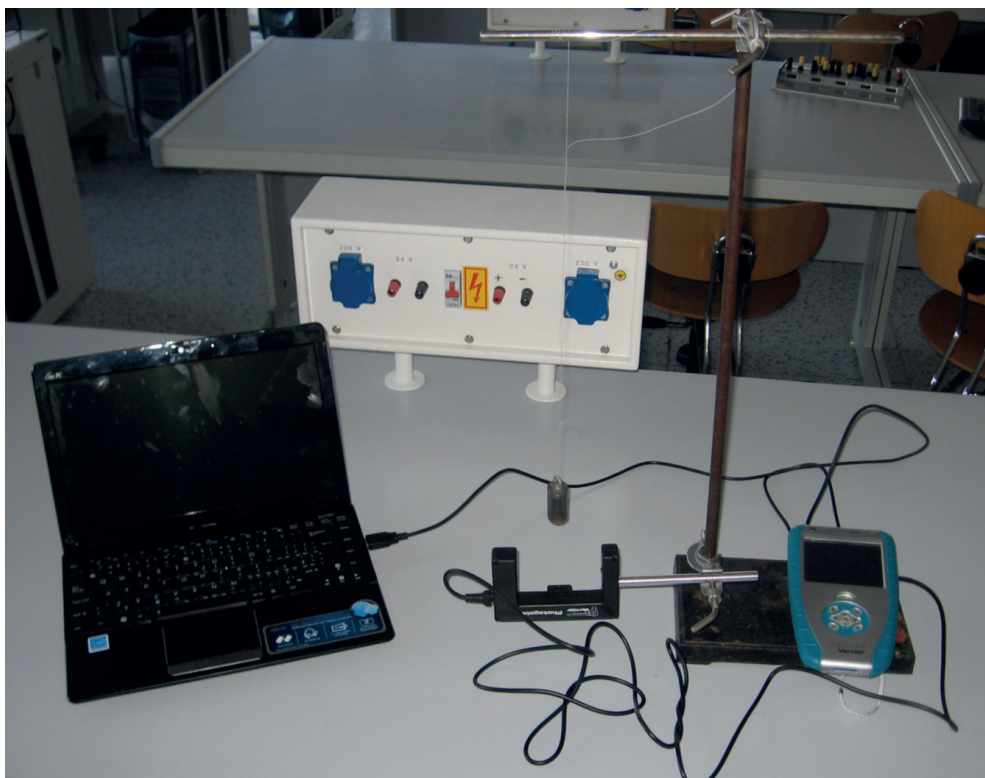
- Úkol**
- 1) Experimentálně ukažte, že perioda kmitu matematického kyvadla nezávisí na hmotnosti závaží.
 - 2) Určete tíhové zrychlení z periody kmitu matematického kyvadla pro dvě různé délky závěsu. Srovnajte s tabulkovou hodnotou.

Pomůcky Stojan, provázek, závaží 100 g a 200 g, délkové měřidlo, Vernier – modul optická závora (Photogate), LabQuest, počítač s programem Logger Pro.

Teoretický úvod Pro periodu kmitu matematického kyvadla platí vztah

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

kde l je délka závěsu, g je tíhové zrychlení. Perioda kmitu nezávisí na hmotnosti závaží. Pokud se podaří změřit periodu kmitu matematického kyvadla, snadno vyjádřením g z výše uvedeného vztahu a dosazením naměřených hodnot získáme hodnotu tíhového zrychlení pro dané místo.



Vypracování Umístíme optickou závoru do stojanu, nad ni přivážeme provázek se závažím tak, aby závaží při kmitání zastíňovalo paprsek závory (viz obrázek).

Určení tíhového zrychlení z periody kmitu matematického kyvadla

Optickou závoru připojíme k LabQuestu do vstupu DIG 1, LabQuest do počítače pomocí USB kabelu. Otevřeme program Logger Pro.

V programu Logger Pro nás bude zajímat pouze tabulka, grafy můžeme odstranit. Provedeme nastavení doby měření – **Experiment** → **Sběr dat** → **Délka měření** – a zvolíme 30 sekund. Pro nastavení můžeme použít také klávesovou zkratku Ctrl+D. Uvedeme kyvadlo do pohybu a spustíme měření.

Získáme tabulku s analogickými hodnotami jako v tabulce níže.

Číslice **1** ve sloupci GateState znamená, že závora byla blokována (v případě měření s LabQuestem označení *blocked*), číslice **0** znamená odblokování optické závory (*unblocked*). V prvním sloupci pak bude čas, kdy k blokování/odblokování závory došlo.

Poslední měření					
	čas (s)	GateState	d (m)	Velocity (m/s)	acc (m/s ²)
1	4,152806	0	0,000		
2	4,727373	1			
3	4,744470	0	0,050	0,074	-0,04
4	5,578888	1			
5	5,596601	0	0,100	0,073	0,03
6	6,178047	1			
7	6,195045	0	0,150	0,073	-0,03
8	7,022026	1			
9	7,040381	0	0,200	0,073	0,03
10	7,626014	1			
11	7,644243	0	0,250	0,073	-0,03
12	8,468525	1			
13	8,486500	0	0,300	0,073	0,03
14	9,071319	1			
15	9,089028	0	0,350	0,073	-0,03
16	9,915655	1			
17	9,932030	0	0,400	0,074	0,03
18	10,513415	1			
19	10,529975	0	0,450	0,073	-0,03
20	11,360877	1			

V naší tabulce tedy 2. hodnota (4,727373 s) odpovídá prvnímu průchodu provázku přes závoru. Rozdíl času ve 4. řádku a času ve 2. řádku pak odpovídá době jednoho kyvu (5,578888 – 4,727373). Rozdíl času v 6. řádku a času ve 2. řádku pak odpovídá době jedné periody (doba kmitu). Pro větší přesnost určíme z tabulky dobu deseti kmitů (rozdíl času ve 42. řádku a 2. řádku) a vydělíme deseti. Doba kmitu tak určíme s maximální přesností.

Měření provedeme nejprve jednou se závažím menší hmotnosti, jednou s dvojnásobnou hmotností. Hodnotu periody porovnáme a vyslovíme závěr.

Dále provedeme měření při jedné hmotnosti závaží, jednou pro kratší závěs, jednou pro delší. Z naměřené periody kmitu vypočteme tíhové zrychlení g dle vztahu:

$$g = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l}{T^2}$$

Komentujte závislost periody na délce závěsu.

Určení tíhového zrychlení z periody kmitu matematického kyvadla

Vítězslav Nečas

Výsledky ad 1)

a výpočty $m_1 = 100 \text{ g}$, $T_1 = 1,377 \text{ s}$

$m_2 = 200 \text{ g}$, $T_2 = 1,377 \text{ s}$

ad 2)

$l_1 = 0,47 \text{ m}$, $T_1 = 1,377 \text{ s}$, $g_1 = 9,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$l_2 = 0,30 \text{ m}$, $T_2 = 1,097 \text{ s}$, $g_2 = 9,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Druhá (jednodušší, avšak méně didaktická) možnost způsobu určení periody je, že provedeme následující nastavení:

Experiment → **Nastavení senzorů** – tlačítkem *DiG/Sonic1* vybereme volbu aktuální kalibrace *Pendulum Timing*. Dostaneme tak přímo tabulku, kde hodnotu periody pouze přečteme:

Poslední měření			
	čas (s)	GateState	Period (s)
1	0,708886	1	
2	0,794555	0	
3	1,162868	1	
4	1,248340	0	
5	2,086700	1	1,377814
6	2,172681	0	
7	2,540109	1	
8	2,625841	0	
9	3,464468	1	1,377768
10	3,550649	0	
11	3,917279	1	
12	4,003266	0	
13	4,842256	1	1,377788
14	4,928687	0	
15	5,294438	1	
16	5,380662	0	
17	6,220026	1	1,377770
18	6,306688	0	
19	6,671678	1	
20	6,758115	0	

Hlavní nepřesnosti se dopouštíme při měření délky závěsu (nejde o hmotný bod na nehmotném závěsu). Je třeba studenty upozornit na tuto nepřesnost a současně zdůraznit, že l není délka provázku, ale vzdálenost od bodu závěsu po těžiště zavěšeného tělesa.

Tímto měřením lze dosáhnout velmi přesných hodnot tíhového zrychlení.

Studium kmitavého pohybu a určení setrvačné hmotnosti tělesa

Eva Bochníčková

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje získaná data formou grafu

Klíčová slova: kmitání, tuhost pružiny, perioda

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

- Úkol**
1. Sledujte, jak souvisí rychlost a zrychlení při harmonickém kmitání s okamžitou výchylkou.
 2. Změřte tuhost pružiny.
 3. Z časové závislosti vratné síly při kmitání určete hmotnost tělesa, porovnejte ji s hodnotou získanou vážením a výsledky diskutujte.

Pomůcky Pružina, závaží, stativ, LabQuest, siloměr Vernier, sonar Go!Motion, digitální váha

Teoretický úvod Mechanický oscilátor může být realizován tělesem o hmotnosti m zavěšeným na pružině, které vykonává kmitavý pohyb kolem rovnovážné polohy. Hlavními charakteristikami tohoto typu pohybu jsou

perioda T (s) – doba trvání jednoho kmitu,

frekvence f (Hz) – počet kmitů za 1 s,

okamžitá výchylka y (m) – vzdálenost od rovnovážné polohy,

amplituda y_m (m) – maximální výchylka.

Pro periodu tohoto oscilátoru platí vztah $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$. Veličina k v této rovnici je tzv. tuhost pružiny. Přitom platí, že tuhost pružiny je tím větší, čím větší sílu F potřebujeme k jejímu prodloužení o danou délku Δl . Platí tedy vztah $k = \frac{F}{\Delta l}$.

Po protažení pružiny a následném uvolnění způsobí síla pružnosti harmonický kmitavý pohyb tělesa. Jedná se o pohyb nerovnoměrný.

Pro úhlovou frekvenci ω_0 vlastního kmitání lze odvodit vztah $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ a odtud hmotnost tělesa $m = \frac{k}{\omega_0^2}$.

Vypracování Úkol 1.

Kinematika kmitavého pohybu

Sledujte, jak souvisí rychlost a zrychlení při harmonickém kmitání s okamžitou výchylkou.

Postup:

1. Na stojan upevníme siloměr a na jeho háček zavěsíme pružinu se závažím.
2. Přesně pod závaží položíme sonar Go!Motion. Výšku stojanu upravíme tak, aby minimální vzdálenost závaží od mřížky sonaru neklesla při kmitání pod 15 cm. Sonar přepneme do režimu „voziček“ a zapojíme jej do USB portu počítače.
3. Spustíme program Logger Pro. Měřit budeme automaticky nastavenou časovou závislost $y = f(t)$ a $v = f(t)$.
4. Pro sledování závislosti zrychlení na čase zvolíme nabídku **Vložit** → **Graf**, a tím umístíme na plochu graf $a = f(t)$. Tlačítkem **Ctrl+R** se grafy automaticky uspořádají do okna.
5. Po ustálení závaží v rovnovážné poloze vynulujeme čidlo (**Experiment** → **Nulovat...**). Pak rozkmitáme pružinu a spustíme **Sběr dat**. Na pracovní ploše získáme současně všechny potřebné závislosti a provedeme vyhodnocení.

Studium kmitavého pohybu a určení setrvačné hmotnosti tělesa



Otázky:

- Jakých hodnot nabývají rychlost a zrychlení v okamžiku, kdy je vzdálenost od rovnovážné polohy maximální?
- Jakých hodnot nabývají rychlost a zrychlení v okamžiku, kdy je těleso v rovnovážné poloze?

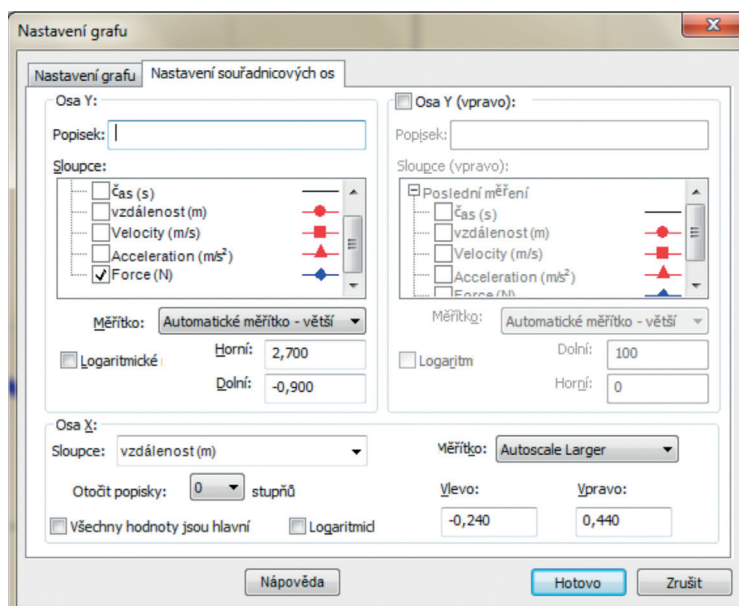
Úkol 2.

Dynamika kmitavého pohybu

Určete tuhost použité pružiny.

Postup:

- K LabQuestu připojíme siloměr a propojíme LabQuest s počítačem. Sonar zůstává stále připojen. Na siloměru nastavíme rozsah 10 N.



Studium kmitavého pohybu a určení setrvačné hmotnosti tělesa

úloha
31

- Nastavíme grafický výstup pro závislost $F = f(y)$: v menu **Nastavení** → **Nastavení grafu** na záložce **Nastavení souřadnicových os** v položce **Osa Y** zatrhneme veličinu **Síla** (Force) a v položce **Osa X** vybereme veličinu **vzdálenost (m)**.
- Před začátkem měření vynulujeme obě čidla.
- Daty proložíme přímkou (**Analýza** → **Proložit přímkou**) a odečteme její směrnici, jejíž velikost je rovna tuhosti pružiny.

$k =$

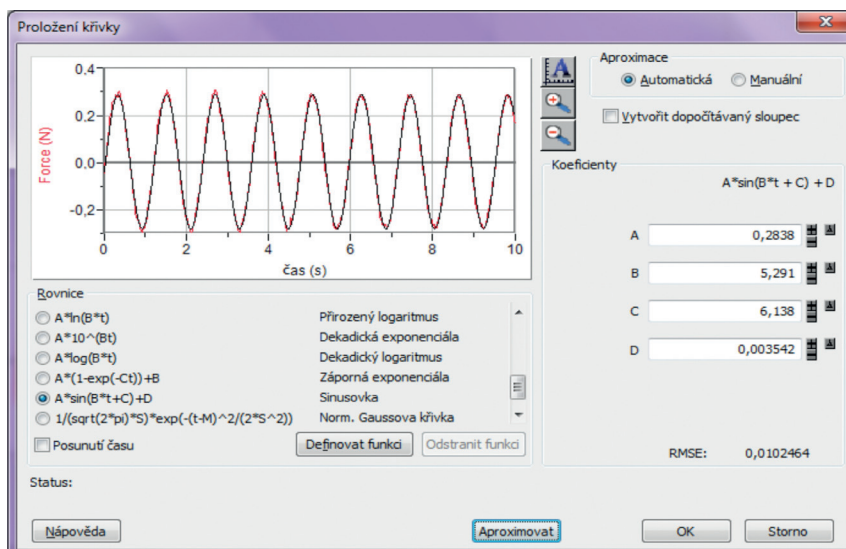
Úkol 3.

Dynamické měření hmotnosti kmitajícího tělesa

Z časové závislosti vratné síly při kmitání určete hmotnost tělesa, porovnejte ji s hodnotou získanou vážením a výsledky diskutujte.

Postup:

- Odpojíme sonar od počítače, zůstává připojen jen LabQuest se siloměrem.
- Závaží opět zastavíme v rovnovážné poloze a siloměr vynulujeme.
- Ponecháme automaticky přednastavenou časovou závislost. Po dobu 10 s měříme závislost síly na čase.
- Po ukončení měření proložíme získanými daty křivku (**Analýza** → **Proložit křivku**) – viz obrázek.



Srovnáním rovnice pro harmonické kmitání $y = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ s rovnicí obecné sinusoidy vyplývá, že koeficient B se rovná úhlové frekvenci kmitání.

$\omega =$

Dopočítáme hmotnost tělesa m_K .

$m_K =$

- Na vahách určíme hmotnost tělesa m_V . S velkou pravděpodobností hmotnost m_K získaná pomocí kmitů se liší od hmotnosti m_V získané vážením. Proč?

Teoretický vztah pro úhlovou frekvenci byl odvozen za předpokladu, že pružina má nulovou hmotnost. Toto však nelze nikdy splnit. Ve skutečnosti spolu se závažím kmitá i sama pružina, což při dynamickém měření hmotnosti kmitajícího tělesa je zdrojem systematické chyby. Hmotnost tělesa určená touto dynamickou metodou proto vždy vychází větší než hmotnost skutečná. Ověřte toto tvrzení.

Studium kmitavého pohybu a určení setrvačné hmotnosti tělesa

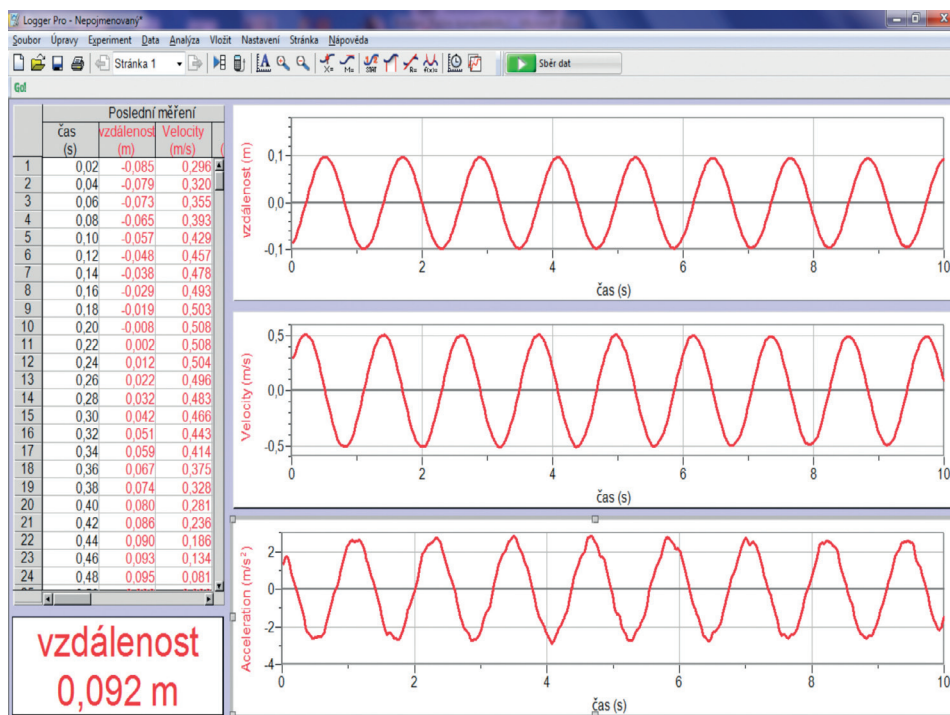
Eva Bochníčková

Úkol 1.

Je vhodné zvolit

- **pružina** – malá tuhost, závity se nedotýkají,
- **závaží** – nepřiliš malé, hmotnost přibližně 200 g (čím větší tuhost, tím těžší závaží),
- **pohyb** – amplituda cca 20 cm, rovnovážná poloha 50 cm nad sonarem.

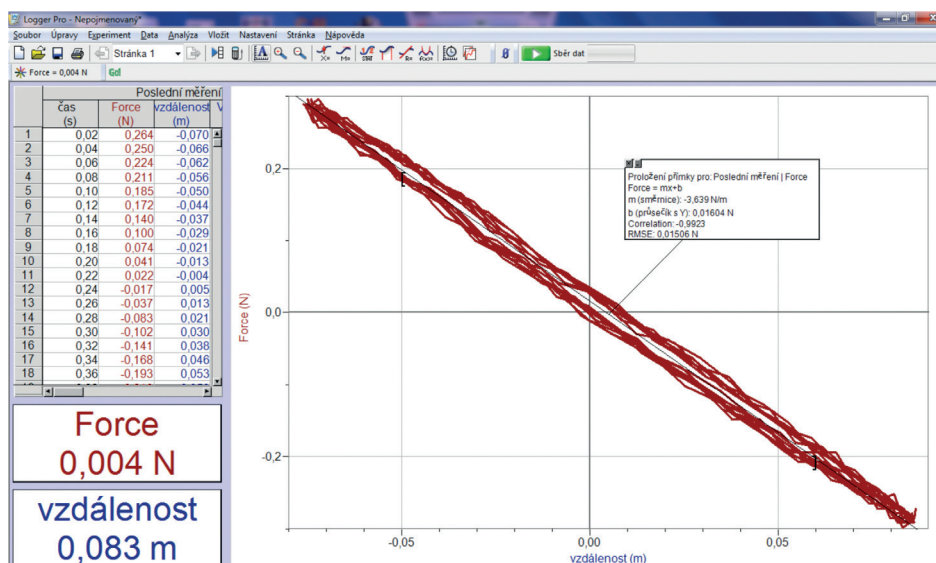
Pozor na předměty, které by mohly odrážet zvukové vlny – odstranit všechny překážky z dosahu kužele sonaru.



Pro diskusi tohoto měření lze s výhodou zvolit čas 2 s, kdy se těleso nachází v rovnovážné poloze a tomuto odpovídá amplituda velikosti rychlosti a nulová hodnota zrychlení. Podobný odečet lze provést pro amplitudu výchylky.

Studium kmitavého pohybu a určení setrvačné hmotnosti tělesa

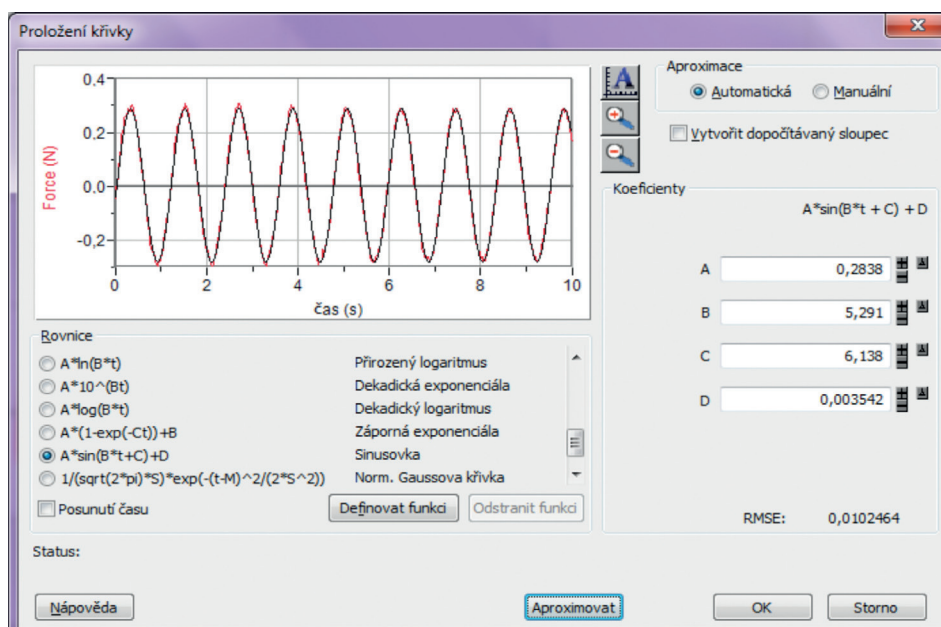
Úkol 2.



Tuhost pružiny je dána směrnici $k = 3,639 \text{ N/m}$. Záporné znaménko souvisí s uspořádáním experimentu (sonar dole, siloměr nahoře), kdy při maximální síle je vzdálenost od sonaru minimální.

(Chceme-li mít kladnou sílu pro kladnou výchylku v menu **Experiment**→**Nastavení senzorů**, vybereme **Go!Motion** a po kliknutí na ikonu **Go!** zvolíme **Opačný směr**.)

Úkol 3.



Úhlová frekvence $\omega = 5,291 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Hmotnost $m_k = 130 \text{ g}$

Hmotnost $m_v = 102 \text{ g}$

Skutečně se tedy projevil nesoulad ve výsledcích a hmotnost tělesa určená dynamickou metodou vyšla větší než hmotnost skutečná. Hmotnost pružiny m_p byla 48 g, což je přibližně polovina hmotnosti tělesa, a nelze ji tedy zanedbat. Tato metoda proto není příliš vhodná pro určování hmotnosti těles. Výsledek můžeme využít a studentům ukázat, že velké množství vztahů mezi fyzikálními veličinami jsou jen aproximace, které nám sice pomáhají pochopit fyzikální podstatu sledovaného děje, ale reálná situace je často mnohem složitější.

Závislost hladiny intenzity zvuku na počtu zdrojů zvuku

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření. Pracuje s grafickým výstupem experimentu a vyvodí závěr

Klíčová slova: zvuk, akustika, hlasitost, hladina intenzity zvuku, logaritmus

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

15 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Určete teoreticky i experimentem, jak závisí hladina intenzity zvuku na počtu zdrojů zvuku.

Pomůcky Hlukoměr Vernier, počítač s programem Logger Pro, jako zdroj zvuku poslouží žáci ve třídě

Teoretický úvod Hladina intenzity zvuku je definována vztahem $L = \log \frac{I}{I_0}$, kde L je hladina intenzity zvuku v belech, I je intenzita zvuku ve W/m^2 , I_0 je vztažná (referenční) intenzita zvuku, v našem případě práh slyšení, tedy $10^{-12} W/m^2$.

Dvojnásobné intenzitě zvuku tedy odpovídá zvýšení hladiny intenzity zvuku o 3 dB:

$$L_2 = \log \frac{2I}{I_0} = \log 2 + \log \frac{I}{I_0} = 0,3 + L.$$

Po každém zdvojnásobení počtu zdrojů zvuku (jsou-li stejně hlasité, na stejném místě, nedochází k interferencím apod.) by tedy měla hladina intenzity zvuku vzrůst o 0,3 B (3 decibely). Nárůst o 6 decibelů odpovídá čtyřnásobnému zvýšení počtu zdrojů zvuku.

Vyplývá z toho, že čím hlasitější je zvuk, tím obtížnější je dosáhnout dalšího zvýšení hlasitosti.

Vypracování Necháme hlasitě křičet nejprve polovinu třídy, potom celou třídu. Protože každý žák křičí jinak hlasitě, je potřeba mít žáků co nejvíce, aby se rozdíly pokud možno co nejvíce vyrovnaly.

Intenzita zvuku závisí nejen na počtu zdrojů, ale také na vzdálenosti od těchto zdrojů. Nechte žáky, aby vymysleli způsob, jak toto co nejvíce respektovat.

Při malém počtu žáků dobře funguje nechat je shluknout (namačkat) co nejblíže k sobě a jít naopak co nejdále od nich, aby byly relativní změny vzdálenosti jednotlivých žáků vůči hlukoměru co nejmenší.

Pokud je žáků plná třída, můžete je nechat sedět v lavicích, ale v takovém případě křičí-li jen polovina třídy, nedělte ji na levou a pravou (a už vůbec ne přední a zadní). Lepší je nechat mlčet každého druhého žáka. Tím je při větším počtu žáků zajištěno, že průměrná vzdálenost zdrojů hluku je v obou případech stejná.

Často se stává, že žáci nekřičí, protože se stydí, případně nevědí, co mají křičet. Osvědčilo se:

a) explicitně jim dovolit, že mohou dělat rámus, že to je dokonce žádoucí,

b) říct jim, aby křičeli „uáááá“ a předvést jim to (jít příkladem).

Při samotném provedení ale učitel nekřičí, protože je mnohem blíže mikrofonu než žáci (ledaže by mezi žáky šel).

Současně doporučuji domluvit s žáky, aby křičeli, když má učitel zvednutou ruku. Jakmile je ruka dole, zase zmlknou. Nenechte žáky křičet déle než několik málo sekund, aby si nepoškodili hlasivky.



Závislost hladiny intenzity zvuku na počtu zdrojů zvuku

Program Vernier Logger Pro nastavíme tak, aby měřil desetkrát za sekundu a hodnoty zobrazoval po celou dobu do grafu. Je pak snadné odečíst dosažené maximum.

Obvykle naměřené hodnoty velmi dobře souhlasí s teoretickou předpovědí, tedy že celá třída udělá asi o 3 dB větší hluk. Ne vždy je to ale přesně hodnota 3. Podstatné je, že to není třeba 10 a už vůbec ne dvojnásobek původní hodnoty. Typicky se naměřený hluk pohybuje mezi 100 a 110 dB. Žákům tak můžeme zážitkovou formou přiblížit podstatu logaritmické stupnice.

Závěr Každé zdvojnásobení akustického výkonu způsobí nárůst hladiny intenzity zvuku asi o 3 dB.

Poznámky Chceme-li měřit přesněji, například v rámci laboratorních prací, můžeme generovat zvuk pomocí notebooků. Doporučuji pouštět náhodný šum (přiložený soubor *šum.wav*), aby v místnosti nevznikaly uzly a kmitny stojatého vlnění.

Vezmeme si například 3 notebooky, umístíme je těsně k sobě na jeden konec místnosti. Na druhý konec umístíme hlukoměr.

Nejprve proměříme každý notebook samostatně, pak jednotlivé dvojice, nakonec všechny tři dohromady.

Jak se mění se vzdáleností hladina intenzity zvuku

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření

Klíčová slova: zvuk, akustika, intenzita zvuku, hladina intenzity zvuku, logaritmus, povrch koule

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

45 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Prozkoumejte souvislost mezi intenzitou zvuku a hlasitostí vnímanou uchem (tj. hladinou intenzity zvuku). Odpovězte na otázky, odpovědi pak ověřte experimentem.

1. Pokud je v určitém místě intenzita zvuku 10^{-7} W/m^2 , jaká je hladina intenzity zvuku?
2. Jaké intenzitě zvuku odpovídá hladina intenzity 45 dB?
3. Může být hladina intenzity zvuku záporná? Vysvětlete svou úvahu.
4. Dejme tomu, že reproduktor s akustickým výkonem 20 W vysílá do všech směrů rovnoměrně. Určete intenzitu zvuku ve vzdálenosti a) 1 m, b) 2 m, c) 4 m, d) 8 m. Jakým způsobem se změní *intenzita zvuku*, když se vzdálenost zdvojnásobí?
5. Jakým způsobem se změní *hladina intenzity zvuku*, když se vzdálenost zdvojnásobí?
6. Pomocí hlukoměru Vernier ověřte výsledek 5. úkolu. Proč je lepší použít šum místo konkrétního tónu?

Pomůcky Hlukoměr Vernier, tónový generátor s reproduktorem, délkové měřidlo, případně počítač se souborem *šum.wav* ke generování šumu

Teoretický úvod Měřítkem akustické energie, která dopadne na jednotku plochy za určitý čas (například na ušní bubínek za jednu sekundu), je *intenzita zvuku* (jednotka W/m^2).

Lidské ucho je schopno vnímat obrovský rozsah intenzit zvuku: zhruba od 10^{-12} W/m^2 (tzv. *práh slyšení*) až po 1 W/m^2 (tzv. *práh bolesti*). Podíl nejvyšší a nejnižší intenzity je tedy $10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$.

Lidské ucho ale nevnímá zvuk lineárně, nýbrž logaritmicky – tzv. Weberův-Fechnerův zákon. Pro měření hlasitosti zvuku se proto zavádí veličina *hladina intenzity zvuku* L , jejíž jednotkou je *bel*.

Platí $L = \log \frac{I}{I_0}$, kde

L je hladina intenzity zvuku v belech B,

I je intenzita zvuku ve W/m^2 ,

I_0 je vztažná (referenční) intenzita zvuku, v našem případě práh slyšení, tedy 10^{-12} W/m^2 .

Obvykle se místo belů používají decibely ($1 \text{ B} = 10 \text{ dB}$, stejně jako třeba jeden metr je deset decimetrů).

Zvýšení hladiny intenzity zvuku o 1 bel tedy odpovídá desetinásobnému zvýšení intenzity zvuku. Při stonásobném zvýšení intenzity zvuku se hladina intenzity zvuku zvýší pouze o 2 bely. Pokles intenzity zvuku na polovinu odpovídá snížení hladiny intenzity zvuku zhruba o 3 decibely, protože $0,5 = 10^{-0,3}$.

Vypracování Učitel může některé či všechny úkoly podle potřeby postupně zařazovat do hodiny a nechat žáky, aby sami či ve skupinkách hledali řešení, případně může řešení sám předvést u tabule.





Jak se mění se vzdáleností hladina intenzity zvuku

1. Pokud je v určitém místě intenzita zvuku 10^{-7} W/m^2 , jaká je hladina intenzity zvuku?

$$L = 10 \cdot \log \frac{10^{-7}}{10^{-12}} \text{ dB} = 50 \text{ dB}$$

2. Jaké intenzitě zvuku odpovídá hladina intenzity 45 dB?

$$45 \text{ dB} = 10 \cdot \log \frac{x}{10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}} \text{ dB}$$

$$10^{4,5} \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = x$$

$$x = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

3. Může být hladina intenzity zvuku záporná? Vysvětlete svou úvahu.

Ano, může být záporná. Pokud je intenzita zvuku například stokrát menší než práh slyšení, bude hladina intenzity zvuku -20 dB .

4. Dejme tomu, že reproduktor s akustickým výkonem 20 W vysílá do všech směrů rovnoměrně. Určete intenzitu zvuku ve vzdálenosti a) 1 m , b) 2 m , c) 4 m , d) 8 m . Jakým způsobem se změní intenzita zvuku, když se vzdálenost zdvojnásobí?

Akustický výkon se rovnoměrně rozkládá na plochu pomyslné koule s příslušným poloměrem (1 m , 2 m atd.).

$$I = \frac{P}{S} = \frac{20 \text{ W}}{4\pi R^2}$$

$R \text{ (m)}$	$I \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2})$	$L \text{ (dB)}$
1	1,6	122
2	0,40	116
4	0,10	110
8	0,025	104

Protože celkový výkon (20 W) se rozkládá na plochu koule, jejíž povrch roste s druhou mocninou poloměru (vzdálenosti od zdroje), musí nutně intenzita zvuku při dvojnásobném zvětšení vzdálenosti klesnout čtyřikrát, jak ukazuje tabulka s výpočty.

5. Jakým způsobem se změní hladina intenzity zvuku, když se vzdálenost zdvojnásobí?

Zdvojnásobení vzdálenosti způsobí pokles intenzity na čtvrtinu původní hodnoty. Proto hladina intenzity zvuku poklesne o 6 dB .

$$\Delta L = 10 \cdot \log \frac{I_{\text{nová}}}{I_{\text{původní}}} \text{ dB} = 10 \cdot \log 0,25 \text{ dB} = -6 \text{ dB}$$

6. Pomocí hlukoměru Vernier ověřte výsledek 5. úkolu. Proč je lepší použít šum místo konkrétního tónu?

Jako zdroj hluku můžete použít soubor *šum.wav* nebo jej generovat v programu Audacity. Jedná se o náhodné šumění, nikoliv konkrétní tón.

Stoprocentní shodu spíše nelze očekávat kvůli odrazům, okolním zdrojům zvuku apod., nicméně experiment by měl napovědět, zda výsledek 5. úkolu je spíše úplně mimo realitu, nebo naopak rozumný.

Jak se mění se vzdáleností hladina intenzity zvuku

Pokud použijeme v místnosti tón a ne šum, vzniká odrazem a interferencí stojaté vlnění, takže na různých místech místnosti jsou pak uzly a kmitny, což může ovlivnit výsledek měření podstatně více než vzdálenost od zdroje. Náhodný šum vzniká stojatého vlnění vylučuje.

Typické naměřené hodnoty ukazuje tabulka. Je vidět, že shoda s teorií (přesně 6 dB) není dokonalá, na druhou stranu i tak odpovídá velice dobře.

R (délka boty)	L (dB)
2	68,9
4	62,6
8	57,3
16	52,2

Závěr Hlavní závěry této aktivity jsou:

1. rozsah slyšení člověka je obrovský, proto se zavádí logaritmická stupnice,
2. intenzita zvuku klesá s druhou mocninou vzdálenosti,
3. vzdálení se od zdroje na dvojnásobek způsobí pokles hladiny intenzity zvuku asi o 6 dB,
4. měření celkem dobře potvrzuje závěr v předchozím bodě,
5. hladina intenzity zvuku může být i záporná.

Voltampérová charakteristika spotřebiče

Eva Bochníčková

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje získaná data formou grafu; porovná získanou závislost s teoretickou předpovědí a vysvětlí odlišnosti

Klíčová slova: Ohmův zákon, voltampérová charakteristika, směrnice přímky

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

Úkol Naměřte voltampérovou charakteristiku rezistoru a žárovky, tedy graf závislosti $I = f(U)$.

Porovnejte získané grafy a vysvětlete případné rozdíly mezi nimi.

Využitím VA charakteristiky rezistoru určete jeho odpor a srovnajte tuto hodnotu s hodnotou uvedenou výrobcem.

Pomůcky Zdroj stejnosměrného napětí 6 V, LabQuest spojený s počítačem, ampérmetr a voltmetr Vernier, reostat, vodiče, rezistor, žárovka s wolframovým vláknem (6 V)

Teoretický úvod Voltampérová (VA) charakteristika je závislost proudu procházejícího prvkem elektrického obvodu na napětí, které naměříme mezi konci tohoto prvku. Její průběh napoví mnohé o vlastnostech této součástky a jejím chování v elektrických obvodech. V našem případě bude zkoumaným prvkem rezistor a žárovka.

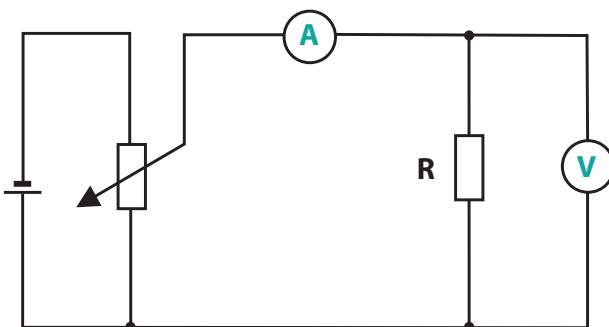
a) rezistor

Závislost proudu na napětí vystihuje Ohmův zákon $I = \frac{U}{R}$. Tomu také odpovídá lineární průběh VA charakteristiky za předpokladu, že se během měření nemění výrazně teplota. Odpor rezistoru se rovná převrácené hodnotě směrnice VA charakteristiky.

b) žárovka

Výše zmíněný předpoklad u žárovky již splněn není, což se projeví na průběhu VA charakteristiky.

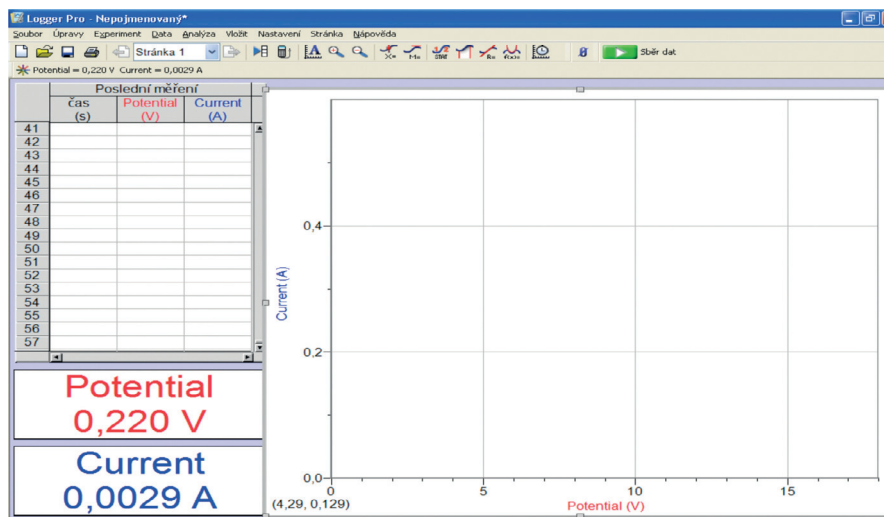
Vypracování 1. Sestavíme obvod dle schématu



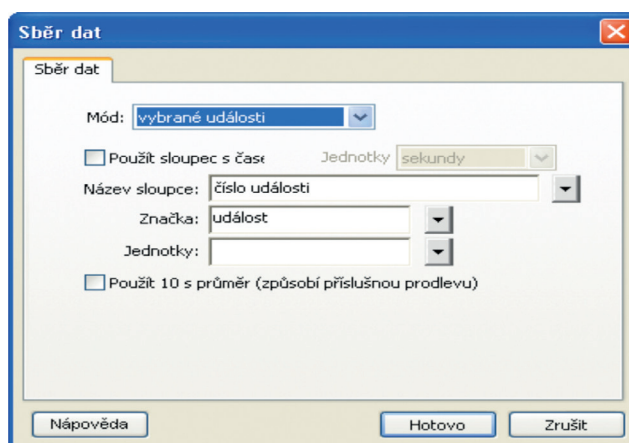
2. Jako ampérmetr a voltmetr použijeme moduly Vernier, které připojíme přes LabQuest k počítači.

3. V programu Logger Pro upravíme grafický výstup. Odstraníme graf $U = f(t)$ a ponecháme graf $I = f(t)$, který dále upravíme na požadovanou VA charakteristiku, tedy $I = f(U)$.

Voltampérová charakteristika spotřebiče



4. V nabídce **Experiment** → **Sběr dat** zvolíme **Vybrané události**.



Sběr dat

Mód: vybrané události

☐ Použít sloupec s časem Jednotky: sekundy

Název sloupce: číslo události

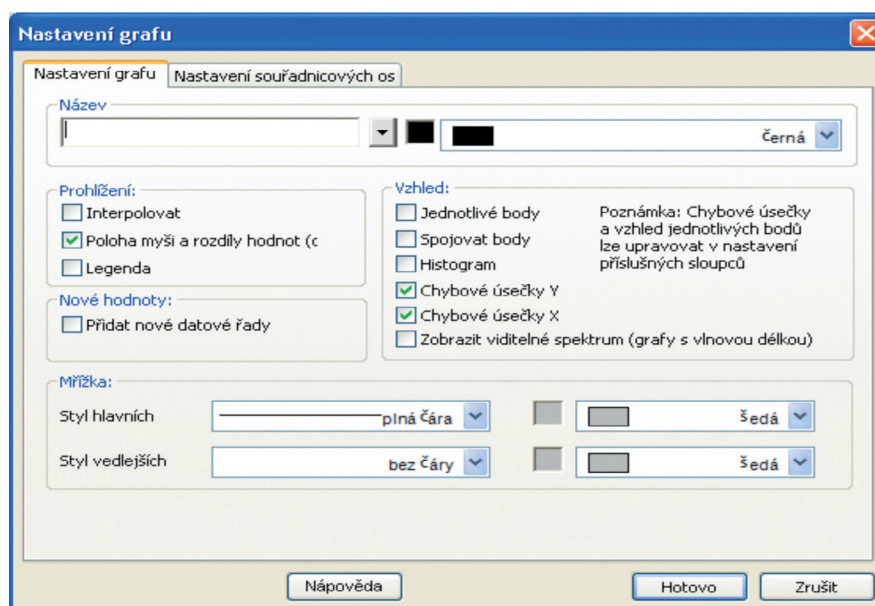
Značka: událost

Jednotky:

☐ Použít 10 s průměr (způsobí příslušnou prodlevu)

Nápověda Hotovo Zrušit

5. V **Nastavení grafu** zrušíme možnost **Spojovat body**.



Nastavení grafu

Název

Černá

Prohlížení:

☐ Interpolovat

☒ Poloha myši a rozdíly hodnot (c)

☐ Legenda

Nové hodnoty:

☐ Přidat nové datové řady

Vzhled:

☐ Jednotlivé body

☐ Spojuvat body

☐ Histogram

☒ Chybové úsečky Y

☒ Chybové úsečky X

☐ Zobrazit viditelné spektrum (grafy s vlnovou délkou)

Mřížka:

Styl hlavních: plná čára

Styl vedlejších: bez čáry

šedá

šedá

Nápověda Hotovo Zrušit

6. Jezdce potenciometru nastavíme tak, aby na spotřebiči bylo minimální napětí, a vynulujeme ampérmetr a voltmetr.

Voltampérová charakteristika spotřebiče

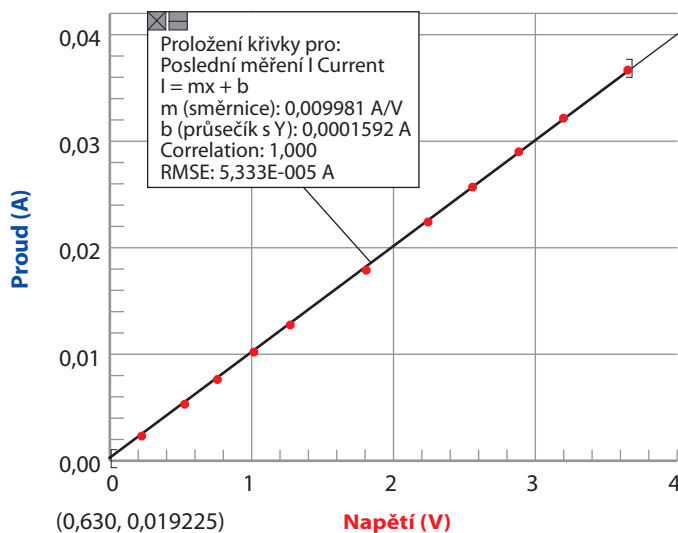
7. Spustíme vlastní měření. Posunem jezdce postupně zvyšujeme napětí a vždy tlačítkem **Zachovat** ukládáme aktuální dvojici hodnot proudu a napětí, která se zobrazí v grafu.
8. Dbáme na to, aby hodnoty měřených veličin nepřesáhly rozsahy obou modulů, tedy 6 V pro voltmetr a 600 mA pro ampérmetr.
9. Po proměření rezistoru proložíme body přímkou a ze směrnice určíme hodnotu elektrického odporu daného rezistoru.
10. U žárovky diskutujeme průběh její VA charakteristiky.

Závěr Získané výsledky komentujte, posuďte míru shody v určení odporu rezistoru. Diskutujte rozdílnosti obou VA charakteristik a závěry odůvodněte.

Voltampérová charakteristika spotřebiče

Eva Bochníčková

Výsledky a) rezistor

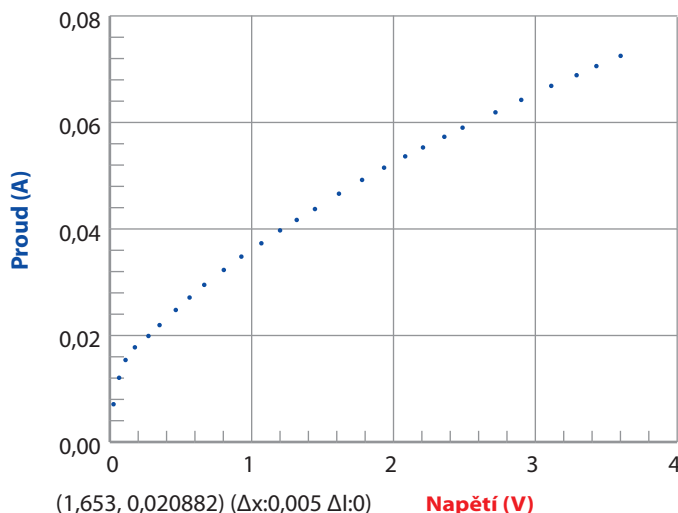


Pro měření byl použit rezistor o odporu 100 Ω . Směrnice přímky je rovna 0,009981 Ω^{-1} a odtud hodnota odporu $R = 100,2 \Omega$. Metoda tedy dává výbornou shodu.

Po vykreslení grafu $I = f(U)$ je možno jednoduchým prohozením veličin na osách získat graf $U = f(I)$, kdy směrnice proložené přímky je přímo hodnotou hledaného odporu.

Po ověření platnosti Ohmova zákona je možno provést měření ještě jednou s rezistorem, jehož odpor není znám, a takto získanou hodnotu ověřit měřením na ohmmetru.

b) žárovka



Průběh VA charakteristiky žárovky má nelineární průběh. Hodnota odporu není konstantní, ale mění se v závislosti na proudu, který žárovkou prochází. Průchodem proudem se postupně zahřívá vlákno žárovky, tím se zvyšuje jeho odpor.

Magnetické pole cívky

Eva Bochníčková

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje získaná data formou grafu, porovná získanou závislost s teoretickou předpovědí a vyhodnotí vliv různých parametrů na měřenou veličinu

Klíčová slova: magnetické pole, cívka, magnetická indukce, teslametr, elektrický proud

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

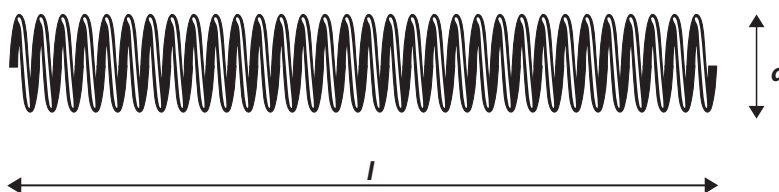
střední

Úkol Určete, jak závisí magnetické pole v dutině cívky na

- velikosti proudu,
- počtu závitů cívky,
- přítomnosti jádra cívky.

Pomůcky Zdroj stejnosměrného napětí, reostat, cívky s různým počtem závitů, jádra cívek, vodiče, teslametr a ampérmetr Vernier, LabQuest

Teoretický úvod Solenoid je dlouhá válcová cívka s velkým počtem závitů, jejichž průměr je mnohem menší než délka cívky ($d \ll l$).



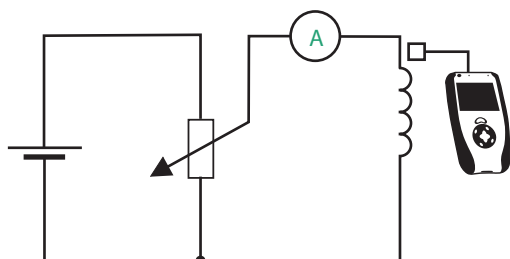
Prochází-li cívkou elektrický proud, cívka se stává zdrojem magnetického pole. Je-li cívka ve tvaru solenoidu, vzniká v dutině cívky přibližně homogenní pole a pro velikost magnetické indukce lze psát

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$
, kde μ_0 je relativní permeabilita vakua, resp. vzduchu, N počet závitů, l délka cívky a I elektrický proud.

Orientaci magnetických indukčních čar a tedy i směr vektoru magnetické indukce lze určit pomocí Ampérova pravidla pravé ruky.

Velikost magnetické indukce lze zvýšit vsunutím jádra.

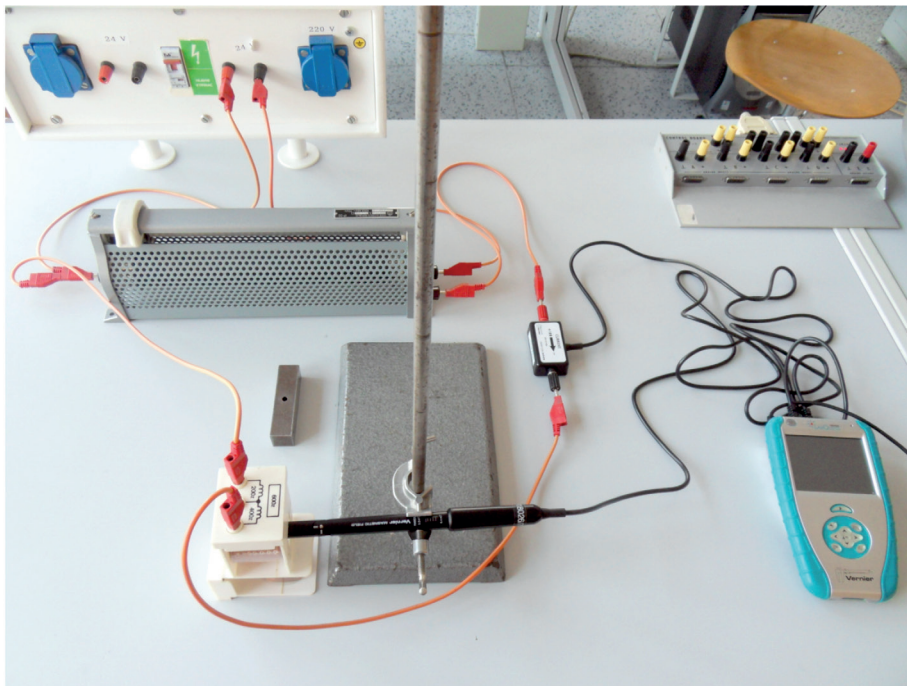
Vypracování Zapojíme obvod dle schématu.



Teslametr upevníme do stojanu a zasuneme jej těsně za okraj dutiny cívky tak, aby zbyl prostor pro zasunutí jádra.



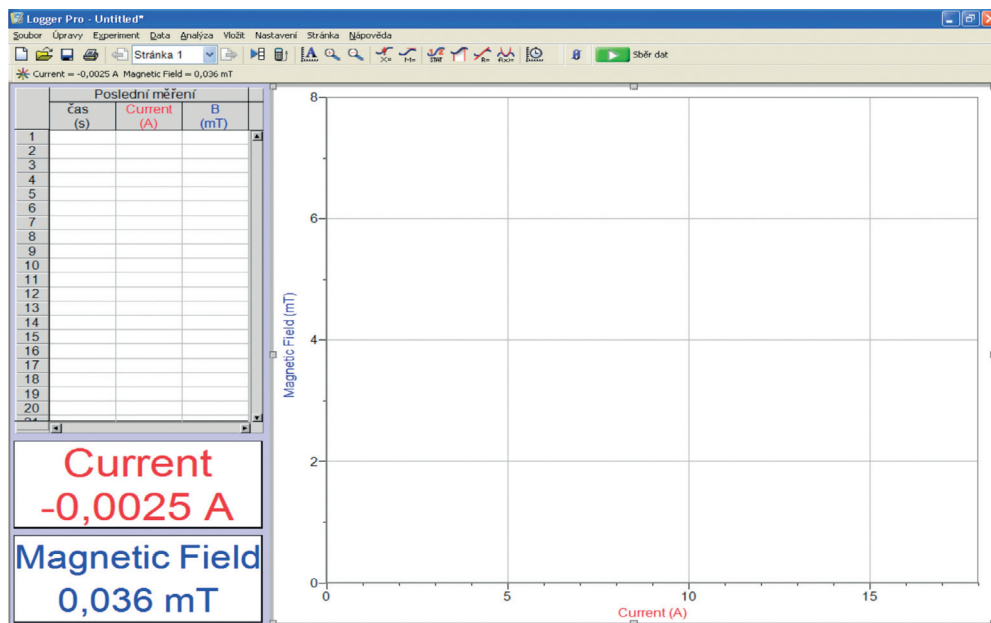
Magnetické pole cívky



Na teslametru nastavíme rozsah 6,4 mT. Zapneme LabQuest, připojíme k němu teslametr a ampérmetr a LabQuest připojíme k počítači.

Spustíme program Logger Pro. Pracovní plocha obsahuje aktivní okno pro sledování aktuálních hodnot z teslametru, ampérmetru a dále grafy $B = f(t)$ a $I = f(t)$. Pokud teslametr ukazuje záporné hodnoty, otočíme cívku nebo změníme polaritu přiloženého napětí.

Upravíme zobrazení: graf $I = f(t)$ vyjmeme a vytvoříme graf $B = f(I)$. Dále upravíme rozsah na obou osách – volíme jen 1. kvadrant.



V nabídce **Experiment** → **Sběr dat** zvolíme **Vybrané události**.

Sběr dat

Mód: vybrané události

☐ Použít sloupec s časem Jednotky: sekundy

Název sloupce: číslo události

Značka: událost

Jednotky:

☐ Použít 10 s průměr (způsobí příslušnou prodlevu)

Nápověda Hotovo Zrušit

V nabídce **Nastavení grafu** zrušíme možnost **Spojovat body**.

Před vlastním měřením teslametr vynulujeme, abychom eliminovali vliv zemského magnetického pole (**Experiment**→**Nulovat...**).

Jezdce potenciometru nastavíme tak, aby na cívce bylo nulové napětí, a vynulujeme ampérmetr.

Nulování senzoru - kalibrace na nulu

Vyberte jeden či více senzorů ze seznamu. Kalibrace takto vybraných senzorů bude upravena tak, aby jejich současný stav odpovídal nulové hodnotě.

☒ LabQuest: 1 CH3: Current Probe

☒ LabQuest: 1 CH4: Magnetic Field

Nápověda OK Storno

Spustíme vlastní měření (**Sběr dat**). Posunem jezdce postupně zvyšujeme napětí a vždy tlačítkem **Zachovat** ukládáme aktuální dvojici hodnot proudu a magnetické indukce, která se zobrazí v grafu.

Dbáme na to, aby hodnoty nepřesáhly rozsah obou modulů, tedy 6,4 mT pro teslametr a 600 mA pro ampérmetr.

Pro zachování stávajícího grafu zvolíme **Experiment**→**Uchovat poslední měření**. Měření opakujeme pro danou cívku, tentokrát s jádrem.

Postup opakujeme pro dvě další cívky s jiným počtem závitů.

Závěr Na základě získaných grafů vyhodnoťte vliv počtu závitů, velikosti proudu a přítomnosti jádra na velikost magnetické indukce.

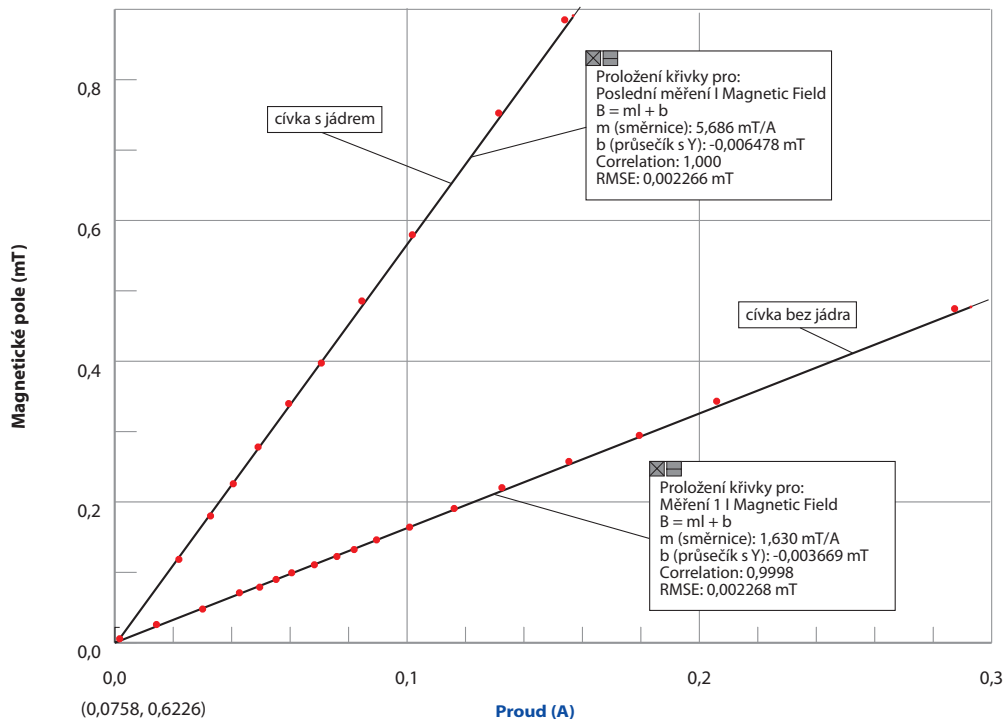
Elektromagnetické jevy

Magnetické pole cívky

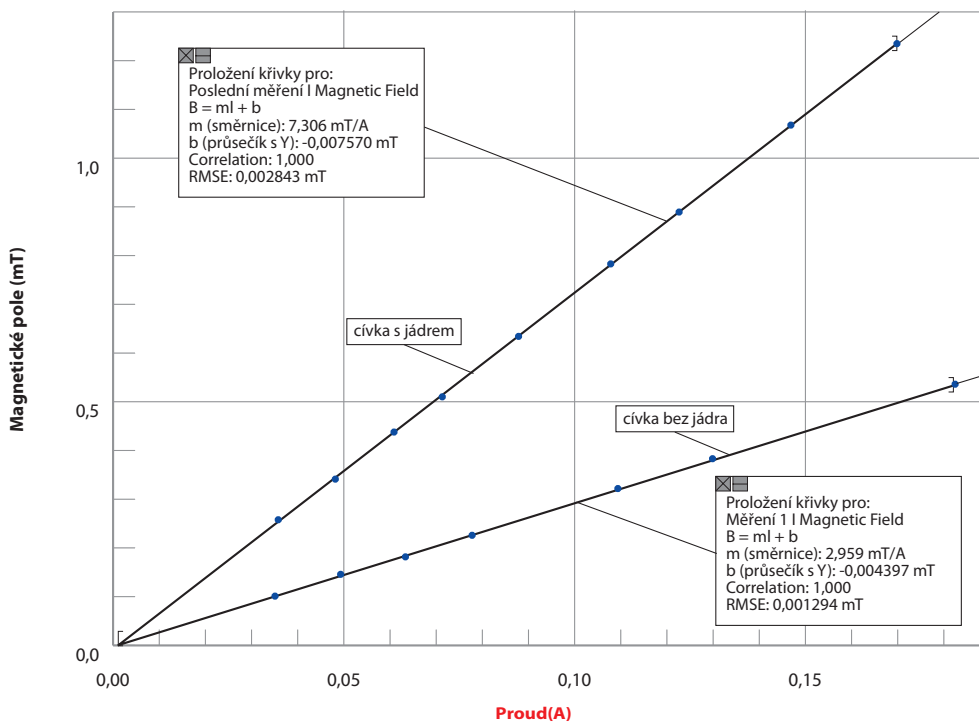
Eva Bochníčková

Použijeme-li cívku o 600 závitů, neměl by proud přesáhnout 200 mA. V opačném případě dojde po vložení jádra k saturaci teslametru a závislosti $B = f(I)$ již nebudou lineární.

Ukázka výsledků a) cívka 200 závitů



b) cívka 300 závitů



Elektrická energie

Jouleův jev

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák měří vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření, aplikuje s porozuměním termodynamické zákony při řešení konkrétních fyzikálních úloh

Klíčová slova: teplo, elektrická energie, Jouleův jev, elektrický proud, elektrický odpor

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

90 min

Obtížnost:

střední

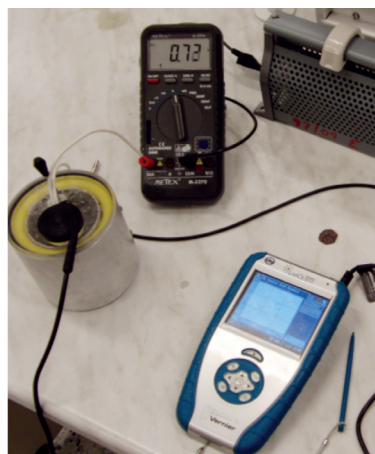
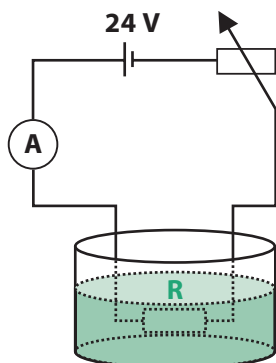
Úkol Na základě experimentů vyvodte matematický vztah pro Jouleovo teplo.

Pomůcky Směšovací kalorimetr, rezistor o odporu $10\ \Omega$, stejnosměrný zdroj $24\ V$, reostat $105\ \Omega$ ($I_{\max} = 1,6\ A$), multimetr, bodové teplotní čidlo Vernier, digitální váha nebo odměrný válec, vodiče, počítač, Logger Pro, Excel

Teoretický úvod Prochází-li elektrický proud jakoukoli součástí, tato součástka se zahřívá. Například vlákno žárovky se průchodem proudu rozžhaví natolik, že začne svítit, topná spirála vaříče díky Jouleovu jevu vyvine tolik tepla, že přivede ohřívanou vodu k varu atd. Naopak Jouleův jev je nežádoucí u elektrických zdrojů, motorů, transformátorů a dalších elektrospotřebičů, kde nejenže způsobuje tepelné ztráty, ale může vést k přehřátí a poškození přístrojů.

Budeme zkoumat, jak závisí množství uvolněného tepla Q na elektrickém proudu I .

Schéma zapojení



Vypracování: Pomocí reostatu nastavujeme hodnotu proudu v obvodu.

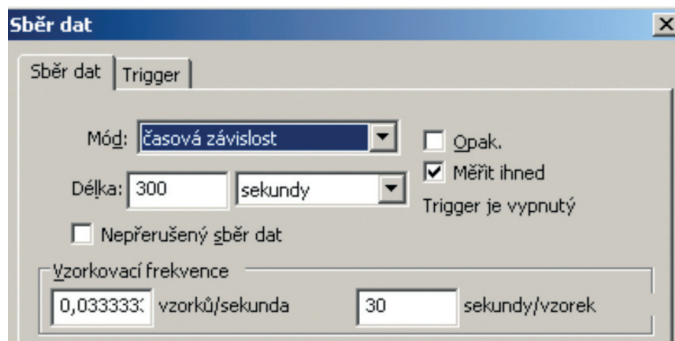
Teplo měřím v půlminutových intervalech po dobu 5 minut teplotu θ vody v kalorimetru. Teplo vypočítáme ze vztahu $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$, kde $c = 4186\ J/(kg \cdot K)$ je měrná tepelná kapacita vody. Měření provedeme při konstantním proudu $0,5\ A$, potom $0,9\ A$, $1,2\ A$ a $1,5\ A$. Během měření je třeba vodu v kalorimetru míchat, aby nedocházelo k nerovnoměrnému prohřívání.

Jouleův jev

Provedení Změřte odpor rezistoru: $R = \dots\dots\dots$

Do kalorimetru nalijte cca 60 ml vody: $m = \dots\dots\dots$

Provedte nastavení měření podle obrázku.



Nastavte proud $I = 0,5$ A a změřte závislost teploty na čase. Získanou tabulku hodnot zkopírujte do Excelu a dopočítejte zbývající sloupce, tj. změnu teploty $\Delta\theta$ a uvolněné teplo Q .

t (s)	teplota θ (°C)	$\Delta\theta$ (°C)	Q (J)
0			
30			
60			
...			
300			

Měření opakujte pro proudy 0,9 A, 1,2 A a 1,5 A. Před každým měřením vyměňte vodu za studenou.

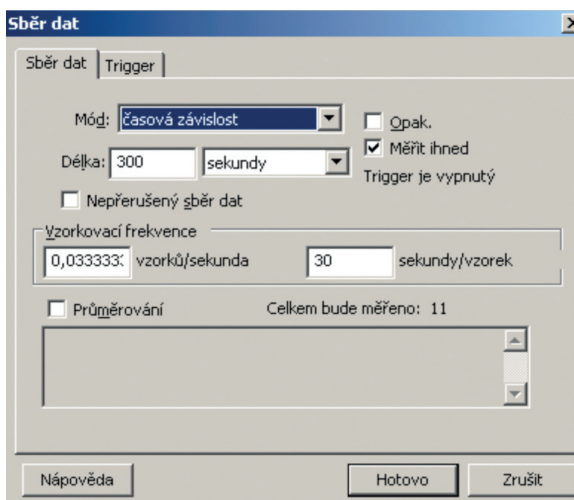
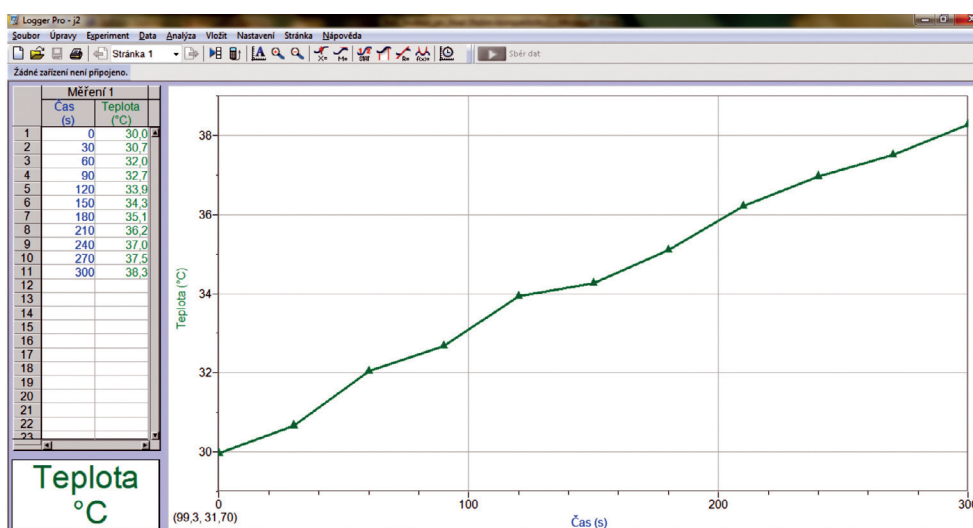
- Zpracování**
- Do jediného grafu zobrazte závislosti tepla Q na čase t pro čtyři proudy. O jakou matematickou závislost se jedná? Zapište ji a zobrazte rovnice získaných přímk. Na čem závisí jejich sklon?
 - Sestrojte graf závislosti směrnice přímky k na příslušném proudu I . O jakou matematickou závislost se jedná? Zapište ji a zobrazte rovnici získané křivky. Porovnejte velikost konstanty s vlastností rezistoru. (Pokud si nevíte rady, může vám napovědět graf funkce $k = f(I^2)$.)
 - Na základě výsledku a) a b) objevte vzorec pro výpočet uvolněného tepla Q v závislosti na I a t

Elektrická energie

Jouleův jev

Vojtěch Beneš

Popis nastavení Bodové teplotní čidlo zapojíme do LabQuestu a ten do USB portu počítače. Po spuštění programu Logger Pro je čidlo automaticky detekováno a je připraveno k měření. Provedeme nastavení (**Experiment** → **Sběr dat**) podle obrázku a zahájíme měření kliknutím na ikonu . Počítač do tabulky vypíše změřené hodnoty a vykreslí graf.

Tabulku hodnot označíme myší, zkopírujeme do schránky a vložíme do Excelu.

Vyměníme vodu v kalorimetru a měření spustíme opětovným kliknutím na ikonu .



Jouleův jev

Ukázka výsledků $R = 10,6 \, \Omega$, $m = 60 \, \text{g}$

Proud $I = 0,5 \, \text{A}$

$t \, (\text{s})$	teplota $\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$Q \, (\text{J})$
0	24,15	0	0
30	24,29	0,14	35
60	24,73	0,58	145
90	25,01	0,86	215
120	25,26	1,11	279
150	25,61	1,46	366
180	26,69	2,54	639
210	26,09	1,94	488
240	26,35	2,2	552
270	26,72	2,57	644
300	26,76	2,61	656

Proud $I = 0,9 \, \text{A}$

$t \, (\text{s})$	teplota $\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$Q \, (\text{J})$
0	29,96	0	0
30	30,66	0,7	176
60	32,05	2,08	523
90	32,68	2,72	682
120	33,94	3,97	998
150	34,27	4,31	1081
180	35,11	5,14	1292
210	36,22	6,25	1571
240	36,97	7,01	1760
270	37,51	7,55	1895
300	38,27	8,31	2087

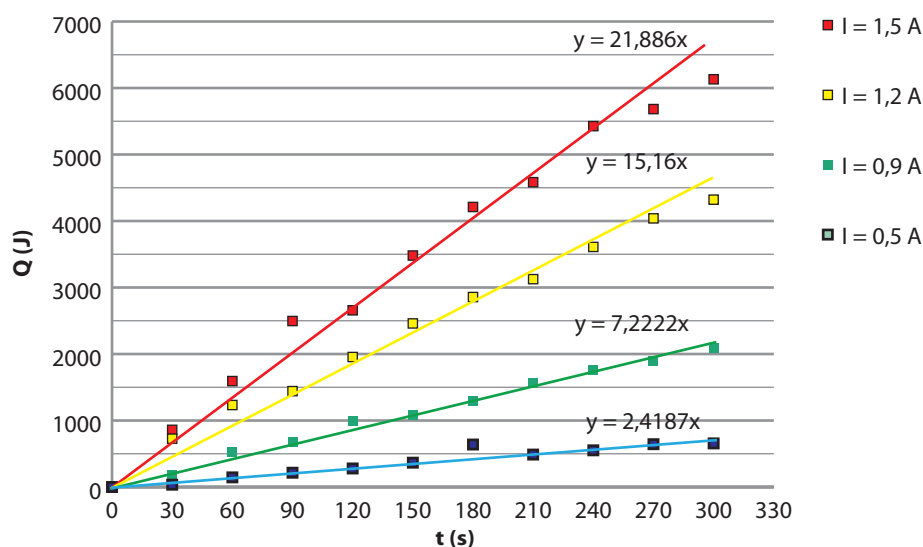
Proud $I = 1,2 \, \text{A}$

$t \, (\text{s})$	teplota $\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$Q \, (\text{J})$
0	22,09	0	0
30	24,98	2,9	727
60	27	4,91	1233
90	27,83	5,74	1442
120	29,87	7,78	1955
150	31,88	9,79	2460
180	33,46	11,37	2857
210	34,53	12,45	3126
240	36,46	14,37	3610
270	38,17	16,09	4040
300	39,29	17,2	4321

Proud $I = 1,5 \, \text{A}$

$t \, (\text{s})$	teplota $\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta \, (^{\circ}\text{C})$	$Q \, (\text{J})$
0	22,55	0	0
30	25,98	3,43	860
60	28,89	6,34	1593
90	32,49	9,94	2496
120	33,13	10,58	2657
150	36,41	13,86	3481
180	39,32	16,76	4211
210	40,81	18,25	4584
240	44,16	21,61	5427
270	45,18	22,63	5683
300	46,96	24,41	6131

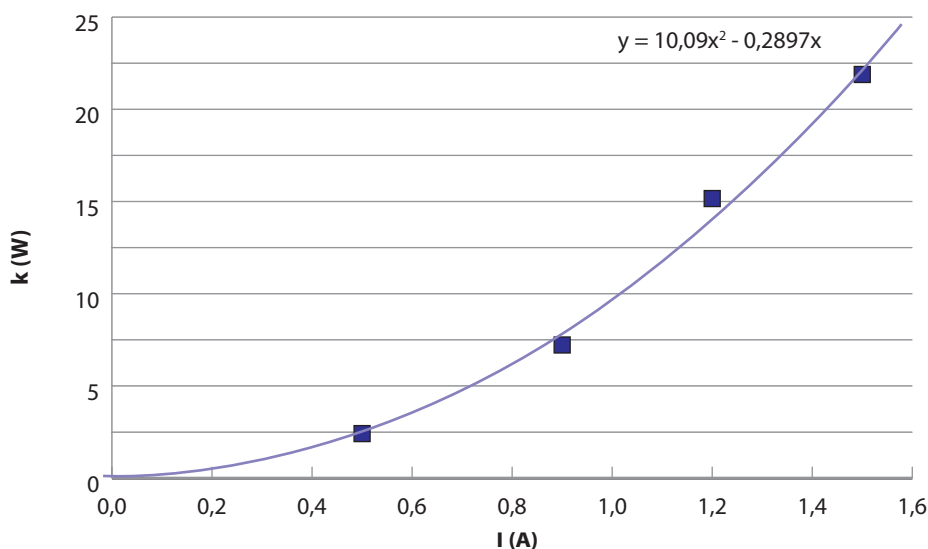
**Teplo
v závislosti
na čase**



Z grafu vyplývá, že pro všechny proudy je dodané teplo přímo úměrné času, můžeme tedy psát $Q = k \cdot t$, kde k je konstanta závisající na proudu (je to směrnice přímk). Proložením přímkovými závislostmi získáme hodnoty k .

k (W)	2,4187	7,2222	15,16	21,886
I (A)	0,5	0,9	1,2	1,5

**Závislost
směrnice
přímek
na proudu**



Z grafu plyne, že k je kvadratickou funkcí proudu (grafem je parabola, která prochází počátkem). Můžeme přibližně psát $k = C \cdot I^2$, kde C je konstanta.

Experimentálně vychází $C = 10,1 \Omega$, což je hodnota identifikovatelná s jedinou elektrickou konstantou měřené soustavy – odporem rezistoru $R = 10,6 \Omega$.

Závěr Může tedy vyvodit

$Q = k \cdot t = C \cdot I^2 \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t$, což je výsledný vztah pro výpočet Jouleova tepla.

Poznámka Místo grafu $k = f(I)$ můžeme sestavit přímo graf $k = f(I^2)$. Tento krok není zcela intuitivní a bez předběžného učitelova navedení by se při objevování mohl jevit jako umělý. Naopak bychom tím lépe prokázali, že $k = C \cdot I^2$. Každopádně je třeba přiznat, že čtyři body v grafu nestačí k pečlivému zjišťování průběhu funkce.

Negativní – tepelné úniky

vlivy – tepelná kapacita kalorimetru a teploměru

na měření – nerovnoměrné prohřívání vody

– vodivost vody snižuje celkový odpor (bylo by možné ošetřit zaizolováním přírodních vodičů k rezistoru, resp. jejich přelakováním; jinak doporučujeme změřit odpor rezistoru až ve chvíli, kdy je ponořen ve vodě)

Při použití teploměru Go!Temp Vernier namísto bodového teplotního čidla dostaneme experimentální teploty méně „zašuměné“ (menší vliv nerovnoměrného prohřívání vody), ale výsledný odpor bude vzdálenější změřené hodnotě (teploměr má výrazně větší teplotní setrvačnost a může se stát, že po prvních 30 s měření Go!Temp nezaregistruje zvýšení teploty). Důrazně upozorňujeme, že při použití bodového teplotního čidla je třeba vodu míchat.

Studium zdrojů světla pomocí rychlého měření s luxmetrem

Eva Bochníčková

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami

Klíčová slova: vhodné metody měření, sinus, periodické funkce, střídavý proud

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

15 min

Obtížnost:

nízká

Úkol Změřte pomocí luxmetru Vernier časový průběh osvětlení při různých zdrojích světla (například žárovka, kompaktní zářivka, monitor počítače) a při různých frekvencích měření (10 kHz, 1 kHz, 100 Hz).

Namodelujte průběh osvětlení u žárovky vhodnou matematickou funkcí.

Pomůcky Luxmetr Vernier, LabQuest, počítač s programem Logger Pro napojený na dataprojektor, různé zdroje světla

Teoretický úvod Zdroje světla jsou obvykle napájeny střídavým proudem. Důsledkem je časově proměnná hodnota osvětlení, kterou naměříme luxmetrem. Okem takové změny obvykle nevšimáme, protože jsou příliš rychlé. Luxmetr lze nastavit po připojení k rozhraní LabQuest na velmi vysokou frekvenci měření, například 10 kHz. To umožňuje detailně vykreslit časový průběh osvětlení u různých druhů světelných zdrojů.

Vhodná volba frekvence měření je velice důležitá. Při zbytečně vysokých hodnotách máme příliš mnoho dat, přičemž sousední hodnoty se prakticky nijak neliší. Když je naopak frekvence měření příliš malá, mohou být naměřená data dokonce zavádějící. Periodická funkce se může jevit jako konstantní apod.

Vypracování Jedno z možných provedení se třídou je toto: necháme žáky, aby nejprve odhadli, jak se bude lišit časový průběh osvětlení u žárovky napájené stejnosměrným proudem a střídavým proudem ze sítě – nejlépe když nakreslí graf.

Potom s žáky rozebereme jejich hypotézy. Patrně aspoň někteří žáci odhadnou, že osvětlení bude u žárovky napájené střídavým proudem kolísat. Prozradíme, že to tak skutečně je, a vybídneme je, aby odhadli frekvenci kolísání a navrhli, s jakou frekvencí bude rozumné měřit, chceme-li to experimentálně ověřit.

Experiment provedeme při několika různých frekvencích – určitě by měla být zastoupena nějaká vysoká hodnota okolo 10 kHz (pokud žáci navrhnou podobnou hodnotu, použijeme jimi navrženou), dále velmi nízká hodnota, například 10 Hz nebo 100 Hz a pak něco mezi, například 1 000 Hz.

Rozebereme, proč je frekvence kolísání u žárovky zrovna 100 Hz (a ne 50 Hz, jak možná někteří budou tipovat), a provedeme podobný experiment pro srovnání ještě s dalšími zdroji světla, například kompaktní zářivkou, LCD monitorem atd.

Na závěr žákům předvedeme, jak nevhodně nízká frekvence může data naprosto zkreslit, případně zbavit důležitých detailů.

Závěr Žárovka napájená střídavým proudem dává osvětlení, které s frekvencí 100 Hz (dvojnásobek síťové frekvence) kolísá okolo určité hodnoty poblíž maxima – nejde tedy o kolísání od nuly.

Zatímco žárovka má průběh velmi blízký sinusovce, zářivka či LCD monitor mají úplně jiné průběhy.

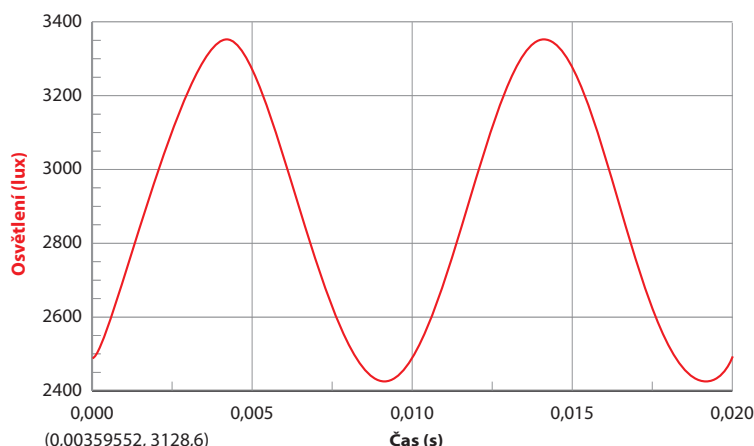
Frekvenci měření je potřeba vždy volit tak, aby během jedné periody proběhlo dostatečné množství měření. Například pro vykreslení kostrbaté sinusovky s trochou dobré vůle stačí 10 měření na periodu (tedy 1 000 Hz), pro pěkný obrázek je nicméně vhodné spíše 100 měření (10 kHz). Pokud zvolíme frekvenci měření stejnou, jako je perioda měřeného děje, dostaneme „falešnou“ konstantní závislost.

Studium zdrojů světla pomocí rychlého měření s luxmetrem

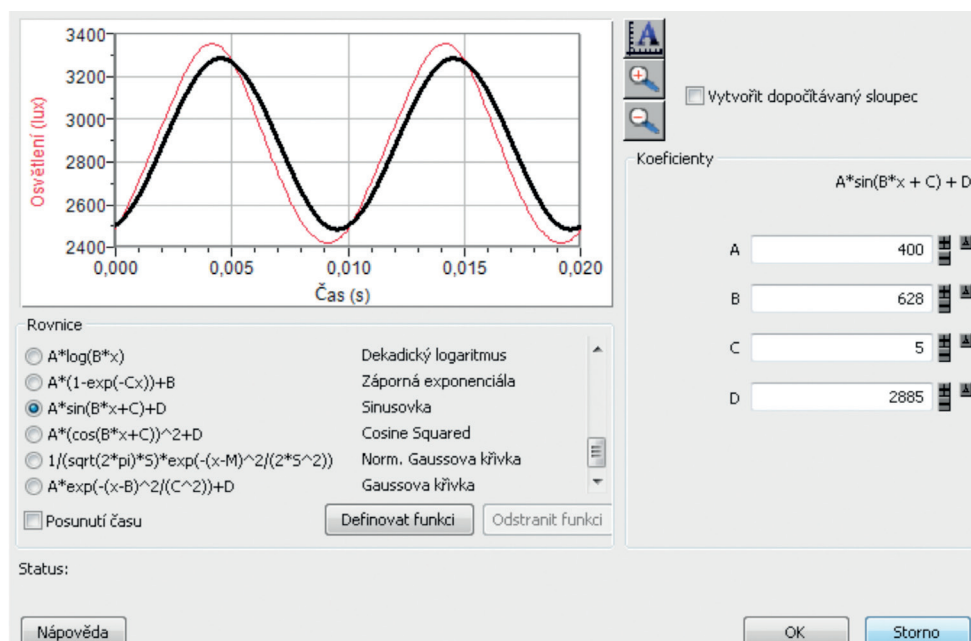
Poznámky Doporučuji vybraný zdroj (například LCD monitor) naměřit s dostatečnou frekvencí (například 10 kHz) a pak také s frekvencí nižší (například 1 kHz, 100 Hz), aby si žáci mohli jednotlivé grafy srovnat.

Dvojnásobek síťové frekvence dostáváme u žárovky proto, že na maximum svítí vždy, když jí prochází maximální proud. Během jedné periody (ta trvá při síťové frekvenci 50 Hz celkem 0,02 s) ale maximum proudu nastává dvakrát, jednou jedním směrem, podruhé druhým směrem. Frekvence maxim osvětlení je tedy dvojnásobek síťové frekvence.

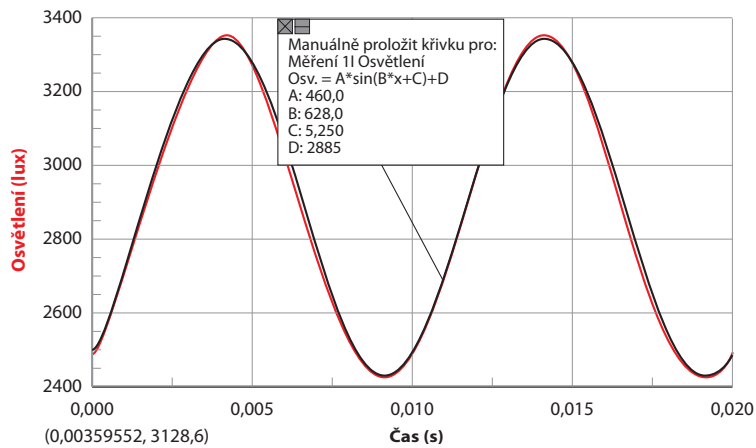
Ukázky výsledků Klasická žárovka; snadno odečteme, že perioda je 0,01 s, tedy frekvence 100 Hz.



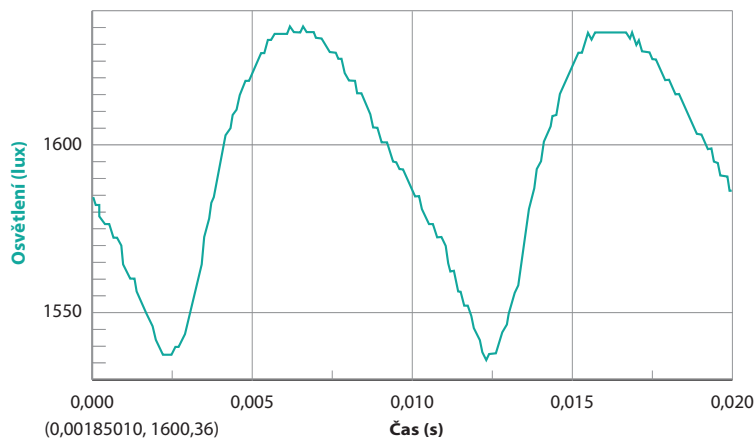
V rámci přesahů do matematiky můžeme s žáky naměřenými daty proložit sinusovku (nebo to žáci mohou dostat jako domácí úkol). V Logger Pro zvolíme **Analýza**→**Model**, vybereme z funkcí sinusovku a postupnou změnou jednotlivých parametrů nastavíme modelovou křivku tak, aby co nejlépe seděla s experimentálními daty:



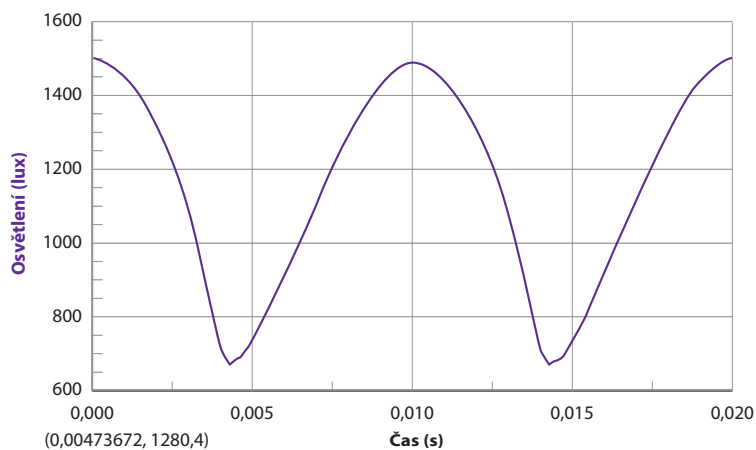
Studium zdrojů světla pomocí rychlého měření s luxmetrem



Úsporná žárovka má také periodu 100 Hz, ale průběh se již od sinusovky značně liší.

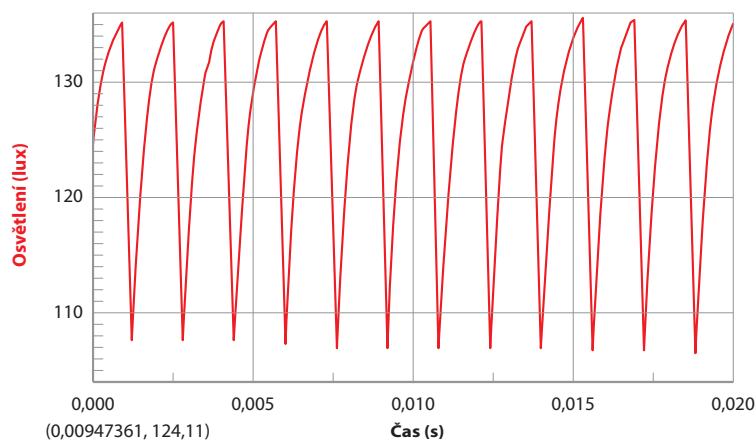


Další graf zachycuje stropní zářivku:

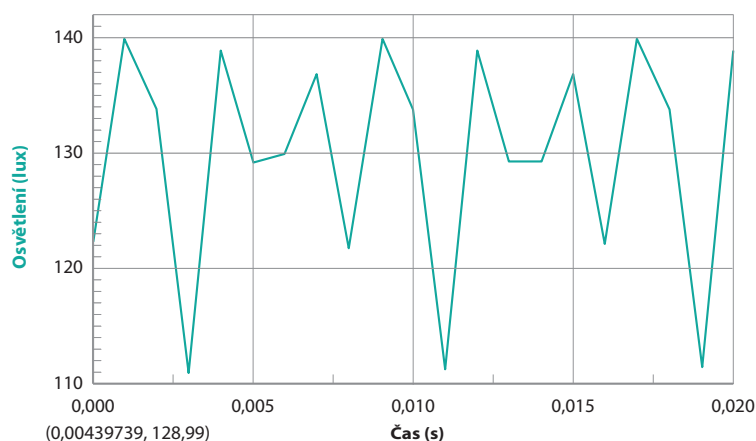


Studium zdrojů světla pomocí rychlého měření s luxmetrem

Zajímavý průběh dává LCD displej počítače, frekvence je zhruba 600 Hz a průběh je zcela nesinusový.



Pokud ovšem nyní měříme data s frekvencí pouze 1 kHz (místo původních 10 kHz), dostaneme již zcela nesmyslný graf:



Nabíjení kondenzátoru

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák porovná účinky elektrického pole na vodič a izolant
Klíčová slova: kondenzátor, nestacionární děj, nabíjení, časová konstanta, RC obvod

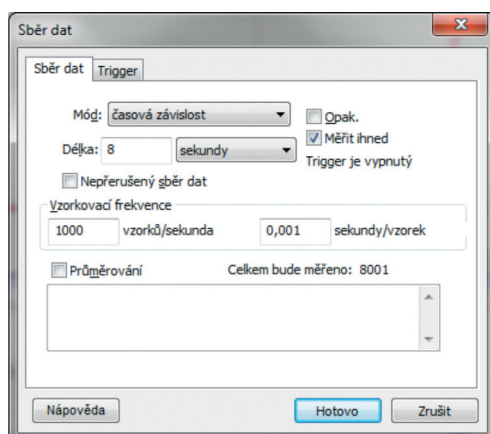
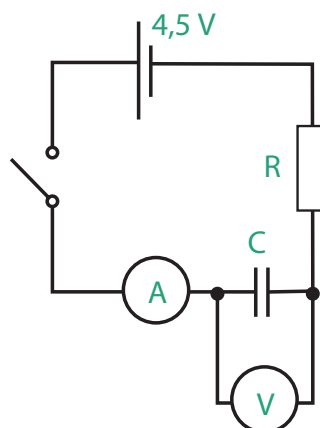
Příprava na hodinu
Doba na přípravu:
10 min
Doba na provedení:
30 min
Obtížnost:
střední

- Úkol** Současně pozorujte proud procházející kondenzátorem a napětí na jeho svorkách při procesu nabíjení.
- Zaznamenejte proud a napětí při nabíjení kondenzátoru a vzniklé křivky analyzujte. Zjistěte časovou konstantu obvodu.
 - Porovnejte rychlost nabíjení pro různé odpory při stálé kapacitě.
 - Porovnejte rychlost nabíjení pro různé kapacity při stálém odporu.

Pomůcky Plochá baterie 4,5 V ve stojánku, vypínač, kondenzátory 10 μF , 100 μF , 1 000 μF , rezistory 10 Ω , 22 Ω , 47 Ω , 100 Ω a 1 000 Ω , ampérmetr Vernier (max. 0,6 A), diferenciální voltmetr Vernier (max. 6 V), LabQuest, počítač s programem Logger Pro připojený na dataprojektor, vodiče

Postup Pozorování a analýza nabíjení

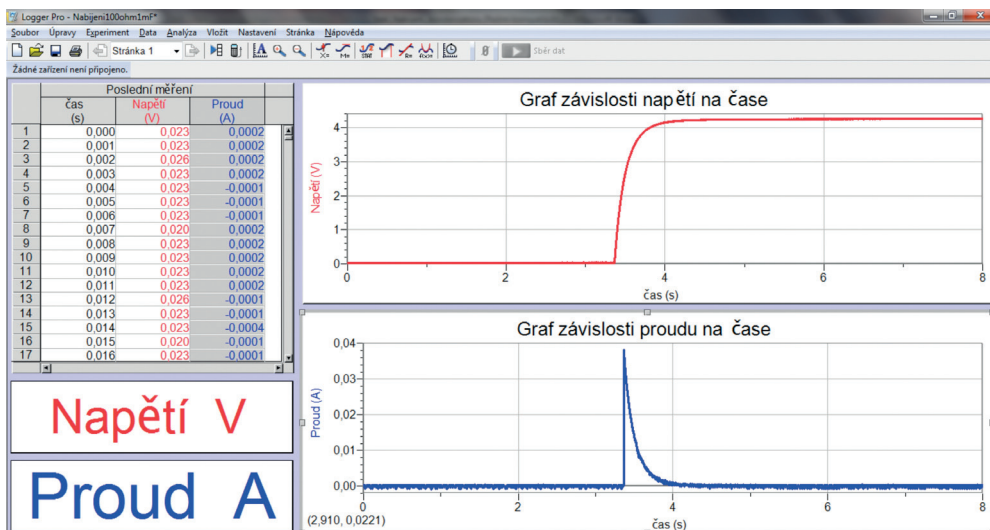
- 1) Zapojíme obvod podle schématu. Použijeme rezistor o odporu 100 Ω a kondenzátor o kapacitě 1 000 μF . Před začátkem měření je vypínač vypnutý a kondenzátor vybitý (doporučuji kondenzátor zkratovat).
- 2) Ampérmetr a voltmetr zapojíme do analogových vstupů CH1 a CH2 LabQuestu, LabQuest propojíme USB kabelem s počítačem.



- 3) Na počítači v programu Logger Pro nastavíme (menu **Experiment**→**Sběr dat...**):
 - dobu měření 8 sekund,
 - vzorkovací frekvenci 1 000 Hz.
- 4) Před zahájením měření senzory vynulujeme (**Experiment**→**Nulovat...**).
- 5) Měření spustíme kliknutím na ikonu **Sběr dat** a v obvodu sepne vypínač. Po skončení měření (8 s) vypínač vypneme.



Nabíjení kondenzátoru



Analýza procesu nabíjení

K sepnutí obvodu došlo v čase 3,36 s (použijte funkci **Analýza**→**Odečet hodnot**).

Při nabíjení narůstá napětí na kondenzátoru z hodnoty 0 V na maximální hodnotu 4,25 V (napětí na baterii). Napětí nejdříve prudce roste a po 1 s se stabilizuje na maximální hodnotě – kondenzátor je prakticky nabíjen. Křivka v grafu napětí je exponenciála (proložení viz níže).

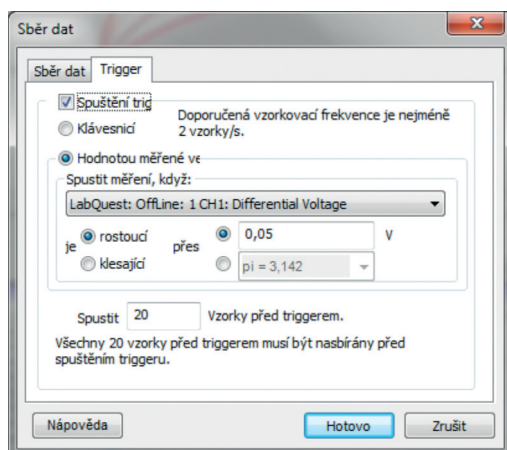
Ihned po uzavření obvodu se v něm objeví proud, který je při vybitém kondenzátoru maximální a roven 38,2 mA. Čím větší je napětí na kondenzátoru, tím menší je proud, a tím pomaleji se kondenzátor nabíjí. Po 1 s intenzita proudu poklesne na nulovou hodnotu.

Rychlost nabíjení – vliv odporu

Nabíjení není okamžitý děj, ale trvá určitou dobu. Rychlost nabíjení charakterizuje časová konstanta obvodu $\tau = RC$. Je rovna době, za kterou se vybitý kondenzátor nabije na 63 % maximální hodnoty napětí. Po uplynutí doby 5τ je rozdíl mezi napětím na kondenzátoru a nabíjecím napětím menší než 1 %.

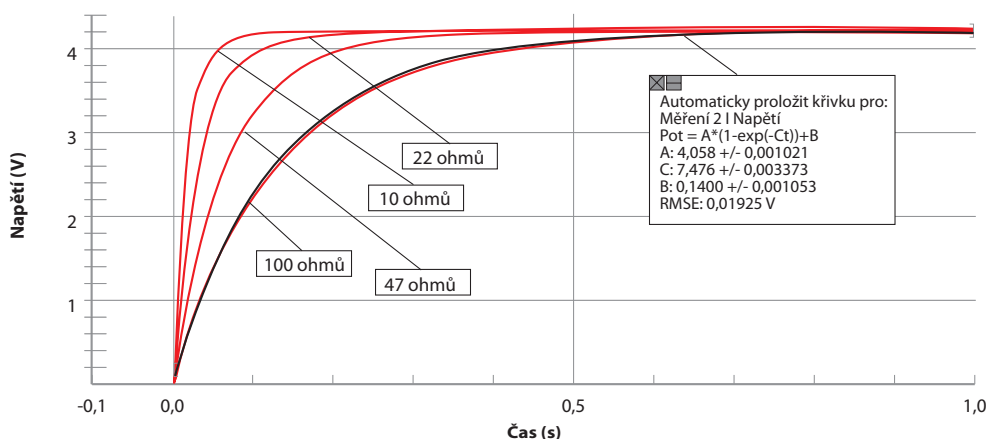
Prozkoumání vlivu R :

- Stejný obvod, $C = 1\,000\,\mu\text{F}$, odpory $10\,\Omega$, $22\,\Omega$, $47\,\Omega$ a $100\,\Omega$ postupně vyměňujeme (doporučuji kondenzátor pokaždé zkratovat).
- Nastavíme dobu měření 1 s, vzorkovací frekvenci 10 kHz, na záložce **Trigger** zvolíme **Spustit měření**, když napětí přeroste 0,05 V.



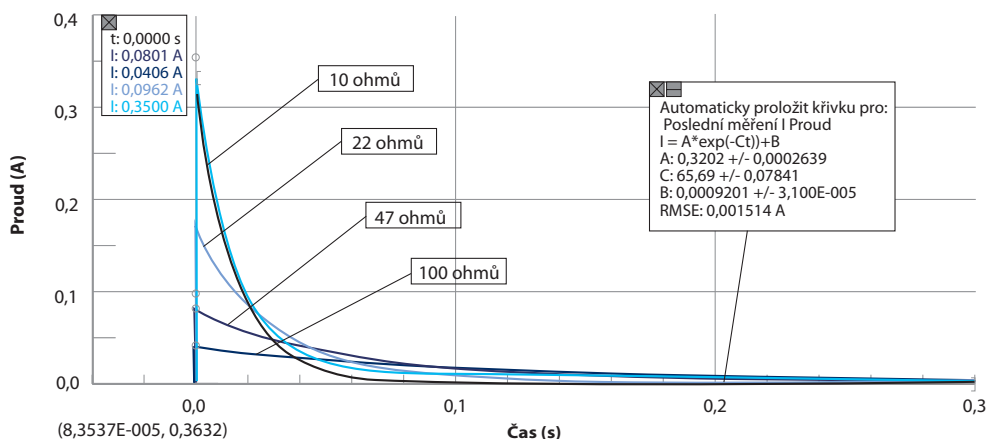
- Měření bude spuštěno automaticky triggerem, jakmile vypínačem uzavřeme obvod. Další křivku do grafu přidáme v menu **Experiment**→**Uchovat poslední měření**.

Graf závislosti napětí na čase



Je zřejmé, že pro větší odpory probíhá nabíjení pomaleji, velikost odporu nemá vliv na limitní hodnotu napětí (určena zdrojem).

Graf závislosti proudu na čase

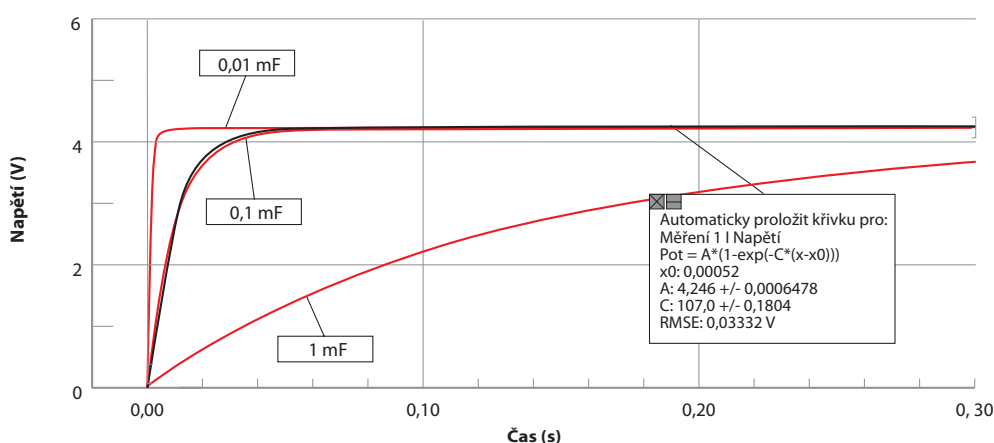


Podobně je vidět, že pro větší odpory probíhá nabíjení pomaleji, tzn. proud klesá k nule pomaleji. Velikost odporu ovlivňuje maximální proud v obvodu (při uzavření obvodu). Přibližně můžeme ověřit $I_0 = U_e/R = 4,25/10 = 0,425$ A. Hodnota neodpovídá změřenému proudu 0,35 A kvůli parazitním odporům (např. vnitřní odpor zdroje, ampérmetru).

Rychlost nabíjení – vliv kapacity

- Stejný obvod, vezmeme $R = 100 \Omega$, kapacity $10 \mu\text{F}$, $100 \mu\text{F}$ a $1\,000 \mu\text{F}$ postupně vyměňujeme (doporučuji kondenzátor pokaždé zkratovat).
- Ponecháme dobu měření 1 s, vzorkovací frekvenci 10 kHz, na záložce **Trigger** zvolíme **Spustit měření, když napětí přeroste přes 0,05 V**.
- Měření bude spuštěno automaticky triggerem, jakmile vypínačem uzavřeme obvod. Další křivku do grafu přidáme v menu **Experiment** → **Uchovat poslední měření**.

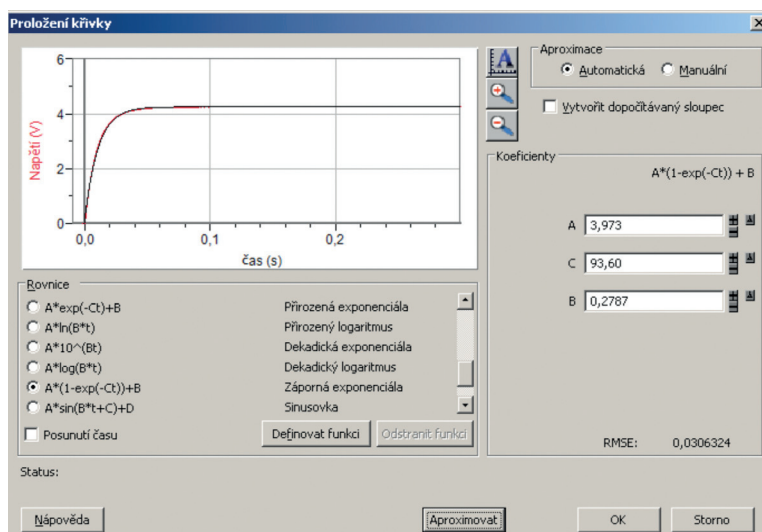
Graf závislosti napětí na čase při konstantním odporu



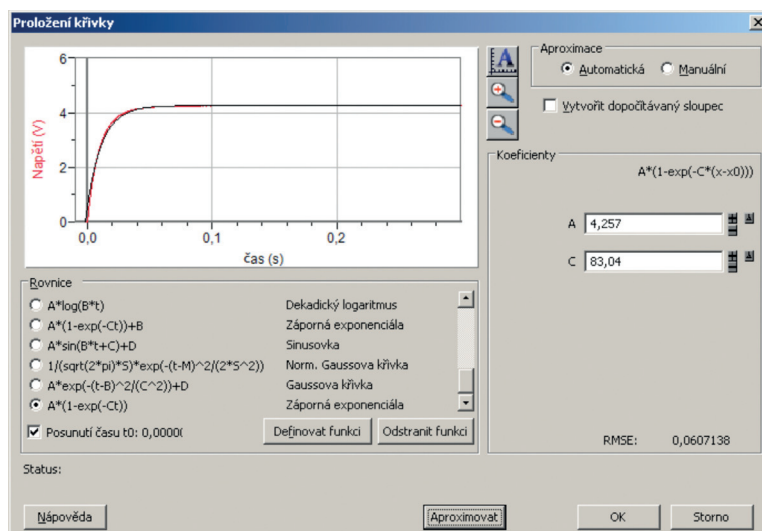
Nabíjení kondenzátoru

Je zřejmé, že se vzrůstající kapacitou se doba nabíjení prodlužuje; kapacita nemá vliv na maximální hodnotu napětí.

Pokročilé zpracování Křivkami v grafu je možné proložit exponenciální křivky, jak je ukázáno v posledních třech grafech (menu **Analýza**→**Proložit křivku...**). Pro napětí na čase vybereme zápornou exponenciálu a klikneme na **Aproximovat**. Pokud fit „sedí“, potvrdíme.



Vylepšení Víme, že křivka musí procházet počátkem; neprochází-li, je to způsobeno nastavením triggeru pro pohodlné měření. Víme, že křivka závisí jen na parametrech A a C, B = 0, přičemž časový počátek byl posunut. Ke zjištění A a C v menu **Analýza**→**Proložit křivku...** zatrhneme **Posunutí času** a definujeme funkci $f(t) = A \cdot (1 - \exp(-C \cdot t))$. Klikneme na **Aproximovat**, a pokud proložení sedí, potvrdíme.



V základním okně programu Logger Pro můžeme ještě jemně upravit začátek a konec proložené části křivky.

Začátek proložení křivky jsem takto upravil v grafu závislosti napětí na čase při konstantním odporu při kapacitě $C = 0,1 \text{ mF}$ (viz graf výše) a získal jsem:

- maximální (limitní) napětí = 4,246 V (je rovno konstantě A),
- časová konstanta obvodu (je rovna převrácené hodnotě konstanty C v obecném vyjádření křivky) $\tau = 1/C = 1/107 = 9,35 \text{ ms}$.

Tato hodnota je v dobré shodě s vypočítanou časovou konstantou dle nominálních hodnot $\tau = RC = 100 \Omega \cdot 0,1 \text{ mF} = 10 \text{ ms}$.

Střídavý RC obvod

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák porovná účinky elektrického pole na vodič a izolant, aplikuje poznatky o mechanismech vedení elektrického proudu při analýze chování kondenzátoru v elektrických obvodech

Klíčová slova: kondenzátor, kapacita kondenzátoru, nabíjení a vybíjení, střídavé obvody, fázový posuv, impedance, RC obvod

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

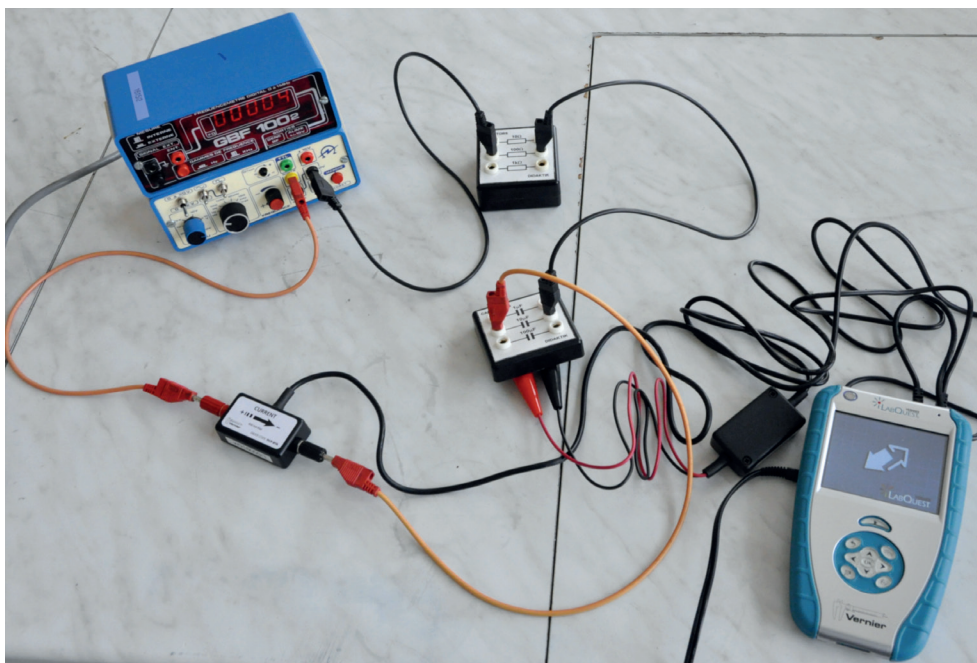
45 min

Obtížnost:

vysoká

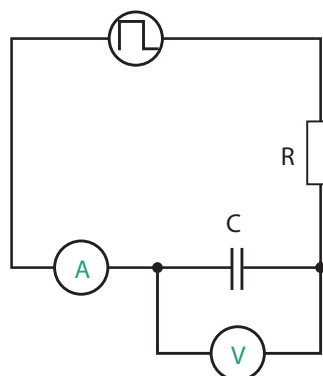
Úkol Prozkoumejte chování kondenzátoru v obvodu s generátorem obdélníkového napětí a s generátorem harmonického napětí.

Pomůcky Nízkofrekvenční zdroj obdélníkového a sinusového napětí, kondenzátory 100 μF , 1 000 μF , rezistor 100 Ω , ampérmetr Vernier (max. 0,6 A), 2 diferenciální voltmetry Vernier (max. 6 V), LabQuest, počítač s programem Logger Pro připojený na dataprojektor, vodiče

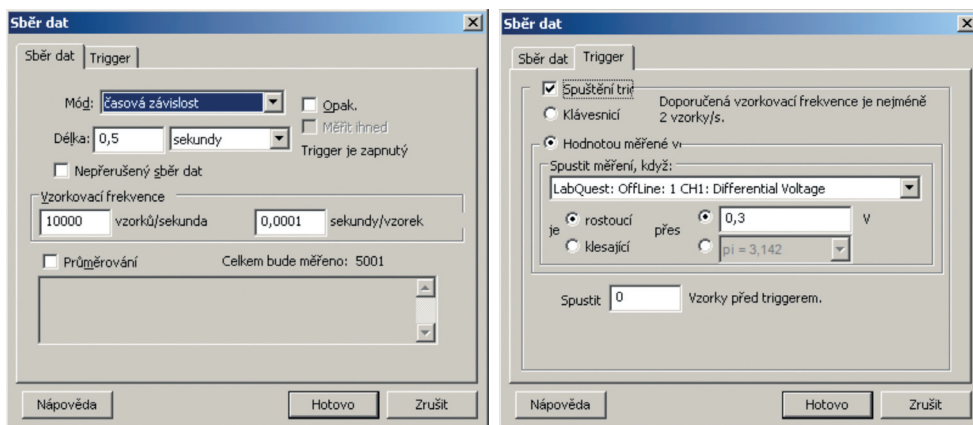


Vypracování Pozorování a analýza RC obvodu se zdrojem obdélníkových pulzů (nabíjení a vybíjení)

1. Na zdroji nastavíme frekvenci $f = 4 \text{ Hz}$, obdélníkové napětí ($0; +U_e$), přičemž elektromotorické napětí U_e nepřekročí 6 V.
2. Zapojíme obvod podle schématu. Použijeme rezistor o odporu 100 Ω a kondenzátor o kapacitě 100 μF .
3. Ampérmetr a voltmetr zapojíme do analogových vstupů CH1 a CH2 LabQuestu, LabQuest propojíme USB kabelem s počítačem.
4. Na počítači v programu Logger Pro nastavíme (menu **Experiment** $\rightarrow$ **Sběr dat...**):
 - dobu měření 0,5 sekundy,
 - vzorkovací frekvenci 10 kHz,
 - trigger: spustit měření, když napětí přesáhne 0,3 V.

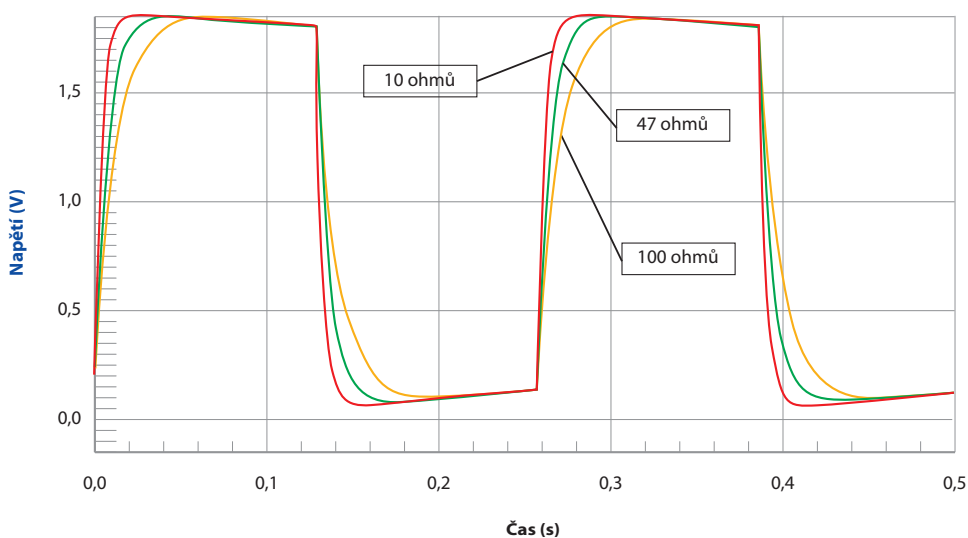


Střídavý RC obvod

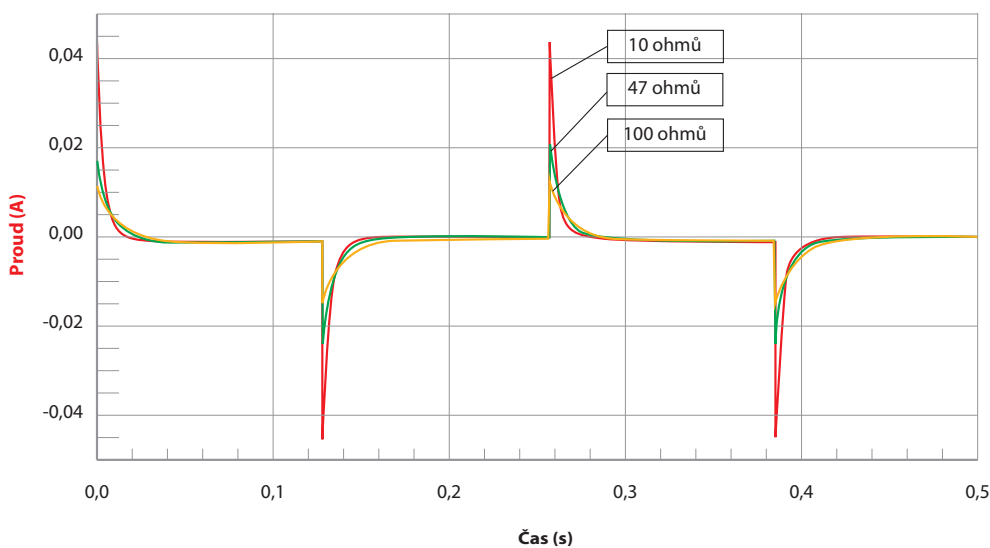


5. Před zahájením měření (zdroj odpojen) senzory vynulujeme kliknutím na ikonu .
- Měření spustíme kliknutím na ikonu  **Sběr dat**.
6. Chceme-li do téhož grafu přidat křivku pro jiný rezistor, v menu **Experiment** zvolíme **Uchovat poslední měření**.

Časový
průběh
napětí na
kondenzátoru



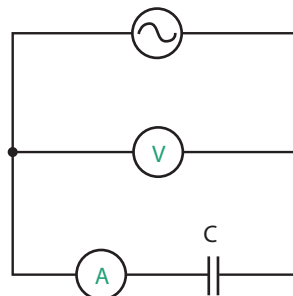
Časový
průběh
proudu na
kondenzátoru



Vyučující může se žáky identifikovat křivky, diskutovat znaménko proudu, rychlost nabíjení a vybíjení v závislosti na odporu. Podrobněji rozebráno v aktivitě **Nabíjení kondenzátoru**.

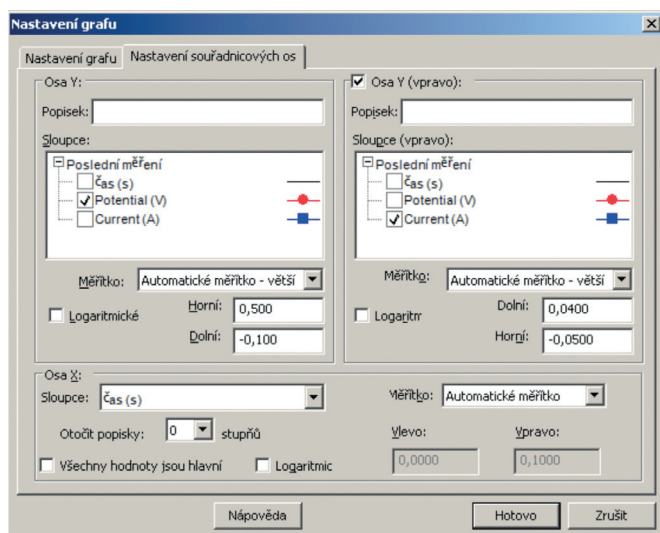
Kondenzátor připojen ke zdroji harmonického napětí

1. Na zdroji nastavíme frekvenci $f = 20$ Hz, sinusové napětí o amplitudě menší než 2 V.
2. Zapojíme obvod podle schématu.
Použijeme kondenzátor o kapacitě $1\,000\,\mu\text{F}$.
3. Ampérmetr a voltmetr zapojíme do analogových vstupů CH1 a CH2 LabQuestu, LabQuest propojíme USB kabelem s počítačem.
3. Na počítači v programu Logger Pro nastavíme (menu **Experiment** → **Sběr dat...**):
 - dobu měření 0,1 sekundy,
 - vzorkovací frekvenci 10 kHz,
 - trigger: vypnutý.

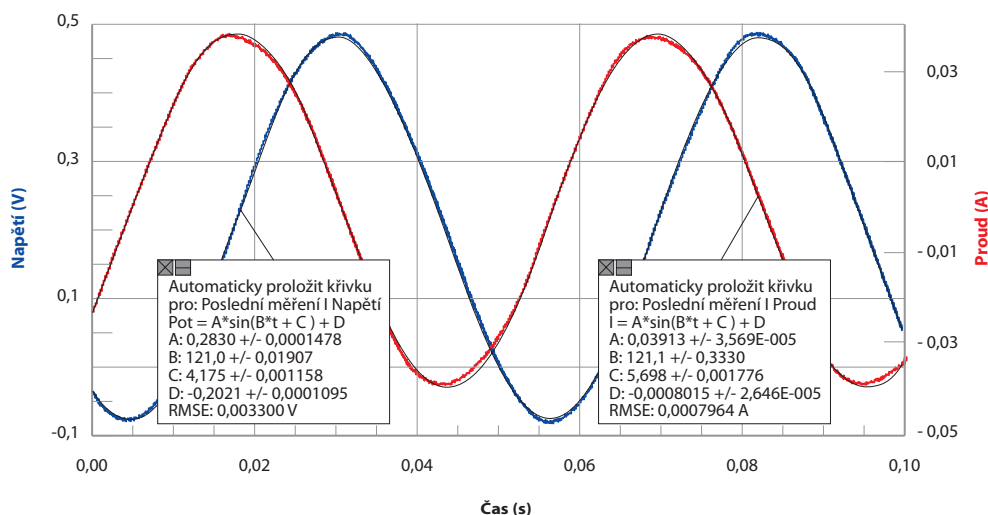


Před zahájením měření senzory vynulujeme kliknutím na ikonu . Měření spustíme kliknutím na ikonu  **Sběr dat**.

Zobrazíme proud i napětí do jediného grafu (viz obr.) a proložíme je sinusoidami (**Analýza** → **Proložit křivku...**).



**Průběh
napětí
a proudu**



Střídavý RC obvod

Graf ukazuje, že střídavý zdroj (harmonického napětí) způsobí střídavý proud předbíhající napětí o 1/4 periody.

– totožná úhlová frekvence $\omega = 121 \text{ rad/s}$, $f = 19,3 \text{ Hz}$

– fázový posuv $5,696 - 4,172 = 1,524 \text{ rad} = 0,5 \cdot \pi \text{ rad}$

$$U_m = \frac{1}{2\pi f C} I_m, \text{ takže } C = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{I_m}{U_m} = \frac{1}{2\pi \cdot 19,3} \cdot \frac{0,03913}{0,2830} = 1,14 \text{ mF ve shodě}$$

s nominální hodnotou.

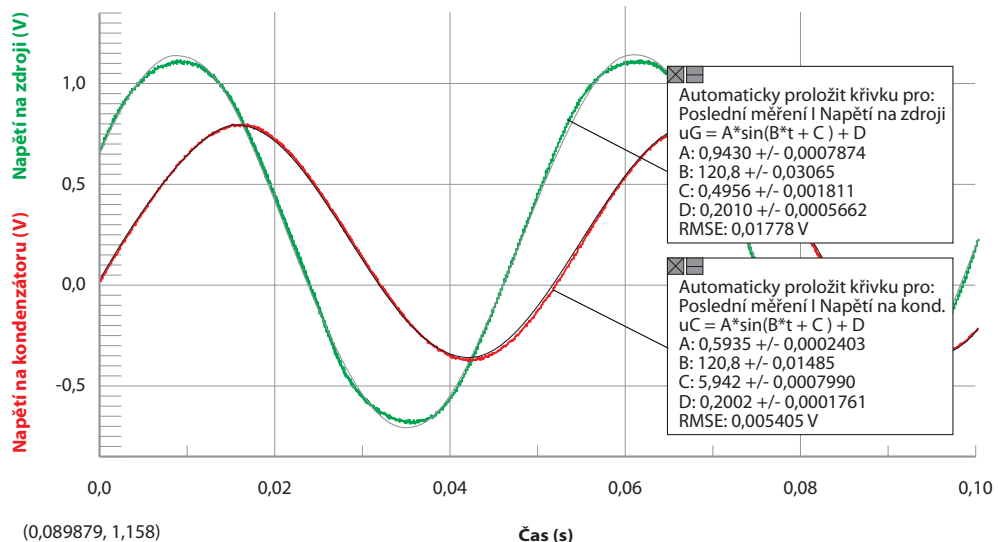
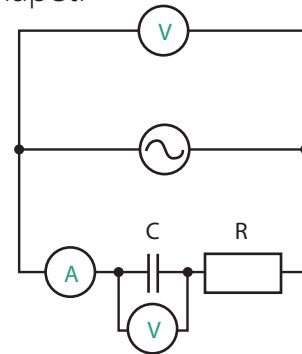
Z grafu je vidět, že v tomto obvodu proud předbíhá napětí: v dřívějším čase nastane maximum proudu, v pozdějším maximum napětí. V okamžiku, kdy je proud maximální, roste napětí nejrychleji. V okamžiku, kdy je proud nulový, napětí se nemění (maximum nebo minimum).

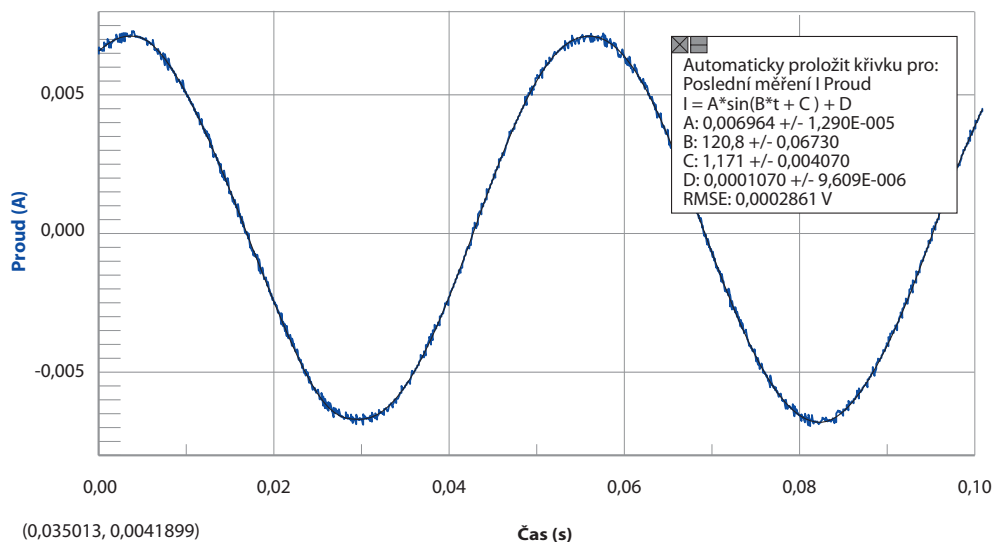
Pokročilejším studentům (4. ročník SŠ, VŠ) může posloužit tento graf k demonstraci vztahu

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt}.$$

Sériový RC obvod se zdrojem harmonického napětí

Zapojíme obvod podle schématu, zvolíme $C = 100 \mu\text{F}$, $R = 100 \Omega$. Ponecháme dobu měření 0,1 s, vzorkování 10 kHz. Získanými křivkami můžeme proložit sinusoidy (menu **Analýza** → **Proložit křivku...**).





Na grafech může vyučující demonstrovat výklad učiva o fázorech.

- Všechny křivky mají tutéž úhlovou frekvenci $\omega = 120,8 \text{ rad/s}$.
- Fázor napětí na zdroji je součtem fázoru napětí na rezistoru a fázoru napětí na kondenzátoru. Podle očekávání proud i (úměrný u_R) předbíhá napětí na zdroji u_G a naopak napětí na kondenzátoru u_C se opožďuje vůči u_G .

- Fázový posuv proudu i vůči napětí zdroje u_G je $\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}}$.

Teoreticky: $\varphi = 0,69 \text{ rad}$,

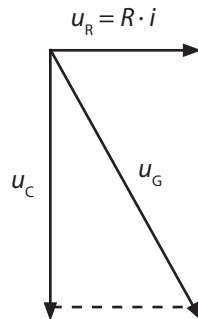
Experimentálně: $\varphi = 1,171 - 0,496 = 0,675 \text{ rad}$.

Impedance obvodu $Z = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}$

Teoreticky: $Z = 130 \Omega$

Experimentálně: $Z = 0,943/0,00696 = 135 \Omega$.

Rozdíly jsou způsobené především parazitními odpory a kapacitami v obvodu.



Měření kapacity kondenzátoru

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák porovná účinky elektrického pole na vodič a izolant
Klíčová slova: kondenzátor, kapacita kondenzátoru, nestacionární děj, nabíjení, časová konstanta, RC obvod

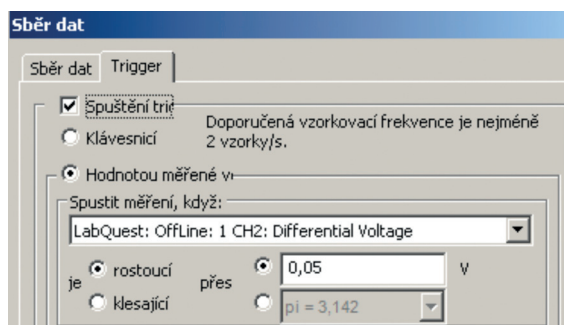
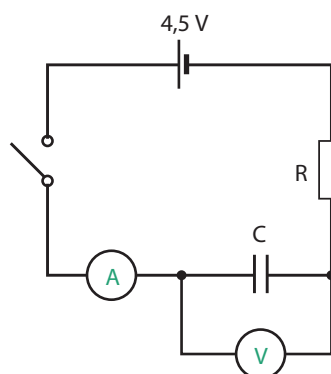
Laboratorní práce
Doba na přípravu:
10 min
Doba na provedení:
90 min
Obtížnost:
vysoká

Úkol Určete kapacitu kondenzátoru C čtyřmi metodami.
Pozorujte, jakou roli hraje kondenzátor v elektrickém obvodu.

Pomůcky Plochá baterie 4,5 V ve stojánku, zdroj harmonického napětí, kondenzátor o neznámé kapacitě C , vypínač, rezistory 10 Ω , 22 Ω , 47 Ω a 100 Ω , ampérmetr Vernier (max. 0,6 A), voltmetr Vernier (max. 6 V), LabQuest, počítač s programem Logger Pro, vodiče

Postup I Pozorování nabíjení kondenzátoru

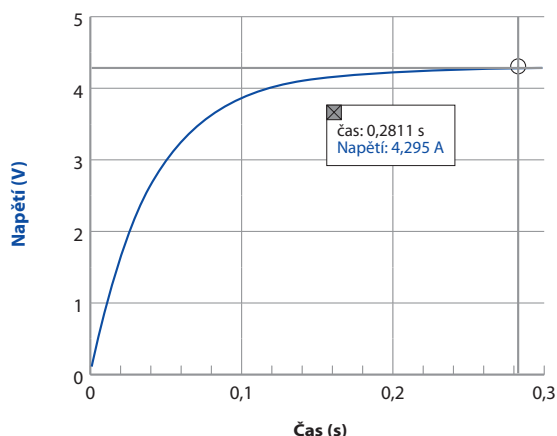
1. Zapojte obvod podle schématu. Použijte rezistor 100 Ω . Na začátku měření je vypínač vypnutý a kondenzátor vybitý.
2. Ampérmetr a voltmetr zapojte do vstupů CH1 a CH2 LabQuestu a propojte jej s USB portem počítače.
3. V programu Logger Pro pomocí ikony  vynulujte oba senzory. Pak v menu **Experiment** → **Sběr dat...** nastavte :
 - dobu měření = 0,3 s,
 - vzorkovací frekvenci = 10 kHz,
 - trigger : spustit měření, jakmile napětí na kondenzátoru u_C přesáhne 0,05 V.



4. Měření zahájíme kliknutím na ikonu  a sepneme vypínač. Jak měření skončí, opět vypínač vypneme. Počítač automaticky vykreslí dva grafy : $u_C = f(t)$ a $i = f(t)$.
5. Pomocí ikony  určíme z grafu $u_C = f(t)$
 - a. maximální napětí U_m ,
 - b. časovou konstantu obvodu τ ,
 - c. kapacitu kondenzátoru C .
 Hodnoty zapisujeme do odpovědního archu.
6. Vybijte kondenzátor (je třeba jej zkratovat), nahradte rezistor jiným o jiném odporu a opakujte kroky 4) a 5). Pokud křivka napětí stoupá příliš strmě, můžete si ji pro přesnější změření zvětšit pomocí lupy .

Měření kapacity kondenzátoru

Graf závislosti napětí na čase



II Modelování křivek

Zopakujte experiment s $R = 100 \Omega$.

V menu **Analýza** → **Proložit křivku...**, proložte

– křivku $u_c = f(t)$ zápornou exponenciálou $A \cdot (1 - \exp(-Ct)) + B$ a určete konstanty A , B a C .
Z nich určete τ a kapacitu C .

– křivku $i = f(t)$ přirozenou exponenciálou $A \cdot \exp(-Ct) + B$ a určete konstanty A , B a C .
Z nich určete τ a kapacitu C .

Výsledky zapisujte do odpovědního archu.

III Integrál

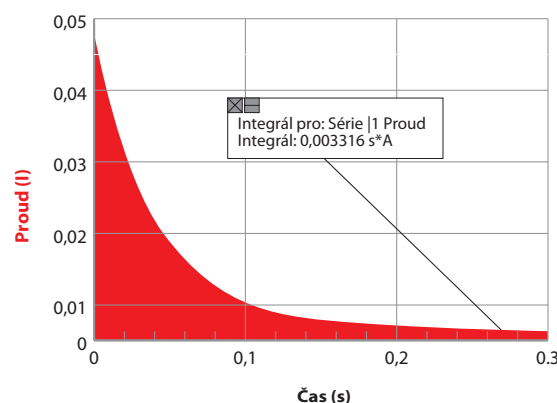
Pro kondenzátor platí $Q_m = C \cdot U_m$, kde Q_m je maximální náboj na kondenzátoru.

Okamžitý proud je definován jakožto $i = \frac{dq}{dt}$, takže q je integrál z proudu, $q = \int i \cdot dt$.

Geometricky vyjadřuje integrál plochu pod křivkou $i = f(t)$.

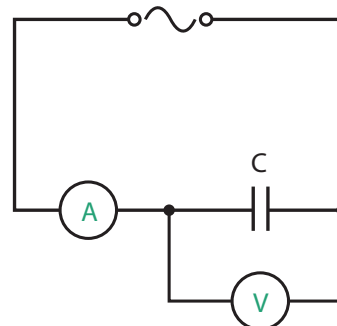
Označíme předchozí graf $i = f(t)$ a Q_m určíme kliknutím na ikonku **Integrál** (). K výpočtu použijeme U_m z předchozího úkolu.

Graf závislosti proudu na čase



IV Kondenzátor ve střídavém obvodu

1. Zapojte obvod podle schématu. Použijte zdroj harmonického napětí o amplitudě mezi 0 a 2 V a o frekvenci 90 Hz.
2. V programu Logger Pro nastavte :
 - dobu měření = 0,1 s,
 - vzorkovací frekvenci = 10 kHz,
 - trigger vypnutý.
3. Proveďte měření. Získanými křivkami proložte sinusoidy (menu **Analýza** → **Proložit křivku...**) a z nich určete amplitudu napětí U_m , amplitudu proudu I_m a fázový posuv φ napětí vůči proudu.



Měření kapacity kondenzátoru

Vojtěch Beneš

I Pozorování nabíjení kondenzátoru

$R (\Omega)$	$U_m (V)$	$0,63 \cdot U_m (V)$	$\tau (s)$	$C (F)$
100				
47				
22				
10				

Aritmetický průměr $\bar{C} = \dots\dots\dots$

II Modelování křivek

Kvalitativně popište průběh funkcí $u_c = f(t)$ a $i = f(t)$.

.....

.....

.....

.....

křivka	konstanta A	konstanta B	konstanta C	$\tau (s)$	kapacita $C (F)$
$u_c = f(t)$					
$i = f(t)$					

Maximální proud I_m :

experimentální hodnota $I_m = \dots\dots\dots$

teoretická hodnota $I_m = \frac{U_m}{R} = \dots\dots\dots$

III Integrál

$U_m = \dots\dots\dots$

$Q_m = \dots\dots\dots$

$C = \dots\dots\dots$

IV Kondenzátor ve střídavém obvodu

$U_m = \dots\dots\dots$

$I_m = \dots\dots\dots$

$\varphi = \dots\dots\dots$

$f = \dots\dots\dots$

Měření kapacity kondenzátoru

Z hodin víme, že $U_m = \frac{1}{2\pi f C} I_m$, vypočtěte $C = \dots\dots\dots$

V Zpracování výsledků

Na kondenzátoru najděte nominální hodnotu kapacity : $C_0 = \dots\dots\dots$

Pro každou metodu spočítejte absolutní a relativní odchylku měření od nominální hodnoty a rozhodněte, která z metod je nejpřesnější.

Metoda	C (F)	ΔC (F)	δC (%)
I			
II			
III			
IV			

Závěr:

.....

.....

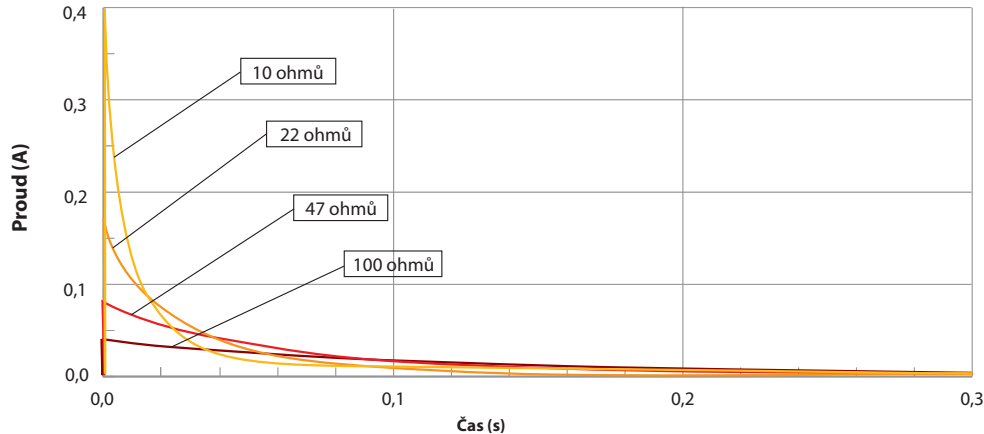
Měření kapacity kondenzátoru

Vojtěch Beneš

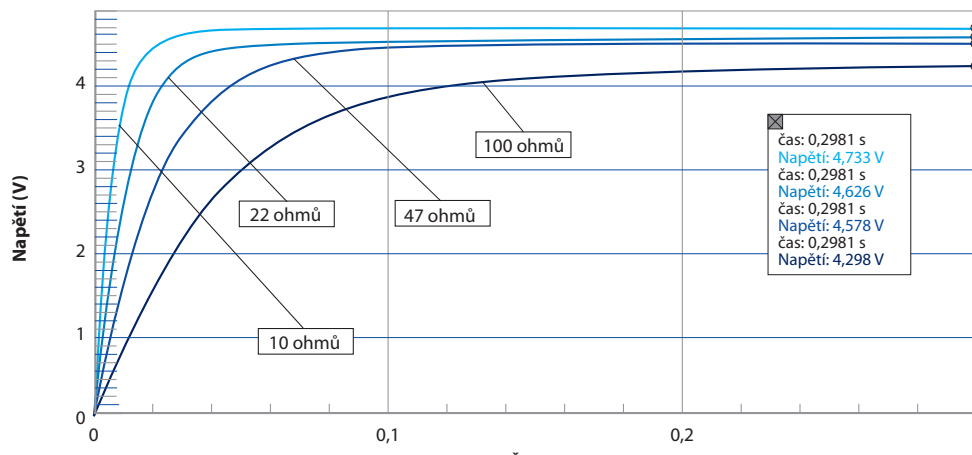
Používejte kondenzátory o kapacitě 470 μF a 680 μF . Níže uvedené výsledky se vztahují ke kapacitě 470 μF .

I Pozorování nabíjení kondenzátoru

Graf závislosti proudu na čase



Graf závislosti napětí na čase



$R (\Omega)$	$U_m (V)$	$0,63 \cdot U_m (V)$	$\tau (s)$	$C (F)$
100	4,298	2,708	0,0411	$4,11 \cdot 10^{-4}$
47	4,578	2,884	0,0209	$4,45 \cdot 10^{-4}$
22	4,626	2,914	0,0106	$4,82 \cdot 10^{-4}$
10	4,733	2,982	0,0058	$5,80 \cdot 10^{-4}$

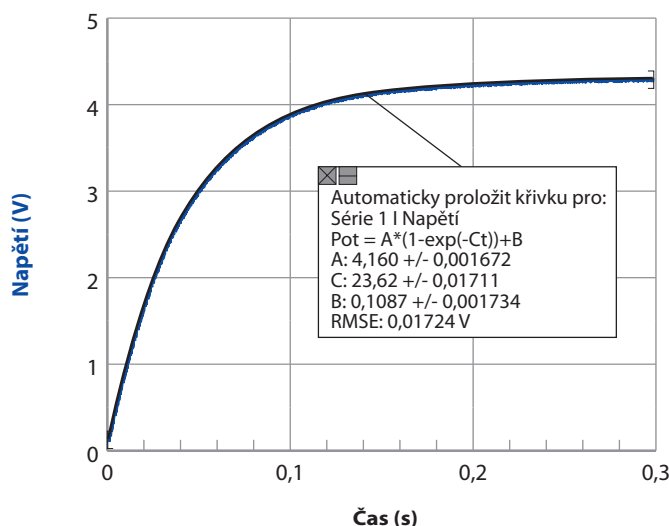
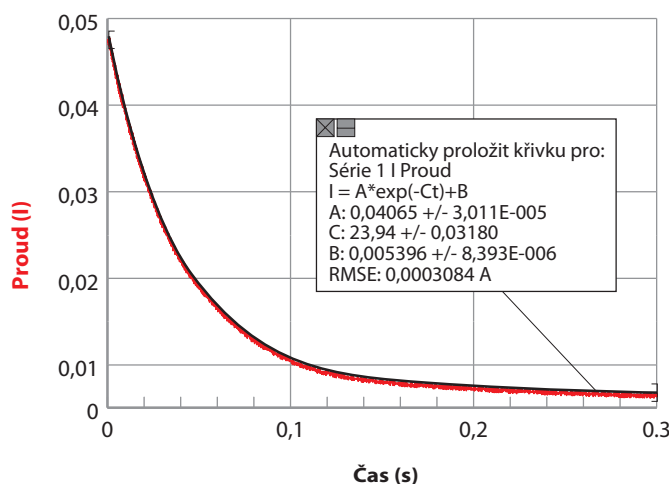
Aritmetický průměr $\bar{C} = 0,479 \text{ mF}$.

II Modelování křivek

Křivka $u_c = f(t)$ je rostoucí záporná exponenciála která prochází počátkem a má horizontální asymptotu $u_c = U_m$ v $+\infty$. Původně vybitý kondenzátor se tedy exponenciálně nabíjí. Maximální napětí, jehož je možno dosáhnout v ustáleném stavu, se rovná elektromotorickému napětí baterie.



Měření kapacity kondenzátoru

Graf
závislosti
napětí
na časeGraf
závislosti
proudu
na čase

Křivka $i = f(t)$ je klesající exponenciála protínající osu proudu v bodě I_m (maximální proud na začátku nabíjení). Tato křivka má horizontální asymptotu $i = 0$ A v $+\infty$. Elektrický proud tedy exponenciálně klesá a blíží se nule v ustáleném stavu.

křivka	konstanta A	konstanta B	konstanta C	τ (s)	kapacita C (F)
$u_c = f(t)$	4,160	0,1087	23,62	0,0423	$4,23 \cdot 10^{-4}$
$i = f(t)$	0,04065	0,005396	23,94	0,0418	$4,18 \cdot 10^{-4}$

Maximální proud I_m :

experimentální hodnota $I_m = 40,65$ mA

teoretická hodnota $I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{4,160 + 0,1087}{100} = 42,7$ mA

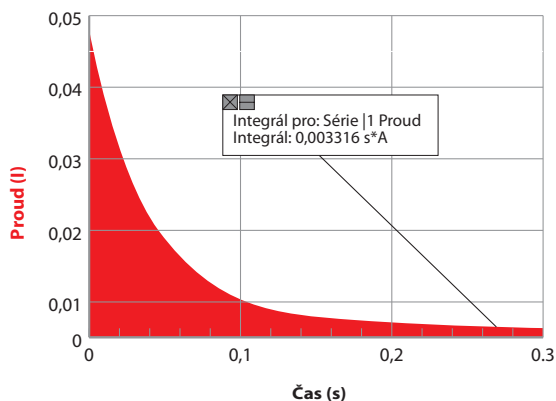
III Integrál

$U_m = 4,160 + 0,1087 = 4,269$ V

$Q_m = 3,316$ mC

$C = 0,777$ mF

**Graf
závislosti
proudu
na čase**



IV Kondenzátor ve střídavém obvodu

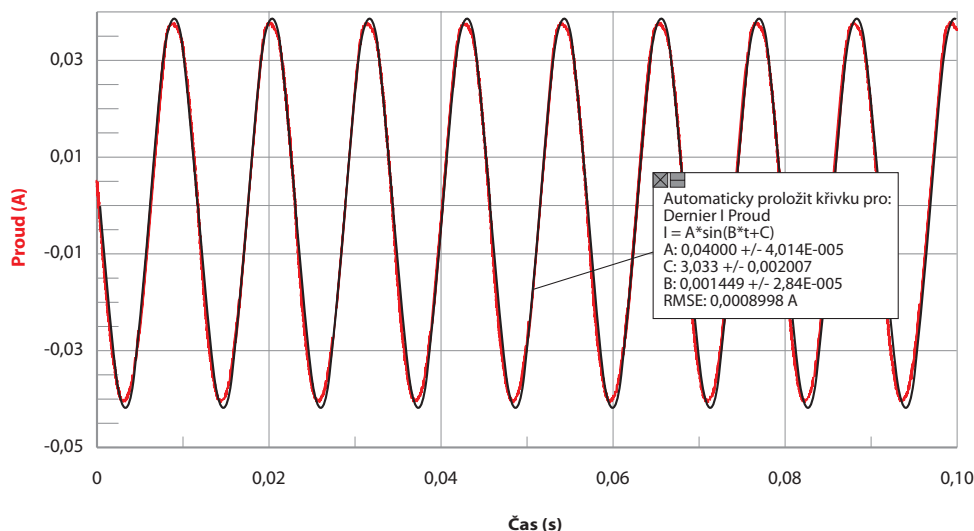
$$U_m = 0,1705 \text{ V}$$

$$I_m = 40,00 \text{ mA}$$

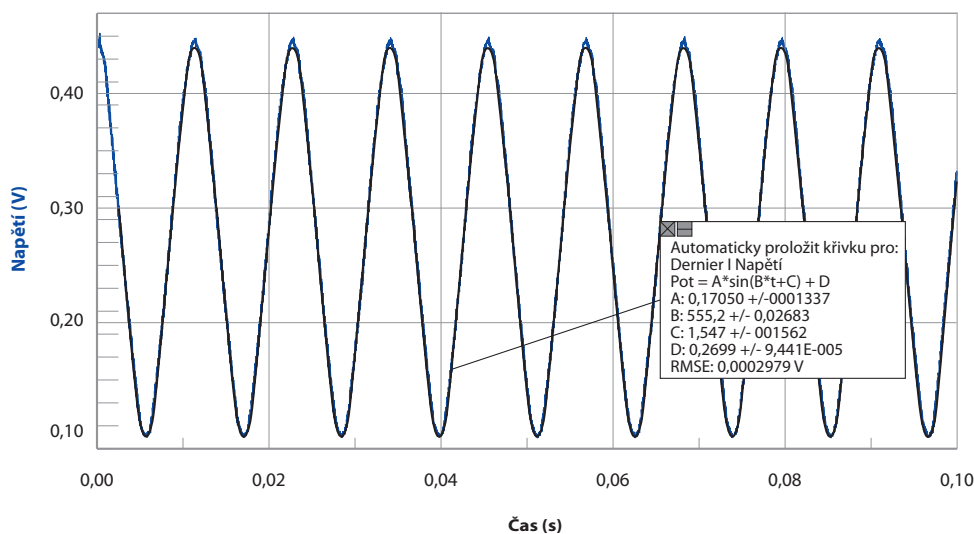
$$\varphi = 3,033 - 1,547 = 1,486 \text{ rad} = 0,47\pi \text{ rad}$$

$$f = 555,2/2\pi = 88,4 \text{ Hz}$$

**Graf
závislosti
proudu
na čase**



**Graf
závislosti
napětí
na čase**



Z hodin víme, že $U_m = \frac{1}{2\pi f C} I_m$, takže $C = 0,423 \text{ mF}$

Měření kapacity kondenzátoru

Poznámka pro pokročilé Elektrický proud procházející kondenzátorem je přímo úměrný derivaci napětí na tomto kondenzátoru podle času ($i = C \frac{du_c}{dt}$), proto :

když se u_c zvětšuje, proud je kladný,
 když u_c klesá, proud je záporný,
 když dosáhne u_c maxima nebo minima, proud je nulový,
 když je i maximální, zvětšuje se u_c nejrychleji.

V Zpracování výsledků

Nominální hodnota kapacity : $C_0 = 470 \mu\text{F}$

Metoda	$C (\mu\text{F})$	$\Delta C (\mu\text{F})$	$\delta C (\%)$
I	479	9	2
II	420	50	11
III	777	307	65
IV	423	47	10

Závěr Výsledek získaný první metodou je nejbližší nominální hodnotě. Poněvadž neznáme vnitřní odpor, kapacitu nebo indukčnost měřicích přístrojů ani zdroje, nelze rozhodnout, která z naměřených kapacit je správná.

Třetí metodu je možno použít pouze tehdy, pokud je ampérmetr před měřením pečlivě vynulován (což v ukázkových výsledcích nebylo dodrženo).

Přechodový jev v obvodu s cívkou

Vojtěch Beneš

Výstup RVP: žák aplikuje poznatky o mechanismech vedení elektrického proudu a chování cívky v elektrických obvodech

Klíčová slova: cívka, RL obvod, nestacionární děj, přechodový jev, časová konstanta, vlastní indukčnost, indukčnost cívky

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

30 min

Obtížnost:

vysoká

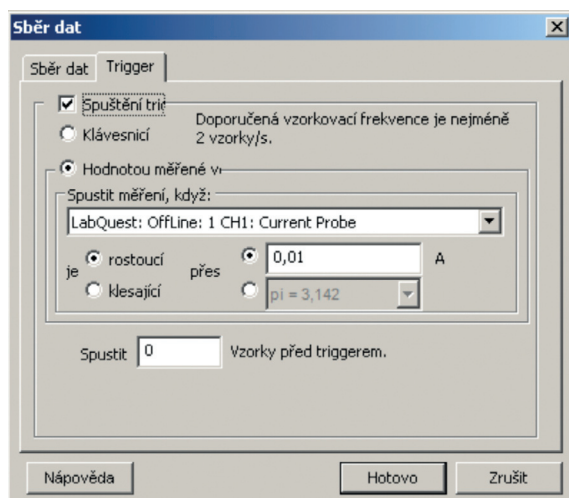
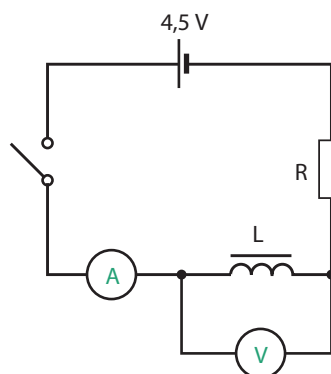
Úkol Pozorujte současně elektrický proud procházející cívkou a napětí na jejích svorkách po uzavření sériového RL obvodu.

- Zaznamenejte proud a napětí při náběhu proudu v RL obvodu a vzniklé křivky analyzujte. Zjistěte časovou konstantu obvodu.
- Porovnejte rychlost náběhu proudu pro různé indukčnosti při stálém odporu.
- Porovnejte rychlost náběhu proudu pro různé odpory při stálé indukčnosti.

Pomůcky Plochá baterie 4,5 V ve stojánku, vypínač, cívky o 100, 200 a 300 závitů, jádro rozkladného transformátoru, rezistory 10 Ω , 22 Ω , 47 Ω a 100 Ω , ampérmetr Vernier (max. 0,6 A), diferenciální voltmetr Vernier (max. 6 V), LabQuest, počítač s programem Logger Pro připojený na dataprojektor, vodiče

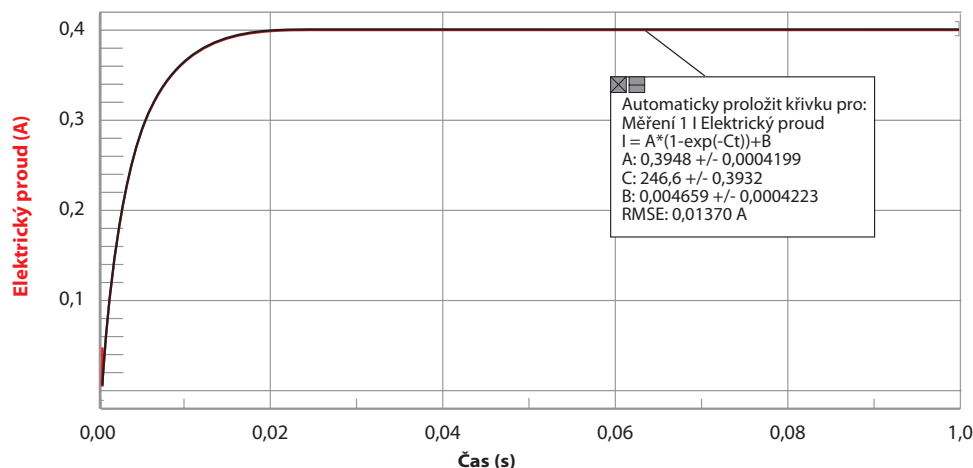
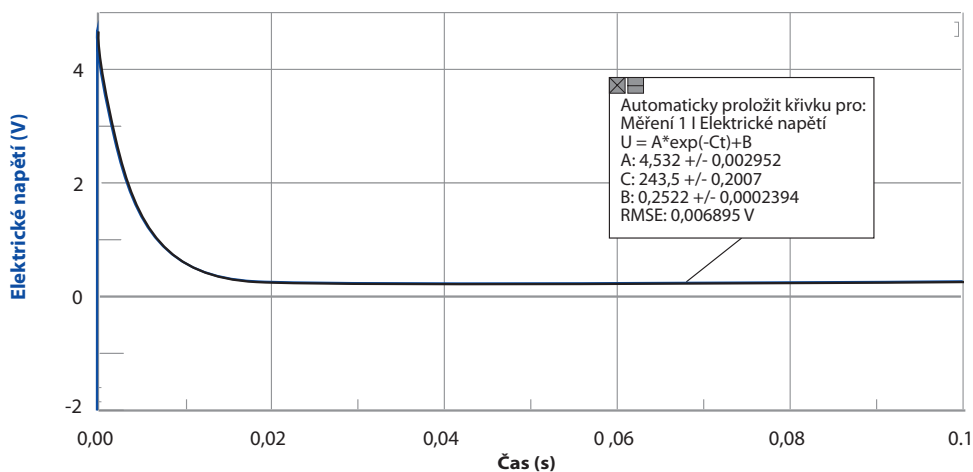
Postup Pozorování náběhu proudu

- 1) Zapojíme obvod podle schématu. Použijeme rezistor o odporu 10 Ω a cívku o 200 závitů. Nestacionární děj je velmi rychlý, pro zvýšení indukčnosti cívku opatříme uzavřeným transformátorovým jádrem. Před začátkem měření je vypínač vypnutý.
- 2) Ampérmetr a voltmetr zapojíme do analogových vstupů CH1 a CH2 LabQuestu, LabQuest propojíme s USB portem počítače.
- 3) Na počítači v programu Logger Pro nastavíme (menu **Experiment** → **Sběr dat...**):
 - doba měření 0,1 s,
 - vzorkovací frekvence 10 kHz,
 - trigger – dle obrázku



- 4) Před zahájením měření senzory vynuluujeme kliknutím na ikonu .
- 5) Měření spustíme kliknutím na  **Sběr dat** a v obvodu sepne vypínač. Po skončení měření (0,1 s) vypínač vypneme.

Přechodový jev v obvodu s cívkou

 Graf
závislosti
proudu
na čase

 Graf
závislosti
napětí mezi
svorkami
cívky
na čase


Kvalitativní interpretace náběhu proudu

Po sepnutí obvodu nastává *přechodový jev* – elektrický proud se neobjeví ihned, ale nabíhá postupně. Před uzavřením spínače je proud nulový. Po uzavření obvodu nejprve strmě narůstá, poté se stabilizuje na maximální hodnotě $i = I_m = 0,395 \text{ A}$ (ke zjištění hodnoty lze použít ikonu **Odečet hodnot** .

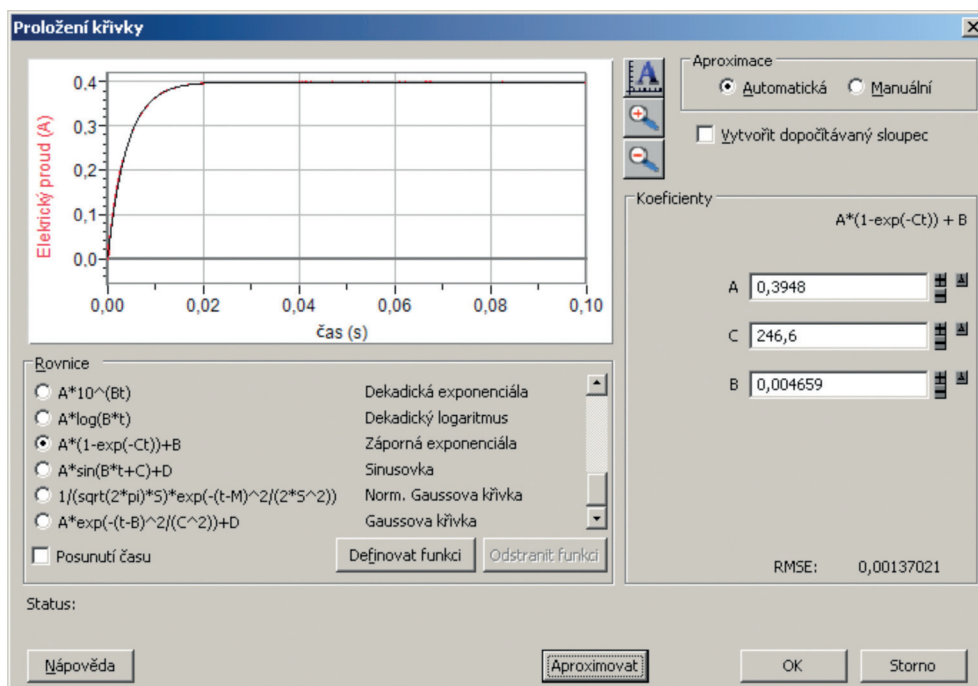
Ihned po uzavření obvodu se začne elektrický proud měnit. V cívce dochází k jevu nazvanému *vlastní indukce* – podle Lenzova zákona se cívka svými účinky brání změně, která je vyvolala. Cívka brání změnám magnetického pole (tyto jsou způsobeny změnami procházejícího proudu) tím, že indukuje dodatečné magnetické pole, resp. napětí orientované proti směru, kterým se mění původní magnetické pole. Indukované napětí má tedy za následek zpomalení změn proudu v cívce. Proto elektrický proud nedosáhne maximální hodnoty okamžitě, jak by tomu bylo v obvodech sestavených pouze z rezistorů.

Indukované napětí na cívce je maximální právě tehdy, kdy se proud v cívce mění nejprudčeji (ihned po uzavření obvodu, v čase $t > 0 \text{ s}$). Jak proud roste čím dál pomaleji, indukované napětí se postupně zmenšuje. V ustáleném stavu, tedy v okamžiku, kdy proud dosáhl maximální hodnoty a dál už se nemění, se v cívce žádné indukované napětí neobjevuje. Přesto, jak je patrné z 2. grafu, není napětí na cívce nulové, neboť se uplatní odpor vinutí, tj. vnitřní odpor cívky. V našem případě je v ustáleném stavu $u_L = 0,25 \text{ V}$.

Pozn.: Počáteční zakmitnutí napětí (v čase $t = 0,000 \text{ s}$) je způsobeno nedokonalostí použitého vypínače a jeho vysvětlování studentům nedoporučuji.

Kvantitativní analýza náběhu proudu

Získanými křivkami lze proložit exponenciální funkce. V menu **Analýza** → **Proložit křivku...** vybereme **Záporná exponenciála** a klikneme na **Aproximovat**. Pokud fit „sedí“, potvrdíme **OK**. V případě napětí zvolíme **Přirozená exponenciála**.



V grafu lze upravit prokládaný interval (označen hranatými závorkami) uchopením a tažením levým tlačítkem myši.

Porovnáním s údaji v grafu zjišťujeme, že elektrický proud je vyjádřen rovnicí

$$i = I_m \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

- Konstanta $A = I_m = 395 \text{ mA}$ představuje limitní proud v ustáleném stavu.
- Konstanta B má zanedbatelnou hodnotu, je dána podmínkami při startu měření.
- Konstanta $C = 247 \text{ s}^{-1}$ je převrácenou hodnotou časové konstanty τ obvodu RL.

Elektrické napětí na cívce je vyjádřeno rovnicí $u_L = U_m \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + U_\infty$.

- Konstanta $A = U_m = 4,53 \text{ V}$ vyjadřuje napětí na baterii.
- Konstanta $B = U_\infty = 0,252 \text{ V}$ představuje napětí na vinutí cívky v ustáleném stavu.
- Konstanta $C = 244 \text{ s}^{-1}$ je opět převrácenou hodnotou časové konstanty τ .

Určení parametrů cívky

- Vnitřní odpor $r_i = \frac{U_\infty}{I_m} = 0,64 \Omega$
- Celkový odpor obvodu $R_T = \frac{U_m}{I_m} = 11,5 \Omega$
- Časová konstanta $\tau = \frac{1}{245,5} \text{ s} = 4,07 \text{ ms}$
- Indukčnost cívky $L = \tau \cdot R_T = 46,8 \text{ mH}$

Přechodový jev v obvodu s cívkou

Rychlost náběhu proudu

Náběh proudu není okamžitý děj, ale trvá určitou dobu. Rychlost náběhu je charakte-

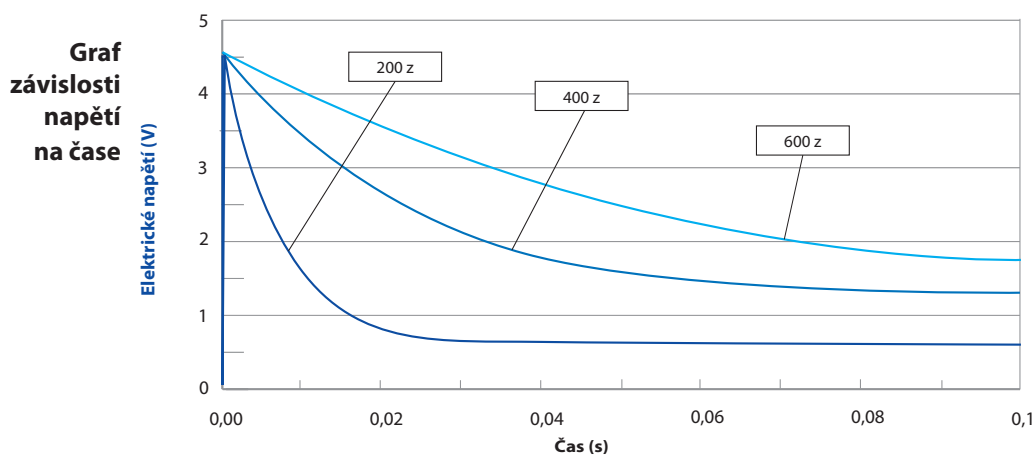
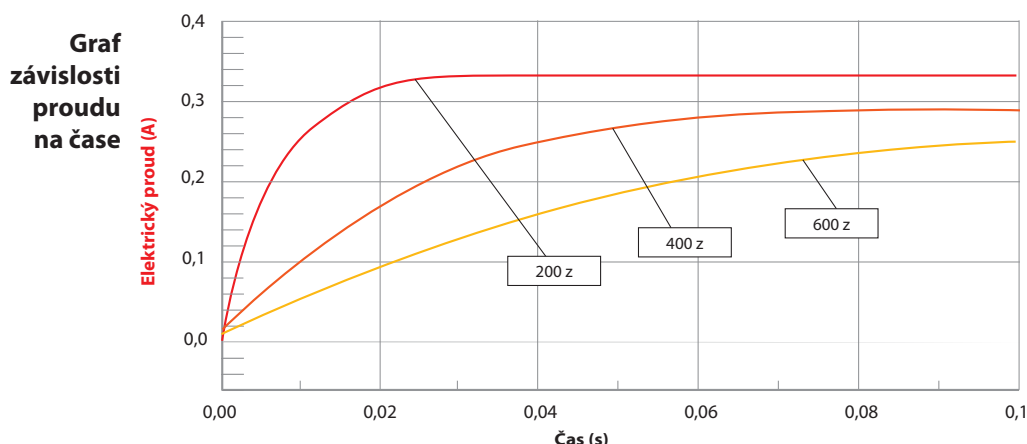
rizována časovou konstantou obvodu $\tau = \frac{L}{R}$. Je rovna době, za kterou dosáhne proud

63 % maximální hodnoty. Po uplynutí doby 5τ je rozdíl mezi okamžitou hodnotou proudu a limitní hodnotou menší než 1 %.

Prozkoumání vlivu indukčnosti

Použijeme stejný obvod, stejné nastavení, $R = 10 \Omega$, připojujeme postupně cívku s 200, 400 a 600 závitů na uzavřeném jádru. Další křivku do grafu přidáme v menu **Experiment**→

Uchovat poslední měření.

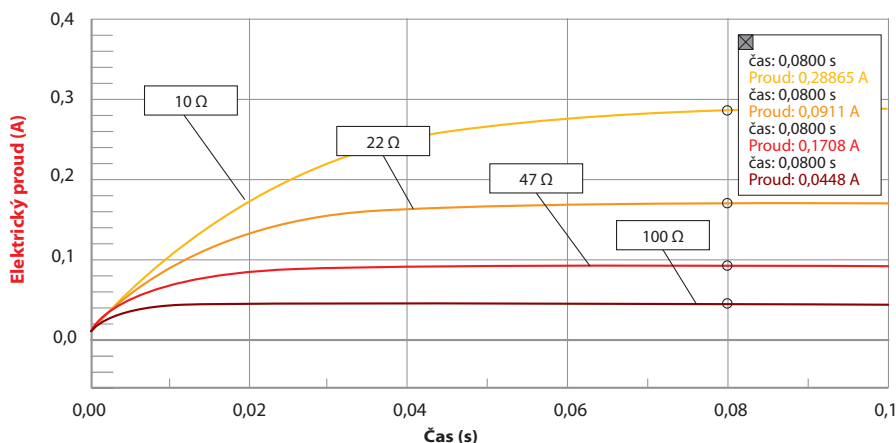


Je zřejmé, že pro větší indukčnosti trvá přechodový jev déle, časová konstanta se zvětšuje s rostoucí indukčností. Změnou počtu závitů došlo i ke změně odporu obvodu (čím víc závitů, tím větší odpor cívky), proto limitní hodnoty proudu ani napětí nejsou totožné.

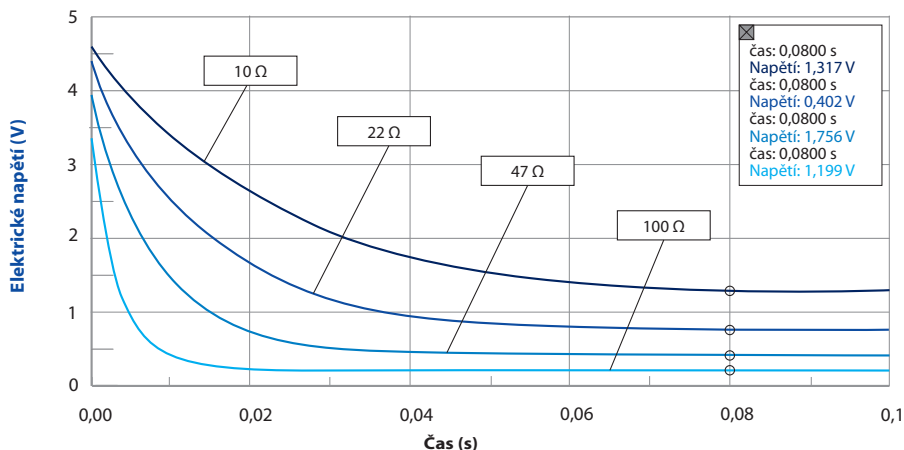
Prozkoumání vlivu odporu

Použijeme stejný obvod, stejné nastavení, zapojíme cívku se 400 závitů na uzavřeném jádru rozkladného transformátoru. Postupně připojujeme rezistory o odporu 10 Ω, 22 Ω, 47 Ω a 100 Ω. Další křivku do grafu přidáme v menu **Experiment** → **Uchovat poslední měření**.

Graf závislosti proudu na čase



Graf závislosti napětí mezi svorkami cívky na čase



Dospíváme k překvapivému zjištění: má-li obvod větší odpor, přechodový jev trvá kratší dobu, limitního proudu je dosaženo dříve než při menších odporech. Časová konstanta

tedy klesá s rostoucím odporem. Teoreticky lze odvodit, že časová konstanta $\tau = \frac{L}{R}$.

Bylo by výborným cvičením se žáky identifikovat křivky v grafu $u_L = f(t)$ a vysvětlit, proč při nižším odporu rezistoru bude v ustáleném stavu na cívce vyšší napětí.

Fázové posunutí napětí a proudu na cívce

Pavel Böhm

Výstup RVP: žák měří vybrané veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření

Klíčová slova: RLC obvody, střídavý proud, indukance, impedance, cívka, fázové posunutí

Laboratorní práce

Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

45 min

Obtížnost:

vysoká

- Úkol**
- 1) Sestavte obvod, který umožní změřit průběh napětí a proudu na cívce při různých frekvencích střídavého proudu.
 - 2) Změřte průběh napětí a proudu na cívce při frekvenci 5 Hz, 50 Hz a 500 Hz.
 - 3) Určete v každém ze tří případů maximální proud a napětí, impedanci a fázové posunutí (ve stupních).
 - 4) Odhadněte na základě experimentu elektrický odpor cívky a její indukčnost.
 - 5) Proveďte odhad impedance pro jiné frekvence (například 200 Hz, 1 000 Hz) a ověřte experimentem.

Pomůcky Generátor střídavého napětí s nastavitelnou frekvencí, voltmetr Vernier (rozsah 6 V), ampérmetr Vernier (rozsah 0,6 A), LabQuest, počítač s programem Logger Pro, cívka, spojovací vodiče

Teoretický úvod Pro impedanci cívky platí

$$Z = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

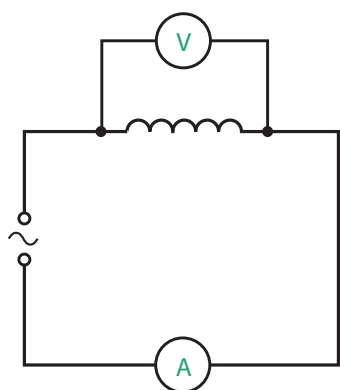
kde Z je impedance, $U_{\max}$ maximální napětí, $I_{\max}$ maximální proud, R elektrický odpor cívky a X_L indukance cívky.

Pro induktanci dále platí

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L,$$

kde f je frekvence střídavého proudu a L je indukčnost cívky.

Vypracování Schéma obvodu:



Doporučení k nastavení softwaru při měření:

Nastavte dobu měření na 0,1 s a vzorkovací frekvenci na 10 000 vzorků za sekundu (**Experiment** → **Sběr dat**).

Před zahájením měření kliknutím na ikonu  je vhodné vynulovat senzory. Spojte (zkratujte) oba vývody voltmetru a odpojte ampérmetr od zdroje napětí, následně

klikněte na ikonu .

Fázové posunutí napětí a proudu na cívce

Pokud je (při vyšších frekvencích střídavého proudu) potřeba v grafu přiblížit určitou část pro lepší odečítání hodnot, stačí daný úsek označit tažením myši a kliknout na ikonku . Pozor na to, že je potřeba začít myší táhnout v levém horním rohu a skončit v pravém dolním. Do takto vyznačeného okna je třeba uzavřít celý úsek pro přiblížení.

Hodnoty lze z grafu odečítat po kliknutí na ikonku .

	5 Hz	50 Hz	500 Hz
Maximální proud (A)			
Maximální napětí (V)			
Impedance (Ω)			
Induktance (Ω)			
Fázové posunutí U a I (stupně)			

Elektrický odpor cívky (Ω)	
Indukčnost cívky (H)	

frekvence (Hz)	odhad impedance (Ω)	odhad fázového posunutí U a I (ve stupních)	změřená impedance (Ω)	změřené fázové posunutí U a I (ve stupních)
200				
1 000				

Fázové posunutí napětí a proudu na cívce

Pavel Böhm

Zpracování Aktivitu lze nechat provádět žáky ve skupinkách v rámci laboratorních prací nebo ji může učitel zařadit do běžné hodiny jako aktivitu demonstrační.

Slabším žákům lze v návodu ponechat schéma obvodu, ti zdatnější by měli být schopni si obvod sestavit samostatně (doporučuji důsledně vést žáky k tomu, aby před zapojením ke zdroji napětí nechali učitele obvod zkontrolovat).

Lze ji provést též badatelským způsobem, kdy žáky necháme vztah mezi frekvencí a impedancí/indukčností objevit.

Nechte žáky, aby sami vymysleli, s jakou frekvencí je vhodné měření provádět. Abychom i při frekvenci 500 Hz zobrazili jednu periodu aspoň pomocí 20 bodů, je třeba frekvence 10 kHz.

Jednoduchý a dostatečně přesný postup pro určení elektrického odporu a indukčnosti cívky je tento: uvědomíme si, že při malé frekvenci prakticky indukčnost nehraje roli, veškerá impedance při 5 Hz je tedy v podstatě určena odporem cívky. Když známe odpor cívky, můžeme naopak z nejvyšší hodnoty při 500 Hz dopočítat indukčnost.

Pokud máme čas, můžeme nechat žáky experimentálně ověřit, že jejich odhad impedance a fázového posunutí pro jiné frekvence je ve shodě s experimentem.

Můžeme také žákům ukázat, jak lze využít nástroj **Řešitel**.

Dalším rozšířením aktivity může být zkoumání indukčnosti cívky v závislosti na přítomnosti jádra, na počtu závitů cívky, na procházejícím proudu a podobně.

**Ukázky
výsledků**

	5 Hz	50 Hz	500 Hz
Maximální proud (A)	0,31	0,31	0,19
Maximální napětí (V)	2,0	2,1	4,5
Impedance (Ω)	6,3	6,7	23
Induktance (Ω)	0,23	2,3	23
Fázové posunutí U a I (stupně)	2	20	74

Elektrický odpor cívky (Ω)	6,3
Indukčnost cívky (H)	0,0072

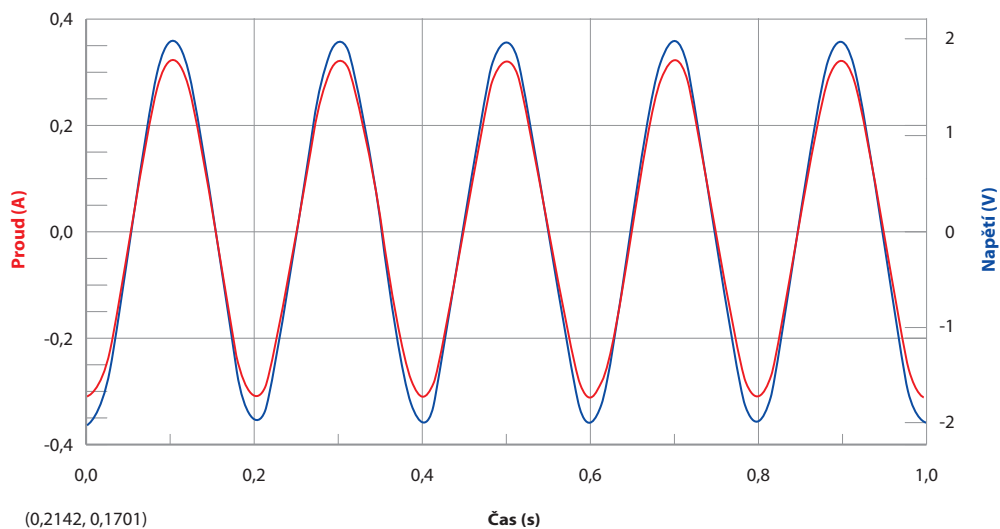
Fázové posunutí napětí a proudu na cívce

frekvence (Hz)	odhad impedance (Ω)	odhad fázového posunutí U a I (ve stupních)
50	6,7	20
100	7,8	36
150	9,3	47
200	11	55
250	13	61
300	15	65
350	17	68
400	19	71
450	21	73
500	23	74
550	26	76
600	28	77
650	30	78
700	32	79
750	34	79
800	37	80
850	39	81
900	41	81
950	43	82
1000	46	82
1050	48	82
1100	50	83
1150	52	83
1200	55	83
1250	57	84
1300	59	84
1350	61	84
1400	64	84
1450	66	85
1500	68	85

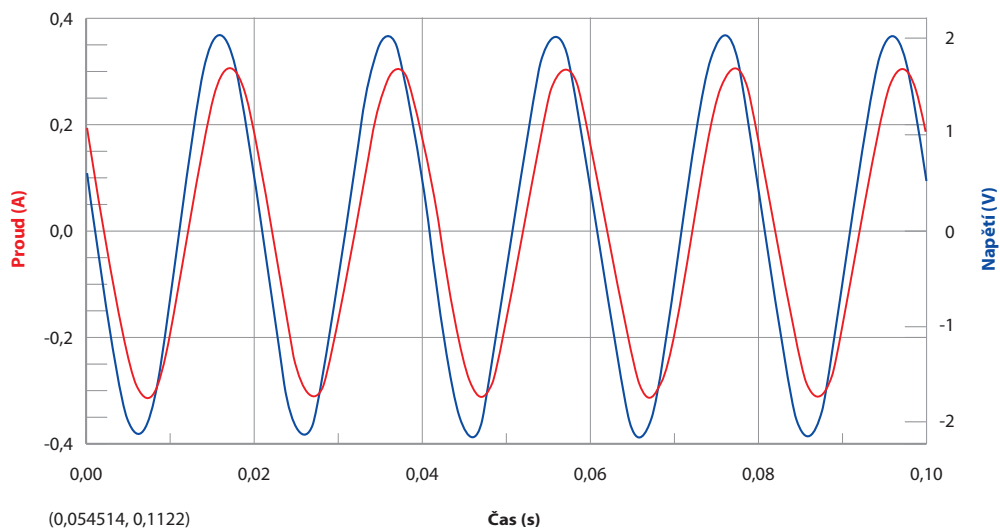
Fázové posunutí napětí a proudu na cívce

Na obrázcích jsou typické průběhy proudu a napětí.

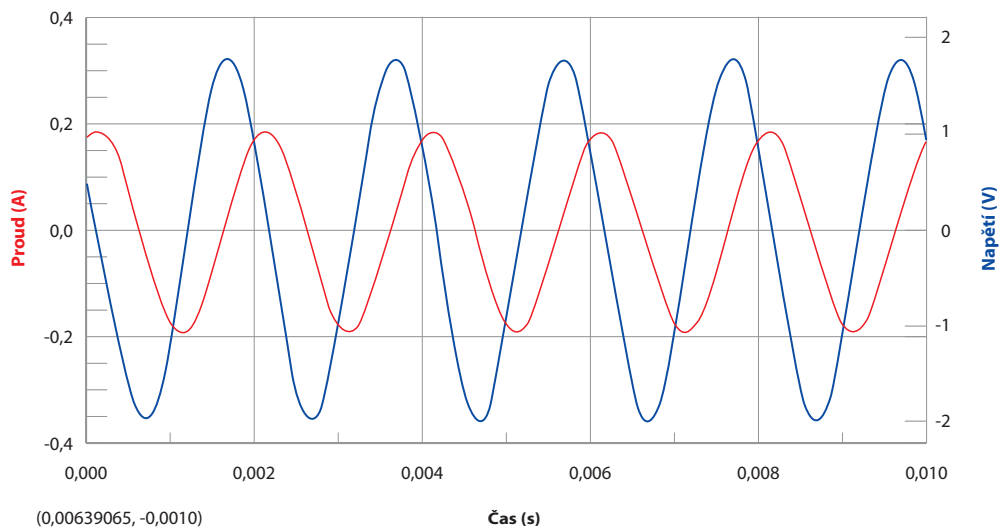
5 Hz



50 Hz



500 Hz



Studium závislosti osvětlení na vzdálenosti od zdroje

Eva Bochníčková

Výstup RVP: žák měří dané fyzikální veličiny vhodnými metodami, zpracuje výsledky měření formou grafu, pracuje s grafem za účelem získání hledané závislosti, analyzuje tuto závislost a vyvodí závěr; kvalitativně studuje osvětlení dané různými zdroji světla.

Klíčová slova: fotometrie, osvětlení, svítivost

Příprava na hodinu

Doba na přípravu:

5 min

Doba na provedení:

45 min

Obtížnost:

střední

Úkol Experimentálně zjistěte, jak závisí osvětlení žárovky na vzdálenosti:

1) proměřte závislost $E = f(r)$,

2) proložte získaným grafem křivku a srovnajte s předpokládaným průběhem.

Pomůcky Počítač s programem Logger Pro, LabQuest, luxmetr Vernier, žárovka napájená napětím 230 V, pravítko nebo sonar Vernier Go!Motion

Teoretický úvod Fotometrie je část fyziky, která popisuje světelné zdroje a jejich vlastnosti s ohledem na schopnost vnímat světlo lidským okem. Mezi základní fotometrické veličiny patří:

svítivost	I (cd – základní jednotka SI)
světelný tok	Φ (lm)
osvětlení	E (lx)
jas	j (nit)

Osvětlení definujeme jako $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$,

kde $\Delta\Phi$ je světelný tok dopadající rovnoměrně na plochu ΔS osvětleného tělesa.

Pro osvětlení lze také psát $E = \frac{I \cdot \cos\alpha}{r^2}$, kde I je svítivost zdroje, r vzdálenost zdroje od osvětlené plochy a α je úhel dopadu světla na danou plochu. Pokud tedy bude úhel $\alpha = 0^\circ$ (kolmý dopad), osvětlení bude maximální a vztah se zjednoduší na $E = \frac{I}{r^2}$

Osvětlení měříme luxmetrem a jeho hodnoty jsou sledovaným parametrem pro hygienu práce. Jako příklad lze uvést orientační hodnoty pro:

čtení	300 lx
rýsování	750 lx
osvětlení chodeb	75 lx

Vypracování Úlohu je možné provést dvěma způsoby:

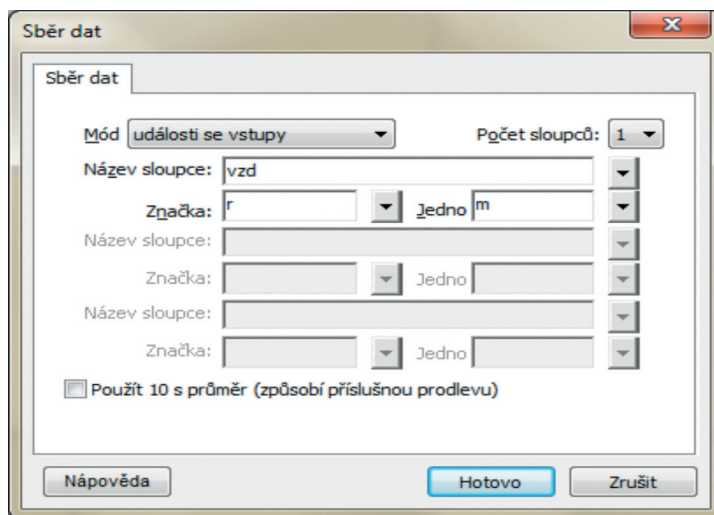
1. Použijeme pouze luxmetr a vzdálenost odečítáme pomocí délkového měřidla.
2. Pro určení vzdálenosti použijeme sonar Go!Motion. Vlastní měření je rychlejší, a je proto vhodné jako demonstrace do hodiny. Je ovšem náročnější na přípravu, kdy je potřeba zajistit vhodnou odraznou plochu v rovině vlákna žárovky pro spolehlivé určení vzdálenosti sonarem.

První způsob

1. Na luxmetru nastavíme rozsah 0–6 000 lx.
2. Luxmetr připojíme k LabQuestu a ten propojíme s počítačem.

Studium závislosti osvětlení na vzdálenosti od zdroje

3. Luxmetr umístíme před žárovku, ověříme, že měřené hodnoty nepřekračují zvolený rozsah, a na pracovní plochu umístíme délkové měřidlo. Dbáme na to, abychom měřili vzdálenost od vlákna žárovky. Měříme-li v nezatemněné místnosti, volíme takovou prostorovou konfiguraci experimentu, aby luxmetr při měření směřoval od okna či jiných zdrojů intenzivního světla.
4. Na počítači spustíme program Logger Pro, kde se objeví okno pro sledování aktuálních hodnot osvětlení.
5. V nabídce **Sběr dat** volíme **Události se vstupy** a zadáme parametry námi ručně měřené vzdálenosti r (m), tj. **Název sloupce:** vzdálenost, **Značka:** r , **Jednotka:** m.

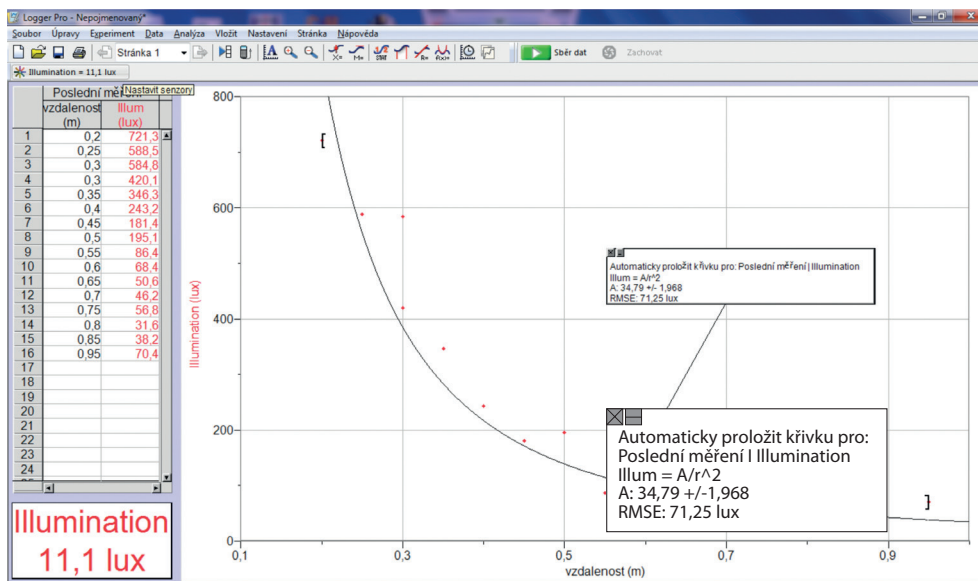


6. Na ploše se objeví graf závislosti osvětlení na vzdálenosti. V nabídce **Nastavení grafu** zrušíme volbu **Spojovat body**.
7. Zatemníme, vynulujeme luxmetr (při vhodné konfiguraci a silném zdroji světla lze přeskočit).
8. Rozsvítíme žárovku a spustíme měření. Postupně vzdalujeme luxmetr od žárovky, po ustálení klikem na ikonu **Zachovat** tuto hodnotu uložíme a dodáme údaj o vzdálenosti.
9. Na obrazovce sledujeme graf $E = f(r)$. Naměříme asi 15 hodnot s krokem 3 až 5 cm.
10. Po ukončení měření necháme daty proložit křivku vhodného tvaru **Analýza** → **Proložit křivku** (zvažte, o jakou křivku se má jednat podle vztahu v teoretickém úvodu).
11. Posoudíme míru shody a vyslovíme závěr.

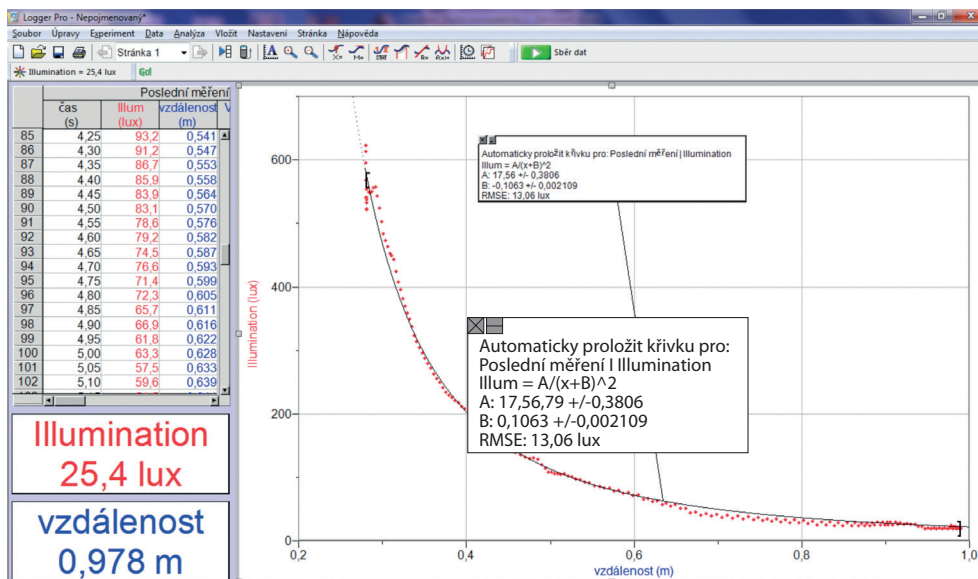
Druhý způsob

1. Na luxmetru nastavíme rozsah 0–6 000 lx.
Luxmetr připojíme k LabQuestu a ten společně se sonarem Go!Motion připojíme k počítači.
2. Na ploše počítače spustíme program Logger Pro, kde se objeví okno pro sledování aktuálních hodnot osvětlení a vzdálenosti.
3. Na obrazovce ponecháme pouze graf závislosti osvětlení na vzdálenosti. V nabídce **Nastavení grafu** volíme možnost **Nespojovat body**.
4. Připravíme vhodnou odraznou plochu, kterou umístíme do stejné vertikální roviny se zdrojem. Je možné použít například tuhý karton s vyřezaným kruhovým otvorem, který přidržíme před světelným zdrojem. Luxmetr spolu se sonarem umístíme před žárovku.
5. Zatemníme, vynulujeme luxmetr (při vhodné konfiguraci a silném zdroji světla lze přeskočit).
6. Rozsvítíme žárovku a spustíme měření. Postupně vzdalujeme luxmetr spolu se sonarem od žárovky.
7. Po ukončení měření necháme daty proložit křivku vhodného tvaru **Analýza** → **Proložit křivku** (zvažte, o jakou křivku se má jednat podle vztahu v teoretickém úvodu).
8. Posoudíme míru shody a vyslovíme závěr.

Výsledky Experiment 1



Experiment 2



V obou variantách experimentu byl posun luxmetru, případně sonaru a luxmetru, realizován ručně, což ovlivní přesnost měření zejména při prvním způsobu provedení experimentu. Při experimentu je nutná asistence druhé osoby pro ruční zadávání vzdálenosti, případně pro posun luxmetru s polohovým čidlem a obsluhu počítače. Přesto oba postupy vykazují poměrně dobrou shodu s očekávaným průběhem.

Toto měření není příliš vhodné pro laboratorní cvičení, kdy je současně v místnosti rozsvíceno více zdrojů světla, které mohou ovlivnit hodnoty osvětlení na jednotlivých stanovištích. Úlohu lze proto doporučit spíše jako demonstraci do hodiny.

Emisní spektra různých zdrojů

Mirek Kubera

Výstup RVP: žák využívá poznatky o kvantování energie záření a mikročastic k řešení fyzikálních problémů

Klíčová slova: optický hranol, spektrum, emisní spektrum, absorpční spektrum, zdroje světla, čárové spektrum, spojité spektrum

Příprava na hodinu
nebo **Laboratorní práce**
Doba na přípravu:

10 min

Doba na provedení:

45 min nebo

90 min – spektroskop

Obtížnost:

střední

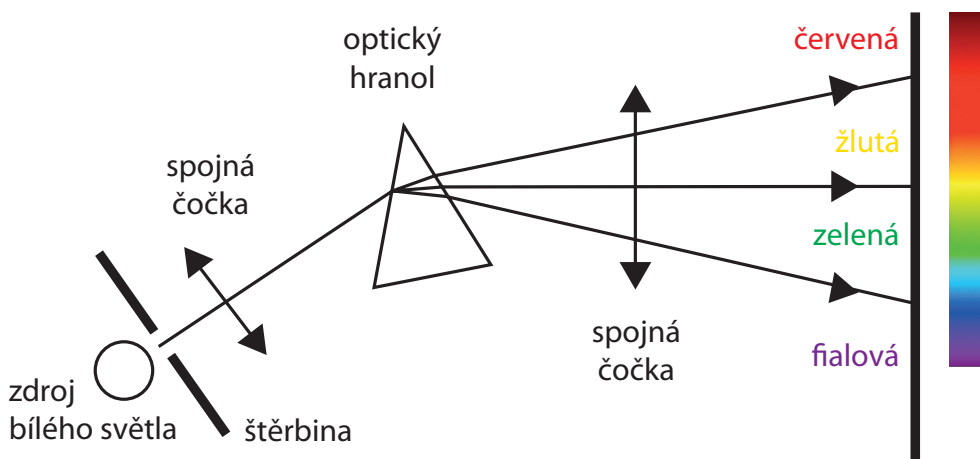
Úkol Sestavte jednoduchý spektroskop.

Za pomoci vašeho spektroskopu a spektroskopu Spectrovis Plus pozorujte spektra různých světelných zdrojů.

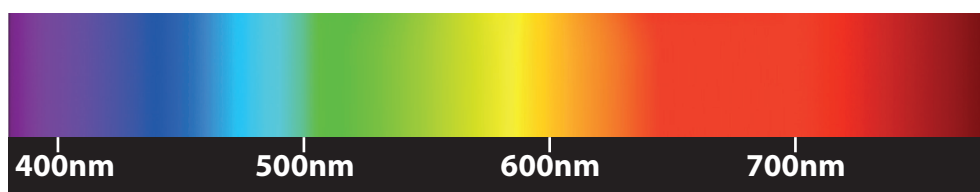
Porovnejte pozorování z obou spektroskopů a vyplňte pracovní list.

Pomůcky Návod na stavbu papírového spektroskopu + materiál ke stavbě (tvrdý tmavý papír, pravítko, nůžky, lepicí páska, lepidlo, staré CD nebo DVD), spektroskop SpectroVis Plus, stolní lampa se žárovkou, zdroj napětí 230 V s nastavitelným napětím, sodíková výbojka, zářivka, event. další zdroje světla

Teoretický úvod Emisní spektrum vzniká tak, že světlo, které vydává světelný zdroj, je rozloženo optickým hranolem (popřípadě mřížkou) a poté promítnuto na stínítko nebo přímo do oka pozorovatele nebo jako v případě přístroje SpectroVis Plus na čip CCD, který zaznamená vlnovou délku daného světla a příslušnou intenzitu. V tomto případě se již nejedná o spektroskop, ale o spektrometr. Na následujícím obrázku si můžeme prohlédnout schéma jednoduchého hranolového spektroskopu. Bílé světlo ze zdroje je soustředěno na optický hranol, který je rozloží na jednotlivé barvy a promítá na stínítko, kde již pozorujeme spektrum bílého světla.



Některé zdroje, jako například žárovka, dávají **spojité spektrum**, v němž nechybí žádná barva od fialové po červenou.



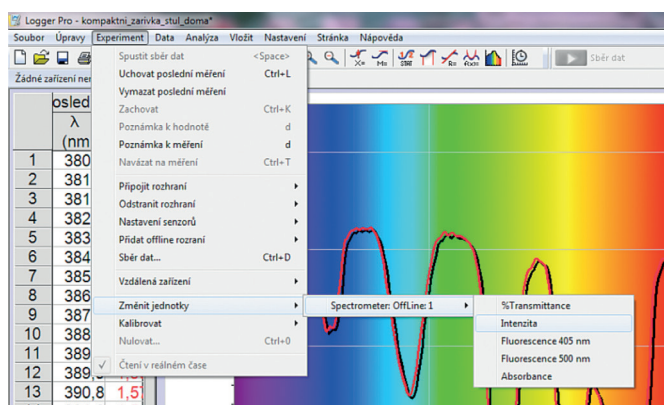
Emisní spektra různých zdrojů

Jiné zdroje naopak vysílají pouze některé vlnové délky, přestože jejich světlo je bílé. Takové spektrum, složené z barevných čar na černém pozadí, nazýváme **čárové spektrum**.

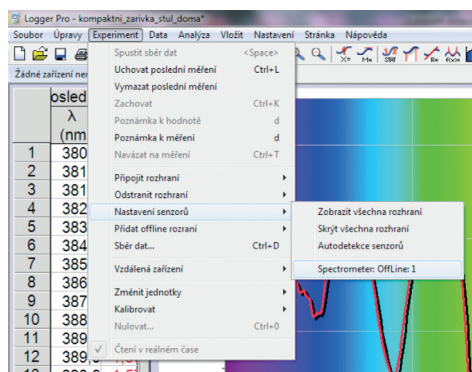


Postup Chceme-li, aby studenti sami vytvořili papírový spektroskop s mřížkou z kousku CD či DVD, musíme připravit základní materiál. Předlohu spektroskopu převzatou z brněnské hvězdárny (k dispozici na <http://stara.hvezdarna.cz/index.php3?s=11&subs=13>) vytiskněte na silnější papír tmavé barvy. Připravte pravítka, nůžky, nože či skalpely, podkladní papíry, lepicí pásky (lépe černá), stará CD nebo DVD a lepidlo na papír. Podle návodu, který je součástí předlohy, může každý student během 40 minut sestavit svůj spektroskop. Poté co studenti sestaví papírový spektroskop, provádějí měření popsaná v pracovním listu. Učitel je v měření povzbuzuje a ve vhodný okamžik proměřuje spektra světelných zdrojů s přístrojem SpectroVis Plus, které pozorují i studenti.

Příprava měření Za pomoci USB kabelu spojíme počítač se spektrometrem SpectroVis Plus. Do otvoru pro vložení kyvet umístíme konec optického vlákna (trojúhelníček na trojúhelníček). Spustíme program Logger Pro. Automaticky je nastaveno měření absorbance. Pro naše měření musíme vybrat **Experiment**→**Změnit jednotky**→**Intenzita**.



Při vlastním měření pak nejvíce využijeme další nastavení **Experiment**→**Nastavení senzorů**→**Spektrometr**.



Protože různé zdroje světla jsou různé intenzivní, musíme průběžně upravovat hodnotu **Vzorkovací čas**. Lze ji měnit od 15 do 1 000 ms. Pro velmi jasné zdroje (denní světlo, sodíková výbojka, žárovka) nastavujeme nižší hodnoty (např. 15–50 ms), v případě slabě žhnoucí žárovky nebo různých výbojových trubíc pak hodnoty kolem 800–900 ms. Měření trvá déle, ale lze proměřit i velmi slabé zdroje. Intenzitu lze upravit i tím, že vzdálíme konec optického vlákna od zdroje světla.

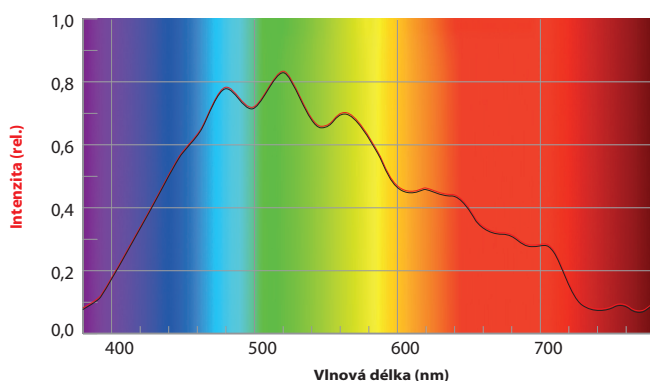


Spustíte měření tlačítkem **Sběr dat**. Jestliže se objeví naměřené spektrum, měření ukončíte a interpretujete.

Výsledky a výpočty Mezi spektrem získaným papírovým spektroskopem a spektrometrem SpectroVis Plus je velice dobrá shoda.

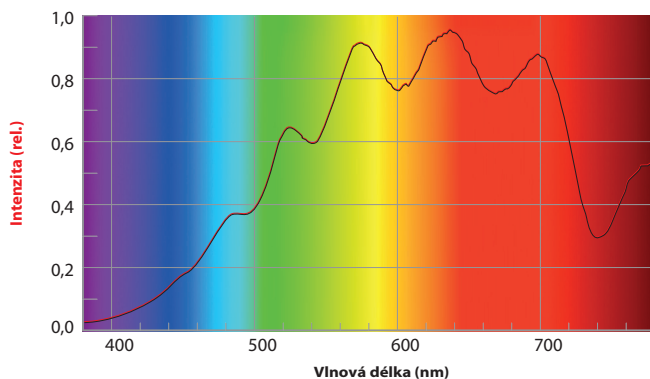
- a. Spektrum denního světla je spojité, nevykazuje žádná výrazná maxima. Nejintenzivnější světlo má vlnovou délku 522 nm, což dobře odpovídá maximu záření Slunce. Červené odstíny jsou co do intenzity poměrně slabé, což je způsobeno konstrukcí samotného spektroskopu a jeho předpokládaným použitím (absorpční spektra).

Spektrum denního světla



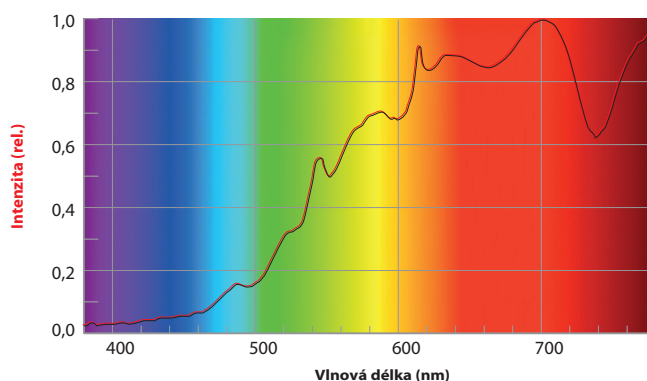
- b. Spektrum žárovky (plný svit) je spojité, obsahuje všechny barvy od fialové po červenou, byť různých intenzit.

Spektrum žárovky (plný svit)

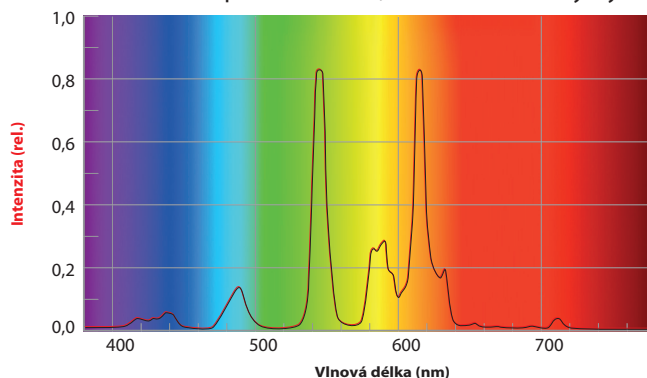


- c. Spektrum žárovky (slabě žhnoucí) je spojité. Obsahuje prakticky všechny barvy, při nižší teplotě (zde asi 1300 °C) je však chudší o odstíny fialové a modré barvy. Toto spektrum potvrzuje Wiennův posunovací zákon popisující záření absolutně černého tělesa. Čím je vyšší teplota tělesa vydávajícího světlo (nebo elektromagnetické záření), tím více se maximum křivky znázorňující intenzitu záření v závislosti na vlnové délce posunuje doleva, směrem k nižším vlnovým délkám.

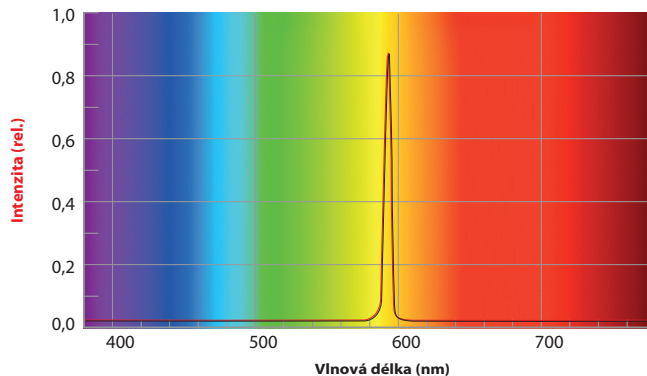
Emisní spektra různých zdrojů

Spektrum
žárovky
(slabě
žhnoucí)

d. Spektrum žárovky vykazuje celkem šest zřetelných spektrálních čar. Podle jejich vlnových délek můžeme určit i složení luminoforu na stěně žárovky. Nízký vrchol v oblasti žlutého světla odpovídá sodíku, vrchol v oblasti tyrkysové barvy odpovídá vodíku.

Spektrum
žárovky

e. Spektrum sodíkové výbojky vykazuje jedno maximum o vlnové délce 592,6 nm (porovnejme s teoretickou hodnotou 589,0 a 589,6 nm – sodíkový dublet) Jedná se o spektrum čárové. Světlo tvořené sodíkovou výbojkou je světlo monochromatické, neboť obsahuje pouze jednu barvu. Jeho odstín při pozorování okem je žlutooranžový.

Spektrum
sodíkové
výbojky

Poznámky Úlohu je možno realizovat jako laboratorní úlohu, v první polovině studenti sestavují papírový spektroskop, ve druhé provádějí vlastní pozorování. Druhým možným způsobem, jak úlohu využít, je demonstrační předvedení učitelem v hodině. V tomto případě postačuje pro její realizaci 45 minut.

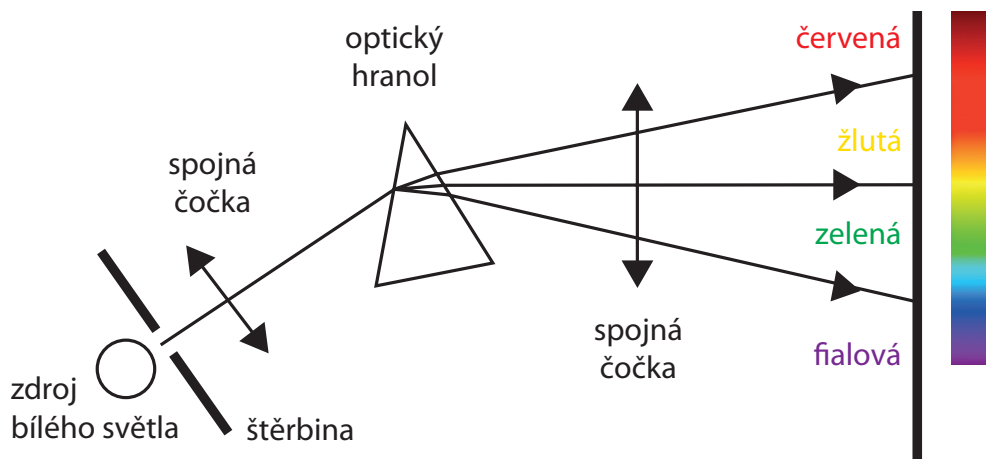
V létě, je-li jasno, spektrum modré oblohy není možno naměřit – intenzita světla je natolik vysoká, že i při nejkratším vzorkovacím času (15 ms) dojde k saturaci spektrometru. Zřejmě vlivem nedokonalosti spektrometru dostáváme ve všech spektrech nápadně nižší hodnoty intenzity pro 500 nm, 540 nm, 600 nm a 740 nm. Tento pokles detekované intenzity nemá původ ve vlastnostech zkoumaného světla. Proto lze získané výsledky považovat pouze za orientační.

Užitečné odkazy <http://www.elkovo-cepelik.cz/zarivky>
<http://www.nasli.net/cz.technologie.zarivky.php>
http://www.aldebaran.cz/applets/fy_spectral/spectral.html
http://en.wikipedia.org/wiki/Fraunhofer_lines

Emisní spektra různých zdrojů

Mirek Kubera

Studium spekter Prohlédněte si schéma hranolového spektroskopu. Pozorujte různá emisní spektra. Co je jejich příčinou a co je ovlivňuje?



Experiment 1 – sluneční světlo

Pozorujte ve svém spektroskopu sluneční světlo. Nakreslete jeho vzhled do tohoto rámečku.

červená
fialová

O jaký druh spektra se jedná?

Spojité ☐ nebo čárové ☐? Je to světlo polychromatické ☐ nebo monochromatické ☐? Zatrhněte správnou odpověď.

Experiment 2 – žárovka

Žárovka je tvořena wolframovým vláknem, které je ohříváno průchodem elektrického proudu až na teplotu 2 200 °C. Pozorujte a zakreslete spektrum tohoto světla.

červená
fialová

O jaký druh spektra se jedná?

Spojité ☐ nebo čárové ☐? Je to světlo polychromatické ☐ nebo monochromatické ☐? Zatrhněte správnou odpověď.

Jaký má spektrum vzhled, jestliže je teplota vlákna nižší (vlákno je pouze žhavé)? Je spektrum stejné? Co se stalo?

červená
fialová

Emisní spektra různých zdrojů

Horké těleso (pevné, kapalné nebo plynné) vysílá světlo, jehož spektrum je

_____.

Toto spektrum se

_____ s teplotou.

Jestliže se teplota zvyšuje, světlo je intenzivnější, spektrum je bohatší o barvy:

_____.

Experiment 3 – zářivka

Pozorujte spektrum zářivky. Nakreslete jeho vzhled. Zapište si všechny barvy.

červená

fialová

O jaký druh spektra se jedná?

Spojité ☐ nebo čárové ☐? Je to světlo polychromatické ☐ nebo monochromatické ☐?

Zatrhněte správnou odpověď.

Emisní spektra prvků jsou zvláštní. Závisí na chemickém prvku? Podívejte se na následující odkaz <http://jf.noblet.pagesperso-orange.fr/spectre2/index2.htm> nebo http://www.ostralo.net/3_animations/swf/spectres.swf a zkuste odpovědět.

Plyn za nízkého tlaku a vysoké teploty vytváří světlo, jehož spektrum je charakterizováno

_____.

Dostáváme

_____ čárové emisní spektrum.

Experiment 4 – sodíková výbojka

Pozorujte spektrum sodíkové výbojky. Nakreslete jeho vzhled. Zapište si všechny barvy.

červená

fialová

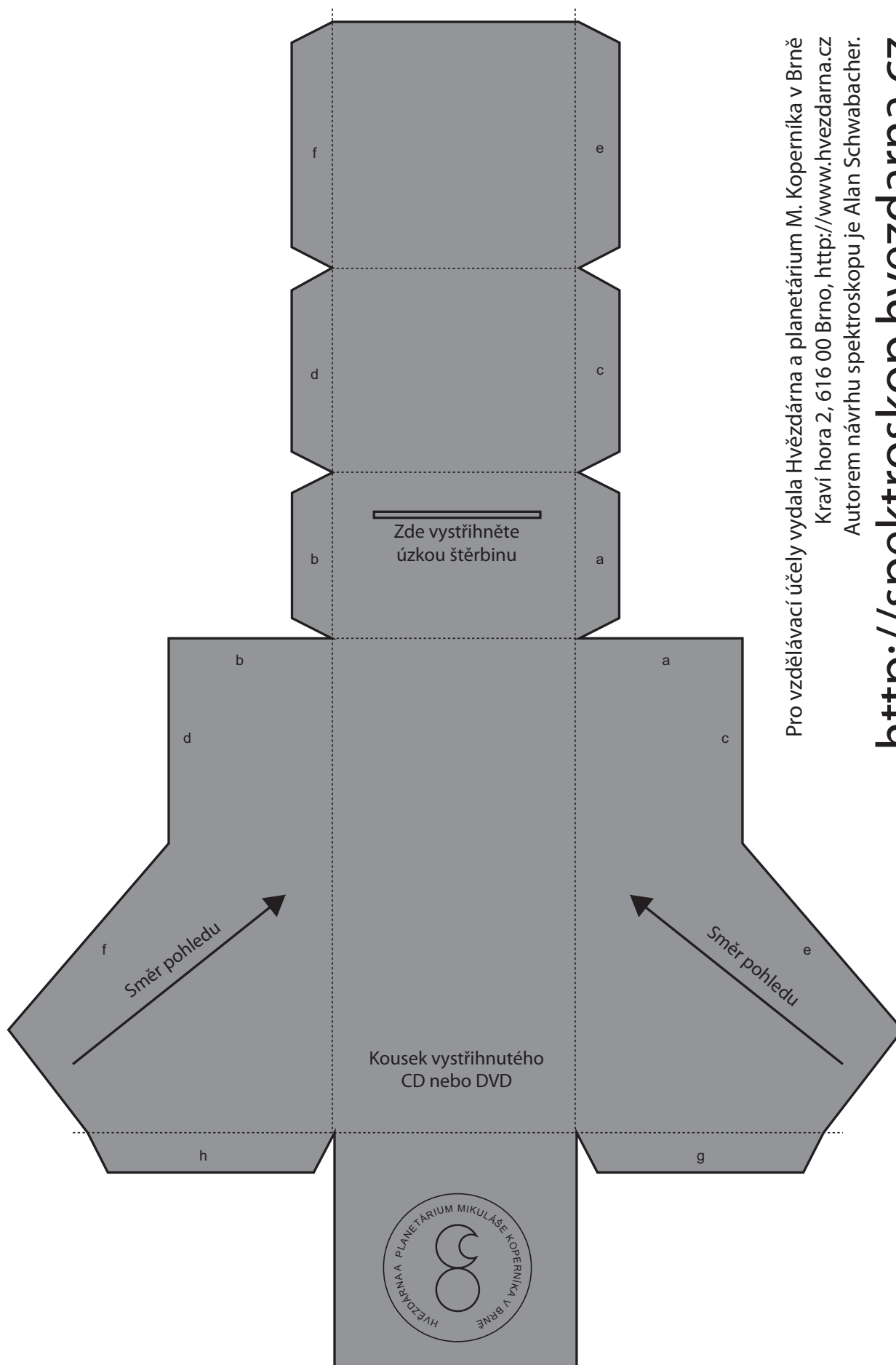
O jaký druh spektra se jedná?

Spojité ☐ nebo čárové ☐? Je to světlo polychromatické ☐ nebo monochromatické ☐?

Zatrhněte správnou odpověď.

Jaká je barva tohoto světla?

Příloha: Předloha ke stavbě spektroskopu





Experimenty s Vernierem

Fyzika

Redakce: Mgr. Vojtěch Beneš, Mgr. Mirek Kubera, Mgr. Vítězslav Nečas,
RNDr. Eva Bochníčková, Mgr. Pavel Böhm, Bc. Petra Směšná

Jazyková korektura: PhDr. Stanislav Zajíček

Fotografie: autoři úloh

Fotografie na obálce: Michal Šindelář

Grafická úprava: Mgr. Pavel Brabec

Sazba: RNDr. Ivo Pecl

Tisk: Zephiros, a.s.

Vydalo: Gymnázium Matyáše Lercha Brno, červen 2012

Náklad: 150 ks tiskem, digitálně zdarma na www.gml.cz/projekty/molapp
vydání první



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato publikace vznikla díky operačnímu programu **Vzdělávání pro konkurenceschopnost** v projektu **Mobilní laboratoř přírodovědných předmětů**, který byl v letech 2011–2012 realizován na Gymnáziu Matyáše Lercha v Brně.