

**Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta**

Jan Sedláček



DOKTORSKÁ DIZERTAČNÍ PRÁCE

Jan Sedláček

Jan Sedláček

**FYZIKÁLNÍ EXPERIMENTY
S BĚŽNÝM HARDWAREM**

Jan Sedláček

Obor: F12 – Obecné otázky fyziky

Školitel: RNDr. Jiří Dolejší, CSc., Ústav částicové a jaderné fyziky MFF UK

Děkuji

svému školiteli RNDr. Jiřímu Dolejšimu, CSc. za odborné vedení, konstruktivní rady a připomínky při realizaci mé práce; konzultantům doc. RNDr. Leoši Dvořákovi, CSc. a doc. RNDr. Jiřímu Langerovi, CSc. za cenné připomínky a další úhly pohledu na tuto práci; RNDr. Františku Lustigovi, CSc. za zapůjčení odborné literatury.

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Prohlašuji, že jsem doktorskou dizertační práci vypracoval samostatně a pouze s použitím uvedené literatury a odkazů.

Obsah

Obsah	3
1. Úvod	5
2. Cíl a struktura práce	7
3. Výuka fyziky na ČZU	9
3.1. Struktura uchazečů	9
3.2. Charakteristika základního kurzu fyziky	10
3.3. Charakteristika předmětu Vyrovnávací kurz fyziky	13
3.4. Přehled laboratorních úloh měřených na katedře fyziky TF ČZU	15
4. Modifikace experimentů využitím zvukové karty počítače	17
4.1. Konkrétní aplikace zvukové karty	17
4.2. Stanovení modulu pružnosti ve smyku dynamickou metodou (1)	21
4.3. Stanovení modulu pružnosti ve smyku dynamickou metodou (2)	23
4.4. Určení rychlosti zvuku	25
4.5. Měření síly	27
4.6. Stanovení koeficientu smykového tření (1)	28
4.7. Stanovení koeficientu smykového tření (2)	31
4.8. Valení těles	34
5. Experimenty realizované systémem ISES a optickou závorou	37
5.1. Určení rychlosti pohybujícího se tělesa systémem ISES	37
5.2. Určení rychlosti pohybujícího se tělesa optickou závorou	39
5.3. Určení hodnoty tíhového zrychlení systémem ISES 1	40
5.4. Určení hodnoty tíhového zrychlení systémem ISES 2	44
5.5. Určení hodnoty tíhového zrychlení optickou závorou	45
5.6. Odhad přesnosti experimentů	46
6. Nová laboratorní úloha	49
6.1. Kalibrace termistoru (1)	49
6.2. Kalibrace termistoru (2)	50
7. Další nově upravené laboratorní úlohy	55
7.1. Stanovení povrchového napětí kapkovou metodou (1)	55
7.2. Stanovení povrchového napětí kapkovou metodou (2)	57
7.3. Měření rovinných ploch (1)	58
7.4. Měření rovinných ploch (2)	62
8. Využití softwaru pro demonstraci fyzikálního principu	65
8.1. A physical description of coffee cooling in a pot	65
8.2. Demonstrace Dopplerova jevu	72
9. Formuláře pro počítačové zpracování laboratorních úloh	75
9.1. Šablona pro vrhy v zemském tíhovém poli	76
9.2. Příklad šablony pro zpracování naměřené laboratorní úlohy	76

10. Závěr	81
Seznam použité literatury a odkazů	83
Příloha	Charakteristika měřicích systémů ISES a IP COACH

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Jan Sedláček

1. Úvod

Nejdříve si položíme otázku: Co člověka baví na práci, kterou dělá? (V tomto okamžiku vyloučíme množinu lidí, které práce nebaví.) Jednoduchá odpověď „Pocit z dobře vykonané práce.“ se dá blíže upřesnit následujícími faktory, kterými jsou podle mého názoru:

1. Efektivita – čím lépe jde práce od ruky, tím více nás baví.
2. Smysl – čemu poslouží to, co děláme, kromě toho že dostaneme peníze?

Zřejmě každému člověku, který předpokládá existenci smyslu života někde jinde než v hromadění hmotných statků a přemýšlení o tom, jak si zařídit svůj vlastní život co nejpohodlnější, se podobné úvahy v mysli určitě někdy objevily.

Tato práce není pojata jako společensko-filozofické pojednání, proto přejdu z obecné roviny ke konkrétní specifikaci. Budu se zabývat snahou o zefektivnění a „zlidštění“ výuky základní přírodní vědy, kterou je fyzika. Pro bližší charakteristiku této problematiky nastíním stávající východiska. (Tato východiska jsou podpořena autorovou zkušeností především z pedagogické činnosti na České zemědělské univerzitě a z vnímání okolního světa, nikoli sociologickými průzkumy.)

Většina současných „průměrných“ a „civilizovaných“ obyvatel naší planety nemá k fyzice kladný vztah (jemně řečeno). Spektrum vztahů k fyzice zahrnuje vyložený odpor i posvátnou hrůzu. Tito lidé si neuvědomují, že za rostoucí hmotný blahobyt na bohatší severní polokouli, za růst životní úrovně, který je způsoben moderními převratnými technologiemi, je zodpovědný rozvoj vědy, fyziku nevyjímaje. (Smutným příkladem, kdy se mohla projevit vysoká užitečnost fyziky, jsou tragické důsledky vln tsunami v jihovýchodní Asii na sklonku roku 2004, kde v důsledku neexistence výstražného systému a také v důsledku obecné neinformovanosti zahynuly stovky tisíc lidí.)

Jak se bohužel ukazuje, negativním aspektem rostoucí životní úrovně je současně rostoucí lidská lenost jak v oblasti fyzického pohybu, tak i v oblasti myšlení. Tuto souvislost lze vyzorovat právě mezi vzrůstajícím pohodlím a klesajícím zájmem o pochopení podstaty věcí kolem nás – „energie se přelila z hlavy do žaludku“. To se projevuje ve velké míře rovněž u mladé generace, kdy děti, které přijdou ze školy (kde většinu času proseděly a ne vždy strávily intenzivní poznávací činností) domů, snědí svačinku pojatou ve stylu standardního rychlého občerstvení a zaujmou místo u své oblíbené počítačové hry. Když má potom dítě ve škole možnost volby z různých předmětů, snaží se vybírat tak, aby bylo co nejméně vyrušováno obtížným přemýšlením ze svého virtuálního světa. Je jasné, že konkrétně třeba právě fyzika patří mezi výrazné rušivé faktory. Takovéto děti nemají přílišný zájem se v pozdějším věku hlásit na přírodovědně nebo technicky zaměřené univerzity a studentů na těchto školách ubývá. (Mezi jednotlivými přírodními vědami jsou ovšem vidět rozdíly, o jejichž příčinách se nepokouším spekulovat.)

Na druhé straně pozitivním faktem je, že s rostoucí životní úrovní a technickým vybavením civilizace stále více roste všeobecné uvědomění, že pro každého jednotlivce jsou maximálně potřebné a užitečné alespoň základní znalosti základních fyzikálních principů. Tyto znalosti se uplatní např. při výběru vhodných zařízení pro domácnost a posouzení dopadů různých lidských aktivit na životní prostředí.

Jedním z projevů výše uvedeného uvědomění jsou různé pokusy o řešení současné neuspokojivé situace v oblasti fyziky, zmíním se o jednom z nich ve formě společného mezinárodního programu renomovaných vědeckých institucí evropského a světového formátu: *Evropské laboratoře pro částicovou fyziku* (CERN), *Evropské kosmické agentury* (ESA) a *Evropské jižní observatoře* (ESO) – Physics on Stage neboli Fyzika na scéně.

Cíl tohoto programu vyjádřený jednou větou je (viz [28]): „*Přispět k tomu, aby evropská veřejnost začala pohlížet na vědu a zejména fyziku přívětivějšíma a také poučenějšíma očima.*“ Podrobně strukturované cíle programu Physics on Stage (POS) jsou uvedeny ve [28].

V České republice jsou s programem POS koherentní cykly fyzikálních přednášek a konferencí, letní matematicko-fyzikální tábory, fyzikální korespondenční semináře, soustředění středoškolských studentů fyziky aj. Tyto akce však existují do značné míry nezávisle na POS a delší dobu. Fyzikální didaktické konference Veletrhy nápadů učitelů fyziky konané pravidelně již od roku 1996 se tak staly přirozenou páteří POS v ČR.

Důležitým prvkem v rozvoji oblíbenosti fyziky ve společnosti je zpracování nových přitažlivých a zajímavých fyzikálních témat do osnov výuky už přinejmenším na úrovni střední školy – tedy aktualizace výuky fyziky na úroveň současných poznatků. Na fyzikálních pedagogických konferencích účastníci prosazují především osnovy, které zahrnují problematiku životního prostředí (obnovitelné zdroje energie, radon v životním prostředí, fyzikální základy diagnostických a terapeutických metod v medicíně, moderní informační technologie).

Při zprostředkovávání fyzikálních znalostí žákům a studentům je potřeba, aby učitelé používali nejmodernější pedagogické nástroje a metody pro zvýšení názornosti a efektivity výuky. Reálný výsledek všech výše uvedených snah záleží na každém jednotlivém učiteli, jak dokáže teoretické poznatky, které zná z nejrůznějších konferencí, uskutečňovat prakticky.

Jan Sedláček

2. Cíl a struktura práce

První kapitolu jsem zakončil myšlenkou, že záleží na každém jednotlivém učiteli, jak dokáže teoretické poznatky prakticky uskutečňovat. Dále chci popsat, o co konkrétního se v tomto směru pokouším já.

Pracuji jako odborný asistent na Katedře fyziky Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze, kde se podílím na výuce základního kurzu fyziky. Moje disertační práce si neklade za cíl získat fundamentálně nové fyzikální poznatky pro některou z oblastí odborné fyziky, ale zhodnotit mé dosavadní zkušenosti z oblasti výuky fyziky, kde se snažím pomoci studentům získávat nové poznatky efektivnějším a snad i zajímavějším způsobem, než byli dosud zvyklí. Rád bych se pokusil zpestit, aktualizovat a, dovoluji si říci, zkvalitnit výuku fyziky na naší univerzitě.

Mojí snahou je přiblížit praktickou část výuky fyziky (tj. především laboratorní úlohy) současné praxi. Vzhledem k tomu, že studenti ČZU nebudou zpravidla pracovat jako odborní fyzici, aplikuji ve své snaze namísto profesionálních a jednoúčelových vědeckých přístrojů spíše všeobecně dostupné prostředky související zvláště s počítačovými technologiemi. Moje práce se tedy nezabývá pouze využitím hardwaru a periferního zařízení, nýbrž se také dotýká aplikace softwarového vybavení počítačů.

V následující 3. kapitole seznámím čtenáře se současným stavem problematiky: strukturou výuky fyziky na ČZU. Mj. jsou zde uvedeny osnovy základního a vyrovnávacího kurzu fyziky a přehled laboratorních úloh měřených v laboratoři katedry fyziky TF ČZU. Osnovy a popisy laboratorních úloh jsou pro pohodlí čtenáře záměrně uvedeny přímo v textu, nikoli v přílohách, jak bývá někdy zvykem. Jsou však jasně odlišeny menším fontem jako další texty, které nejsou autorovým dílem.

Do přehledu současného stavu problematiky by přirozeně mohla patřit zevrubná informace o současných inovačních tendencích ve výuce fyziky na všech myslitelných úrovních. Takový přehled v práci neuvádím, jen srovnávám své návrhy s pracemi jiných autorů.

Těžištěm mé práce jsou inovace laboratorních úloh a fyzikálních experimentů předváděných na přednáškách vyrovnávacího kurzu, které jsem navrhl realizovat využitím běžného hardwaru (zvukové karty) a základního softwarového vybavení nebo které jsou realizovány experimentálním systémem ISES (kapitoly 4 – 6).

Stávající podoby laboratorních úloh jsou uváděny před navrženými inovacemi, aby čtenář hledající kontext nemusel listovat celou prací; jsou citovány doslovně, aby se předešlo eventuálnímu nedorozumění při jejich interpretaci a od originálního textu jsou odlišeny menším fontem (10), orámováním a světle šedým pozadím.

Poté jsou připojeny ukázky experimentů resp. fyzikálních úloh, které jsou naměřeny zčásti tradičními přístroji a zčásti také běžným softwarem a data z nich plynoucí jsou následně zpracována novým způsobem pomocí softwarových aplikací (kapitoly 7 – 9).

Závěr (10. kapitola) znovu připomíná, co bylo cílem práce a shrnuje její výsledky.

V příloze je uvedena charakteristika měřících systémů ISES a IP COACH a jejich stručné vzájemné porovnání.

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Jan Sedláček

3. Výuka fyziky na ČZU

Katedra fyziky Technické fakulty ČZU (dále také TF ČZU) zajišťuje výuku základního kurzu fyziky pro všechny fakulty ČZU, které mají fyziku ve svých studijních programech, tj. fakulty Technickou, Agronomickou, Lesnickou a Institut tropického a subtropického zemědělství. Osobně se podílím na výuce fyziky pro studenty Technické fakulty, proto se nadále budu zabývat pouze jí.

Nejprve uvedu stručnou charakteristiku možností studia. Uchazeč o studium má možnost výběru ze dvou studijních programů. Cituji z [30] – odborný profil absolventa:

„Pracovní náplň inženýra strojně-technického zaměření, z níž vyplývají i požadavky na obsahovou náplň studia a vzdělání, lze blíže charakterizovat jeho činností v oblasti strojní investiční politiky, kde projektuje a kompletuje nové výrobní linky a systémy, zabezpečuje modernizaci výrobního zařízení, sleduje a zajišťuje efektivnost strojních investic a jakost práce výrobních zařízení, organizuje a operativně řídí provozní nasazení mobilních výrobních zařízení, projektuje a řídí údržbu strojů a investičních celků. Vysoce kvalifikovaný inženýr pro strojně-technický úsek může významně pozitivně ovlivnit hospodárnost provozu strojů a snížit výrobní náklady.“

Inženýr technicko-ekonomického zaměření musí být připraven pro obchodní a podnikatelskou činnost s technikou včetně poradenství a servisní činnosti. Proto studijní program pětiletého oboru Obchod a podnikání s technikou je značně posílen předměty ekonomického charakteru s ohledem na budoucí odborné zaměření absolventa podnikatelského a dealerského charakteru.

Samozřejmostí jsou u všech absolventů fakulty základní znalosti z oblasti konstrukce a technologie výroby strojů, automatizační, řídicí a výpočetní techniky a provozních vlastností širokého okruhu používaných strojů a zařízení.“

Fyzika ani jiné přírodní vědy nejsou v citovaných profilech zmíněny, implicitně se považují za součást inženýrského vzdělání. To podrobně okomentuji v odstavci 3.2.

3.1. Struktura uchazečů

Skladba zájemců o studium na Technické fakultě ČZU je velmi různorodá. Přicházejí sem především studenti ze středních průmyslových a odborných škol, dále gymnázií, ale také z obchodních akademií a soukromých středních škol. V důsledku toho jsou také fyzikální znalosti těchto studentů na velmi různé úrovni. (Tento fakt je pochopitelně dán rovněž kvalitou, tj. efektivitou výuky fyziky na té které střední škole, ale to zde nebudu blíže rozebírat.)

Přibližně 25 % uchazečů o studium na TF ČZU absolvuje čtyři roky fyziky na střední škole a mají proto (až na určité výjimky) vybudovanou výbornou výchozí pozici pro studium základního kurzu fyziky na ČZU. Naproti tomu vedle těchto „šťastlivců“ zde existuje zhruba 20% zájemců, kteří se s fyzikou „potkali“ naposledy v 8. třídě základní školy.

Přestože platí přímá úměra: čím více fyziky na střední škole, tím lepší výsledek přijímací zkoušky a tím větší šance na přijetí ke studiu na ČZU, nemá relativně velký počet studentů ze střední školy vybudované základy fyzikálního myšlení. Tito studenti (jak vyplývá z přijímacích testů) jsou například schopni vyjmenovat všechny základní jednotky soustavy SI a nakreslit sériové a paralelní zapojení elektrických prvků, ale z grafu závislosti dráhy na čase už neurčí průměrnou rychlost pohybu tělesa v určitém časovém intervalu. Především pro ně ale i pro další zájemce je určen předmět Vyrovnávací kurz fyziky – viz dále.

3.2. Charakteristika základního kurzu fyziky

Jak jsem již naznačil, fyzika na ČZU nepatří mezi hlavní vyučované předměty. Patří však k předmětům základním. To znamená, že je studenty absolvována na počátku studia a že na ni navazuje řada předmětů ve vyšších ročnících. V případě Technické Fakulty budu namátkou jmenovat: technická mechanika, termomechanika, pružnost a pevnost, hydromechanika, elektrotechnika.

Základní kurz fyziky je podobně jako na některých dalších univerzitách zemědělského a technického směru vyučován ve dvou semestrech (ve 2. a 3. semestru studia), s rozsahem 2 hodin přednášek v každém semestru a 3 hodin cvičení v prvním a 2 hodin cvičení ve druhém semestru. (Z toho, co jsem uvedl, je patrné, že dotace předmětu není příliš velká, zvláště pak když čas určený na cvičení musí být dělen na cvičení teoretické a praktické – počítání příkladů a laboratorní měření.) Dále uvádím sylaby přednášek pro oba semestry – viz [29]:

Osnova přednášek z předmětu FYZIKA I. pro posluchače 1.r. TF, LS, ak. rok 2004/2005

Obsahové zaměření jednotlivých přednášek:

1. Obsah a metody fyziky. Fyzikální zákony. Současné představy o struktuře vesmíru.
2. Měření, chyby měření, zpracování výsledků měření.
3. Klasická mechanika. Kinematika hmotného bodu a tuhého tělesa.
4. Dynamika hmotného bodu a tuhého tělesa.
5. Mechanická práce.. Energie. Impuls síly a hybnost tělesa. Otáčivý pohyb tělesa.
6. Stavba látek pevného skupenství, zejména jejich struktura a vlastnosti.
7. Pružnost a pevnost tuhých látek. Technické aplikace pružnosti látek.
8. Kmitání a vlnění – aplikace.
9. Mechanika kapalin.
10. Rezerva – aplikace na dohodnuté téma.
11. Teplota a teplo. Základy kinetické teorie plynů.
12. Stavové změny ideálního plynu, entropie.
13. Hlavní věty termodynamiky.
14. Aplikace termodynamiky, skupenské změny látek.

Uvedené téma přednášky popisuje zhruba její obsah. Podrobnosti uvádí následující věcný obsah jednotlivých kapitol.

Stručná osnova předmětu FYZIKA I. pro posluchače TF ČZU

I. ÚVOD

Předmět a úkol fyzikálního zkoumání. Látka, její vlastnosti a formy. Současný stav poznání látky ve vesmíru a její struktura. Společné vlastnosti různých forem látky. Metody fyzikálního zkoumání, fyzikální zákony a jejich charakter. Uplatnění fyziky v technice. Metody měření, chyby měření a jejich určování –

nejistoty měření. Zpracování výsledků měření. Jednotky, jednotková soustava SI. Převody jednotek. Metrologie.

II. MECHANIKA HMOTNÉHO BODU A TUHÉHO TĚLESA

Newtonova mechanika, její omezení a použití. Principy kvantové mechaniky. Principy Einsteinovy mechaniky. Úkoly kinematiky. Hmotný bod, pohyb, vztažná soustava, axiom o skládání pohybů. Trajektorie, dráha, rychlost, zrychlení (průměrné i okamžité hodnoty), přímočarý pohyb, pohyb rovnoměrný a rovnoměrně zrychlený, pohyb harmonický, křivočarý pohyb, pohyb po kružnici, úhlová rychlost, úhlové zrychlení, frekvence, perioda, dostředivé zrychlení. Skládání pohybů. Řešení šikmého vrhu metodami kinematiky.

Úkoly dynamiky, Newtonovy zákony, síla, její vlastnosti a kategorizace. Hmotnost, tíha, hustota. Dostředivá a odstředivá síla. Volný pád, tíhové zrychlení. Pohybová rovnice pro translační pohyb. Řešení šikmého vrhu pomocí pohybových rovnic.

Mechanická práce, energie potenciální a kinetická, impuls síly, hybnost tělesa. Výkon, účinnost. Zákon o zachování mechanické energie. Otáčivý pohyb tělesa, moment síly, moment setrvačnosti tělesa, kyvadla. Pohybová rovnice pro otáčivý (rotační) pohyb. Obecný pohyb tělesa a jeho řešení. Úkoly statiky. Podmínky rovnováhy těles, skládání a rozkládání sil, působících na tuhá tělesa. Těžiště tělesa.

III. MECHANICKÉ VLASTNOSTI PEVNÉHO SKUPENSTVÍ

Stavba látek pevného skupenství. Částicová struktura látky. Vliv uspořádání částic látky na její vlastnosti. Krystalická struktura kovů a její zjišťování. Poruchy krystalové mříže. Dislokace. Deformace a deformační křivka. Elastická deformace. Hookův zákon. Plastická deformace. Tečení, zpevnění, skluz. Mechanické vlastnosti látek v závislosti na struktuře látky. Obecné vlastnosti společné všem skupenstvím látek. Tření vlečné a valivé. Součinitel vlečného tření a jeho měření. Význam tření.

IV. MECHANIKA TEKUTIN

Úkoly hydrostatiky. Tlak, hydrostatický tlak. Pascalův zákon. Archimédův zákon. Proudnice, rovnice continuity. Bernoulliho rovnice. Aerodynamické síly. Stokesův zákon. Vlastnosti kapalin. Vazkost, proudění vazké kapaliny. Poiseleův zákon. Reynoldsovo číslo. Molekulární tlak v kapalině, povrchové napětí, kapilární jevy. Aplikace v technice.

V. KMITÁNÍ A VLNĚNÍ

Mechanický oscilátor, vynucené kmity, rezonance. Pohybová rovnice pro kmitání a její řešení. Rozdíl mezi kmitáním a vlněním. Mechanické vlnění a jeho vlastnosti. Podmínky šíření vlnění v prostoru. Základní pojmy. Odraz a lom vlnění. Rozklad periodické funkce. Frekvenční analýza a její užití. Fourierova transformace (FT) jako nástroj pro měření.

VI. TERMIKA

Částicová struktura plynů. Ideální plyn, zákony ideálního plynu, stavová rovnice. Atmosférický tlak. Vlastnosti plynů a jejich mechanika. Teplota, měření teploty. Základy kinetické teorie plynů. Vnitřní energie plynů, akvipartiční teorém, Dulong-Petitovo pravidlo. Stavové změny ideálního plynu. Entropie a její vlastnosti. Teplo, měrná tepelná kapacita, skupenské teplo. Přenos tepla. Přeměna tepla na mechanickou práci. Termodynamické věty. Carnotův cyklus. Tepelný motor a jeho účinnost. Aplikace. Skupenské změny látek a jejich nutné podmínky. Vlhkost látek a její určování.

Uvedená osnova odpovídá zhruba skriptům FYZIKA, 5. vydání z r. 1999 až do stránky 264 včetně. Jinak zde uvedenou látku je možné studovat z jakékoli jiné vhodné učebnice, která svým rozsahem pokrývá uvedenou osnovu. Přednášky jsou doplněny pokusy a odkazy na další studijní prameny z časopisů, které je možné si vypůjčit ve studovně či v knihovně ČZU, některé i na katedře fyziky. Většina látky, přednášená v tomto semestru, je v uvedených skriptech. Ke zkoušce je požadována i látka uvedená v dalších studijních materiálech.

Literatura povinná (k přednáškám):

- FYZIKA (skriptum), 5. vydání z r. 1999 (ale i dřívější vydání je vhodné, pouze tam nebudou všechny doplňky). Skriptum je v prodeji buď přímo na katedře fyziky nebo v univerzitní prodejně literatury na koleji BCD.
- FYZIKA – příklady. Obsahuje řešené i neřešené příklady k látce celého kurzu fyziky. K dostání na katedře fyziky nebo v prodejně literatury na koleji BCD. Tato skripta jsou používána na cvičení i pro samostudium, protože obsahují řadu řešených typických příkladů.

- FYZIKA – pětidílná učebnice velmi dobře zpracovaná od autorů Halliday, Resnick, Walker. Možno si v omezené míře za poplatek vypůjčit na katedře fyziky na dobu jednoho semestru.

Osnova přednášek z předmětu „FYZIKA II“ pro posluchače 2. ročníku TF, ZS, ak. rok 2004/2005

Termika – opakování. Základní pojmy elektrostatiky.
 Elektrické pole a jeho vlastnosti. Elektrický proud.
 Elektrický proud v kovových vodičích. Elektronová teorie vodivosti.
 Elektrický proud v kapalinách a plynech. Polovodiče.
 Polovodiče. Pásová teorie vodivosti. Aplikace.
 Magnetismus. Vznik střídavého proudu.
 Aplikace střídavých a stejnosměrných elektrických proudů. Tenzometrie.
 Světelné záření. Interakce látky a záření.
 Geometrická optika, zobrazování.
 Fyzikální optika. Lasery a jejich aplikace.
 Teorie relativity. Kvantová teorie. Atomistika.
 Struktura látek. Obal atomu. Elementární částice.
 Jádro atomu a jeho přeměny. Radioaktivita.

Uvedené názvy popisují zhruba obsah jednotlivých přednášek. Podrobnější obsah je uveden dále v osnovách jednotlivých kapitol v návaznosti na skriptu FYZIKA, ČZU – 1999.

Termika

- Základní pojmy. Základy kinetické teorie plynů (látek). Fázové přechody. Vlhkost látek.
- Termodynamika. I. věta termodynamická. II. věta termodynamická. Děje vratné a nevratné. Carnotův kruhový děj. Entropie a pravděpodobnost. III. věta termodynamická. Aplikace dějů.
- Teplo a jeho přenos. Vedení tepla. Proudění tepla. Technická aplikace.

Elektřina a magnetismus

- Elektrostatika. Základní pojmy. Elektrický náboj a jeho vlastnosti. Elektrické pole a jeho charakteristika (velikost a tvar). Pohyb elektrického náboje v elektrickém poli. Vodiče a nevodíče. Polarizace dielektrika. Potenciál, elektrické napětí. Práce v elektrickém poli. Kapacita vodiče a kondenzátory. Energie elektrického pole.
- Elektrický proud v pevných látkách. Základní pojmy. El. proud v kovových vodičích a podmínky jeho vzniku. Střední rychlost uspořádaného pohybu el. nábojů ve vodiči. Elektrický odpor a vodivost. Ohmův zákon. Elektrický obvod, Kirchhoffovy zákony. Zdroje el. proudu. Napětí zdroje el. proudu na prázdko, svorkové napětí a elektromotorické napětí. Práce a výkon stejnosměrného elektrického proudu.
- Polovodiče a elektrický proud v nich. Podmínky vodivosti. Pásová teorie vodivosti polovodičů. Vlastnosti polovodičů. Aplikace.
- Termoelektrické jevy a termoelektřina. Termočlánek a jeho vlastnosti. Aplikace v technice.
- Elektrický proud v kapalinách. Elektrolytická disociace, pohyb iontů v elektrickém poli. Sekundární reakce při elektrolýze. Faradayovy zákony. Aplikace elektrolýzy.
- Elektrický proud v plynech. Základní podmínky pro vedení el. proudu v plynech. Elektrické výboje. Aplikace.
- Termická emise elektronů. Podmínky emise. Aplikace.
- Magnetismus. Základní pojmy. Magnetické pole a jeho intenzita. Biot-Savartův zákon. Magnetická indukce a magnetický indukční tok.
- Silové účinky magnetického pole na pohyblivý elektrický náboj. Vodič v magnetickém poli, elektromagnetická indukce. Vlastní indukčnost a vzájemná indukčnost. Energie magnetického pole. Aplikace – elektromotory.
- Přejímové jevy. Indukčnost a kondenzátor v obvodu stejnosměrného proudu při zapnutí nebo vypnutí el. proudu.
- Střídavé proudy sinusové. Impedance. Průchod sinusového proudu rezistorem, kondenzátorem a indukčností. Obecné vyjádření a rozklad periodických dějů. Fourierův rozvoj. Analýza střídavých průběhů.
- Obvody střídavého proudu a jejich řešení. Nelineární prvky.
- Transformátor. Vícefázový elektrický proud. Přenos střídavého proudu.

- Měření elektrických veličin. Elektrické měření neelektrických veličin. Elektrické odporové tenzometry, princip měření mechanických deformací a sil. Tenzometrie.

Optika

- Základní pojmy. Podstata světla a jeho vlastnosti. Elektromag. záření. Zákony světelného záření.
- Fotometrie a definice jednotek.
- Paprsková optika. Lom a odraz. Odraz na rovinném zrcadle. Zobrazení zrcadlem. Lom hranolem. Spojité spektrum a jeho vznik.
- Lom kulovou plochou. Systém centrovaných ploch. Tlustá a tenká čočka a jejich vady. Zobrazení čočkou. Centrované soustavy čoček. Aplikace v optických přístrojích.
- Fyzikální optika. Interference světla, ohyb a polarizace světla. Disperze a absorpce světla. Spektrální analýza. Fotoelasticimetrie a její využití ve sledování deformací těles.
- Lasery. Jejich princip. Vlastnosti a využití laserového záření. Aplikace.
- Dualismus vln a částic (interakce záření a látky).

Atomová fyzika

- Základní poznatky. Odlišnosti zkoumání předmětu atomové fyziky (vlastnosti mikrosvěta).
- Teorie relativity. Kvantová mechanika. Princip neurčitosti. Elementární částice
- Obal atomu a jeho vlastnosti. Bohrova teorie obalu atomu, kvantová teorie. Čárová spektra atomů a jejich vznik. Aplikace.
- Jádro atomu a jeho vlastnosti, náboj, rozměry, hmotnost. Složení jádra atomu. Úbytek hmotnosti jádra a vazebná energie. Jaderné síly. Modely jádra.
- Přeměny jader atomů. Radioaktivita. Radioaktivní záření a jeho detekce. Indikace radioaktivního záření. Transmutace.
- Jaderná energie. Princip řetězové reakce. Termonukleární reakce a její praktická aplikace.

Upozornění:

Výše uvedený přehled látky je asi z 80 % obsažen ve skriptu „FYZIKA“ – kolektiv autorů, vydání z r. 1999. Chybějící partie jsou obsaženy v časopisech nebo jiných příručkách v jednom exempláři budou k dispozici studentům na jednotlivých přednáškách pro jejich rozmnožení. Tyto texty budou též uvedeny (příp. jejich zdroje) na webu, tam, kde jsou uvedeny návody k laboratorním úlohám. Texty v anglickém jazyce nebudou překládány do češtiny, a budou uváděny v originále.

Mimo výše uvedeného skriptu je vhodná i jiná učebnice, odpovídající rozsahem a obsahem uvedeně osnově přednášek. Většinu časopisů s doplňkovou literaturou je možné získat ke studiu v knihovně a studovně České zemědělské univerzity a na katedře fyziky. Pro procvičení přednášené látky jsou v prodeji na katedře fyziky skripta, obsahující pouze příklady (řešené, částečně řešené a neřešené) s názvem „FYZIKA – příklady“, od autorů Roubíka a Sedláčka, vydané v r. 2001. Jinak je možné si na katedře zapůjčit na jeden semestr (za poplatek) učebnici FYZIKA (tři díly, překlad z angličtiny) a jinou sbírku příkladů z fyziky.

3.3. Charakteristika předmětu Vyrovňovací kurz fyziky

Vyrovňovací kurz fyziky je určen hlavně studentům, kteří si na střední škole fyziky příliš „neužili“ a nemají tudíž rozvinuté fyzikální myšlení a často ani elementární fyzikální znalosti. Jedná se o nepovinný předmět. Je to vlastně předmět, který substituuje středoškolskou výuku fyziky. Na začátku zimního semestru studenti píší vstupní fyzikální test a na základě jeho vyhodnocení a vyhodnocení výsledků ze střední školy a přijímacích zkoušek je některým studentům doporučeno absolvování vyrovňovacího kurzu. Předmět je vyučován v 1. a ve 2. semestru studia. Následující rozpis přednášek a cvičení se týká především zimního semestru. V letním semestru je potom kladen důraz na zevrubnější procvičení tematiky, která je paralelně probírána v základním kurzu fyziky.

V nedávné době mi byly (díky dvěma úspěšným grantovým projektům podaným do Fondu rozvoje vysokých škol) přiděleny finanční prostředky na 2 projekty (v roce 2002 částka 126 tisíc a v roce 2004 potom 120 tisíc Kč). Převážná většina těchto pro-

středků byla využita pro zakoupení 3 souprav fyzikálního experimentálního systému ISES. (Charakteristika a přednosti tohoto systému jsou uvedeny v příloze mé práce.) Jedna z těchto souprav je využívána právě ve vyrovnávacím kurzu fyziky. (Další dvě slouží ve fyzikální laboratoři od začátku zimního semestru školního roku 2004/2005 jako alternativa ke stávající formě laboratorních úloh – viz dále.)

VYROVNÁVACÍ KURZ FYZIKY

Zajišťuje: katedra fyziky

Garant předmětu: Mgr. Jan Sedláček

Zařazení do semestru: 1 a 2

Týdenní rozsah hodin přednášek/cvičení: ZS - 2/1, LS – 2/0

Forma výuky: přednáška teoretických partií spojená s praktickou aplikací (fyzikální experimenty) a seminární cvičení

Ukončení předmětu: zápočet

Popis předmětu:

Kurz umožňuje absolventům středních škol s nižším rozsahem výuky fyziky snazší adaptaci na výuku vysokoškolské fyziky. Těžiště výuky spočívá v praktickém procvičování fyzikálních příkladů.

Harmonogram přednášek a cvičení

1. Vstupní test
2. Úvod – fyzikální veličiny a jednotky, soustava SI
3. Mechanika hmotného bodu. Kinematika – vztažná soustava, druhy pohybů
4. Dynamika – Newtonovy pohybové zákony, hybnost a impuls síly. Práce, výkon, energie
5. Mechanika kapalin a plynů. Hydrostatika – tlak, tlaková síla, Pascalův zákon, Archimédův zákon. Hydrodynamika – rovnice kontinuity, Bernoulliho rovnice
6. Molekulová fyzika – atomová a molekulová stavba látek, Avogadrova konstanta, molární hmotnost, tepelný pohyb molekul, vnitřní energie soustavy
7. Termodynamika – teplota, teplo, kalorimetrická rovnice
8. Stavová rovnice ideálního plynu, děje v plynech
9. Elektrické pole. Elektrostatické pole – elektrické náboje, Coulombův zákon, intenzita el. pole, práce v homogenním el. poli, el. potenciál, kapacita vodiče a kondenzátor
10. Ustálený elektrický proud v kovech, Ohmův zákon, vodivost, odpor, Kirchoffovy zákony, měření proudu a napětí, výkon el. proudu, Jouleův-Lenzův zákon
11. Elektrický proud v elektrolytech, plynech a polovodičích, Faradayovy zákony elektrolýzy, galvanické články, výboj v plynu, diodový jev
12. Magnetické pole. Stacionární magnetické pole – vzájemné silové působení magnetů a vodičů s proudem, el. nabitá částice v magnetickém poli
13. Nestacionární magnetické pole, Faradayův zákon elmg. indukce, Lenzovo pravidlo, střídavý proud
14. Kmitání a vlnění, harmonické kmitání, střídavý proud, mechanické vlnění, elektromagnetické vlnění

Studijní literatura:

- 1) Urbánek, Z., Samek L.: Repetitorium z fyziky I, Vydavatelství ČVUT Praha, 1998, ISBN 80-01-01718-4
- 2) Urbánek, Z., Samek L.: Repetitorium z fyziky II, Vydavatelství ČVUT Praha, 1998, ISBN 80-01-01719-2
- 3) Svoboda E. a kol.: Přehled středoškolské fyziky, SPN Praha, 1991, ISBN 80-04-22435-0
- 4) Barták F. a kol.: Sbirka úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ, SPN Praha, 1988, ISBN 80-04-24967-1
- 5) Pešková E., Kropáčková H.: Přehled středoškolské fyziky - Fyzika, ALBRA 1997

3.4. Přehled laboratorních úloh měřených na katedře fyziky TF ČZU

Všechny dále uvedené úlohy jsou podrobně popsány na internetové adrese:
http://www.tf.czu.cz/studium_scripta.php.

(Číslování úloh je mnoho let zachováváno a některé z nich se již neměří, proto některá čísla z uvedeného pořadí vypadla.)

Úloha 3: Měření rovinných ploch (určování obsahu rovinných obrazců planimetrem)

Úloha 6: Stanovení hustoty pevných látek hydrostatickou metodou (Archimédův zákon)

Úloha 8: Stanovení hustoty kapalin Mohrovými vážkami (Archimédův zákon)

Úloha 9: Stanovení modulu pružnosti v tahu protažením drátu

Úloha 10: Stanovení modulu pružnosti v tahu ohybem tyče

Úloha 11: Stanovení modulu pružnosti ve smyku statickou metodou (torze drátu působením dvojice sil)

Úloha 12: Stanovení modulu pružnosti ve smyku dynamickou metodou (kmitání kotouče zavěšeného na torzně deformovaném měřeném drátu)

Úloha 14: Stanovení koeficientu smykového tření (těleso tažené siloměrem na vodorovné rovině a klouzající po nakloněné rovině)

Úloha 17: Stanovení povrchového napětí odtrhovací metodou (Du Noüyho torzní váhy)

Úloha 19: Stanovení povrchového napětí kapkovou metodou (metoda srovnání hmotností kapek kapalin známého a neznámého povrchového napětí)

Úloha 20: Stanovení viskozity kapalin (měření doby průtoku kapaliny Jánského viskozimetrem)

Úloha 24: Stanovení měrné tepelné kapacity pevných látek směšovací kalorimetrem

Úloha 26: Stanovení poměru měrných tepelných kapacit plynu metodou Clément-Desormesovou

Úloha V: Stanovení vlhkosti pevných vzorků (vysoušení měřeného vzorku v elektrické pídce)

Úloha 32: Stanovení elektrického odporu z Ohmova zákona (měření napětí na rezistoru a procházejícího proudu)

Úloha 33: Stanovení elektrického odporu Wheatstoneovým můstkem

Úloha 40: Měření charakteristiky polovodičové diody (měření a grafické znázornění voltampérové charakteristiky diody)

Úloha 41: Měření charakteristik tranzistoru (měření závislosti kolektorového proudu na napětí U_{CE} při různých konstantních proudech báze)

Úloha 42: Kalibrace termistoru s využitím systému ISES (měření závislosti odporu termistoru na teplotě pomocí systému ISES)

Úloha 43: Kalibrace termistoru (měření závislosti odporu termistoru na teplotě pomocí multimetru)

Úloha 44: Graduace termoelektrického článku (měření závislosti napětí termočlánku na teplotě pomocí multimetru)

Úloha 45: Měření impedance (určování impedance kondenzátoru a cívky pomocí měření napětí na jednotlivých prvcích v obvodu)

Úloha 47: Využití osciloskopu (zobrazování elektrických dějů a charakteristik diod)

Úloha 48: Měření deformace elektrickými odporovými tenzometry (převádění deformace na elektrický proud v obvodu)

Úloha 49: Měření vlnové délky elektromagnetické vlny pomocí Lecherova vedení (určení vlnové délky zjišťováním poloh lokálních maxim elektrického proudu)

Úloha 51: Refraktometrická měření (měření závislosti indexu lomu na koncentraci cukru v roztoku)

Úloha 53: Určení ohniskové vzdálenosti spojné čočky (měření předmětové a obrazové vzdálenosti a dosazení do čočkové rovnice)

Úloha 55: Spektrometrie (měření vlnových délek čárového a spojitého emisního spektra)

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Jan Sedláček

4. Modifikace experimentů využitím zvukové karty počítače

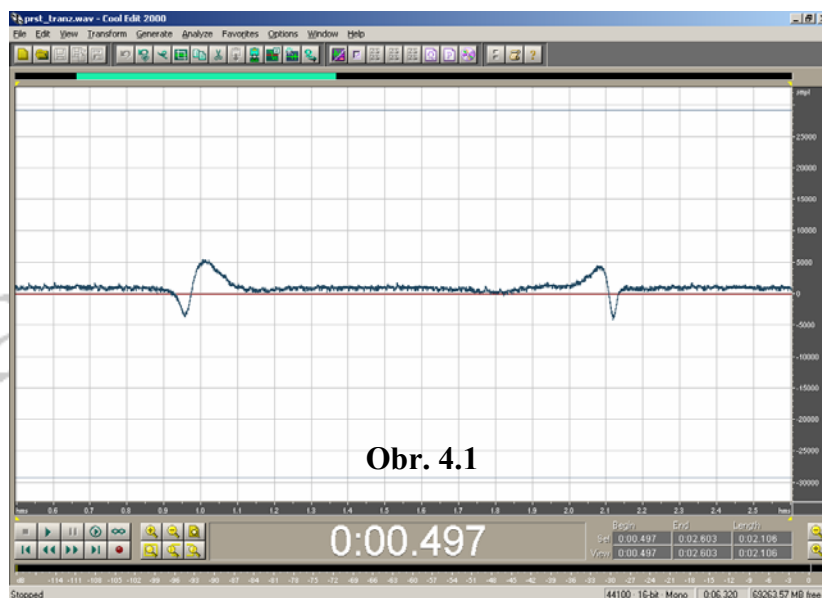
Experimentální studium fyzikálních jevů je jednou z nejdůležitějších metod ve vyučování fyziky. V současné době většina škol disponuje solidním počítačovým vybavením fyzikálních laboratoří. Proto je doplnění nebo nahrazení klasických demonstrací počítačovými experimenty velice přitažlivá a užitečná věc. Je to často praktičtější, názornější a přesnější, než některé tradiční metody. Opatrně je možné také zvažovat situace, kdy využití počítače ve srovnání s tradiční metodou sice nepřináší větší přesnost či efektivitu měření, ale je pro současné studenty atraktivnější. V takových situacích uvažují ryze pragmaticky – to, co dává šanci k lepšímu zvládnutí daného fyzikálního problému, je účelné, přinejmenším jako nabídnutá alternativa k tradičnímu postupu.

Experimentovat pomocí počítače lze několika různými cestami – buď použít speciální experimentální systém jako např. ISES, IP Coach atd. (viz následující kapitola a příloha), nebo využít dnes takřka standardní součásti běžného počítače. V následujících příkladech je ukázáno využití počítače vybaveného zvukovou kartou a vhodným zvukovým programem. (Zájemce o další aplikace zvukové karty chci odkázat např. na sborníky Veletrhů nápadů učitelů fyziky, kde je několik zajímavých příspěvků věnovaných tomuto tématu.) Pro zpracování zvukového záznamu používám program Cool Edit 2000¹, který je užitečný pro různé zájmové oblasti. Je určen především pro hudebníky, ale hodí se rovněž pro fyzikální experimenty.

4.1. Konkrétní aplikace zvukové karty

Zvuková karta počítače digitalizuje signál připojený do mikrofonního nebo linkového vstupu a navíc poskytuje měkký zdroj napětí (zpravidla okolo 5 V). V experimentech uvedených dále budeme zvukovou kartu využívat jako měřič relativně krátkých časových intervalů. Na následujícím obr. 4.1 vidíme charakteristický záznam měření.

¹ Zde používaná verze Cool Editu je shareware, registrační poplatek stál cca 1600 Kč. Dnes je tento program součástí velkého balíku aplikací firmy Adobe a na stránkách firmy Syntrillium, která jej vyvinula není dostupný. Na internetu jsou však odkazy, ze kterých lze získat jeho free trial verzi – viz např. [36]. Také je nahraditelný například programy Audacity, Analyzer 2000 nebo jinými.



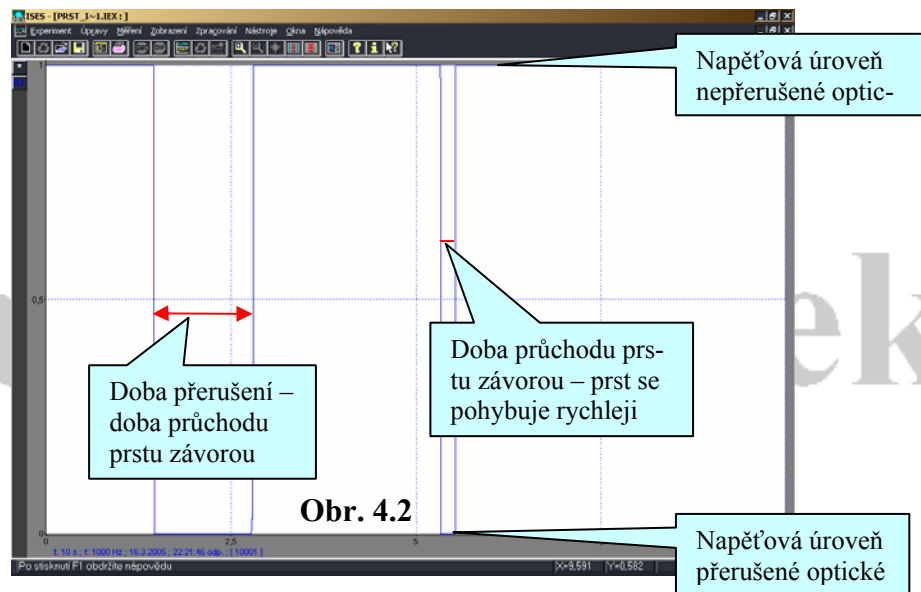
Obr. 4.1

Technická realizace spočívá v propojení zvukové karty (v našem případě se jedná o 2-Channel AC'97 Audio, integrovaná na základní desce) přes mikrofonní vstup² (jack 3,5 mm) s vhodným periferním zařízením. Často postačí obyčejný fototranzistor (např. typ L-53P3C, viz odst. 4.3), kdy změnu intenzity osvětlení, které dopadá na fototranzistor z okolí, zvuková karta převádí na změnu elektrického napětí, která je zaznamenána softwarem a zobrazena na monitoru počítače. Čím méně světla na fototranzistor dopadá tím větší napětí na něm můžeme naměřit: úplné tmě odpovídá cca 5,03 V, normálnímu dennímu světlu 4,98 V, osvětlení LED diodou potom 4,45 V.

Na obr. 4.1 vidíme záznam zastínění fototranzistoru prstem (první vlna v záznamu) a jeho následné odkrytí (druhá vlna po cca 1 sekundě). Zde je vidět, že zvuková karta počítače skutečně zprostředkovane registruje pouze **změnu** hodnoty nějaké fyzikální veličiny (zde intenzity osvětlení). Za povšimnutí stojí, že obě vlny jsou takřka zrcadlově obrácené – nejprve se intenzita osvětlení snižuje a potom se zvyšuje. (Konkrétní hodnoty napětí na fototranzistoru uvedené výše se mohou pro jiný typ tranzistoru a zvukové karty lišit; dále však budeme pracovat s časovými údaji, které jsou na výšce pulzů nezávislé. Navržené úlohy nevyžadují detailní studium chování zvukové karty a to proto nebylo autorovým cílem.)

V tom, že zvuková karta reaguje na změnu napětí, spočívá zásadní odlišnost mezi jí zpracovaným signálem a signálem, který zaznamenává optická závora např. soupravy ISES (viz další kapitola), kdy systém zaznamenává různé kalibrační hodnoty pro nepřerušenu („1“) a pro přerušenu optickou dráhu paprsku („0“). Obr. 4.2 ukazuje dvojí průchod prstu různými rychlostmi optickou závorou ISESu. Podrobněji viz kapitola 5.

² Jak bylo zmíněno na začátku tohoto odstavce, je na mikrofonním vstupu zvukové karty pomocné napětí 5 V (na standardním jacku je signál na špičce, pomocné napětí na středním poli a nula na krčku) a tím je umožněno nahrávání signálu z elektretového mikrofonu nebo v našem případě z fototranzistoru. Elektrodynamický mikrofon takové pomocné napětí samozřejmě nepotřebuje, podobně jako když například nahráváme z rádiowalkmanu. Mikrofon však zpravidla potřebuje větší zesílení, to se nabízí v mikrofonním vstupu. Rádiowalkman můžeme připojit přes linkový vstup. Typické úrovně signálu, se kterými pracujeme, jsou jednotky milivoltů.



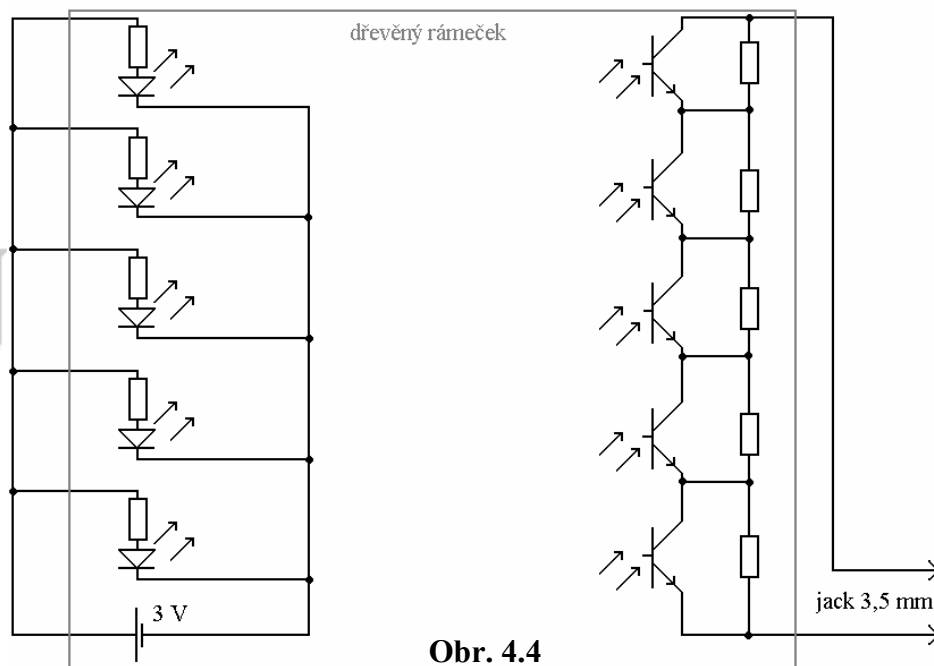
Obr. 4.2

Poněkud sofistikovanější periferní zařízení než fototranzistor představuje podomácku vyrobená optická závor, která se v následujících experimentech plně osvědčila – viz obr. 4.3. Jejími výhodami oproti profesionálním didaktickým pomůckám (např. ISES, IP COACH) je snazší cenová dostupnost a jednodušší konstrukční uspořádání, což z didaktického hlediska napomáhá u studentů potlačovat strach ze složité techniky. Svou roli může hrát také snadná reprodukovatelnost a modifikovatelnost pro jiné aplikace.

Základní princip této optické závory představuje pět optických paprsků, které jsou generovány LED diodami a zachycovány fototranzistory. Vše je vsazeno do dřevěného rámečku. Paralelně ke každému fototranzistoru je připojen vhodný rezistor (cca 1 k Ω). Napájení LED diod je realizováno dvěma tužkovými monočláňky. Oranžové LED potřebují při dovoleném proudu cca 15 mA napětí 2 V a proto je k nim sériově připojen předřadný rezistor 70 Ω – viz obr. 4.4.

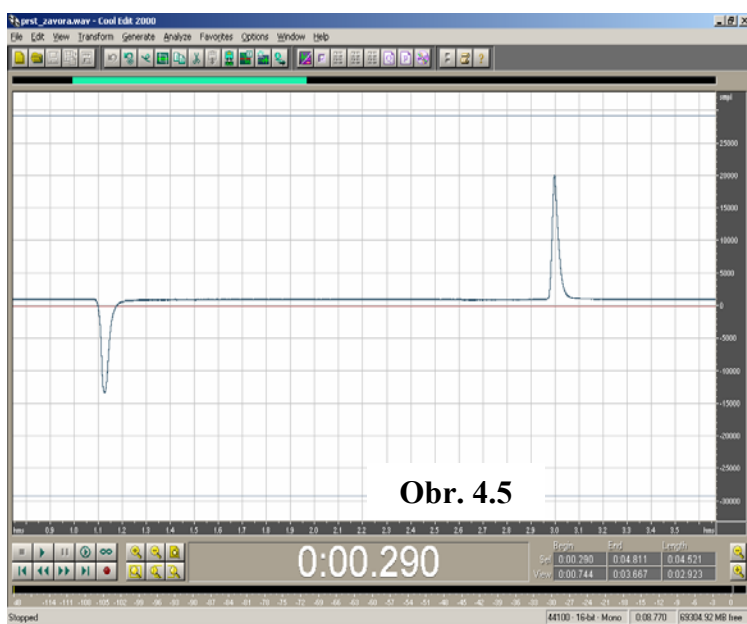


Obr. 4.3

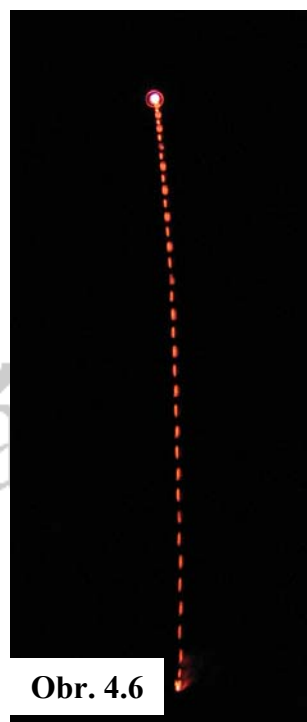


Obr. 4.4

Optická závořa se vodičem s konektorem „jack“ připojuje k mikrofonnímu vstupu zvukové karty počítače. Když dojde k přerušení kterékoli optického paprsku nějakou překážkou, zavře se příslušný fototranzistor a proud probíhá paralelně připojeným rezistorem ($1\text{ k}\Omega$) – zastínění fototranzistoru znamená skok v odporu celého řetězce. Tato změna je registrována zvukovou kartou a programem Cool Edit zaznamenána na monitoru počítače. Pokud se podíváme na záznam přerušení a uvolnění dráhy libovolného optického paprsku generovaného a snímaného „naší“ optickou závořou, vidíme na obr. 4.5 dvě půlvlny (na rozdíl oproti signálu z fototranzistoru na obr. 4.1) vzniklé snížením resp. zvýšením intenzity osvětlení dopadajícího na fototranzistor v závoři. Rozdíl mezi záznamy na obr. 4.1 a 4.5 je dán (jak bylo experimentálně ověřeno) paralelním odporem připojeným k fototranzistoru v závoři.



Obr. 4.5



Obr. 4.6

(Optická závora není samozřejmě jediným možným prostředkem ke sledování a studiu pohybu předmětů. Dalším způsobem by mohlo být například použití (digitálního) fotoaparátu k zachycení stroboskopického zdroje světla (LED diody napájené dedikovaným zdrojem pulzního napětí nebo například doutnavky napájené síťovým napětím – viz obr. 4.6.)

Dále následuje popis nově modifikovaných laboratorních úloh a experimentů realizovaných pomocí fototranzistoru (úloha 12) a optické závory.

4.2. Stanovení modulu pružnosti ve smyku dynamickou metodou

úloha 12 – tradiční uspořádání

Úkol:

- 1) Určete dynamickou metodou modul pružnosti ve smyku G ocelové tyče a jeho chybu ΔG [$\delta(G) = \delta(l) + \delta(m) + 2\delta(R) + 2\delta(T) + 4\delta(r)$]. Relativní chybu $\delta(T)$ nutno určit na základě absolutní chyby plynoucí ze statistického zpracování opakovaně měřené doby kmitu.
- 2) Výsledky porovnejte s tabulkovou hodnotou a pokuste se vysvětlit případný nesouhlas.

Obecná část:

Modul pružnosti ve smyku G je definován jako poměr tečného neboli smykového napětí τ k poměrnému posunutí (zkosu) γ :

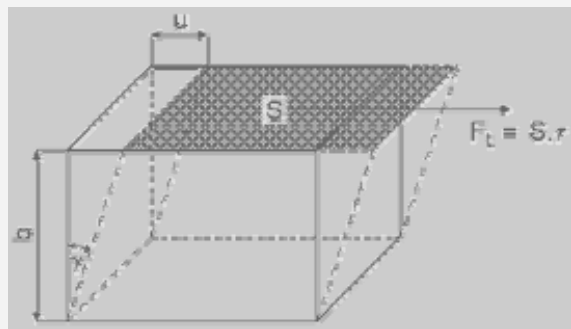
$$G = \tau/\gamma, [G] = \text{Pa} \quad (1)$$

Tečné napětí je poměr tečné síly F_t působící v ploše S a velikosti této plochy:

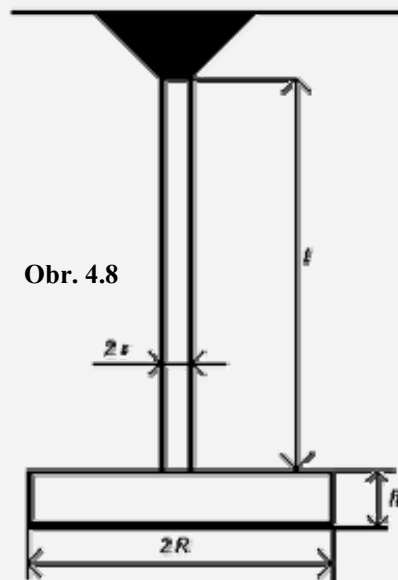
$$\tau = F_t/S, [\tau] = \text{Pa}$$

Poměrné posunutí γ je dáno posunutím u dvou s povrchem rovnoběžných vrstev, dělených jejich kolmou vzdáleností b – viz obr. 4.7:

$$\gamma = u/b, [\gamma] = 1$$



Obr. 4.7



Obr. 4.8

Metoda měření:

Měření se provádí na zařízení, které se nazývá *torzní kyvadlo*, jehož součástí je proměřovaná tenká ocelová tyč o poloměru r a délce l . Je upevněna v závěsu a volně visí ve vertikálním směru. Ve spodní části je tyč vetknuta do masivního disku o poloměru R a výšce h – viz obr. 4.8.

Měření začíná vždy počátečním nakroucením zkušební tyče o několik stupňů do libovolného směru otáčení s následným uvolněním. Po uvolnění se začne tyč s diskem periodicky natáčet, tj. vykonávat torzní kmity kolem rotační osy symetrie tyče, průběh těchto kmitů je možno okem sledovat. Perioda těchto kmitů je dána řešením pohybové rovnice kmitajícího disku kyvadla (setrvačné účinky zkušební tyče a zdroje tlumení se zanedbávají):

$$-M_k = J\varepsilon = J \frac{d^2\varphi}{dt^2}, \quad (2)$$

kde M_k je příslušný kroučící moment, J je moment setrvačnosti disku, ε je úhlové zrychlení disku a φ je úhel natočení disku, který je zároveň úhlem nakroucení zkušební tyče vzhledem k ose otáčení. Je-li tyč o délce l a kruhovém průřezu o poloměru r na svém konci zkrucována kroučícím momentem M_k , potom se stočí konce tyče o určitý úhel, který označíme φ . Pokud tento úhel je velmi malý a r je mnohem menší než l , lze celý proces popsat v rámci teorie pružnosti, která udává pro hodnotu úhlu φ následující vztah $M_k = \pi Gr^4 \varphi / (2l)$.

Rovnici (2) lze po dosazení za M_k uvést do tvaru:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{\pi Gr^4}{2lJ} \varphi = 0, \quad (2a)$$

kteřá je rovnicí harmonických kmitů s úhlovou frekvencí

$$\omega = \sqrt{\frac{\pi Gr^4}{2lJ}}. \quad (3)$$

Po vyjádření úhlové frekvence prostřednictvím periody kmitů T a dalších úpravách obdržíme konečný vztah pro modul pružnosti ve smyku:

$$G = \frac{8\pi lJ}{T^2 r^4}. \quad (4)$$

Moment setrvačnosti disku vůči rotační ose symetrie se vypočte ze známého vztahu:

$$J = mR^2/2, \quad (5)$$

kde m je hmotnost disku a R jeho poloměr.

Návod k měření a zpracování:

Pro zápis naměřených hodnot připravíme následující tabulku:

veličina	jednotka	výsledná hodnota	absolutní chyba Δ	relativní chyba δ (%)
l				
R				
r				
h				
m				
J				
T				
G				
naměřené hodnoty 10 T (s)				

a) **Postup práce** při přípravě zařízení k činnosti:

změříme na několika místech mikrometrem průměr kruhového průřezu tyče a vypočítáme její poloměr r , pásovým měřítkem změříme délku tyče l (od jednoho místa upnutí k druhému), změříme poloměr disku R a jeho výšku h , změříme a zapíšeme teplotu místnosti a všechny údaje zaznamenáme do připravené tabulky.

b) **Postup práce** při měření vlastních kmitů torzního kyvadla:

rozkmitáme torzní kyvadlo (tuto operaci je třeba provádět velmi opatrně, uchopíme disk oběma rukama - každou na opačné straně disku - a zvolna pootočíme diskem o několik stupňů tak abychom zkušební tyč neohýbali a disk pustíme), pozorujeme průběh kmitů a opakovaně stopkami měříme dobu 10 kmitů (minimální počet opakování je 10), naměřené hodnoty zapisujeme do připravené tabulky.

c) **Postup práce** při vyhodnocování výsledků:

1) hmotnost m disku vypočteme ze vztahu $m = \pi R^2 h \rho$, kde ρ je hustota disku (v našem případě $\rho = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$)

2) moment setrvačnosti J vypočteme ze vztahu (5)

3) modul pružnosti ve smyku G vypočteme ze vztahu (4)

Pozor! Do vztahu (4) se dosazuje perioda jednoho kmitu a ne doba deseti kmitů, která byla měřena.

4) vypočtené hodnoty doplníme do připravené tabulky

4.3. Stanovení modulu pružnosti ve smyku dynamickou metodou

úloha 12 – navržená modifikace

Při klasickém způsobu provádění tohoto experimentu je perioda (doba kmitu) T měřena elektrickými stopkami. Pro zvýšení přesnosti měříme dobu 10-ti kmitů a celé měření provádíme 10-krát. Po statistickém vyhodnocení těchto dat obdržíme průměrnou periodu a její odchylku. Nicméně stále jsou zde zastoupeny hlavní zdroje chyb – nepřesné určení počáteční polohy kotouče a reakční doba pozorovatele.

Nová metoda měření doby kmitu kotouče využívá namísto stopek fototranzistoru, který je připojen k mikrofonnímu vstupu zvukové karty počítače. Světelný tok, který přichází z okolí do fototranzistoru, je přerušován malým indikátorem (kolíkem) připevněným na kotouči a pohybujícím se nad fototranzistorem (stejně může fungovat i otvor v kotouči) – viz obr. 4.9.

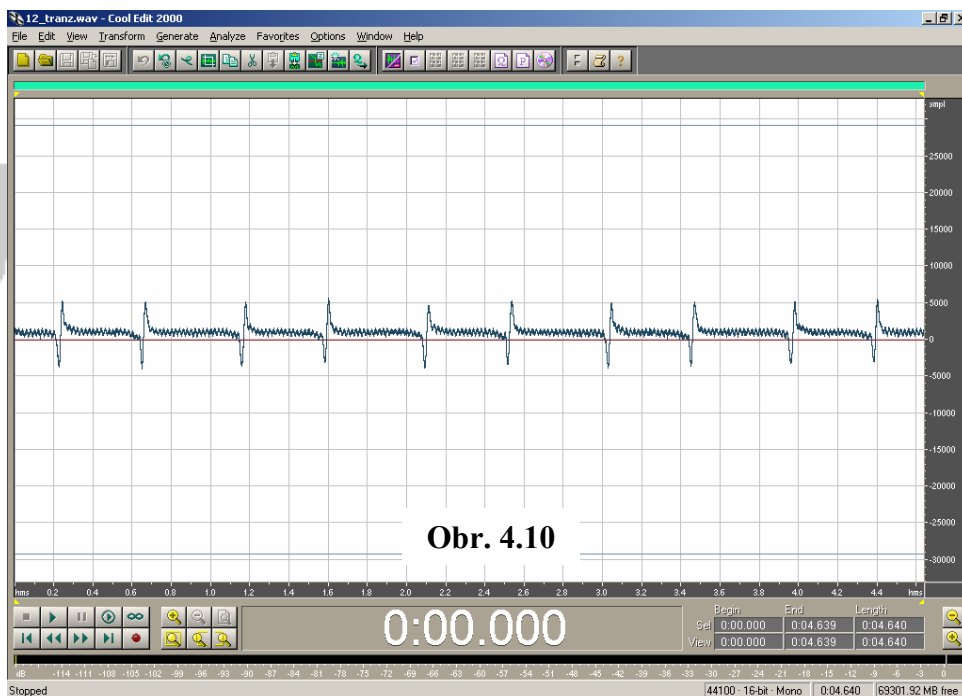
Signál z fototranzistoru je zachycen na obrazovce počítače. Je složen z "píků", které odpovídají kmitání indikátoru nad fototranzistorem. Obr. 4.10 zachycuje

změření pěti kmitů kotouče. Na obr. 4.11, což je detail obr. 4.10, je změřena vzdálenost mezi dvěma odpovídajícími si "píky", tj. doba kmitu T . Časový interval mezi „píky“ A , B a C , D je stejný. Student se ve struktuře píků lépe vyzná, opakuje-li měření

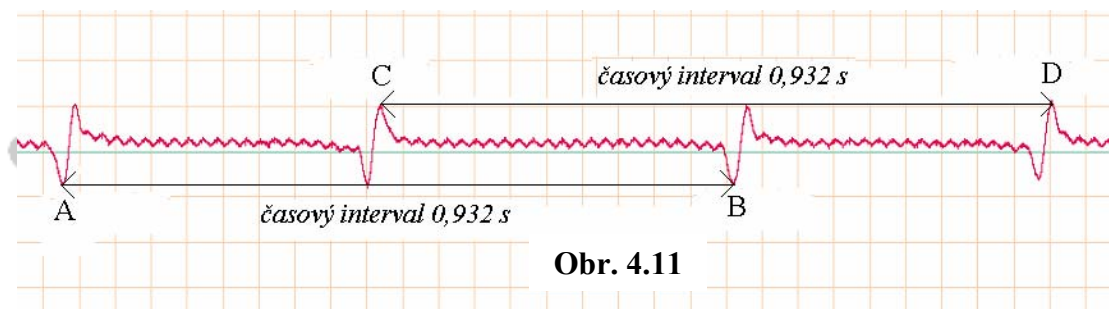


Obr. 4.9

s fototranzistorem trochu posunutým vůči klidové poloze kolíku – perioda se nezmění, ale časový interval mezi píky *A* a *C* ano.



Obr. 4.10



Obr. 4.11

Tato nová metoda určení doby kmitu je velice přesná, neboť její průměrná odchylka je 2 milisekundy, což v našem experimentálním uspořádání s periodou 0,932 s znamená relativní odchylku 0,2 %, oproti 1 %-ní odchylce v případě klasického uspořádání. Balance chyb měření jednotlivých parametrů experimentu ukazuje, že pro zvýšení přesnosti celé metody je ovšem třeba přesněji změřit průměr drátu. Význam této nové metody proto nespočívá v přínosu z hlediska přesnosti měření, nýbrž v modernizaci měřicího postupu, neboť v dnešní době počítačů je ruční mačkání stopek experimentátorem sice možné, ale poněkud staromódní a snadno nahraditelné.

Na závěr ještě připojím stručnou zmínku, která poslouží jako ilustrace srovnání metody dynamické a statické. Pokud na výše zmiňovaný ocelový kotouč přichytíme dva siloměry a táhneme jimi v tečném směru, kotouč se vychyluje z rovnovážné polohy – viz obr. 4.12.



Na základě údaje na siloměrech (pokud táhneme opravdu v tečném směru, tak je tato hodnota na obou stejná) a odhadu, o jaký úhel se kotouč vychýlí z rovnovážné polohy, jsme schopni přibližně určit hodnotu modulu pružnosti oceli ve smyku – viz [8]. Ta na základě experimentu prováděného statickou metodou vychází kolem 80 GPa, tedy ve shodě s tabulkovou hodnotou i údajem určeným dynamickou metodou. Tato statická metoda s danými siloměry je jen „nouzovou“ ilustrací, že jednu veličinu je obvykle možno měřit mnoha způsoby. K přesnějšímu experimentování se statickým měřením modulu pružnosti je určeno jiné měřicí zařízení, kde je však měření krut mosazného drátu, proto jej k bezprostřednímu porovnání nelze použít.

4.4. Určení rychlosti zvuku experiment

V následujících dvou experimentech se setkáváme s měřením krátkých časových intervalů. Způsob provedení je zde jiný (jednodušší) než ten, který využívá Millerova integrátoru – viz např. [20].

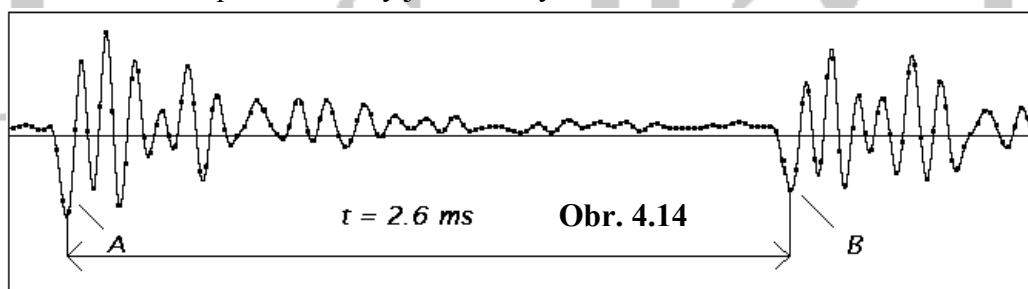
S problematikou měření rychlosti zvuku se ve fyzikálních experimentech setkáváme poměrně často, mj. také ve [21], [22] a [25]), a proto i já jsem se rozhodl jeden takový experiment (uskutečněný pomocí zvukové karty počítače) realizovat a zařadit do této práce. Následující způsob měření není příliš přesný, avšak je méně náročný na vybavení (nepotřebujeme žádný experimentální systém, mikrofon z mobilního telefonu ani Kundtovu či Quinckeho trubici) a svojí jednoduchostí působí poměrně názorně.

Dále uvedená experimentální metoda využívá odrazu zvukových vln od pevné překážky. Toto měření musí být připraveno velmi pečlivě, aby se zvuk odrážel pouze od jednoho přesně identifikovaného objektu. Použijeme obyčejný mikrofon připojený k počítačové zvukové kartě a postavený proti pevné zdi. Chceme, aby se zvuk odrážel pouze od této zdi. Proto musíme mikrofon izolovat od zvuků, které přicházejí z jiných směrů. Toho docílíme vložením mikrofonu do hadru v plastové láhvi – viz obr. 4.13.



Obr. 4.13

Nyní pomocí programu Cool Edit nahrajeme nějaký krátký a ostrý zvuk a jeho ozvěnu. Zdroj zvuku musí být umístěn mezi mikrofonem a zdí v přesně změřené vzdálenosti. Vhodným zdrojem zvuku může být například klepnutí dvou malých kovových objektů o sebe – lze použít čajové lžičky. Na obr. 4.14 vidíme dva signály – první přichází do mikrofonu přímo a druhý je odražený od zdi.



Protože vzdálenost mezi lžičkami a zdí byla 45 cm, dráha odražené zvukové vlny byla o 90 cm delší, než dráha původní zvukové vlny. Jak vidíme na obr. 4.14, časový interval mezi dvěma odpovídajícími si "píky" je 2,6 milisekundy. Pro výpočet rychlosti zvuku použijeme vzorec $c = s / t$, odkud po dosazení obdržíme $c \cong 346$ m/s. Tento údaj skutečně odpovídá velikosti rychlosti zvuku v suchém vzduchu při teplotě 25° C . Je ale potřeba vzít v úvahu, že při klepnutí lžičkami o sebe nejsme schopni dodržet konstantní vzdálenost 45 cm. Pokud tedy budeme předpokládat nepřesnost měření cca 1 cm, vyplývá z toho, že relativní chyba našeho měření se pohybuje okolo 2 %. Naše získané hodnoty jsou vzhledem k jednoduchosti uspořádání experimentu velmi dobré.

Takovéto „měření“ rychlosti zvuku je podle mého názoru výhodné mimo jiné pro svou neokázalost – kantor nebo studenti si cinknou lžičkou – kombinovanou s přirozenou cestou k přesnosti – díváme se na záznam na škále zlomků milisekund, záleží na přesném stanovení vzdálenosti lžiček od zdi. Zvenku je to hra.

4.5. Měření síly experiment

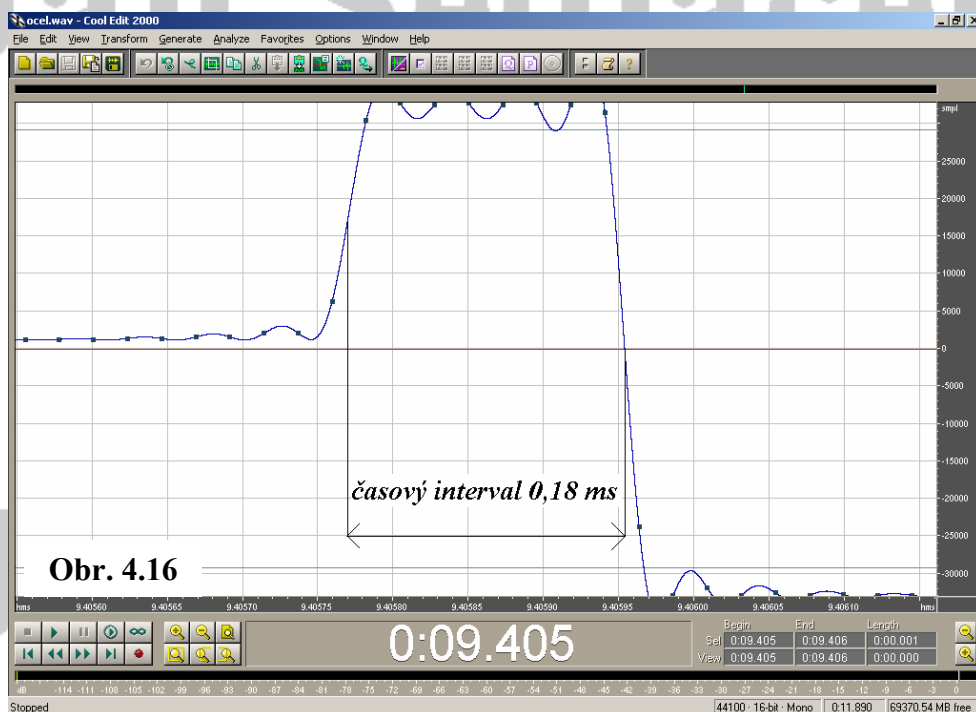
V následujícím paragrafu uváděné experimenty byly v minulosti v jiné podobě prováděny na MFF UK Ing. Caletkou. Základní fyzikální principy zůstávají, způsoby technického zpracování se mění. Zde použitý způsob měření využívá k určení krátkého časového intervalu počítačovou zvukovou kartu a program Cool Edit.

Pokusíme se odhadnout velikost síly působící při dopadu ocelové kuličky na vodorovnou desku – viz obr. 4.15.



Jeden pól mikrofonního vstupu do počítače připojíme pomocí tenkého vodiče ke kovové kuličce, druhý pak k vodivé desce, na kterou kulička dopadne.

Jakmile kulička dopadne na desku, dojde ke zkratu a to se projeví změnou elektrického napětí na zvukové kartě. Po přerušení kontaktu se napětí znovu mění. Vše je zaznamenáváno programem Cool Edit a jasně patrné z detailu na obr. 4.16. Vyznačený časový interval představuje dobu kontaktu mezi ocelovou kuličkou a ocelovou deskou.



Obr. 4.16

Nyní spočteme velikost střední síly \bar{F} působící během kontaktu. Velikost impulzu síly je rovna změně velikosti hybnosti: $\bar{F} \Delta t = \Delta p$. (1)

Dosadíme:

$$\bar{F} \Delta t = m \Delta v \Leftrightarrow \bar{F} \Delta t = m (\sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2}) \Leftrightarrow \bar{F} = \frac{m (\sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2})}{\Delta t}, \quad (2)$$

kde Δv – změna rychlosti dopadajícího tělesa – vzhledem k tomu, že uvažovaný ráz těles není pružný, je změna rychlosti kuličky dána vztahem: $\Delta v = \sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2}$,

m – hmotnost ocelové kuličky,

h_1 – výška, ze které kulička dopadá na desku,

h_2 – výška, do které se kulička odrazí po dopadu na desku

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – velikost normálního tíhového zrychlení

Δt – doba kontaktu mezi oběma tělesy.

V našem experimentu jsme změřili:

$m = 44,70 \text{ g}$, $h_1 = 20 \text{ cm}$ a $h_2 = 4 \text{ cm}$. Čas, po který působila síla mezi kuličkou a deskou, je odečten přibližně z poloviny výšky obou krajních náběhů na obr. 4.16; vychází $\Delta t = 0,18 \text{ ms}$.

Po dosazení do rovnice (2) obdržíme velikost střední síly, která působí po dobu kontaktu mezi kuličkou a deskou: $\bar{F} \cong 830 \text{ N}$. Když porovnáme tuto sílu s tíhovou silou, která působí na kuličku: $G = m \cdot g \cong 0,4 \text{ N}$, vidíme, že síla deformace je přibližně 2000-krát větší. Na první pohled se tato hodnota jeví překvapivě vysoká.

Můžeme dokonce řádově odhadnout také deformaci desky při dopadu kuličky. Platí: $G \cdot h_1 = \bar{F} \cdot d$, kde d je deformace desky. V našem případě vychází: $d \cong 100 \text{ }\mu\text{m}$.

Provedeme-li analogický experiment stále s ocelovou kuličkou ale tentokrát s podložkou z hliníku resp. z tvrdé gumy (hokejový puk), je výška, do které se kulička odrazí po dopadu na podložku $h_2 = 2,5 \text{ cm}$ resp. $h_2 = 1 \text{ cm}$. Pro hliník vychází doba kontaktu mezi tělesy (kuličkou a podložkou) $0,36 \text{ ms}$ – tedy 2x větší než pro případ ocel-ocel. Pro gumu (potaženou tenkým alobalem, aby byla zabezpečena vodivost) je kontaktní doba $1,3 \text{ ms}$. Střední síla pro hliník je pak cca 380 N a pro gumu 100 N . Deformace hliníku pak vychází $d \cong 230 \text{ }\mu\text{m}$ a deformace tvrdé gumy $d \cong 880 \text{ }\mu\text{m}$.

Chování materiálu při odrážení kuličky souvisí s intuitivním pojmem tvrdosti. Tvrdost materiálu můžeme do jisté míry dát do souvislosti s modulem pružnosti v tahu – cca $200\,000 \text{ MPa}$ ocel, $70\,000 \text{ MPa}$ hliník a 6 MPa pro tvrdou gumu. Celá záležitost je však daleko komplikovanější, je to jedno netriviální téma nauky o materiálech.

4.6. Stanovení koeficientu smykového tření

úloha 14 – tradiční uspořádání

Úkol:

1) Zkoumejte na vodorovném drsnoměru rozdíl mezi smykovým třením za *klidu* a za *pohybu* a *vliv třecích materiálů* na smykové tření. Proto proveďte měření koeficientu vlečného tření pro *tři* dvojice třecích materiálů, např. dřevo - dřevo, dřevo - kov, kov - kov

a) za klidu,

b) za pohybu

2) všechna měření provádějte opakovaně (alespoň 10x).

3) Pro jednu dvojici třecích materiálů proveďte opakovaná měření za klidu na sklonném drsnoměru.

- 4) Soubory naměřených hodnot zpracujte statisticky, z opakovaných měření určete průměrnou hodnotu naměřené veličiny tj. \overline{F}_k příp. \overline{F}_p (pro vodorovný drsnoměr) a výšku nakloněné roviny \overline{b} (pro sklonný).
- 5) Spočítejte k těmto průměrům příslušné absolutní chyby ΔF a Δb a relativní chyby $\delta(F)$ a $\delta(b)$.
- 6) Spočítejte z těchto průměrných hodnot \overline{F}_k (příp. \overline{F}_p) a \overline{b} střední hodnotu příslušného koeficientu tření ($f_k = \overline{F}_k / G, f_p = \overline{F}_p / G, f = \overline{b} / l$) a vyjádřete s příslušnou chybou Δf . Relativní chyby koeficientu tření plynou ze vztahů $\delta(f) = \delta(F), \delta(f) = \delta(b)$.
- 7) Výsledek vyjádřete ve tvaru $f \pm \Delta f$

Obecná část:

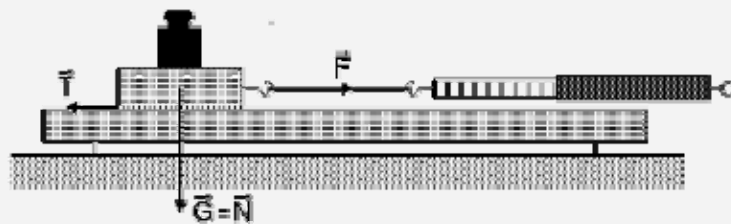
V důsledku nerovnosti povrchů těles působí v rovině tečné k jejich dotyku síly tření. Tyto síly působí proti směru pohybu a tím tedy pohybu brání. Koeficient smykového tření f je konstanta úměrnosti mezi silou tření T a tlakovou silou N přitlačující tělesa kolmo k sobě. Jednoduše to můžeme vyjádřit vztahem

$$T = f N \quad (1)$$

Koeficient smykového tření závisí na materiálu ploch, na jejich opracování i na rychlosti pohybu. Nejvyšší hodnoty nabývá v klidu.

Metoda měření:

K jednoduchému měření koeficientu smykového tření slouží vodorovný a sklonný drsnoměr. Schéma vodorovného drsnoměru je na obr. 4.17, schéma sklonného drsnoměru je na obr.4.18.



Obr. 4.17a



Obr. 4.17b

Na vodorovné smykové desce měříme siloměrem tažnou sílu F_k , při které se začne špalík (vzorek) ve tvaru kvádru pohybovat. Tato síla je rovna síle tření v klidu T_k . V tomto případě $N = G$, kde G je tíha špalíku. Tedy platí

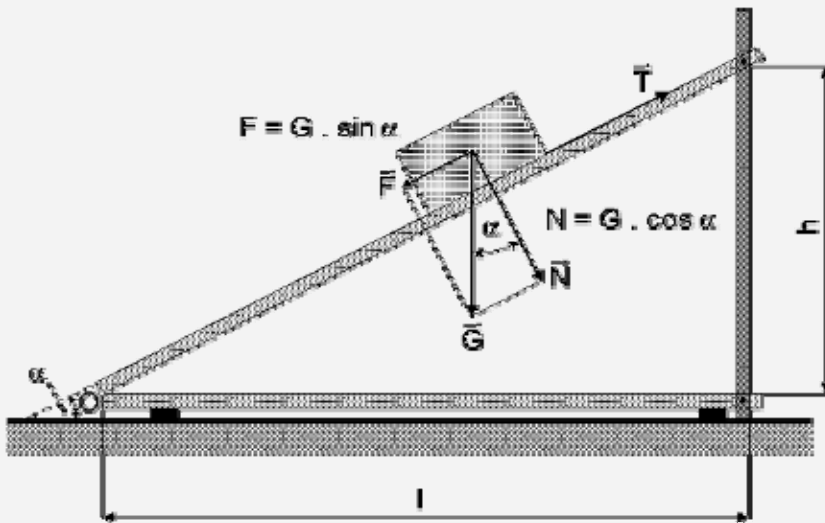
$$f = \frac{T}{G} = \frac{F}{mg} \quad (2)$$

kde m je hmotnost špalíku (vzorku).

Ze vztahu (2) stanovíme hodnotu koeficientu smykového tření v klidu f_k . Dále sledujeme, jak po uvedení vzorku do pohybu poklesne síla tření, což souvisí s poklesem hodnoty koeficientu smykového tření na hodnotu f_p . Proto měříme siloměrem tažnou sílu F_p , kterou je třeba působit, aby se vzorek pohyboval rovnoměrně, přímočaře. Potom $F_p = T_p$ a ze vztahu (2) stanovíme hodnotu koeficientu smykového tření za pohybu f_p .

Sklonný drsnoměr je tvořen stavitelnou smykovou deskou s možností nastavovat různý sklon smykové roviny. Úhel, při kterém se vzorek začne pohybovat se nazývá třecí úhel. Na základě rozkladu sil na nakloněné rovině (viz obr. 4.18) platí:

$$f = \frac{T}{N} = \frac{G \sin \alpha}{G \cos \alpha} = \frac{h}{l} \quad (3)$$



Obr. 4.18a



Obr. 4.18b

Návod k měření a zpracování:**a) Postup práce při stanovení součinitele smykového tření na vodorovném drsnoměru.**

- 1) Zkontrolujte správnost siloměru zavěšením závaží o známé hmotnosti.
- 2) Zjistěte hmotnosti třecích špalíků vážením na automatických vahách.
- 3) Upevněte siloměr k třecímu špalíku a měřte síly F_k i F_p pro všechny zadané kombinace třecích materiálů. Použijte metodu opakovaných měření, měření opakujte vždy desetkrát.
- 4) Statisticky zpracujte jednotlivé soubory naměřených hodnot, určete střední hodnoty \bar{F}_k a \bar{F}_p a příslušné směrodatné odchylky $s_{\bar{F}_k}$ a $s_{\bar{F}_p}$.

b) Postup práce při stanovení součinitele smykového tření na sklonném drsnoměru

- 1) Změřte nejprve délku základny l .
- 2) Naklánějte smykovou plochu do takové výšky h , kdy se dá vzorek do pohybu. Měření opakujte desetkrát. Naměřené hodnoty zpracujte statisticky a stanovte střední hodnotu \bar{h} a příslušnou směrodatnou odchylku $s_{\bar{h}}$.

Doporučené tabulky

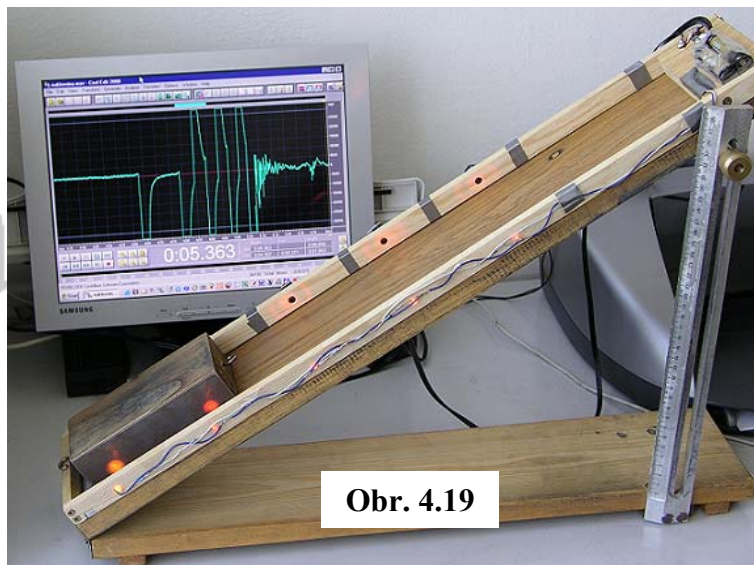
Naměřené hodnoty lze uspořádat do následující tabulky:

Č.	Vodorovný dřevo-kov		Vodorovný kov-kov		Vodorovný kov-kov		Sklonný h (mm)
	F_k (N)	F_p (N)	F_k (N)	F_p (N)	F_k (N)	F_p (N)	
1							
2							
...							
\bar{F}							
$s_{\bar{F}}$							
ΔF							
$\delta(F)$							
f							
$\delta(f)$							
Δf							

4.7. Stanovení koeficientu smykového tření**úloha 14 – navržená modifikace**

Klasickou metodu určování koeficientu tření nyní pozměníme a zpřesníme využitím optické závory. Rámeček, ve kterém je zabudována optická závora, připojíme

k počítači a nasadíme na desku, která je využívána již v klasickém uspořádání úlohy. Desku zafixujeme šroubem do šikmé polohy – viz obr. 4.19.

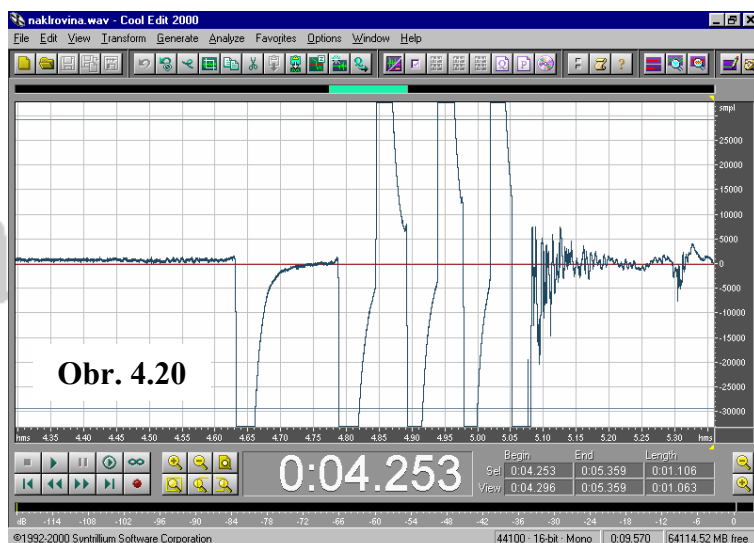


Pohybující se těleso, které pustíme po této nakloněné rovině, přerušuje světelné paprsky a zvuková karta počítače registruje změnu napětí a vzniklý signál je zaznamenán programem Cool Edit.

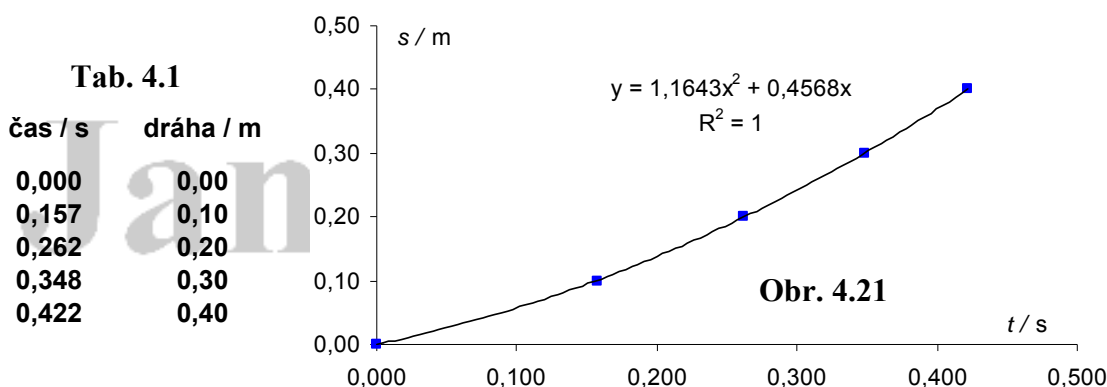
Pro další výpočet budeme uvažovat rovnoměrně zrychlený pohyb tělesa po nakloněné rovině při smykovém tření mezi ocelovým a dřevěným povrchem a změřenou výšku nakloněné roviny $h = 32 \text{ cm}$.

Zrychlení pohybujícího se tělesa je určeno vztahem: $a = g (\sin \alpha - f \cos \alpha)$, odtud koeficient tření $f = \tan \alpha - a / (g \cos \alpha)$. (1)

Jak vidno, pro dosažení do tohoto vztahu nám chybí ještě hodnota zrychlení. To určíme následovně. Na obr. 4.20 odpovídá první náběhová hrana každého dolního „píku“ přerušení příslušného optického paprsku klouzajícím tělesem. Podíváme-li se na zaznamenaný signál děje, je patrné, že vzdálenosti mezi jednotlivými pěti dolními „píky“ se zleva doprava zkracují. To skutečně odpovídá zrychlenému pohybu, neboť všech pět optických paprsků v optické závoře je od sebe vzdáleno ekvidistantně – 10 cm .



Nyní odečteme časové intervaly mezi prvním a ostatními „píky“, data přeneseme do Excelu a vyneseme grafickou závislost dráhy na čase, kterou proložíme kvadratickou spojnicí trendu se zobrazením funkční závislosti – viz tab. 4.1 a obr. 4.21.



Uvedená závislost je vyjádřením dráhy rovnoměrně zrychleného pohybu jako funkce času: $s = a \cdot t^2 / 2 + v_0 \cdot t$ ($s_0 = 0$, protože dráhu začínáme měřit v čase $t = 0$ s). Z rovnice na obr. 4.21 tedy vidíme jaké je zrychlení pohybu tělesa, počáteční rychlost a dokonce i to, že se jedná o pohyb zrychlený rovnoměrně (koeficient determinace R^2 je roven přesně jedné).

Po dosazení do (1) vychází koeficient smykového tření za pohybu pro povrchy ocel-dřevo **0,36** a velmi dobře odpovídá tabelované hodnotě **0,35** a rovněž hodnotám změřeným klasickou cestou (**0,32 – 0,36**). Kromě toho ze statistiky opakovaného měření touto novou metodou vyplývá velmi malá chyba koeficientu tření – cca 1 %, tj. přibližně 10x menší než je chyba přesnosti měření na drsnoměrech.

Diskutujeme-li chybu měření f na základě zákona hromadění chyb

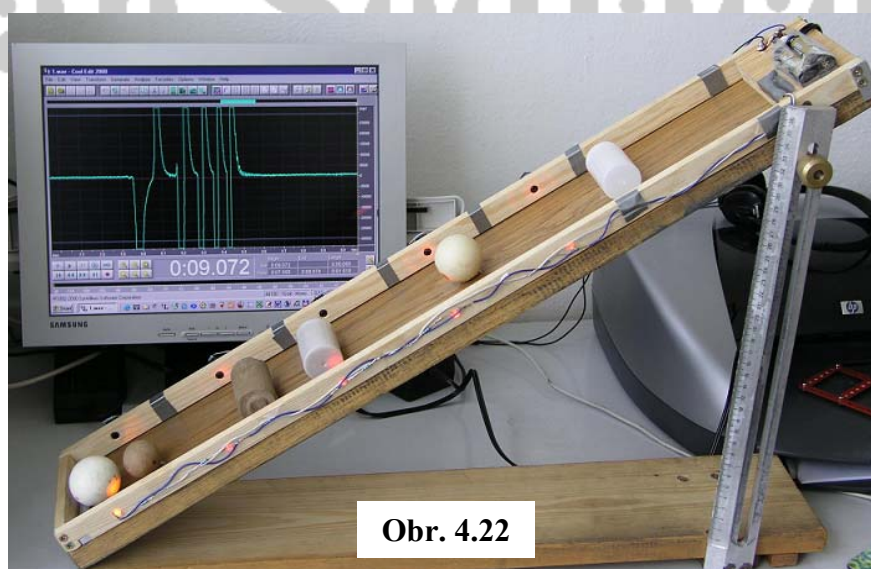
$$(\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)^2 (\Delta \alpha)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 (\Delta a)^2}, \text{ viz např. [29]}), \text{ ukazuje se, že se zmenšujícím se}$$

úhlem nakloněné roviny dostáváme menší chybu koeficientu tření. Na druhé straně ale musí být tento úhel natolik velký, aby těleso bylo schopno se po nakloněné rovině pohybovat zrychleně. Navíc při menších úhlech (jak ukazuje zkušenost) je měření více ovlivněno různými nečistotami, které ulpívají na povrchu styčných ploch. Optimální úhel sklonu roviny je pak věcí praxe. V našem případě se osvědčilo (jak je uvedeno výše) fixovat nakloněnou rovinu ve výšce 32 cm, což při délce vodorovné roviny 50 cm dává úhel přibližně 33 °.

Navržená metoda má podle mého názoru několik dalších předností kromě již zmíněné lepší přesnosti. Studenti jsou vedeni k tomu, aby se vyznali v netriviálním, ale poměrně snadno dešifrovatelném grafu. To je věc, ve které zpravidla velkou praxi nemají. Zpracování v Excelu je jednoduché a přirozené, ale opět je to pro zpravidla nová zkušenost. Nakonec je pro mnohé zajímavé, že jako výsledek „nějaké operace s počítačem“ na základě změřených dat na ně „vykoukne“ kvadratická závislost dráhy na čase, jejíž parametry mají význam a použijí se ke stanovení hledané veličiny.

4.8. Valení těles experiment

Na čem závisí rychlost tělesa valícího se po nakloněné rovině? Kupodivu stále ještě hodně lidí je v zajetí aristotelovských představ a odpoví: „Na hmotnosti. Čím těžší těleso, tím větší bude jeho rychlost.“ Následující experiment názorně ukáže, jak to opravdu je. Zkoumejme pohyb několika typů rotačních těles na nakloněné rovině – viz obr. 4.22.



K dispozici máme tělesa těchto parametrů:

- 1) Plný plastový válec – hmotnost 55 g, průměr 31 mm
- 2) Plný dřevěný válec – hmotnost 27 g, průměr 31 mm
- 3) Dutý plastový válec – hmotnost 5,5 g, průměr 31 mm
- 4) Plná dřevěná koule – hmotnost 23 g, průměr 30 mm, hnědá
- 5) Plná dřevěná koule – hmotnost 26 g, průměr 40 mm, bílá
- 6) Dutá celuloidová koule – hmotnost 3 g, průměr 38 mm, ping-pongový míček

Dobu t_m potřebnou pro uražení vždy stejné dráhy určíme u všech těles pomocí optické závory a programu Cool Edit. Vycházejí hodnoty³ uvedené v následující tabulce, do které jsou současně zaneseny „medaile“ za pomyslný závod těles ve valení (tab. 4.2).

Tab. 4.2

***	Tvar	Doba valení	Medaile
1)	Plný válec	0,460 s	Stříbrná
2)		0,457 s	
3)	Dutý válec	0,520 s	„Bramborová“
4)	Plná koule	0,445 s	Zlatá
5)		0,447 s	
6)	Dutá koule	0,489 s	Bronzová

³ Průměr z 5-ti měření. Relativní směrodatná odchylka je vždy menší než 1 %.

Z výsledků experimentu uvedených v tab. 4.2 vydedukujeme následující závěry:

1. Z porovnání těles 1) a 2) je zřejmé, že **rychlost valení nezávisí na hmotnosti tělesa!** (Lehčí těleso bylo dokonce ještě nepatrně rychlejší. Bez mnohokrát opakovaného měření nelze rozhodnout, zda je těleso 2 vždy rychlejší, což může být způsobeno menším valivým třením.)
2. Porovnání těles 4) a 5): **rychlost valení nezávisí na poloměru tělesa.**
3. Porovnání těles 2) a 4): **rychlost valení závisí na tvaru tělesa.**
4. Skutečnost, že časy dosažené tělesy stejného tvaru dutými a plnými jsou značně rozdílné, nám sděluje, že **rychlost valení závisí na rozložení hmotnosti tělesa kolem osy rotace.**

Změřená data a hlavně závěry o závislosti doby valení na tvaru předmětu mohou motivovat detailnější pohled na studovaný jev. Zanedbáme-li valivé tření⁴ a odpor vzduchu⁵, můžeme k dalším výpočtům použít zákon zachování mechanické energie. Vezmeme-li v úvahu kinetickou energii rotace valícího se tělesa, pak jeho celková kinetická energie $E_k = (J_T \omega^2 + m v_T^2) / 2$ (viz např. [26], str. 299). Zákon zachování mechanické energie nabývá tvaru:

$$m g h = (J_T \omega^2 + m v_T^2) / 2, \quad (1)$$

tj.: potenciální energie = kinetická energie rotačního pohybu + kinetická energie posuvného pohybu (braná vzhledem k těžišti tělesa). Dosadíme-li $\omega = v_T/R$, vyplývá z (1) vztah pro konečnou rychlost pohybu tělesa při valení:

⁴ Velikost odporové síly charakterizující valivé tření je definována jako $F_V = \zeta F_N/R$, kde konstanta úměrnosti ζ je tzv. rameno valivého odporu (závisí na kvalitě a úpravě povrchu styčných ploch), F_N je velikost tlakové síly a R je poloměr tělesa.

Experimentálně jsem určil rameno valivého odporu v našem experimentu následovně. Nastavil jsem výšku nakloněné roviny tak, aby valící se těleso se pohybovalo bez zrychlení (výsledná síla působící ve směru pohybu je nulová). Potom $F_V = G \sin \alpha$ a také je $F_N = G \cos \alpha$. Po dosazení do výchozího vztahu je $\zeta = R \tan \alpha$. Pro plný plastový váleček (hmotnost 55 g, průměr 31 mm), s předpokládaným největším ramenem valivého odporu ze všech zde uvedených těles, je $\zeta = 0,3$ mm a odporová síla je cca 1,6 % tíhové síly. U ostatních použitých těles je odporová síla ještě menší. Máme tak kvantitativní míru přesnosti našeho zanedbání.

⁵ Odpor vzduchu hraje největší roli ze zde uvedených těles patrně u ping-pongového míčku (hmotnost 3 g, průměr 38 mm). Pokud se těleso pohybuje v nějakém prostředí, je velikost brzděné síly odporu prostředí $F_B = b v$ (pokud se těleso pohybuje relativně pomalu), kde konstanta úměrnosti b je součinitel útlumu a v je velikost rychlosti pohybu tělesa.

Velikost síly, která charakterizuje odpor vzduchu při pohybu ping-pongového míčku, jsem určil následným experimentem. Nejprve bylo třeba zjistit koeficient b . Míček jsem zavěsil na nit a nechal jej kmitat (tlumeně) přes paprsek optické závory. Na základě vyhodnocení záznamu kmitání v Cool Editu byly určeny hodnoty rychlosti míčku v různých časech (velikost rychlosti se s přibývajícím časem zmenšovala). Amplituda rychlosti klesá s časem exponenciálně podle vztahu: $v_m e^{-bt/(2m)}$ (viz [26], analogie k rovnici 16.40 na str. 424). Součinitel b tedy lze získat např. ze vztahu $v_{m10}/v_{m1} = e^{-bt/(2m)}$, kde v_{m10} resp. v_{m1} jsou rychlosti pohybu míčku při desátém resp. prvním kmitu a t je příslušný časový interval mezi oběma kmity. Koeficient útlumu pro ping-pongový míček byl určen na $b = 260$ mg/s. Tomu odpovídá cca 8,3 % úbytku mechanické energie na jednu periodu (ze vztahu $E_{t+T}/E_t = (v_{t+T}/v_t)^2 = e^{-bT/m}$).

Na základě znalosti konečné hodnoty rychlosti míčku na nakloněné rovině $v_T = 1,59$ m/s – ze vztahu (2), byla maximální hodnota brzděné síly stanovena na $F_B = 0,4$ mN, což činí 1,4 % hodnoty tíhové síly. Je tedy vidět, že rovněž zanedbáním odporu vzduchu jsme se velké nepřesnosti nedopustili.

Diskuze těchto odporových sil je vhodným tématem pro schopnější studenty, pro mnohé naše studenty ve vyrovnávacím kurzu je však příliš obtížná.

$$v_T = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \frac{J_T}{mR^2}}}, \quad (2)$$

tedy doba valení z klidu po dráze s je $t = \sqrt{\frac{2s}{g \sin \alpha} \left(1 + \frac{J_T}{mR^2}\right)}$, se zrychlením

$a = \frac{g \sin \alpha}{1 + \frac{J_T}{mR^2}}$. (Zrychlení lze rovněž zjistit experimentálně jako v předchozí úloze, neboť pohyb je v tomto případě rovnoměrně zrychlený. Teoretický rozbor úlohy je však formulován pro rychlost, proto se nyní soustředíme především na ni.)

Nyní zpřesníme formulace podmínek 3 a 4 a shrneme je do podmínky jediné:

Rychlost valení závisí na poměru J_T/mR^2 , kde J_T , je moment setrvačnosti tělesa vzhledem k ose jeho symetrie (a která prochází těžištěm tělesa).

Tab. 4.2 teď rozšíříme o hodnotu uvedeného poměru pro jednotlivá tělesa a dále „tvarový faktor“, který vystupuje v době valení. V posledním sloupci je změřená doba valení vydělená „tvarovým faktorem“ – viz tab. 4.3. Pokud jsme měřili přesně a pokud jsme vystihli podstatné fyzikální jevy, měly by být hodnoty v pravém sloupci skoro stejné, ovlivněné jen náhodnými chybami měření. Tak tomu skutečně je, protože po statistickém vyhodnocení je relativní směrodatná odchylka dat v posledním sloupci pouze 1,1 %, oproti prvnímu sloupci kde tato hodnota vychází 6,2 %.

Pro konkrétní hodnoty měření ($s = 40$ cm, $\sin \alpha = 0,539$, $g = 9,81$ m.s⁻²) vychází očekávaná hodnota v posledním sloupci 0,389 s (průměr z naměřených hodnot je přitom 0,375 s). Při experimentu jsem vypouštěl tělesa rukou těsně nad prvním paprskem. Tím vznikla systematická chyba zapříčiněná nenulovou počáteční rychlostí na měřeném úseku na úrovni 15 ms, čemuž odpovídá vzdálenost přibližně půl mm nad prvním paprskem. (Jak je patrné, tak tato systematická chyba zcela převážila nad vlivem valivého tření a odporu vzduchu.)

Podle zájmu studentů a stupně jejich porozumění je možné zvolit různou úroveň výkladu a hloubku diskuze naměřených výsledků. Cena přesného měření je v tom, že tuto diskuzi umožňuje.

***	Doba valení	Tvar	J_T/mR^2	$\sqrt{1 + \frac{J_T}{mR^2}}$	$t_m / \sqrt{1 + \frac{J_T}{mR^2}}$
1)	0,460 s	Plný válec	1/2	1,225	0,376 s
2)	0,457 s				0,373 s
3)	0,520 s	Dutý válec	1	1,414	0,368 s
4)	0,445 s	Plná koule	2/5	1,183	0,376 s
5)	0,447 s				0,378 s
6)	0,489 s	Dutá koule	2/3	1,291	0,379 s

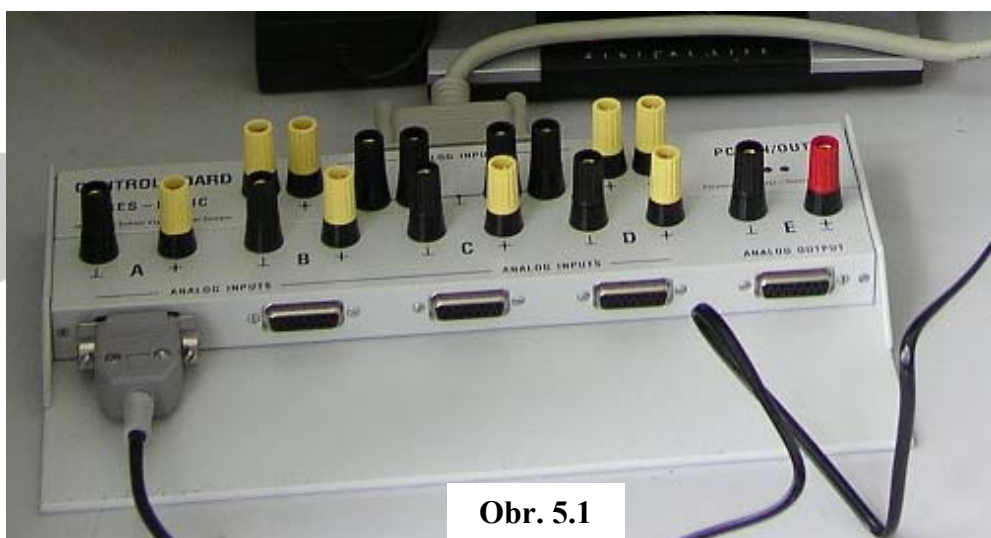
Tab. 4.3

5. Experimenty realizované systémem ISES a optickou závorou

Řadu fyzikálních experimentů lze provádět s využitím školního experimentálního systému ISES (viz Příloha), ale zároveň také pomocí periferního zařízení, hardwaru a softwaru popsaných v předešlé kapitole. Samozřejmě jde o množinu experimentů, kde systém ISES využívá jako čidla světelnou závoru. Tomu je věnována následující kapitola. Nejprve připomenou ISES-experimenty, které jsou popsány v [9], [11] a [1], a na to navážu jejich modifikací pomocí optické závory popsané výše.

5.1. Určení rychlosti pohybujícího se tělesa systémem ISES

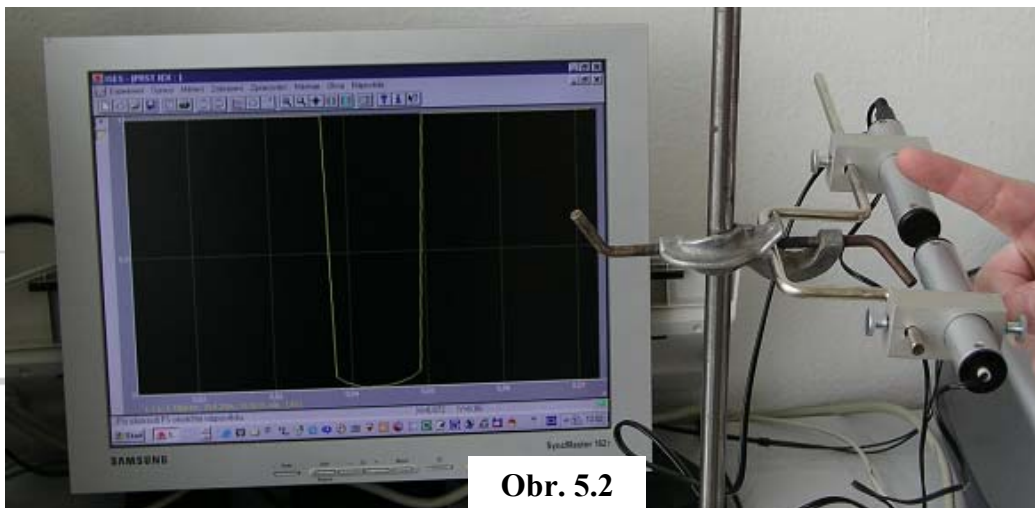
V počítači, který je používán k ISES-experimentům, musí být nainstalován příslušný software a na základní desce převodníková AD/DA karta, do které je zapojen ovládací panel – viz obr. 5.1.



Obr. 5.1

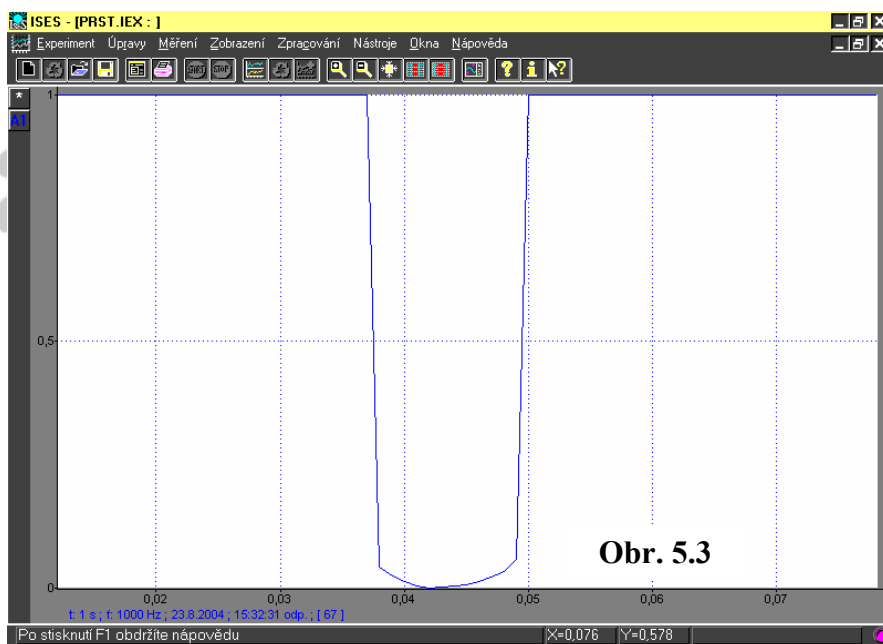
K ovládacímu panelu je připojeno příslušné čidlo. V našem případě se jedná o modul světelná závoru, který je uchycen ve stojanu – viz obr. 5.2. Tento modul pracuje v infračervené oblasti. Čidlo reaguje na přerušení optické dráhy světelného paprsku. Optický přijímač a vysílač jsou propojeny kablíkem a nasunuty na společné tyčce, která je vyhnutá (pro větší pohybující se předměty). Kalibrační hodnoty jsou „1“ – pro nepřerušovanou optickou dráhu a „0“ – pro přerušovanou optickou dráhu – viz [9].

Vlastní experiment probíhá tak, že se optickou závorou uchycenou do stojanu nechá proběhnout těleso, jehož rychlost měříme. Určujeme-li například rychlost pohybující se ruky, mávneme prstem ruky tak, abychom přerušili paprsek mezi přijímačem a vysílačem optické závory – viz obr. 5.2.



Obr. 5.2

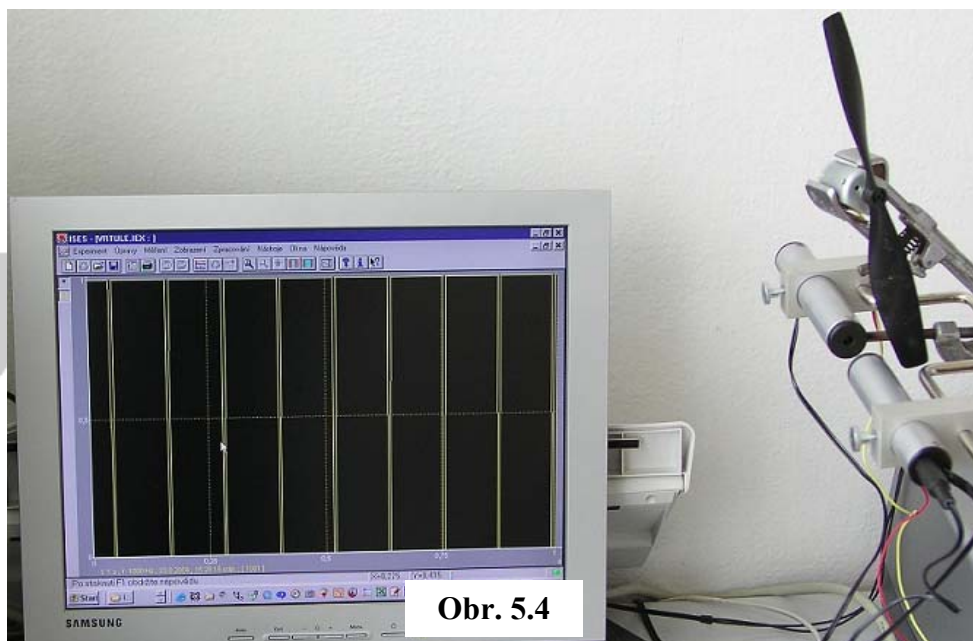
Při přerušení paprsku poklesne intenzita osvětlení, které registruje přijímač, na nulu. Signál zůstává nulový po celou dobu průchodu tělesa (prstu). Na grafu tedy můžeme přesně odečíst dobu průchodu Δt – viz obr. 5.3, která závisí na rychlosti a rozměrech pohybujícího se tělesa – [9].



Obr. 5.3

Pro dostatečně malá tělesa můžeme okamžitou rychlost v počítat ze vztahu $v = d / \Delta t$, kde d je příslušný rozměr tělesa.

Podobně jako při měření rychlosti ruky postupujeme při určování závislosti frekvence vrtule napojené na elektromotorek na přiváděném napětí – [24], viz obr. 5.4.



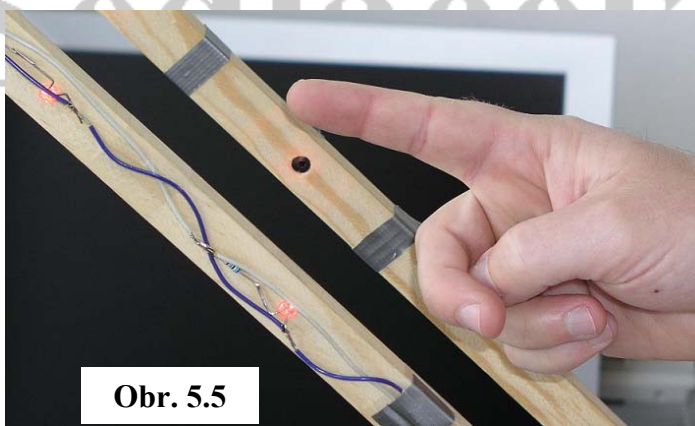
Obr. 5.4

5.2. Určení rychlosti pohybujícího se tělesa optickou závorou

V této kapitole nevyužíváme celou kapacitu 5-ti paprskové optické závor, ale vystačíme si pouze s jedním paprskem. Bude se tedy jednat o plnou analogii se světelnou závorou ze soupravy ISES – viz obr. 5.5.

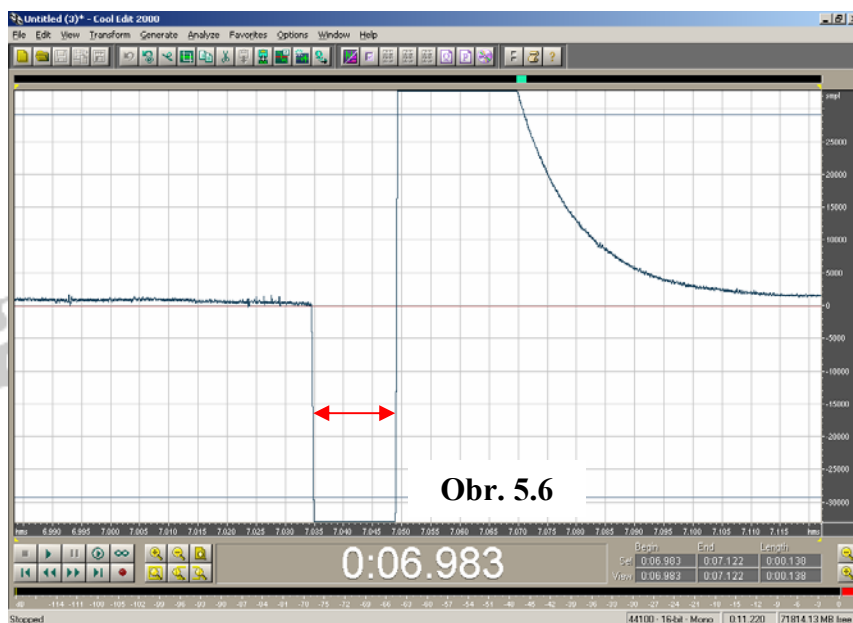
Jak již však bylo řečeno v kapitole 4, zásadní odlišnost v registraci signálu zvukovou kartou počítače a ISESem spočívá v tom, že zvuková karta reaguje pouze na **změnu** hodnoty fyzikální veličiny.

Podíváme-li se na signál monitorovaný programem Cool Edit – viz obr. 5.6 – potom náběhová hrana z vodorovné osy směrem dolů



Obr. 5.5

odpovídá „příchodu“ prstu do dráhy optického paprsku, náběhová hrana z vodorovné osy směrem vzhůru pak jeho „odchodu“. Dobře, kdy prst přerušil optický paprsek, tedy odpovídá časový interval označený šipkou. Měřený exponenciální pokles napětí po náběhovém vrcholu je skryt vně rozsahu zobrazení, je vidět exponenciální pokles dlouho po „odchodu“ prstu. (Pozorný čtenář si jistě povšimne rozdílů oproti obr. 4.5 v předchozí kapitole. Je dán tím, že v kapitole 4 jsem chtěl ukázat celý průběh signálu včetně maxima a minima a nyní upřednostňuji vyšší citlivost měření zvětšením amplitudy signálu.)

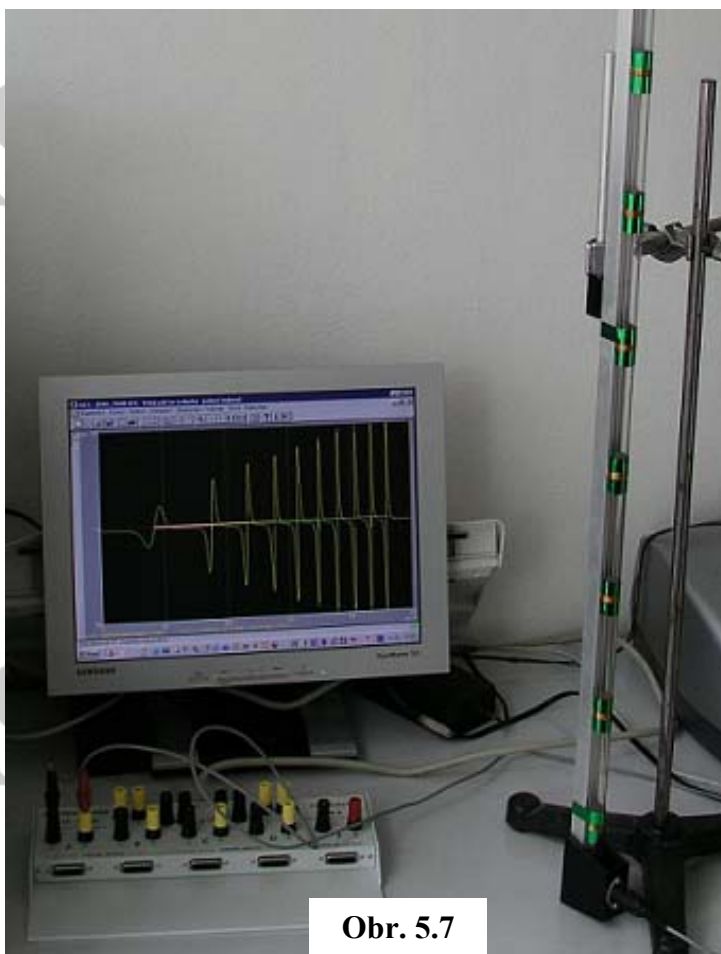


5.3. Určení hodnoty tíhového zrychlení systémem ISES 1

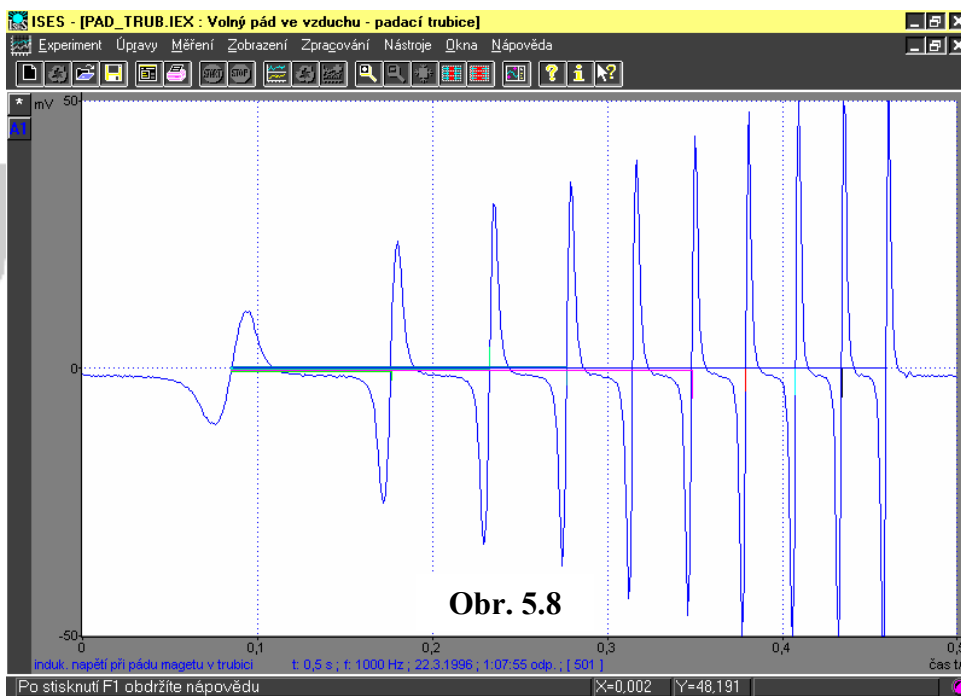
Jedna z možností přibližného určení velikosti tíhového zrychlení využívá modul snímač polohy – viz [9]. Avšak přesnější metoda, která zde bude popsána, využívá soupravy padací trubice – viz [9].

K ovládacímu panelu je připojen modul voltmetru a s ním je propojena tzv. padací trubice. Jedná se o skleněnou trubici, na které jsou navinuty magnetické cívečky. Ty jsou ekvidistantně rozmístěny podél celé trubice a vzájemně sériově propojeny – viz obr. 5.7.

Padací trubice se uchytí ve svislé poloze do stojanu a nechá se jí propadnout válcový magnet. Magnet postupně prochází jednotlivými cívkami, přičemž svým volným pádem v nich



indukuje elektrické napětí, které je měřeno voltmetrem. Celý proces je snímán a jeho časový průběh je zaznamenán v grafu na monitoru počítače – viz obr. 5.8.



Obr. 5.8

Nyní je vhodné se na chvíli zastavit u obr. 5.8, který představuje grafickou závislost indukovaného napětí na čase a pokusit se vysvětlit tvar pozorované křivky.

Padající magnet (je to váleček o poloměru $R = 4 \text{ mm}$ a výšce $h = 24 \text{ mm}$) ve svém okolí vytváří magnetické pole. Chceme spočítat indukované napětí v cívkce, kterou umístíme do počátku souřadnic. Nyní je potřeba zvolit vhodnou aproximaci velikosti magnetické indukce buzené padajícím magnetem ve vzdálenosti z od středu cívkky.

Magnetický moment magnetu je orientován po jeho délce, takže při volném pádu ve svislé trubici je magnetický moment orientován svisle. Jedna z možností tedy je, že velikost magnetické indukce válcového magnetu budeme aproximovat vztahem pro indukci magnetického dipólu:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{m}{z^3} \quad (\text{viz např. [26], str. 786), kde} \quad (1)$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$ – permeabilita vakua (přibližně též vzduchu), $m \cong 0,2 \text{ A}\cdot\text{m}^2$ – velikost magnetického dipólového momentu magnetu⁶. Tento vzorec udává indukci na ose cívkky (i magnetu), záhy uvidíme, jaký důsledek bude mít další jednoduchý krok,

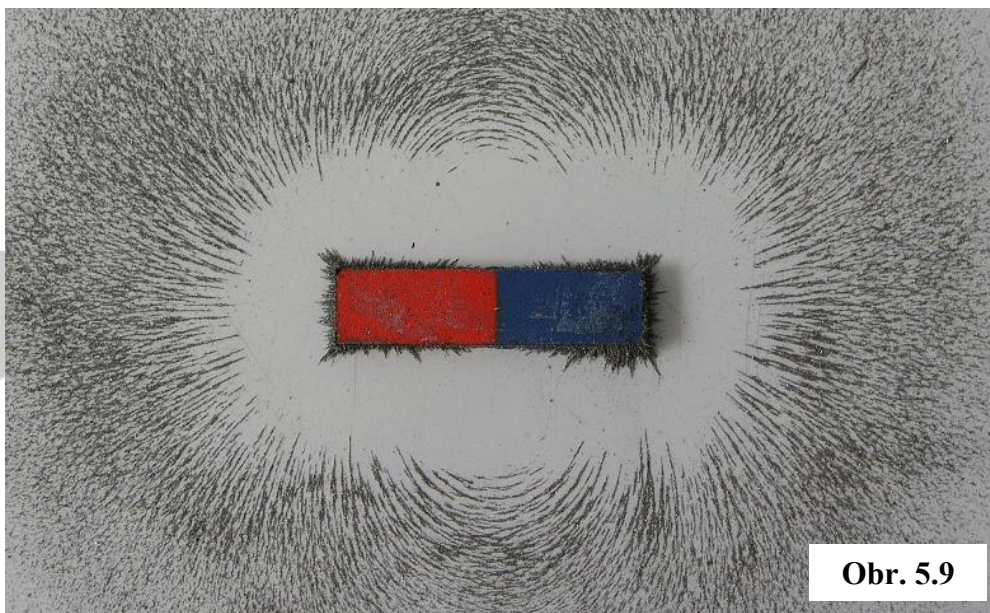
⁶ Velikost magnetického dipólového momentu magnetu lze zhruba odhadnout z následujícího experimentu. Střelka kompasu (pokud není pod vlivem sekundárních magnetických polí) ukazuje na sever. Pokud ke kompasu z jižní strany těsně přiblížíme jižní pól magnetu, střelka se otočí o 180° . Nyní budeme magnet pomalu vzdalovat zpět. Ve vzdálenosti z magnetu od střelky, když je střelka kompasu natočena přesně východo-západním směrem, jsou vyrovnány velikosti indukci magnetického pole Země a magnetu: $B_Z = B_M$. Velikost indukce zemského magnetického na povrchu Země je cca $2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ viz [30], za velikost indukce magnetu dosadíme ze vztahu (1) a dopočítáme hodnotu m .

kdy magnetický indukční tok cívkou spočítáme jako $B(\text{na ose}) \cdot S$. V cívce se pohybem magnetu indukuje napětí

$$U = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(BS)}{dt} = -\frac{dB}{dt} \cdot S = \frac{\mu_0 m S}{2\pi} \cdot 3z^{-4} \cdot \frac{dz}{dt}, \text{ kde} \quad (2)$$

S je plocha cívky o poloměru $r = 5,5$ mm. Zásadním problémem této aproximace je ale růst indukovaného napětí k nekonečnu pro $z = 0$. Tato divergence je zjevným důsledkem předpokladů (speciálně důsledkem zanedbání příčných rozměrů).

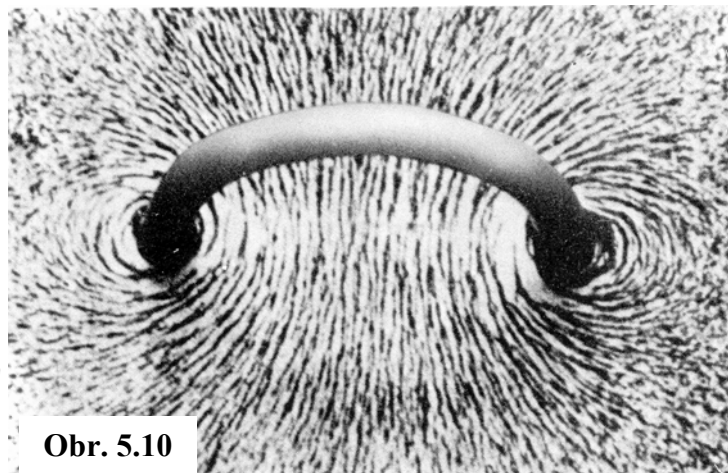
Fyzikálně vhodnější aproximace než je výše uvedená, ale přitom stále dostatečně jednoduchá a srozumitelná pro většinu studentů základního kurzu fyziky, je vyjádření magnetické indukce tyčového magnetu jako indukce jediného kruhového závitu protékaného proudem (resp. solenoidu, ale pro jednoduchost zůstaneme u jediného závitu). Podrobné výpočty magnetického pole jsou pro naše studenty příliš obtížné, proto průběh siločar raději ilustruji klasickou metodou – pomocí železných pilin na obr. 5.9. Vhodnou ilustrací jsou také běžné obrázky v učebnicích, viz např. [40], str. 13.



Velikost magnetické indukce proto nyní vyjádříme jako $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{m}{(R^2 + z^2)^{3/2}}, \quad (3)$

kde m nahrazuje součin plochy závitu a jím tekoucího proudu (viz opět [26], str. 786). Vzorec opět udává indukci na ose cívky. Podrobnější mapování pole závitu (ať už pomocí výpočtu nebo pomocí měření či jen zviditelnění pilinami) však ukazuje, že hodnota indukce uvnitř plochy závitu je zhruba konstantní. To již studenti mohli potkat na střední škole, viz např. obrázek 5.10 ze středoškolské učebnice [40], str.17.

Ja



Obr. 5.10

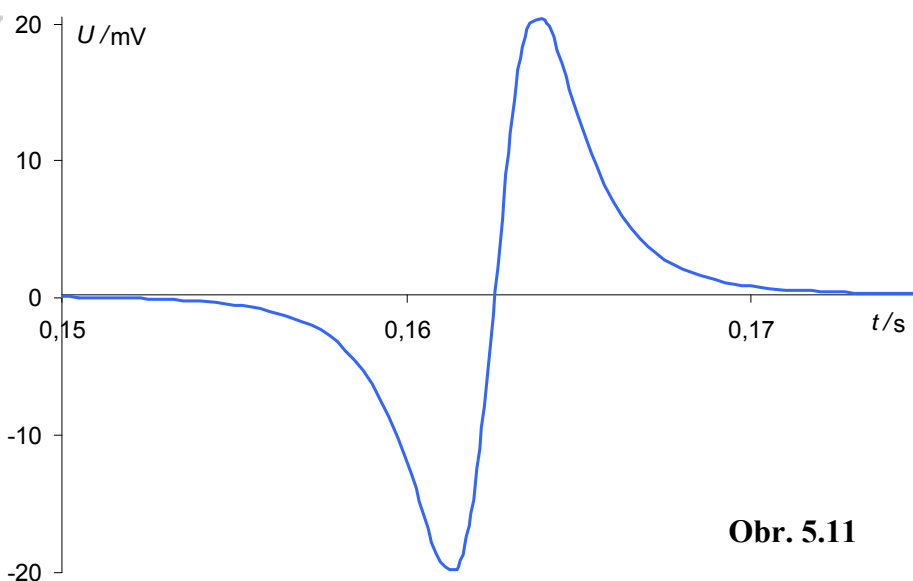
ek

Pak už opět aproximujeme magnetický indukční tok součinem $B \cdot S$ a napětí indukující se v cívce nyní bude:

$$U = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(BS)}{dt} = -\frac{dB}{dt} \cdot S = \frac{\mu_0 m S}{2\pi} \cdot (R^2 + z^2)^{-5/2} \cdot 3z \cdot \frac{dz}{dt} \quad (4)$$

Dosadíme-li všechny známé hodnoty do vztahu pro indukované napětí a vykreslíme-li průběh napětí v závislosti na čase pomocí programu Excel, dostáváme průběh, jehož tvar dobře odpovídá jednomu „kmitu“ na obr. 5.8 – viz obr. 5.11.

J



Obr. 5.11

k

Pro účely měření tíhového zrychlení nám stačí měřit časové intervaly mezi průlety magnetu jednotlivými cívkami (viz dále). Odbočkou o indukci napětí a tvaru pulzu můžeme ukázat studentům, že to, co vidí na zaznamenaném grafu, je relativně snadno pochopitelné. Chceme tak ilustrovat mnohostrannost a mnohoúrovňovost fyzikálních jevů a jejich popisu. (Při této ilustraci se také hodí použití první jednoduché a nefungující aproximace, kterou jsme záhy nahradili aproximací jinou a fungující. Pro studenty je zpravidla překvapivé, že pedagog záměrně přichází s něčím, co nefunguje.)

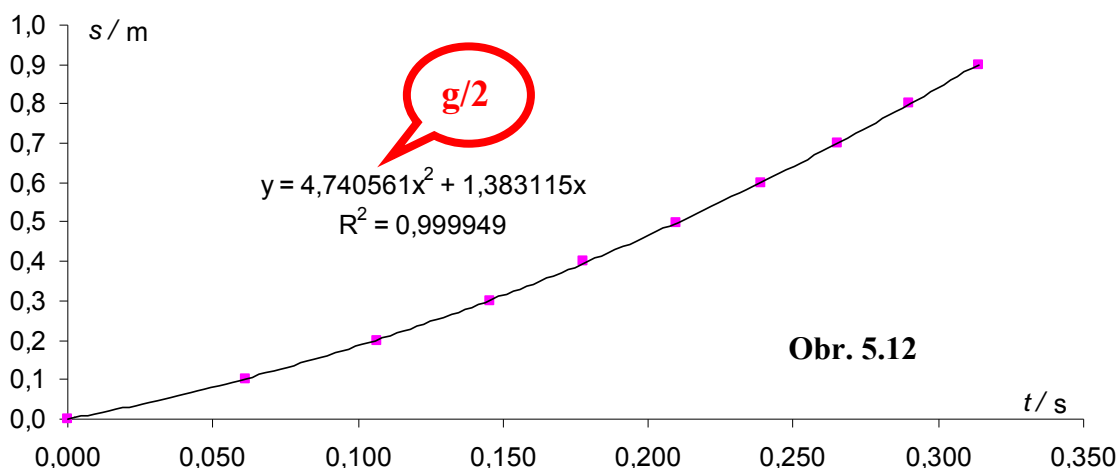
Autoři ISESu navrhují výpočet velikosti tíhového zrychlení následovně: „Z grafu je patrné, že velikost indukovaného napětí závisí přímo na rychlosti magnetu a že tedy ros-

te lineárně. Spojíme maxima přímkou a odečteme její parametry. Přímka prochází nulou a z její směrnice lze vypočítat tíhové zrychlení v daném místě. Plocha pod křivkou odpovídá magnetickému indukčnímu toku...“ (viz [9], str. 61). Tento návod souvisí s našim výsledkem (4). V této metodě se však jako problematické ukazuje stanovení doby letu magnetu konečné délky k cívce konečné délky a poté určení vlastní doby průletu magnetu cívkou. Z tohoto důvodu můžeme pomocí výše zmíněné metody velikost tíhového zrychlení pouze řádově odhadnout.

Proto jsem metodu výpočtu tíhového zrychlení poněkud pozměnil. Jako jasně definovatelné se ukazují časové intervaly např. mezi jednotlivými maximy napětí (viz obr. 5.8) a díky tomu je lze využít pro další postup. Dále je opět velmi vhodné použití programu Excel – uplatní se metoda následných měření. Z obr. 5.8 je patrné, že s rostoucím časem dochází ke zkracování vzdálenosti mezi lokálními maximy (minimy) a tedy že průlet magnetu trubicí je zrychleným pohybem. Z obr. 5.8 je potřeba určit časové rozdíly sobě odpovídajících bodů a překopírovat do Excelu. Poté je vynesena grafická závislost dráhy uražené magnetem (vzdálenost mezi první a ostatními cívkami) na odpovídajících časových hodnotách. Vzniklými body je proložena „spojnice trendu“ – polynom druhého stupně, se zobrazením rovnice regrese a koeficientu determinace R^2 – obr. 5.12.

Z hodnoty koeficientu determinace R^2 uvedené na obrázku je patrné, že v dané realizaci experimentu leží body velmi blízko proložené parabole – data velmi dobře souhlasí se závislostí rovnoměrně zrychleného pohybu. (Použitá metoda vyhodnocení však nedává chybu získaných parametrů – k tomu se vyjadřuje paragraf 5.6 – viz dále.) Poloviční hodnota tíhového zrychlení (v zobrazené rovnici koeficient u x^2) vychází $4,74 \text{ m/s}^2$, což se od poloviční hodnoty normálního tíhového zrychlení v našich podmínkách ($4,91 \text{ m/s}^2$) liší přibližně o 3,5 %. Z grafu je také patrné, že počáteční rychlost pohybu tělesa má hodnotu $1,38 \text{ m/s}$.

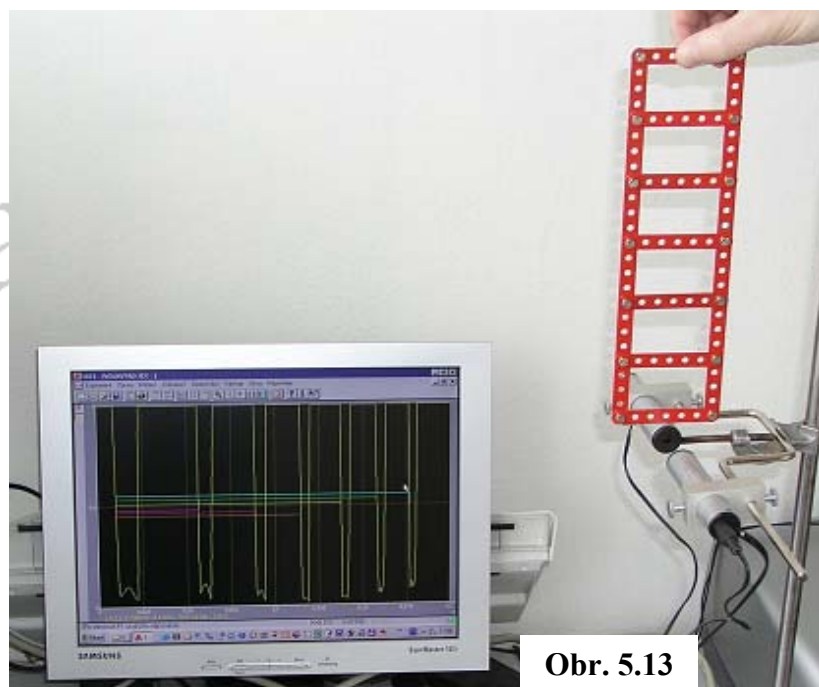
Předloženou metodu vyhodnocení považuji za průhlednější a didaktičtější než je metoda navrhovaná autory ISESu.



5.4. Určení hodnoty tíhového zrychlení systémem ISES 2

Následující metoda je popsána v [23]. Modul optická závora se připojí k ovládacímu panelu, uchytí se do stojanu a světelným paprskem se nechá propadnout

žebříček (vyrobený např. ze stavebnice Merkur) s ekvidistantními příčkami – viz obr. 5.13.



Průběh volného pádu je snímán soupravou ISES a zobrazován na monitoru počítače. Zde vidíme (na obr. 5.13) sedm „zubů“, které odpovídají sedmi příčkám žebříčku, který propadl optickou závorou. Následuje zpracování dat, které je stejné jako v předešlém experimentu. Hodnota tíhového zrychlení nyní vychází poněkud přesněji – odchylka od správné hodnoty je cca 2,5 % a v tomto uspořádání experimentu stabilně vychází menší než 5 %.

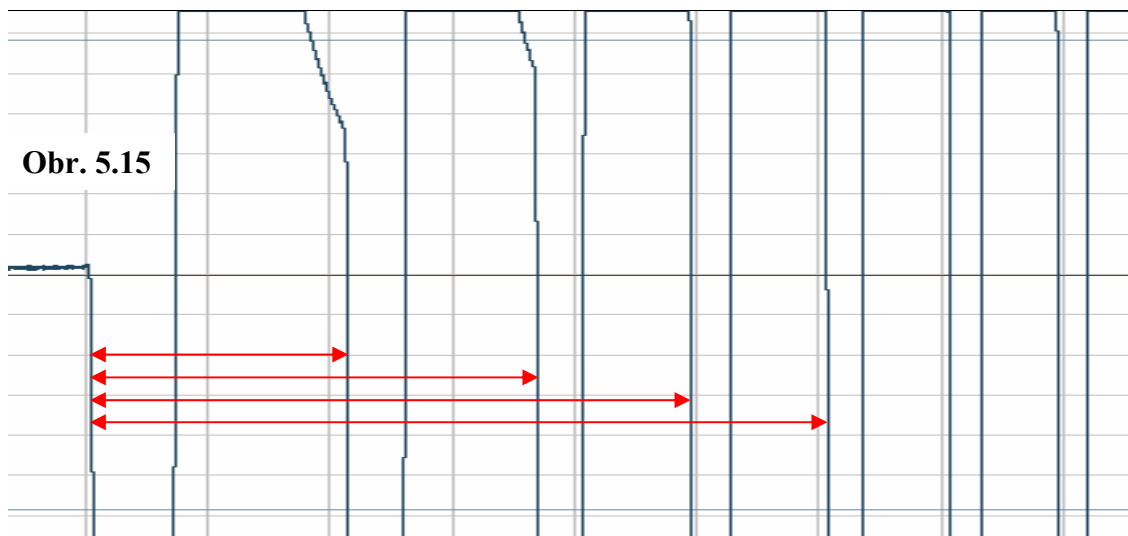


5.5. Určení hodnoty tíhového zrychlení optickou závorou

Vlastní průběh experimentu s podomácku vyrobenou optickou závorou je totožný s experimentem uvedeným výše (při volném pádu žebříčku využíváme pouze jeden optický paprsek) – obr. 5.14.

Totožné je rovněž zpracování dat. Jediný rozdíl z hlediska experimentátora je poněkud odlišné zobrazení průběhu experimentu na monitoru počítače – viz obr. 5.15. Odečítané časové intervaly jsou označeny šípkami. (Je možné si všimnout, že i doby průchodu příček se zkracují, jejich využití je ale méně přesné než využití vzdáleností mezi příčkami.)

V této verzi experimentu vychází hodnota tíhového zrychlení rovněž velmi přesně – cca o 3 % menší než $9,81 \text{ m/s}^2$.

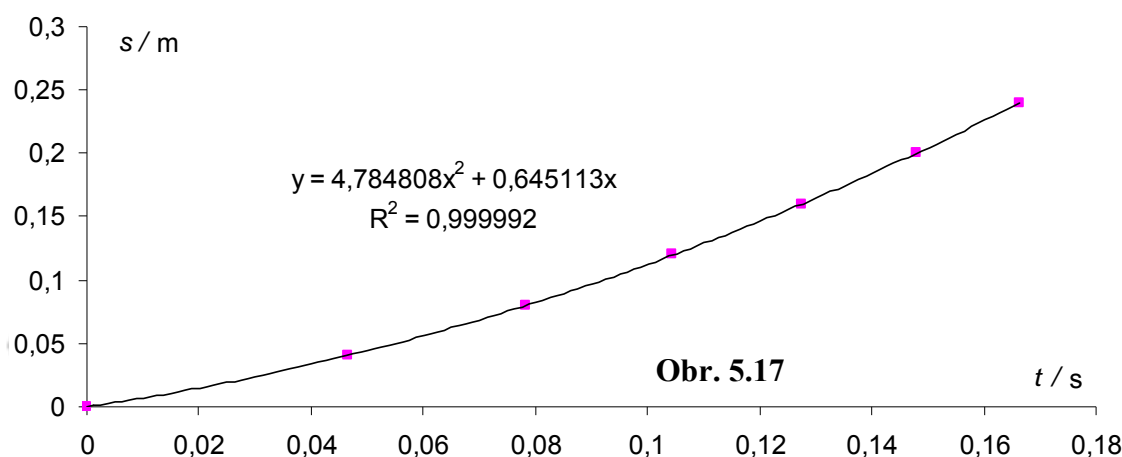


5.6. Odhad přesnosti experimentů

Nejprve odhadneme chybu zaviněnou šířkou světelného paprsku u optické závory systému ISES. Podíváme se na detail obr. 5.13 – průchod první příčky žebříčku optickým paprskem – obr. 5.16 (všimněte si časových údajů na spodní straně obrázku).



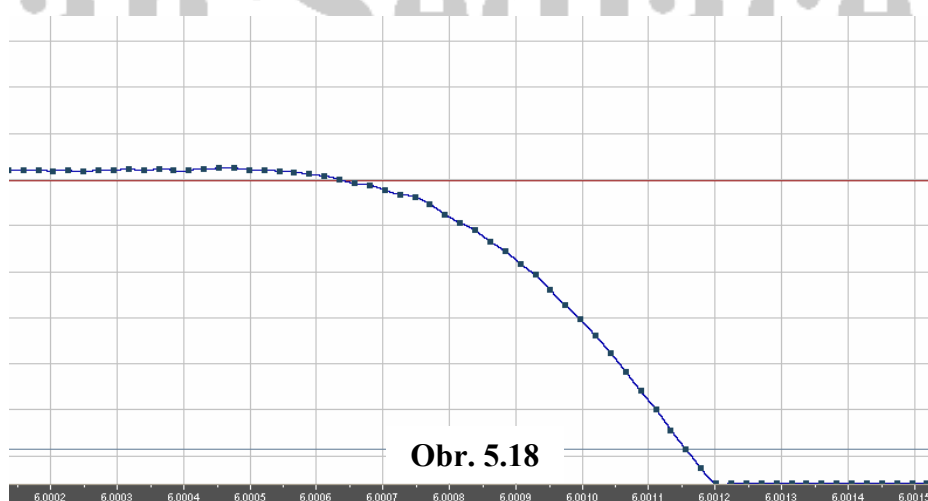
Namísto svislé hrany (jak bychom teoreticky mohli očekávat) je zde vidět šikmá úsečka, která zabírá časový interval 0,002 s. Určíme-li ještě odpovídající hodnotu počáteční rychlosti volného pádu – 0,6451 m/s – viz obr. 5.17, spočítáme, že délkové rozlišení závory ISESu je $\Delta s = v \cdot t \cong 1,3$ mm.



Zcela analogicky postupujeme při určování citlivosti doma vyrobené optické závory (detail záznamu průchodu příčky žebříčku paprskem v programu Cool Edit je na obr. 5.18). V případě výše uvedených experimentů byla určena její citlivost na hodnotu cca 0,5 mm.

Z uvedených hodnot jasně vyplývá, že rozlišení námi vyrobené optické závory je minimálně stejně dobré jako rozlišení optické závory ze systému ISES.

V navržených modifikacích měřicích metod hraje podstatnou roli prokládání kvadratického polynomu změřenými body. Osvědčenou mírou „vzdálenosti“ teoretické křivky $F(x; \alpha, \beta..)$ od měřené závislosti je součet kvadrátů rozdílů $(F(x_i; \alpha, \beta..) - y_i)^2$, kde y_i jsou y -ové souřadnice experimentálně zjištěných dat.



Hodnoty měřené s velkými chybami bychom měli brát „méně vážně“ než hodnoty změřené s chybami malými, tedy změřené přesněji. Proto používáme jako míru vážený součet (n je počet experimentálních bodů číslovaných indexem i ; teoretický model obsahuje p parametrů $\alpha, \beta..$; σ_i je chyba i -tého měření) $S = \sum_{i=1}^n \frac{((F(x_i, \alpha, \beta..) - y_i)^2}{\sigma_i^2}$ (viz

např. [38]). Statistická teorie ukazuje, že pokud $F(x_i; \alpha, \beta..)$ dobře vystihuje data, má součet S při různých opakováních téhož experimentu tzv. χ^2 – rozdělení s $n - p$ stupni volnosti (počet dat – počet parametrů). Střední hodnota χ^2 – rozdělení je rovna počtu

stupňů volnosti, tj. $S/(n-p)$ je v literatuře obvykle označována jako χ^2/NDF ... *Number of Degrees of Freedom*. Hodnota χ^2/NDF menší nebo srovnatelná s hodnotou 1 znamená přijatelný souhlas teorie a experimentu, zatímco $\chi^2/\text{NDF} \gg 1$ svědčí o systematickém rozdílu teorie a experimentu.

Excel však namísto „chí-kvadrátu“ poskytuje tzv. koeficient determinace R^2 , který

je (viz např. popis k aplikaci Microsoft Excel) definován jako: $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{teor})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$.

Uvážíme-li, že $\chi^2 / \text{NDF} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{teor})^2}{(n-p)\sigma_i^2}$ (viz výše) a rozptyl veličiny y

je $\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}$, platí mezi χ^2/NDF a R^2 následující vztah:

$$\chi^2 / \text{NDF} = \frac{1 - R^2}{n - p} \cdot \frac{n \sigma_y^2}{\sigma_i^2}.$$

Aplikujme výše uvedený vztah pro veličinu χ^2/NDF na data změřená v obr. 5.12 a 5.17. Máme následující počty dat: 10 v případě padací trubice a 7 pro žebříček. Dále máme v kvadratickém polynomu procházejícím nulou 2 parametry a chybu určení času σ_i odhadneme na 0,002 s. Potom v prvním případě vychází $\chi^2/\text{NDF} = 0,302$ ($R^2 = 0,999949$) a ve druhém pak $\chi^2/\text{NDF} = 0,017$ ($R^2 = 0,999992$). Odtud tedy plyne relativně velká těsnost proložení naměřených hodnot teoretickou křivkou – takováto hodnota χ^2/NDF obstojí při testování hypotézy o souhlasu dat a teoretické závislosti na jakékoli rozumné hladině významnosti.

Tato diskuze statistických souvislostí je podle mé zkušenosti obtížná pro drtivou většinu našich studentů.

Jan Sedláček

6. Nová laboratorní úloha

V této krátké kapitole je podána charakteristika laboratorní úlohy, která mohla vzniknout díky mému druhému úspěšnému grantovému projektu podanému do Fondu rozvoje vysokých škol. Díky získané dotaci byla zakoupena další souprava ISES a od zimního semestru školního roku 2004/2005 je v laboratoři katedry fyziky TF ČZU nainstalována nová laboratorní úloha využívající výpočetní techniku. Při jejím zavádění jsem se částečně inspiroval [33]. Pro úplnost kontextu připojuji k charakteristice i popis původní varianty.

6.1. Kalibrace termistoru

úloha 43 – tradiční uspořádání

Úkol:

- 1) Měřte ohmický odpor R termistoru v závislosti na teplotě t . Pro počáteční lázeň použijte studenou vodu a do 35°C zvyšujte teplotu maximálně cca o 7°C (z důvodů velmi nelineární závislosti R na t). V dalším teplotním intervalu postupujte maximálně po 10°C maximálně do 80°C a následně po přibližně stejných intervalech lázeň ochlazujte.
- 2) Graficky znázorněte $R = f(t)$. K tomu možno využít programu počítače.
- 3) Při počítačovém zpracování spočítejte z uvedených konstant A a B hodnotu ohmického odporu R_t při určité zvolené teplotě t (např. $t = 25^{\circ}\text{C}$) na základě vztahu $R_t = A e^{B/T}$ (POZOR: $T = t + 273,15$) a porovnejte s hodnotou odečtenou v grafu. Pozn. **Měření provádějte po promíchání lázně a ustálení teploty** (vyčkejte vždy cca 3 min.).

Obecná část:

Termistory jsou nelineární elektrické součástky s výraznou závislostí jejich elektrického odporu na teplotě. Relativní změna odporu s teplotou je 5 až 50-krát větší než u kovových vodičů. Tato vlastnost umožňuje využít termistory v různých obvodech měřicí, automatizační, regulační a sdělovací techniky, kde mohou plnit funkci teploměru.

Podle charakteru změny odporu termistoru rozlišujeme:

- termistory, jejichž odpor klesá s rostoucí teplotou (negastory)
- termistory, jejichž odpor roste s rostoucí teplotou (pozistory)

Termistory jsou vyráběny z práškových materiálů (oxidů kovů) spékáním. Po umělém stárnutí se třídí a dále upravují.

Závislost odporu termistoru (negastoru) na teplotě lze vyjádřit přibližně vztahem:

$$R = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (1)$$

kde T_0 je teplota termistoru, při které se udávají jeho charakteristické vlastnosti, zpravidla $T_0 = 25^{\circ}\text{C}$

R_0 je odpor termistoru při teplotě T_0

R je odpor termistoru při libovolné teplotě T

B je konstanta daná vlastnostmi materiálu termistoru

Dosazením za teplotu $T_0 = 25^{\circ}\text{C} \doteq 298\text{ K}$ do vztahu (1) a po další úpravě dostáváme pro odpor termistoru při teplotě t ve $^{\circ}\text{C}$ vztah:

$$R = R_{25} e^{B\left(\frac{1}{273+t} - \frac{1}{298}\right)} \quad (2)$$

kde R je odpor termistoru při teplotě t ve $^{\circ}\text{C}$

R_{25} je odpor termistoru při teplotě 25°C udávaný výrobcem termistorů v katalogu,

e je základ přirozených logaritmů, $e = 2,718$

Po zavedení konstanty $A = R_{25} e^{-B/T_{298}}$ lze odpor termistoru při teplotě t vyjádřit vztahem $R_t = A e^{B/T}$, kde A a B jsou konstanty. (3)

Použité přístroje:

- perličkový termistor zatavený ve skleněné trubičce
- ohmetr nebo jiný přístroj pro měření odporů s rozsahem minimálně do 10 kΩ
- teploměr k měření teploty lázně

Postup práce:

1. Před měřením připravíme vodní lázeň teploty mezi 20 - 25°C. Do ní vložíme termistor ve vhodném držáku a teploměr. Vývody termistoru připojíme k připravenému ohmmetru. Po zapnutí přístroje nastavíme vhodný rozsah měření.
2. Teplotu vodní lázně měníme doléváním teplé nebo studené vody a průběžně zaznamenáváme do předem připravené tabulky hodnoty odporu termistoru v závislosti na teplotě měřené teploměrem vloženým do vodní lázně.
3. Měření provádíme vždy po promíchání a ustálení teploty lázně. Teplotu zvyšujeme přibližně po 5 až 7°C až asi do 80°C.
4. Po dosažení maximální teploty přerušíme ohřívání lázně a provedeme měření a záznam hodnot odporu termistoru v závislosti na teplotě při ochlazování. Hodnoty odporu termistoru odečítáme opět přibližně po 5 - 7°C.

Zpracování naměřených dat:

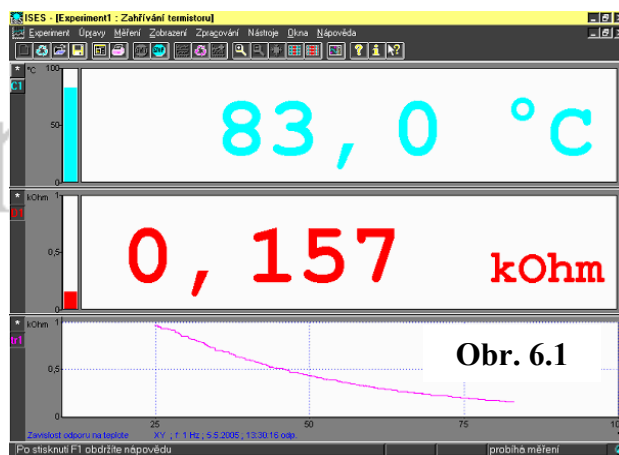
Ke zpracování naměřených dat využijeme stolního počítače. Tak získáme jednak graf závislosti $R = f(t)$ a jednak příslušné konstanty A a B , z nichž podle vztahu (3) vypočítáme hodnotu odporu při určité teplotě.

6.2. Kalibrace termistoru

úloha 42 – nová

Na úvod několik poznámek.

- 1) Chci upozornit, že postup při měření je analogický s postupem v [33], avšak zpracování naměřených hodnot se značně odlišuje. Zatímco v [33] je veškeré zpracování naměřených dat realizováno systémem ISES, navrhl jsem postup, který data zpracovává pomocí šablony v programu Excel. Vše je podrobně popsáno v dalším postupu.
- 2) Čistý čas, po který probíhá proces měření, je 30 minut. Z toho důvodu studenti vycházejí pouze z jedné sady měření při různých teplotách.
- 3) Excelovský formulář úlohy 42 uvádím s vyplněnými daty, aby byly vidět vygenerované grafy.
- 4) Před vlastním formulářem ještě následuje ilustrace monitoru při měření: obr. 6.1.



Úloha č. 42:

Kalibrace termistoru s využitím systému ISES

1. Upozornění: Na cvičení s sebou vezměte disketu s excelovskou šablonou této úlohy, abyste si mohli zkopírovat naměřená data.

2. Upozornění: Postupně za sebou vyplňujte nadepsané a vybarvené kolonky (klikněte vždy myší na kolonku, kterou chcete vyplňovat).

Jméno studenta:

Pedagogický dozor:

Ročník:

Kroužek:

Fakulta:

Úkol: Proměřte ohmický odpor termistoru v závislosti na teplotě a graficky znázorněte.

Obecná část:

Termistory jsou nelineární elektrické součástky s výraznou závislostí jejich elektrického odporu na teplotě. Relativní změna odporu s teplotou je 5 až 50 krát větší než u kovových vodičů. Tato vlastnost umožňuje využít termistory v různých obvodech měřicích, automatizačních, regulačních a sdělovacích technikách, kde mohou plnit funkci teploměru.

Podle charakteru změny odporu termistoru rozlišujeme:

- termistory, jejichž odpor klesá s rostoucí teplotou (negastory)
- termistory, jejichž odpor roste s rostoucí teplotou (pozistory)

Termistory jsou vyráběny z práškových materiálů (oxidů kovů) spékáním. Po umělém stárnutí se třídí a dále upravují. Závislost odporu termistoru (negastoru) na teplotě lze vyjádřit přibližně vztahem:

$$R = A e^{B/T}, \text{ kde } A \text{ a } B \text{ jsou konstanty.}$$

Použité prvky:

- termistor

- moduly systému ISES ohmmetr a teploměr připojené přes ovládací panel k počítači

Postup práce a zpracování naměřených dat:

- 1) Nerozpojujeme a nepřepojujeme měřicí zařízení ani jím jinak nepatřičně nemanipulujeme.
- 2) Zkontrolujeme, zda je modul ohmmetr přepnut na rozsah do $1\text{k}\Omega$, eventuálně jej tam přepneme.
- 3) Před měřením nalijeme do kádinky cca $1/4$ litru vody o teplotě 25 - 30 stupňů Celsia. Kádinku postavíme na stojan nad lihový kahan. Do lázně vložíme termistor ve vhodném držáku a teploměr.
- 4) Otevřeme program ISES, jehož ikona je na ploše obrazovky. Myší klikneme na "Experiment" - "Nový". V okně "Parametry experimentu" zvolíme "Načti" a na levé straně okna "Konfigurace měření" otevřeme soubor "termis.imc". Tímto postupem jsou aktivovány měřicí moduly ohmmetr a teploměr a nastavena doba měření na 1800 sekund (30 minut). Klepnutím na "OK" spustíme proces měření. Hodnoty odporu a teploty se na obrazovce objevují v digitální formě. Ve spodní části obrazovky je v reálném čase zaznamenávána grafická závislost odporu termistoru na teplotě.
- 5) Zapálíme kahan a sledujeme průběh měření.
- 6) Když je spuštěno měření, minimalizujeme okno programu ISES a z přinesené diskety zkopírujeme šablonu této úlohy na "Plochu". Šablonu otevřeme a vyplníme své národné. Pak opět sledujeme průběh měření.
- 7) Po ukončení měření (na obrazovce jsou namísto měřicích se číslic 3 grafy) zhasneme kahan přiklopením knotu skleněným krytem.

8) Klepneme myší na "Zpracování" - "Zpracování dat". Dále klepneme na graf, který vyjadřuje teplotní závislost odporu a vybereme z něj 15 dat. To se provede tak, že myší označíme levou ikonku kříže v pravém horním okně "Aktivní zobrazení". Když potom myší sjedeme na spodní graf, objeví se záměrný kříž, kterým na křivce vždy klepnutím zobrazíme příslušnou datovou dvojici. Po získání dat klepneme na "Zpracování dat" - "Kopírovat data" a tím se data překopírují do schránky. Minimalizujeme okno ISESu a aktivujeme okno excelu. V tabulce měření klepneme na první levou žlutou buňku a zkopírujeme do ní data ze schránky. V tabulce jsou nyní vyplněny všechny žluté buňky. Uložíme změny v excelovském souboru na ploše i na disketě.

9) V případě nedostatku času již další pokyny realizujeme mimo pracoviště této úlohy, ale ještě předtím zavřeme program ISES (neukládat žádné změny) a excelovskou šablonu úlohy vymažeme z plochy počítače.

Tabulka měření:

Číslo měření i	Teplota lázně $t_i / ^\circ\text{C}$	Odpor termistoru $R_i / \text{k}\Omega$	Odpor termistoru R_i / Ω	Převrácená hodnota termodynamické teploty $1 / T$	Hodnoty odporu na exponenciále R / Ω
1	25,5	0,991	991	0,00335	995
2	26,9	0,940	940	0,00333	943
3	28,8	0,885	885	0,00331	878
4	31,5	0,806	806	0,00328	794
5	35,2	0,690	690	0,00324	693
6	38,9	0,605	605	0,00320	608
7	43,0	0,525	525	0,00316	527
8	47,6	0,458	458	0,00312	451
9	52,7	0,380	380	0,00307	381
10	57,9	0,329	329	0,00302	323
11	63,7	0,278	278	0,00297	270
12	68,2	0,234	234	0,00293	236
13	73,2	0,201	201	0,00289	204
14	81,2	0,164	164	0,00282	163
15	89,8	0,130	130	0,00276	130

Metoda: Naměřené body se prokládají křivkou exponenciálního tvaru.

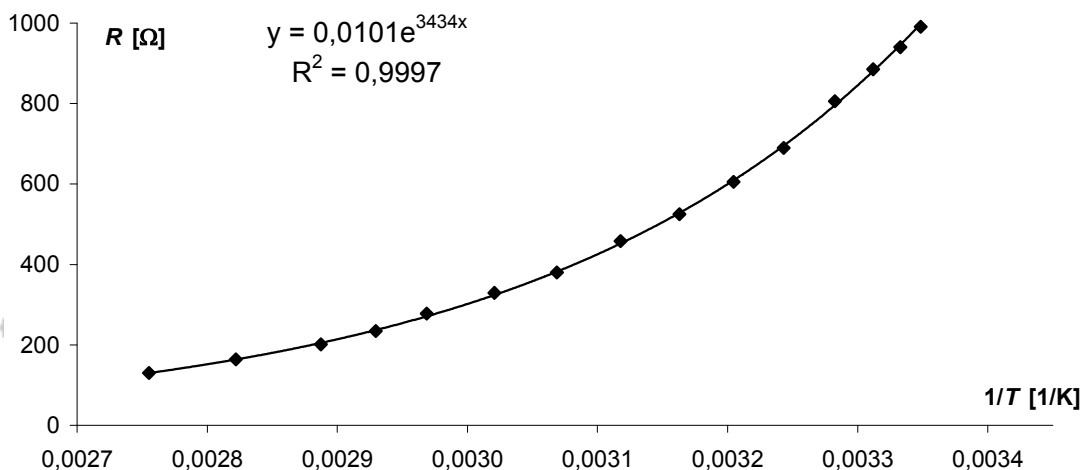
Prokládaná funkční závislost je zapsána ve tvaru: $R = A \cdot e^{B/T}$, kde

R / Ω : odpor termistoru,

T / K : termodynamická teplota,

$A / \Omega, B / \text{K}$: koeficienty exponenciální závislosti (specifické pro daný termistor).

Upozornění: Nejprve je vytvořen pomocný graf závislosti odporu na převrácené hodnotě termodynamické teploty. Vnesené body jsou proloženy regresní exponenciálou pomocí metody "Spojnice trendu – typ exponenciální", již disponuje program Excel. Kromě rovnice exponenciály je v grafu uvedena také hodnota tzv. koeficientu determinace R^2 (statistická veličina vyjadřující těsnost proložení naměřených hodnot teoretickou křivkou). Je-li $R > 0,99$, můžeme hovořit o dobře provedeném měření.



POZOR! Úkoly pro studenty:

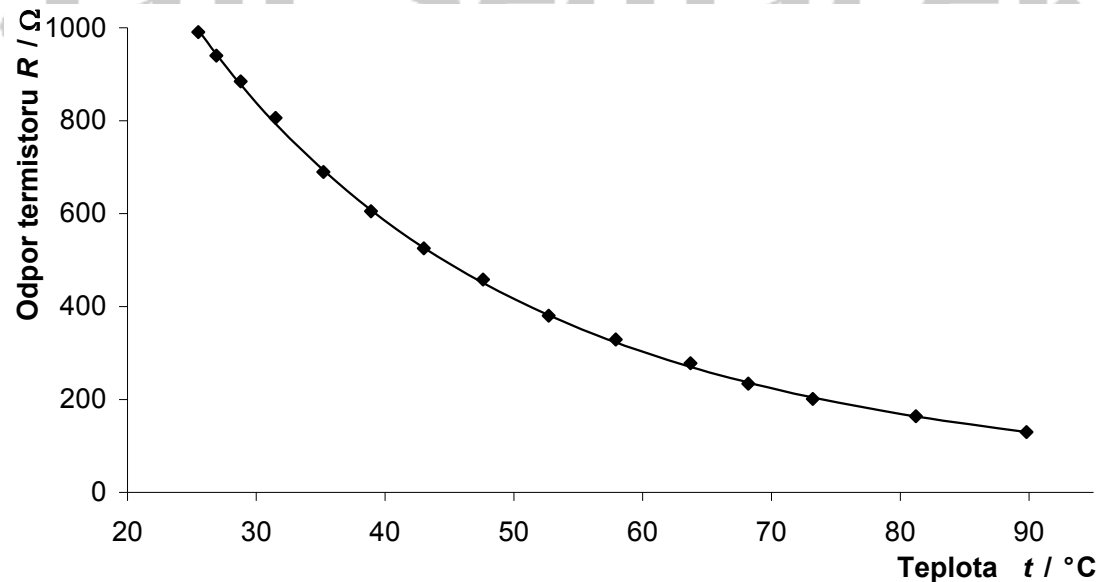
1) Na základě údajů, které Excel uvádí o spojnici trendu ve tvaru $y = A \cdot e^{B \cdot x}$ (rovnice uvedená v pomocném grafu, v našem případě $y = R$, $x = 1/T$), doplňte do následujících dvou buněk hodnoty koeficientů A a B .

2) Vyjádřete exponenciální závislost $R = A \cdot e^{B/T}$ pomocí konkrétních hodnot A a B .

1) $A = 0,0101 \Omega$ $B = 3434 \text{ K}$

2) Zjištěná exponenciální závislost má tvar: $R =$

Graf závislosti odporu termistoru na teplotě (ve stupních Celsia)

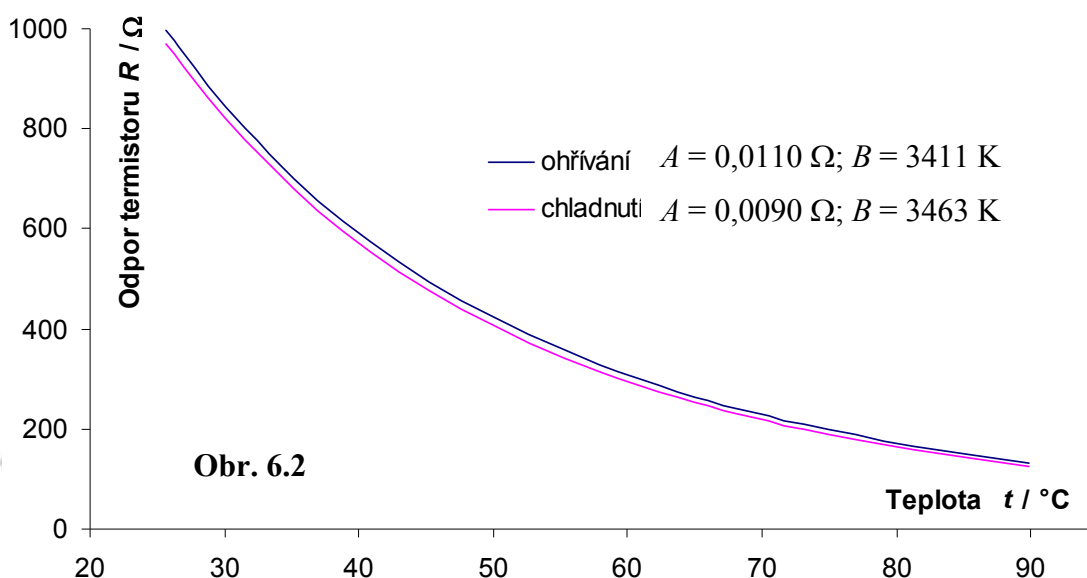


Závěr:

Porovnáme-li obě výše zmiňované modifikace úloh, kde je kalibrován termistor, je jednoznačně patrné, že ISES umožňuje oproti tradičnímu uspořádání komfortnější způsob vlastního měření.

Kromě výše uvedené výhody spočívá další přednost nové verze v tom, že lázeň je ohřívána plynule, bez míchání a její teplota se mění rovnoměrně. Tím ovšem můžeme do měření zavléci chybu způsobenou tím, že termistor nemá stejnou teplotu jako teploměr. O velikosti této chyby se můžeme přesvědčit měřením odporové závislosti při ohřívání a při chlazení (nejlépe se stejnou rychlostí).

Ohřívání a chlazení bylo opakovaně proměřováno. Výsledek takového experimentu (kde ovšem ohřívání bylo zhruba 2,5 rychlejší než chlazení) je na obr. 6.2, kde jsou také uvedeny průměrné hodnoty koeficientů A a B charakterizující průběh křivky. Protože „pravda“ je zjevně uprostřed mezi křivkami „ohřívání“ a „chlazení“, můžeme odhadnout chybu měření teploty zhruba jako polovinu vodorovné vzdálenosti mezi křivkami, což je maximálně $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Maximální relativní chyba je stanovena pro teploty okolo $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a její hodnota činí 2% .



Význam kalibrace termistoru spočívá v jeho využití jako teploměru v různých oblastech biofyziky. Na úrovni prvního setkání s touto elektrickou součástíku jej studenti mohou využít např. k určení teploty těla.

Nezanedbatelným přínosem úlohy je nácvik práce se dvěma různými programy – ovládacím programem ISESu a Excelem. Přenos dat z programu, který je pomohl získat, do programu, který je dovoluje komfortně zpracovávat, je technikou, kterou studenti využijí patrně mnohokrát častěji, než kolikrát budou v životě kalibrovat termistor.

Jan Sedláček

7. Další nově upravené laboratorní úlohy

Vhodně zvolená počítačová periférie (webová kamera) a standardní softwarové vybavení (program Corel) umožňují modernizaci (a ve druhém případě také značnou časovou redukci) následujících dvou laboratorních úloh. Nejprve budeme měřit povrchové napětí kapaliny a poté územní rozlohu státu. Po popisu tradičního uspořádání úlohy následuje popis její modifikace.

7.1. Stanovení povrchového napětí kapkovou metodou úloha 19 – tradiční uspořádání

Úkol:

- 1) Zjistěte pětkrát hmotnost M 100 kapek daného vzorku a určete střední hodnotu těchto hmotností \overline{M} a spočítejte chybu $\Delta\overline{M}$.
- 2) Totéž proveďte pro destilovanou vodu kapající z kapiláry stejného průřezu, čímž získáte hmotnost \overline{M}_v a chybu $\Delta\overline{M}_v$.
- 3) Spočítejte hodnotu povrchového napětí vzorku ze vztahu $\sigma = \overline{M} / \overline{M}_v \cdot \sigma_v$ a jeho chybu $\Delta\sigma [\delta(\sigma) = \delta(M) + \delta(M_v)]$. Povrchové napětí destilované vody σ_v pro danou teplotu je nutno zjistit v tabulkách (viz tabulka na nástěnce).

Pozn. Měřený vzorek je třeba si připravit z 50ml destilované vody a 5ti kapek saponátu. Pro měření se doporučuje, aby kohouty byly nastaveny tak, aby frekvence uvolňování kapek byla $1s^{-1}$ (tj. 1 kapka za sekundu) a byla stejná jak pro čistou vodu, tak pro roztok se saponátem.

Obecná část:

Povrchové napětí je rovno podílu práce dA potřebné na zvětšení povrchu kapaliny o přírůstek dS a velikosti tohoto přírůstku

$$\sigma = \frac{dA}{dS} \quad [\sigma] = J.m^{-2} = N.m^{-1}$$

(1)

Odtud lze také vyvodit další definici povrchového napětí:

Povrchové napětí je napětí působící v tečné rovině povrchu kapaliny kolmo na délkový prvek povrchu. Přitom rozumíme napětím sílu dF působící na úsečku délky dl kolmou k síle dělenou její délkou dl

$$\sigma = \frac{dF}{dl}$$

Metoda měření:

Vytéká-li kapalina po kapkách z tlustostěnné kapiláry svisle zavěšené s výtokovým otvorem rovinně zabroušeným, kapalina zůstává lpět na spodním okraji kapiláry ve tvaru kapky. Ta se odtrhne v okamžiku když její velikost dosáhne takové hmotnosti, že tíha kapky překoná síly povrchového napětí působícího na obvodu. Označíme-li poloměr kapky v místě odtržení r_0 , pak platí

$$mg = 2\pi r_0 \sigma$$

(2)

Ve vztahu (2) je velmi problematické stanovit poloměr r_0 , proto je vhodnější použít metodu srovnávací, tzn. buď v jedné kapiláře nebo pro dvě stejné kapiláry porovnat hmotnosti kapek dvou různých ka-

palin – neznámé vůči známé, pro níž jsou např. hodnoty povrchového napětí tabelovány. Označíme-li σ_x povrchové napětí neznámé kapaliny (resp. σ známé kapaliny) a hmotnost její kapky m_x (m kapaliny známé) bude podle vztahu (2) platit

$$m_x : m = \sigma_x : \sigma \quad (3)$$

a povrchové napětí σ_x bude při stejném poloměru r_0 jen funkcí obou hmotností. Jako kapalina známého povrchového napětí bude v laboratoři použita destilovaná voda, jejíž hodnotu povrchového napětí pro danou teplotu je nutno zjistit v tabulkách. Nebudou se vážit jednotlivé kapky, ale nechá se odkapat jejich větší počet (např. 100). Opakovaně se vážením určí příslušná hmotnost a její průměrná hodnota \bar{M}_x a podobně pro stejný počet kapek destilované vody hmotnost \bar{M}_v . Je zřejmé, že ze vztahu (3) vychází výpočtový vzorec pro hledané povrchové napětí

$$\sigma_x = \sigma_v \frac{\bar{M}_x}{\bar{M}_v}, \quad (4)$$

kde σ_v je povrchové napětí vody.

Návod k měření a zpracování:

Postup práce :

- 1) pročistěte obě kapiláry a připravte osušené kádinky,
- 2) zvažte obě prázdné kádinky - pro destilovanou vodu a zkoumanou kapalinu (hmotnosti M_{0v} a M_{0x}),
- 3) do jedné kádinky odkapejte 100 kapek destilované vody a stanovte hmotnost M'_v kádinky s tímto obsahem,
- 4) do druhé kádinky odkapejte 100 kapek zkoumané kapaliny a stanovte nyní hmotnost kádinky M'_x (při měření více vzorků poved'te pro každý vzorek),
- 5) vypočítejte hmotnosti kapalin v kádinkách M_v a M_x ,
- 6) úkoly 2 až 5 vícekrát opakujte a určete průměrné hodnoty \bar{M}_v a \bar{M}_x ,
- 7) změřte teplotu obou lázní (pokud byly kapaliny v místnosti, pak teplotu místnosti) a pro destilovanou vodu najděte v tabulkách povrchové napětí σ_v při dané teplotě,
- 8) proved'te výpočet povrchového napětí zkoumané kapaliny vody na základě vztahu (4).

Poznámky:

Dbejte na to, abyste neznečistili měřenou destilovanou vodu stopami jiného vzorku a dodržujte použití kádinek pro měřené vzorky podle označení.

Doporučené tabulky

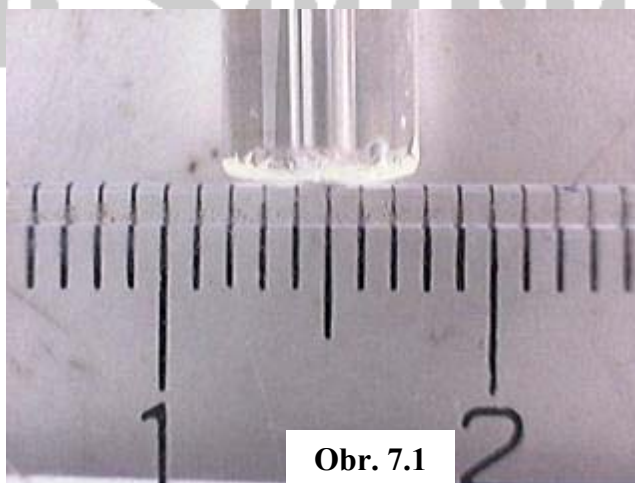
Naměřené hodnoty a tabelovanou hodnotu povrchového napětí destilované vody je vhodné uspořádat do následujících tabulek, kde u všech veličin uveďte příslušné jednotky.

destilovaná voda					měřená kapalina.....			
$t/^\circ\text{C}$	$\sigma_v(\text{N.m}^{-1})$	měření	$M_{0v}(\text{g})$	$M'_v(\text{g})$	$M_v(\text{g})$	$M_0(\text{g})$	$M'_x(\text{g})$	$M_x(\text{g})$
		1						
		2						
							
$\bar{M}_v =$					\bar{M}_x			

$$s_{\overline{M}_v} = \quad s_{\overline{M}_x} =$$

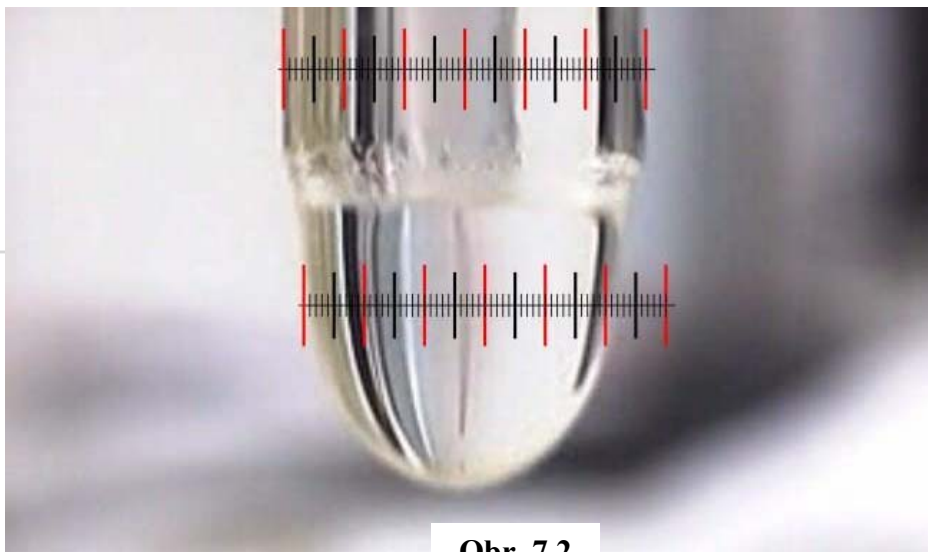
7.2. Stanovení povrchového napětí kapkovou metodou úloha 19 – navržená modifikace

V předcházející variantě této úlohy jsme k určení povrchového napětí kapaliny museli použít srovnávací metodu, neboť stanovit poloměr kapky v místě odtržení od kapiláry bylo velmi problematické. Pokud použijeme webovou kamerku jako periferní zařízení počítače (webové kamerky v ceně okolo 1000 Kč již začínají být standardní počítačovou periferií), určení poloměru kapky při odtržení je snazší. Nafilmujeme celý proces odtrhávání kapky a tento film rozfázujeme do jednotlivých snímků (dobrým amatérským prostředkem pro rozfázování je součást standardních Windows – program Windows Movie Maker, kterým lze zachytit snímky vzájemně vzdálené 6 – 7 setin sekundy). Na následujících obrázcích vidíme určení průměru kapiláry – obr. 7.1 a průměru odtrhávající se vodní kapky – obr. 7.2. Při tomto měření však zpravidla narážíme na jiný problém – je obtížné zařídit, aby voda vytékala z kapiláry velmi pomalu a tak kapka pomalu narůstala a byl dobře identifikovatelný okamžik, kdy se odtrhává. S jistotou můžeme jen říci, že skutečný průměr kapky v okamžiku odtržení je menší nebo rovný průměru, který změříme pomocí kamerky – proto je námi určená hodnota povrchového napětí obvykle menší než hodnota skutečná.



Obr. 7.1

Jan Sedláček



Obr. 7.2

Je-li vnější průměr kapiláry 6 mm, potom – jak je patrné z obr. 7.2 – je průměr kapky v momentu odtržení cca $d = 5,2$ mm. Chybu ze snímku odhadneme na 0,2 mm, tj. kolem 4 %. Přitom zachováme metodu určení hmotnosti kapky z předchozího uspořádání úlohy – hmotnost vodní kapky vychází 85 mg s relativní chybou okolo 5 %. Nyní již lze přímo použít vztah pro určení povrchového napětí kapaliny:

$$\sigma = m g / \pi d. \quad (5)$$

Po dosazení zjištěných hodnot je pro vodu $\sigma = 51 \cdot 10^{-3}$ N/m s chybou do 10 %. V tabulkách je povrchové napětí vody při teplotě 25 °C $\sigma = 72 \cdot 10^{-3}$ N/m. Potvrdil se tedy náš původní předpoklad o tom, že naměříme menší hodnotu než je hodnota reálná.

Porovnáme-li obě uspořádání výše uvedené laboratorní úlohy, potom:

1. Chyba určení výsledku vychází u obou srovnatelná. (V terminologii, kde tato chyba charakterizuje náhodnost výsledku při různých měřeních.)
2. V nové modifikaci stanovení povrchového napětí nejsme oproti staré verzi odkázáni na poměrovou metodu určení výsledku, ale navržená metoda je absolutní.
3. Navržená metoda dává výsledky, které jsou systematicky menší než tabulkové. Srovnání staré poměrové a nové absolutní metody dovoluje další diskuzi, speciálně v jakých situacích je která metoda vhodnější, jaké jsou zdroje experimentálních chyb atd. Tím se podle mého názoru silně stimuluje aktivita studenta, přičemž relativně atraktivní nástroj – „natočení“ padající kapky – oslazuje vybočení z pohodlného stereotypu měření jasně definovaným tradičním postupem.
4. I nové uspořádání dovoluje určit vliv příměsi saponátu: Jen musíme srovnat povrchové napětí vody se saponátem s povrchovým napětím čisté vody, nikoli s tabulkovou hodnotou.

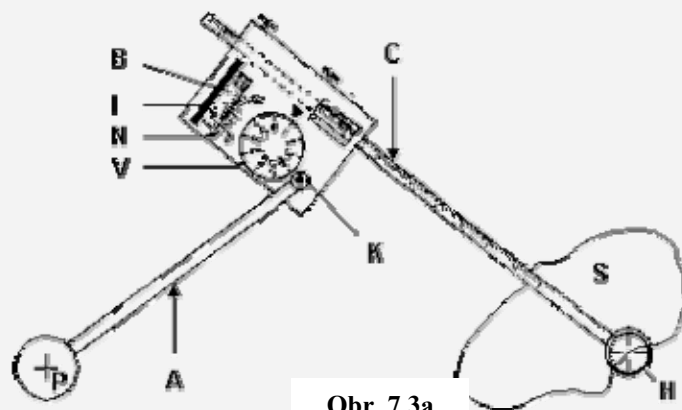
7.3. Měření rovinných ploch úloha 3 – tradiční uspořádání

Úkol:

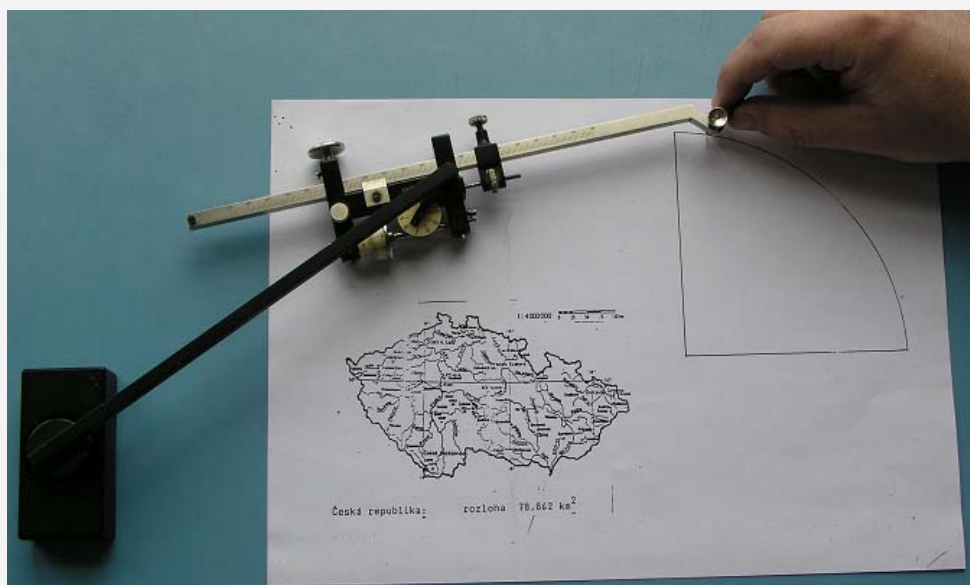
- 1) Proved'te opakované měření (nejméně 10x) plochy zvoleného čtvrtkruhu planimetrem, určete střední hodnotu otočení kolečka \bar{N}_0 a příslušnou chybou ΔN_0 .
- 2) Spočítejte převodní konstantu k planimetru a její chybu Δk [$\delta(k) = \Delta N_0 / N_0$]
- 3) Z opakovaného měření neznámé plochy (5x) určete střední hodnotu otočení kolečka \bar{N} s příslušnou chybou ΔN .
- 4) Spočítejte v cm^2 velikost S neznámé plochy (např. vymezeného území na mapce) a její chybu ΔS [$\delta(S) = \delta(k) + \delta(N)$]. V případě měřeného území na mapce stanovte na základě měřítka mapy plochu P území v km^2 a její chybu ΔP [$\delta(P) = \delta(S)$]. Výsledek porovnejte se správnou hodnotou.
- 5) Spočítejte plochu čtvrtkruhu pomocí Simpsonovy metody (přiložte obrázek). Chybu metody vyjádřete jako rozdíl výsledku od hodnoty stanovené výpočtem podle geometrického vzorce.

Obecná část:

Velikost plochy pravidelných rovinných obrazců se nejnázve a nejpřesněji stanoví výpočtem podle geometrických vzorců na základě zjištěných rozměrů. Pro určení plochy nepravidelných obrazců lze použít metod založených na rozdělení obrazce na pravidelné rovinné útvary, jejichž plochu lze spočítat nebo odměřit na milimetrovém papíru. K určení rovinné plochy nepravidelných obrazců slouží také geometrická metoda Simpsonova. K snadnému určení rovinné plochy nepravidelných obrazců středních rozměrů se často používá zařízení zvané *polární planimetr*.



Obr. 7.3a



Obr. 7.3b

Polární planimetr se skládá (viz obr.1) ze dvou ramen **A** a **C** vzájemně spojených kloubem **K**. Polární rameno **A** je na jednom konci opatřené kovovým těžátkem s jehlovým hrotem (pólem) **P**, který se zabodne ve vhodném místě do podložky poblíž měřeného obrazce. Druhý konec tohoto ramena je opatřen kulovým čepem a zasadí se do otvoru pojízdného ramene, čímž vznikne kloubové spojení **K** obou ramen. Pojízdné rameno **C** má na jednom konci hrot **H** (příp. lupu s vyznačeným kroužkem), jímž se objíždí měřená plocha. Na druhém konci tohoto ramena je umístěno posuvné měřicí zařízení. Jeho hlavní částí je integrační kolečko **I** s bubínkem **B** opatřeným stupnicí dělenou na sto dílků. Jestliže objíždíme měřenou plochu **S** hrotem **H**, otáčí se kolečko **I** úměrně složce pohybu kolmé k pojízdnému rameni. Pohybová složka hrotu rovnoběžná s pojízdným ramenem působí jen klouzání kolečka bez jeho otáčení.

Z konstrukce planimetru je zřejmé, že při objíždění měřené plochy **S** se pohybuje kloub **K** po oblouku kružnice. Z teorie přístroje za této podmínky vychází, že velikost plochy objeté hrotem **H** je úměrná celkovému otočení $\Delta\varphi$ kolečka **I**, tedy

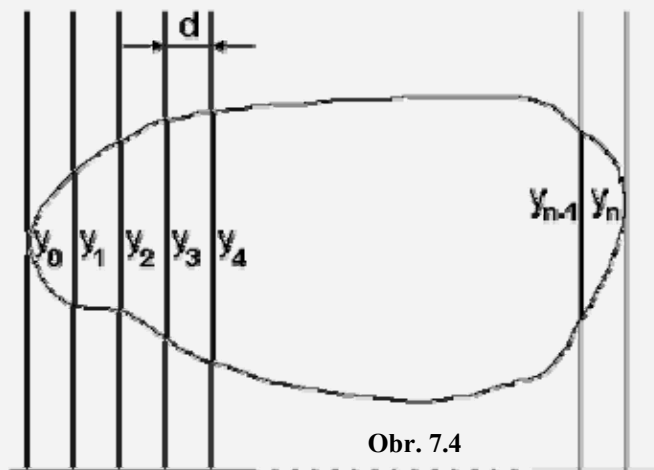
$$S \approx \Delta\varphi \quad (1)$$

Planimetr je možno použít i k měření větších ploch, kdy pól **P** je nutné umístit uvnitř měřené plochy. Pak pro stanovení velikosti měřené plochy je třeba připojit k údajům plynoucím z otočení kolečka ještě konstantu, udanou výrobcem.

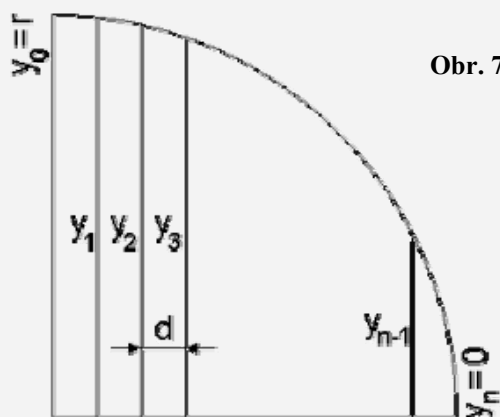
Simpsonova metoda vychází z představy, že měřenou plochu rozdělíme osnovou rovnoběžek (obr.7.4) na n proužků šířky d a nahradíme ji mnohoúhelníkem vytvořeným z lichoběžníků šířky d . Přibližná hodnota plochy S spočítaná jako vážený průměr z příslušných vepsaných a opsaných lichoběžníků je dána vztahem

$$S = \frac{d}{3} \left[y_0 + y_n + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2}) + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) \right], \quad (2)$$

kde n musí být sudé číslo.



V případě měření plochy čtvrtkruhu, která je doporučena jako kontrolní plocha pro polární planimetr (viz dále) je výhodné zvolit $n = 10$. Potom je $y_0 = r$, $y_n = 0$, $d = r/10$ – viz obr. 7.5.



Obr. 7.4

Metoda měření:

Velikost měřené rovinné plochy závisí podle (1) na pootočení kolečka $\Delta\varphi$. To se zjišťuje pomocí čtyř dekadických číslic, které určují okamžité nastavení kolečka. První číslice (vyjadřující celé otočky kolečka) se odečítá na vodorovné kruhové stupnici **V**. Protože celá otočka kolečka odpovídá sto dílkům vyznačeným na bubínku **B**, jsou druhá a třetí číslice dány dvojčíslicím odpovídajícím těmto dílkům. Části dílku umožňuje odečíst nonius **N**, tím je dána čtvrtá číslice. Tak získáme čtyřmístné číslo a je nejvhodnější (nikoli nutné) umístit desetinou čárku za celé dílky, takže údaj odečtený na noniu je za desetinou čárkou. Otočení kolečka $\Delta\varphi$ kolečka je vyjádřeno počtem dílků N odvalených na stupnici bubínku.

Měřená plocha je podle (1) dána vztahem

$$S = k N \quad (3)$$

a k jejímu určení je tedy třeba znát kromě počtu odvalených dílků N ještě hodnotu příslušné konstanty k . Tu je sice možno zjistit podle nastavení měřicího zařízení na rameni **B**, ale v našich laboratorních podmínkách zvolíme takový postup, že budeme objíždět plochu známé velikosti S_0 a ze známého počtu odvalených dílků N_0 (příp. při opakovaném měření průměr \overline{N}_0) spočítáme konstantu k podle vztahu

$$k = \frac{S_0}{N_0} \quad \text{příp.} \quad \frac{S_0}{\overline{N}_0} \quad (4)$$

Návod k měření a zpracování:

a) Postup práce při měření planimetrem:

- 1) papír s narysovanou pravidelnou plochou (čtvrtkruh) připevníme na rýsovací prkno,
- 2) měřicí zařízení sestavíme podle obr.1, hrot **H** umístíme na určité místo obvodu známé měřené plochy a zaznamenáme 4 čísla určující nastavení planimetru (údaj x_0),
- 3) objedeme hrotem obvod plochy (ve smyslu postupu hodinových ručiček) a zaznamenáme další údaj x_1 planimetru,
- 4) objíždění desetkrát opakujeme a zaznamenáváme údaje x_i ,
- 5) po zápisu do tabulky spočítáme rozdíly $x_{i+1} - x_i = N_{0i}$, které dále statisticky zpracujeme, a vypočítáme jejich střední hodnotu \overline{N}_0 a její směrodatnou odchylku $S_{\overline{N}_0}$,
- 6) z geometrického vzorce spočítáme správnou velikost S_0 pravidelné plochy a ze vztahu (4) spočítáme převodní konstantu k planimetru,

7) postupnou metodu měření objížďení opakujeme i při objížďení plochy neznámé, čímž získáme hodnoty y_i a jejich rozdíly $y_{i+1} - y_i = N_i$. Z nich spočítáme střední hodnotu \bar{N} , její směrodatnou odchylku $s_{\bar{N}}$

.Velikost S měřené plochy spočítáme ze vztahu (3), kde za N dosadíme \bar{N} ,

8) výsledek vyjádříme ve tvaru $S \pm \Delta S$,

9) příp. vyjádříme v km^2 plochu měřeného území na mapce ve tvaru $P \pm \Delta P$.

b) Postup práce při použití Simpsonovy metody, aplikované na kontrolní plochu:

- 1) pravidelnou plochu rozdělíme osnou rovnoběžek (obr. 7.4) na n proužků šířky d ,
- 2) změříme délky úseček y_i a provedeme výpočet plochy podle vztahu (2).

Doporučené tabulky

Hodnoty naměřené planimetrem je vhodné uspořádat do následující tabulky:

	Měření známé plochy/ dílky		Měření neznámé plochy/dílky	
i	x_i	$N_0 = x_{i+1} - x_i$	y_i	$N = y_{i+1} - y_i$
0				
1				

$\bar{N}_0 =$ $\bar{N} =$ $s_{\bar{N}} =$ $s_{\bar{N}} =$

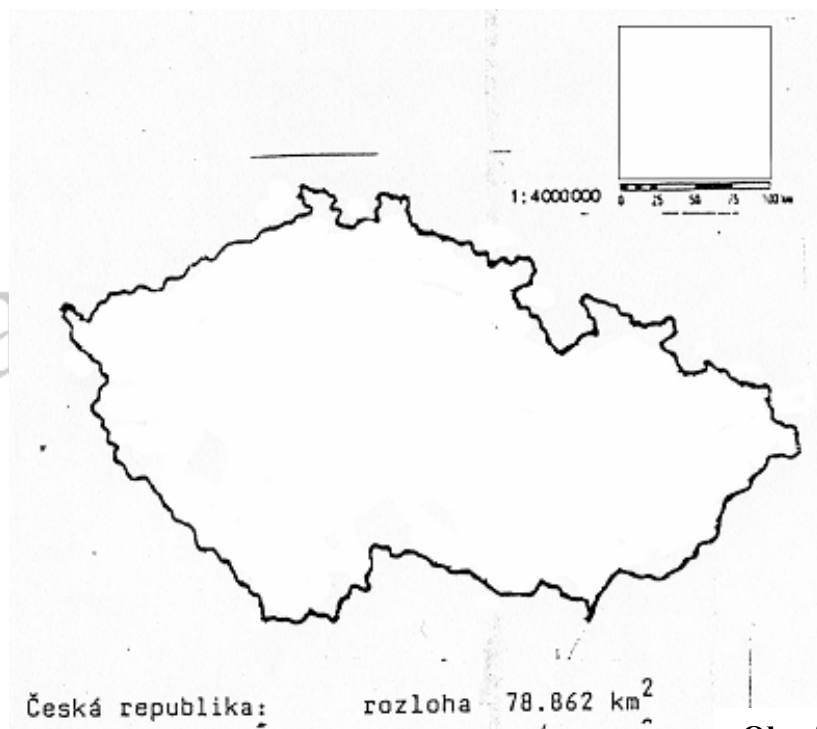
Hodnoty délek odečtené na rozděleném obrazci pro Simpsonovu metodu je vhodné zapsat do této tabulky:

d	y_0	y_1	y_2	y_{n-1}	y_n
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-----------	-------

7.4. Měření rovinných ploch
úloha 3 – navržená modifikace

V této variantě měření plochy vyměníme planimetr za softwarové vybavení počítače, konkrétně za program Corel Photo-Paint 8 (stejně poslouží i jiná verze Corelu nebo srovnatelného programu pro manipulaci s bitovými mapami). Použijeme naskenovaný obrázek, kde je zakreslena hranice státu, jehož rozlohu budeme určovat a čtverec vyjadřující měřítko mapy – viz obr. 7.6 (to je jeden z obrázků, které se dosud používají při měření úlohy planimetrem).

Jan Sedláček



Obr. 7.6

Postup:

1. Otevřeme obrázek v programu Corel Photo-Paint.
2. Na liště vlevo zvolíme Nástroj Maska – Kouzelná hůlka a myší klepneme na plochu čtverce na obrázku.
3. Na levé liště vybereme Nástroj Výplň a klikneme myší dovnitř čtverce. Objekt následně získá barvu, která je nastavena v okénku Výplň (vpravo dole).
4. Zvolíme Obrázek – Histogram a v otevřeném okně zjistíme počet pixelů odpovídající ploše masky – v našem příkladu je to 21 278. Tomuto počtu odpovídá (jak je patrné z obr. 7.6) rozloha 10 000 km².
5. Postup uvedený v bodech 2 – 4 aplikujeme na plochu území – tím získáme rozlohu státu bez hranice – 172 183 pixelů.
6. Nezanedbatelnou plochu na našem obrázku zabírá hranice území, proto je rovněž potřeba ji výše uvedeným postupem určit – vychází 12 087 pixelů. (V případě měření hranice je vhodné volit vyšší úroveň lupy v našem obrázku. Pokud je hranice místy „přetržená“, je třeba ji „pospojovat“.)
7. Dále sečteme plochu území a poloviční plochu hranice: $172\ 183 + 6\ 044 = 178\ 227$ (vyjádřeno v pixelech).
8. Výslednou plochu převedeme z pixelů na km². 178 227 pixelům odpovídá rozloha 83 761 km². To je námi určená rozloha území ČR.
9. Nakonec ještě odhadneme maximální chybu měření, kterou stanovíme jako plochu hranice: 12 087 pixelů \rightarrow 5 681 km². Relativní chyba je $5\ 681 : 83\ 761 \cong 0,068$. (Chyba našeho měření je dána pouze kvalitou naskenovaného obrázku.

Pokud použijeme obrázek s tenčí a výraznější, tedy s kvalitnější hranicí, bude i chyba mnohem menší.)

10. Shrňeme výsledek měření: Určili jsme plochu ČR na hodnotu $(83\,761 \pm 5\,681)$ km², s relativní chybou necelých 7 %.
11. Námí určenou hodnotu území ČR porovnáme s hodnotou správnou – 78 862 km² (viz obr. 7.6). Zjistili jsme, že plochu území naší republiky jsme nadhodnotili o 6,2 %. To by sice v oblasti mezinárodních vztahů mohlo vyvolat vážný konflikt, ale z hlediska metody našeho měření tato hodnota není špatná.

Porovnání:

Srovnáme-li vzájemně obě výše uvedené metody měření rovinných ploch, potom určování velikosti plochy pomocí počítače má následující výhody:

- je rychlejší
- nepotřebujeme planimetr (v dnešní době je to velká výhoda, neboť mechanické planimetry již prakticky nejsou k sehnání a ceny digitálních se pohybují řádově v desetitisících Kč). Nepočítáme-li s cenou počítače, pak skener stojí jen několik tisíc Kč, navíc mapové podklady jsou dnes často k dispozici v digitální podobě.
- můžeme připomenout souvislosti s měřením plochy pomocí vážení vystřihnutého tvaru, s určováním integrálu jako plochy atd.
- je méně závislá na pečlivosti práce; při **pečlivé** práci s planimetrem se dosahuje přesnosti okolo 5 % (+/-).
- předvádí poněkud neobvyklé použití grafického programu, princip je však snadno pochopitelný.

Jan Sedláček

8. Využití softwaru pro demonstraci fyzikálního principu

V prvním dále popsaném experimentu je ukázán velký potenciál programu Excel. Jedná se o článek, který jsem napsal společně se svým školitelem (v poměru cca 50/50) a který byl zaslán k uveřejnění v časopise American Journal of Physics. Je proto sepsán v angličtině.

Druhá podkapitola pak popisuje, jak lze využít software volně dostupný na internetu pro demonstraci fyzikálního principu.

8.1. A physical description of coffee cooling in a pot

Jan Sedláček, Jiří Dolejší

Abstract

One everyday phenomenon – coffee getting cold in a pot – is studied as an example of a typical method used in physics. We meet this topic in many articles in which authors usually limit themselves on using of Newton's law of cooling (see [1]). Our effort is aimed at the non-professional audience, we suppose only elementary knowledge of the subject and our approach should be "obvious" in the common sense.

The obvious beginning is to focus attention to the phenomenon and to collect some experience. The second step is the experiment in controlled conditions and with different variants of studied objects. The third step is an attempt to understand the results of the experiment and the nature of the phenomenon. To reach that in the case of cooling coffee, we try to follow the pathway of heat in the studied system within a model realized as a spreadsheet in Excel.

We can guess that some heat is used for evaporation, some heat is radiated to surroundings and other amount of heat accepted from surroundings and we must not forget transport of heat between liquid and pot, through the pot and finally between pot and surroundings.

We do not measure the individual heat flows, but we put them into the model and from comparison of the model prediction for the time-dependent temperature with the data we deduce the role of different mechanisms and the parameters which enter the model.

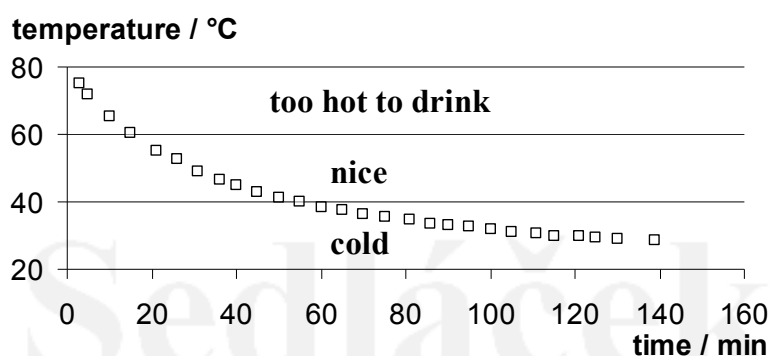


Fig. 8.1 The measured cooling of coffee. The personal views of the optimal drinking temperature could be different, of course.

Key words: Cooling, liquid, pot, experiment, model, heat balance, transfer

Introduction

A standard situation from the everyday life is a pot of coffee slowly getting cold when we forget about it (see fig. 8.1). Does it matter what kind of the pot we use? What are the physics processes which play some role in this ordinary occurrence? Which are more important, which less? Can we influence the evolution in the direction we need, like cool faster to drink in a hurry or cool slower during our busy activity?

Let us turn to experiments. At first we measure the time-dependent temperature of the cooling coffee in a china pot on a table. The measurement should be done in reasonable intervals, e.g. in every five minutes, either with a usual mercury thermometer (our case) or with some more sophisticated equipment. The estimated error of our measurement is about 0.3°C .

We would like to concentrate to the detailed understanding of the measured dependence and to identifying the relevant physics phenomena contributing to the process. We will try to achieve this goal by constructing a suitable simulation model and by refining it to fit the data.

The first model

We will start with a simple assumption that the heat transferred from the hot coffee to the colder surroundings per unit time is dependent only on the temperature difference and that the dependence is linear: $\Delta Q/\Delta\tau = k(t_c - t_s)$, where k is the coefficient of the heat exchange between coffee and surroundings, t_c is the changing temperature of the coffee, t_s is the constant temperature of surroundings. We assume that the temperature of the coffee is uniform. Then we can write the equation relating the heat loss with the change of the coffee temperature with time τ in the form $mc \Delta t_c/\Delta\tau = \Delta Q/\Delta\tau = k(t_c - t_s)$, where m is the mass of coffee and c is the specific heat capacity of it. This relates to Newton's law of cooling.

This equation we approximately and naively solve in the simplest possible manner doing small steps in time with the help of Excel (ignoring all the knowledge on solution of differential equations), we only check that the time step is sufficiently small not to influence the results. We fitted the coefficient k to meet the data (using solver from Excel).

As we may conclude from fig. 8.2, the first model systematically underestimates the heat loss at the early moments and overestimates it later.

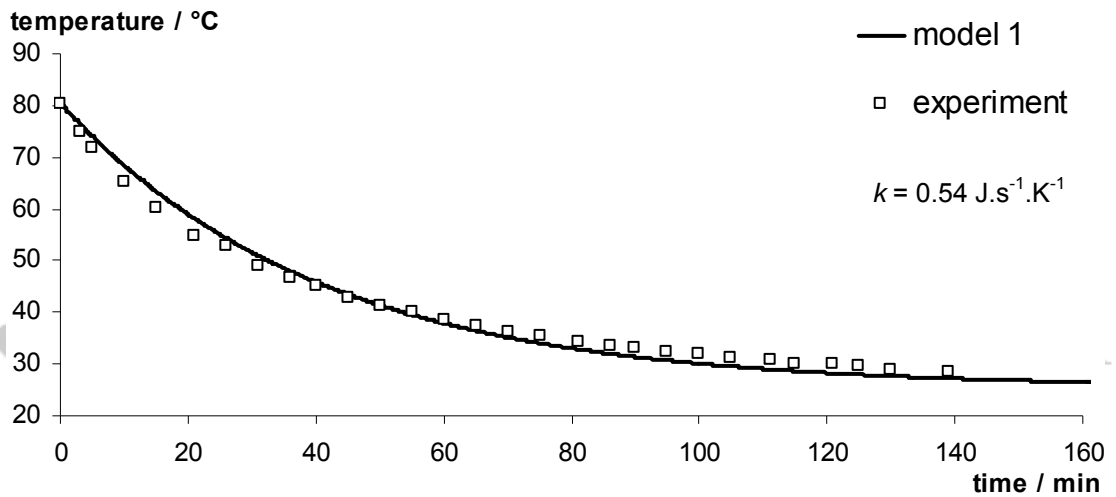


Fig. 8.2 The time-dependent temperature of the experiment and the first model.

The second model

To improve the agreement of the model and data we will try to use the “brute force method” – we introduce the arbitrary exponent x into the heat transfer:

$\Delta Q/\Delta \tau = k (t_c - t_s)^x$. The introduction of this exponent is clearly a substitute for better and more detailed description of the process. Both parameters k and x are fitted with Excel. The fig. 8.3 shows better accuracy of the second model. The quality of the fit we judge from the value of residual sum of squares divided by the number of degrees of freedom – “ χ^2/NDF ”, see any textbook on statistical methods, e.g. [2]. Values much larger than 1 signalize the poor fit.

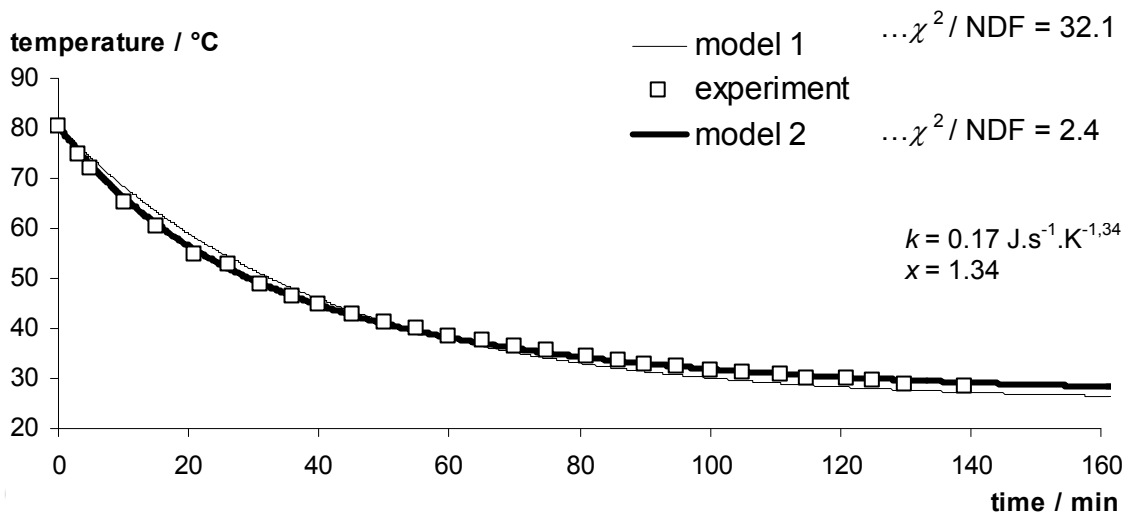


Fig. 8.3 The time-dependent temperature of the experiment and the both models.

What are the effects which are mimicked by the power in the heat transfer? We may expect heat losses by evaporation and related loss of coffee mass. Heat could be radiated to surroundings and accepted from it. The pot is heated first and then it cools, it

may have the temperature different from coffee. Heat is transferred through all the surfaces. Maybe there are other effects still missing in our list ...

The third model

We will try to introduce all the abovementioned effects:

- transfer of heat from coffee to the pot: $\Delta Q_1/\Delta\tau = k_1 (t_c - t_p)$
- coffee evaporation to surroundings: $\Delta Q_2/\Delta\tau = \nu l_v t_c P$,

where ν is the speed of evaporation, l_v is specific heat of vaporization, P open surface

- radiation from coffee to surroundings: $\Delta Q_3/\Delta\tau = \alpha \sigma T_c^4 P$,

where σ is the Stefan-Boltzmann constant, α is the absorptivity of coffee

- radiation from surroundings to coffee: $\Delta Q_4/\Delta\tau = \alpha \sigma T_s^4 P$
- transfer of heat from pot to surroundings: $\Delta Q_5/\Delta\tau = k_2 (t_p - t_s)$
- radiation from pot to surroundings: $\Delta Q_6/\Delta\tau = \beta \sigma T_p^4 S$,

where S is the emitting surface of the cup, β is the absorptivity of its material

- radiation from surroundings to pot: $\Delta Q_7/\Delta\tau = \beta \sigma T_s^4 S$

Our model 3 (see fig. 8.4) is not yet ideal – the pot is still thin (i. e. it has only one temperature). But that model is more “physical” than the former – at least coffee evaporates. We are lacking any insight into the details of evaporation, so we employed the linear dependence on t_c . All the parameters α , β , ν , k_1 , k_2 are fitted within reasonable bounds. We are not much successful with this model – the residual sum $\chi^2/\text{NDF} = 81.3$ compared to $\chi^2/\text{NDF} = 32.1$ for the first model. Before turning to the next model we include one more experimental datum – the change of coffee weight = the weight of evaporated liquid. With this datum included we have $\chi^2/\text{NDF} = 81.6$.

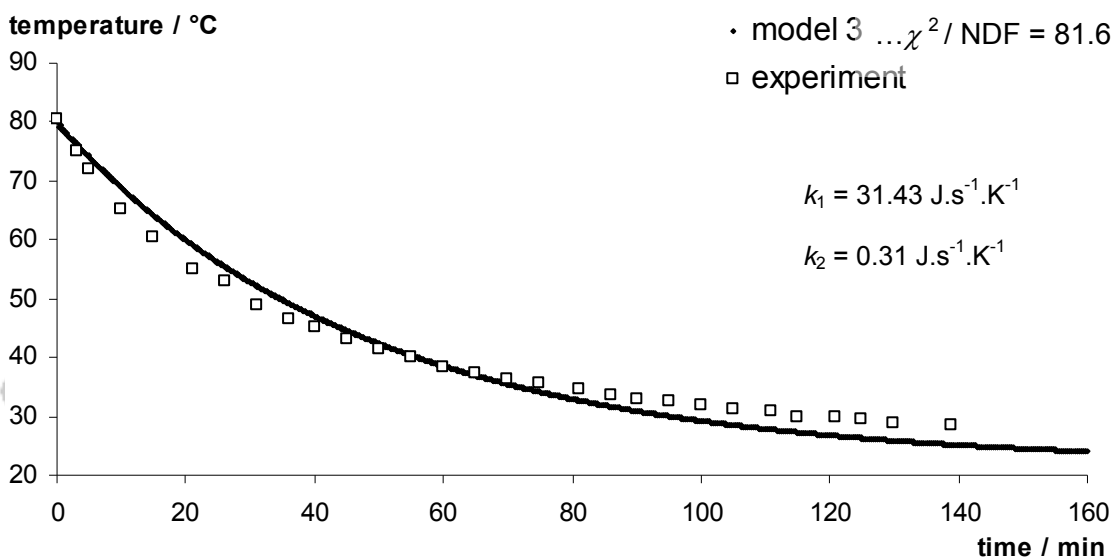


Fig. 8.4 The time-dependent temperature of the experiment and the third model.

The lack of faster cooling at the beginning persists in the model. Maybe the evaporation speed linear in temperature is unrealistic?

The fourth model

Although we do not have any detailed knowledge on the dependence of evaporation speed on temperature and other conditions, we can try to put a free power z in the “vaporising” term: $\Delta Q_2/\Delta\tau = v l_v t_c^z P$. The fit results in $z = 3.73$! Then the agreement of the model and data is remarkable (see fig. 8.5) – $\chi^2/\text{NDF} = 1.0$.

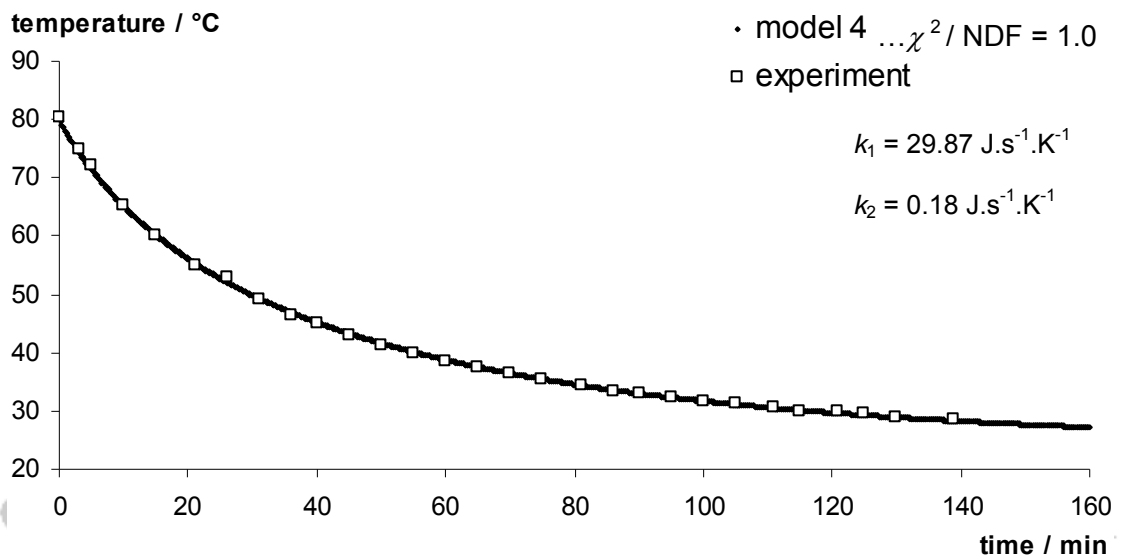


Fig. 8.5 The time-dependent temperature of the experiment and the fourth model.

But the natural question appears: Is the funny value **3.73** reasonable? My colleague made a simple dedicated experiment for measuring of evaporation speed, see fig. 8.6. The result of the experiment, power $z = 3.7$, really agrees with the above value.

Jan Sedláček

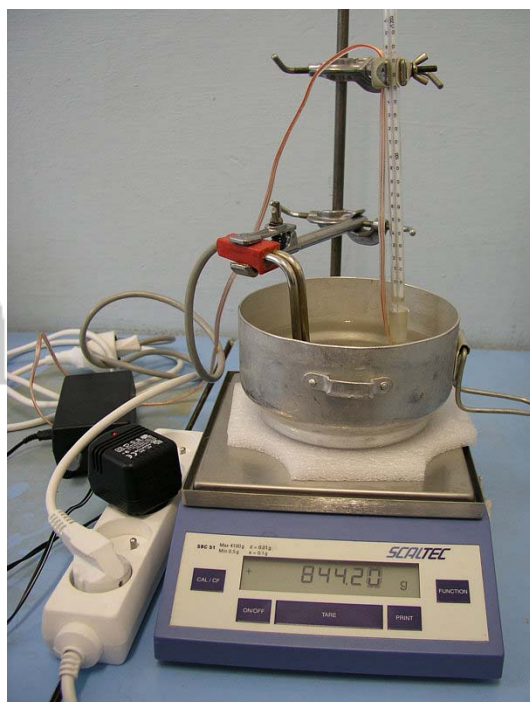


Fig. 8.6 The experiment for measuring of evaporation speed

The fifth model

In the next model we suppose the pot with nonzero thickness to treat different pots. It means we assume there are an external and an internal temperature of the pot. Then we need adapt above mentioned two terms in the following way:

$\Delta Q_1/\Delta\tau = k_1 (t_c - t_{pi})$ and $\Delta Q_5/\Delta\tau = k_2 (t_{pe} - t_s)$, where t_{pi} , t_{pe} are the internal and the external temperature of the pot. Also we introduce another term in our model – heat transfer through the pot: $\Delta Q_8/\Delta\tau = k_3 (t_{pi} - t_{pe})$.



Fig. 8.7 The three various experimental pots

The comparison of the influence of different parameters

By introduction of the parameters in the sequence of our models and by fitting them to meet best the data we get sets of parameters, which describe the experiment comparatively well. Clearly we need further experiments with exactly directed setup for specification of different parameters. To check the importance of the evaporation we put some fat on the liquid surface. We use various pots with various specific heat capacities and the heat conductivities, see fig. 8.7. Comparison of dark coffee and clear water shows us the role of the absorptivity of the liquid surface.

We performed a set of experiments with different conditions: At first we discovered the results doesn't depend on surface tension what is important for the comparison of coffee and water. The next step was measurement for:

- three pots (china, ordinary metal sheet pot and vacuum-pot, it means the pot with double wall)
- three liquids (coffee, water and water with fat on its surface)

By determination and matching of all coefficients we have justified following facts:

- coffee surface (dark) radiates and absorbs heat better than water surface
- shining stainless pot radiates and absorbs heat worse than the dim one
- fat on the liquid surface prevents evaporation
- heat transfers through china pot a little worse than through thin metal pot and much better than through vacuum-pot

The quantitative comparisons mentioned below show relatively good quality our model (see tab. 8.1).

Tab. 8.1:

*	coffee-china	water-china	fat-china	coffee-metal	water-metal	fat-metal	coffee-vac.pot	water-vac.pot	fat-vac.pot
α	0.990	0.005	0.005	0.990	0.005	0.005	0.990	0.005	0.005
β	0.192	0.192	0.192	0.178	0.178	0.178	0.050	0.050	0.050
$\nu \cdot 10^{11}$ (kg/s/°C/m ²)	15.8	15.8	1.94	15.8	15.8	1.94	15.8	15.8	1.94
k_1 (J/s/K)	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
k_2 (J/s/K)	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360
k_3 (J/s/K)	2.04	2.04	2.04	2.42	2.42	2.42	0.187	0.187	0.187

Conclusion

This contribution shows the beginning of a story originating from one phenomenon of our everyday life. We formulated few models to describe the cooling down of a cup of coffee with good result. The sequence of approximations shows how we are pushed

towards more detailed description and towards study which processes are important and which not. We were forced to introduce some nonlinearity; we tried to do it by introducing power into evaporation speed. We verified the power dependence on temperature in an independent experiment. The whole story shows by simple means the path from observation to the description on some level and may continue in further studies.

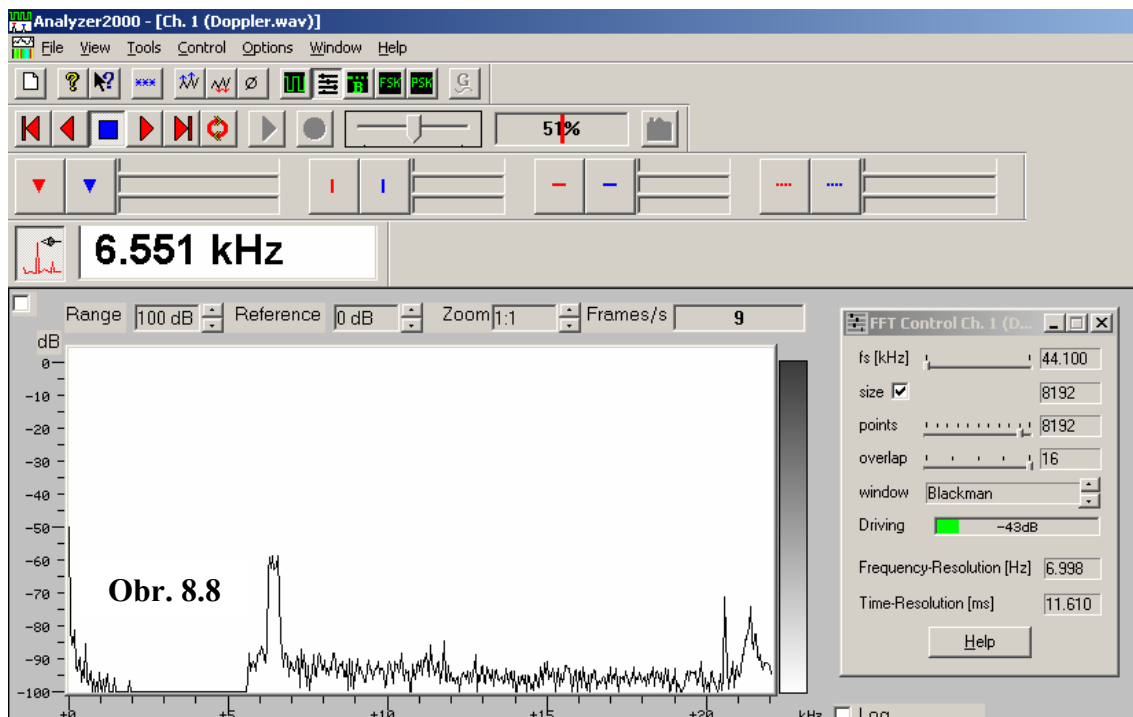
References

- [1] Karls, M. A. and Scherschel, J. E.: Modeling heat flow in a thermos, Am. J. of Physics 71 (2003), 678-683
- [2] Brandt, S.: Statistical and computational methods in data analysis, North Holland/American Elsevier Publishing Company 1970
- [3] Greenwald, Sarah J. and Bauldry, William C.: Coffee cooling on a TI-CBL unit and in maple, <http://www.mathsci.appstate.edu/~sjg/papers/CoffeeCooling.pdf>
- [4] Cooling a Cup of Coffee, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/coocof2.html>
- [5] The Coffee problem, <http://www.rogerfrost.com/cof.htm>
- [6] Newton's Law of Cooling,
<http://www.aw-bc.com/ide/Media/pdf/Documents/Part1/Labs/Lab01.pdf>
- [7] How to use the Newton's Law of Cooling: Curve Fitting Tool,
<http://www.aw-bc.com/ide/Media/JavaTools/nlhcddata.html>
- [8] Martino, J.: Newton's Law of Cooling,
<http://www.math.jhu.edu/courses/107/archives/notes/f01coursenotes/node9.html>
- [9] Yanik, E.: Coffee, tea or not?, <http://archives.math.utk.edu/ICTCM/EP-7/SA14/pdf/paper.pdf>
- [10] My Hot Chocolate is Too Hot!, 1999,
<http://mathforum.org/calcpow/solutions/solution.ehtml?puzzle=48>

8.2. Demonstrace Dopplerova jevu

V tomto experimentu je využit jeden ze softwarových spektrálních zvukových analyzátorů – sharewarový Analyzer 2000, který je stažen ze stránek <http://www.brownbear.de/>.

Softwarové spektrální zvukové analyzátoři pracují na principu rychlé Fourierovy transformace (FFT) – viz komplexní informace v [37] a [39]. Jejich kvalita je do značné míry závislá na použitém hardwaru, tedy zvukové kartě, rychlosti procesoru, operačním systémem, případně i kvalitě dalších počítačových periférií (např. mikrofonu) – viz např. [34].



Obr. 8.8

Vlastní experiment probíhal tak, že jsem přes běžný mikrofon do počítače nahrál zvuk pocházející z akustického zdroje, který rotoval po kružnici o poloměru 35 cm (malým piezo-pískátkem jsem točil na provázku). Pomocí softwarového analyzátoru byla provedena spektrální zvuková analýza záznamu – na obr. 8.8. je frekvenční spektrum akustického tlaku. Dominantní frekvence se ve sledovaném časovém intervalu 2,8 s měnily od nejčastěji se vyskytující nejvyšší hodnoty 6 551 Hz (viz obr. 8.8) po nejčastěji se vyskytující nejnižší hodnotu 6 271 Hz.

Použijeme-li teorie Dopplerova jevu, potom vysílá-li zdroj přibližující se k pozorovateli, který je v relativním klidu, zvukové vlnění o frekvenci f , měří pozorovatel frekvenci f_1 :

$$f_1 = \frac{1}{1 - \frac{v_{\text{zdroje}}}{v_{\text{zvuku}}}} \cdot f.$$

Pokud se zdroj zvuku od pozorovatele vzdaluje, ten registruje frekvenci

$$f_2 = \frac{1}{1 + \frac{v_{\text{zdroje}}}{v_{\text{zvuku}}}} \cdot f.$$

(Platí tedy $f_1 > f_2$.)

Odtud určíme rychlost pohybujícího se zdroje vlnění (v našem případě se jedná o průmět rychlosti přibližně rovnoměrného pohybu po kružnici):

$$v_{\text{zdroje}} = v_{\text{zvuku}} \cdot \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2}.$$

Pokud za rychlost zvuku ve vzduchu dosadíme 330 m/s (platí pro cca pokojovou teplotu), vychází rychlost kruhového pohybu zvukového zdroje 7,2 m/s.

Pokud jde o odhad přesnosti našeho výsledku, nejprve musím uvést, že v daném programu je třeba v nastavení FFT parametrů (viz malé okno vpravo na obr. 8.8) zvolit vhodný kompromis mezi frekvenčním a časovým rozlišením. Odhadneme-li ze zvukového průběhu experimentu, že v uvedeném časovém intervalu 2,8 s uskutečnil zdroj zvuku 10 oběhů po kružnici potom perioda kruhového pohybu je $0,28 \text{ s} = 280 \text{ ms}$. Zvolené časové rozlišení je 11,6 ms, což je okolo 4 % z dané periody a to je plně vyhovující (měříme tak střední frekvenci vysílanou z úseku dráhy, který činí 4% obvodu kružnice). V důsledku toho je frekvenční rozlišení a tedy chyba určení frekvence okolo 7 Hz. Aplikujeme-li zákon hromadění chyb (viz např. [29]) na výše uvedený vztah pro rychlost zdroje vlnění, zjistíme, že relativní chyba určení rychlosti je okolo 5 %.

Diskuze:

- 1) Ve srovnání s klasickým pouze kvalitativním „experimentem“, kdy pozorovatele mívá houkající lokomotiva, jsme v tomto uspořádání schopni určit velikost rychlosti pohybujícího se tělesa.
- 2) Hodnotu rychlosti kruhového pohybu pískátka na provázku získanou z Dopplerova principu můžeme alespoň řádově porovnat s hodnotou této rychlosti získanou méně přesným a hlavně nudně standardním způsobem. Pro velikost rychlosti tělesa pohybujícího se rovnoměrným pohybem po obvodu kružnice platí $v = 2\pi r/T$, kam dosadíme výše zmíněné hodnoty $r = 35 \text{ cm}$ a $T = 0,28 \text{ s}$. Rychlost pak vyjde 7,9 m/s, což relativně dobře koresponduje s výsledkem získaným z Dopplerova principu.

Dopplerův princip je v učebnicích typicky zmiňován jako zajímavý jev ilustrující vlastnosti vlnění a je připomínána nějaká situace, kdy jej můžeme vidět v reálném světě. Přesto tento jev zůstává poměrně vzdálen kvantitativnímu zvládnutí. Svou demonstrací jsem chtěl ukázat, že s mocnými nástroji, které jsou dnes běžné (uvědomme si kolik technologie je schováno v počítači s multimediálním vybavením, kolik matematiky je v programu, který provádí rychlou Fourierovu transformaci), je Dopplerův jev neokázale použitelný pro běžná měření.

Ilustrací současných technologií je ovšem i první téma této kapitoly. Detailní rozbor jevů při chladnutí hrnku kávy je možné díky softwaru, který nám umožňuje chladnutí, snadno a přehledně simulovat.

Jan Sedláček

9. Formuláře pro počítačové zpracování laboratorních úloh

Řadu laboratorních úloh ve fyzikální laboratoři TF ČZU je vhodné zpracovat počítačově. Tím mám na mysli úlohy, kde je vynášena nějaká grafická závislost, a úlohy, kde jde o zpracování netriviálního objemu dat. Kromě toho, že si student využíváním počítače při počítačovém zpracování naměřených dat významně usnadňuje práci, tak také současně procvičuje základy své počítačové gramotnosti, která je v současnosti u vysokoškoláků považována za naprostou samozřejmost.

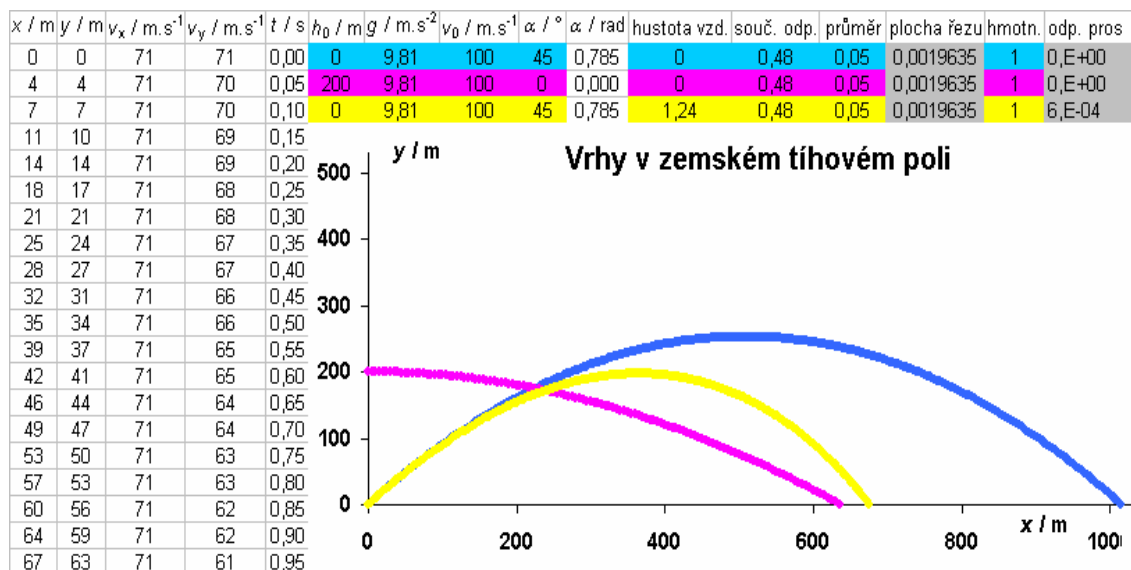
Pro tento účel jsem vytvořil řadu (deset) počítačových šablon v Excelu (viz moje internetová stránka – [6]), které studenti vyplní svými naměřenými daty a program vzápětí automaticky vynese grafickou závislost. Snažil jsem se je vytvořit tak, aby studenti byli nuceni využívat standardní metody fyziky, matematiky a programu Excel. Tyto šablony byly původně založeny na excelovské funkci „Řešitel“, avšak vzhledem k tomu, že tato funkce není samozřejmě dostupná na všech dostupných počítačích na ČZU, byla tato nahrazena grafickou funkcí „Spojnice trendu“ – viz příklad dále.

Přestože se v zásadě nejedná o nic nového, studenti se zde velmi přirozeně a efektivně učí na užitečných příkladech. Další výhodou zmíněných šablon (oproti původním speciálním počítačovým programům v laboratoři fyziky) je, že díky všeobecné dostupnosti internetu a programu Excel mohou studenti zpracovávat naměřená data prakticky kdekoliv a kdykoliv a že se učí používat nástroje, které budou určitě používat i v budoucnu.

Kromě zpracování dat jsem navrhl a vyzkoušel jednoduchou ilustraci řešení dynamických úloh v Excelu – jako tento příklad posloužila velmi názorná simulace vrhů v zemském tíhovém poli v programu Excel, (viz [6]). Použil jsem ji v přednášce předmětu Vyrovnávací kurz fyziky. V šabloně ukázky tohoto experimentu je potřeba vyplnit vstupní data (je zde rovněž zahrnut odpor vzduchu), Excel spočítá hodnoty příslušných veličin metodou numerické integrace a poté je zobrazena trajektorie příslušného vrhu – viz obr. 9.1. Tato ilustrace jistě není originální, podobnou úlohou začne pravděpodobně s dynamikou v Excelu každý. Právě proto je vhodná na první kroky s Excelem.

Jan Sedláček

9.1. Šablona pro vrhy v zemském tíhovém poli



Obr. 9.1

9.2. Příklad šablony pro zpracování naměřené laboratorní úlohy

Nejprve zde uvedu příklad zadání laboratorní úlohy a poté bude následovat šablona pro její zpracování. V 6. kapitole je uvedena šablona „spolupracující“ se systémem ISES, která vynáší exponenciální funkční závislost. Nyní proto uvádím příklad vynesení závislosti lineární. Jedná se o stanovení modulu pružnosti.

Úloha 10

Stanovení modulu pružnosti v tahu ohybem tyče

Úkol:

Určete pro dvě tyče (mosaznou a duralovou) modul pružnosti v tahu E a jeho chybu ΔE .

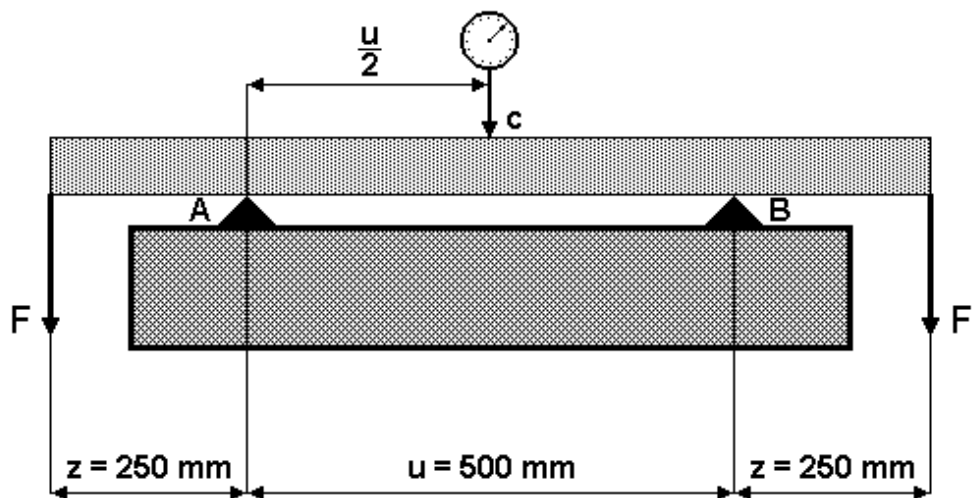
$$[\delta(E) = \delta(z) + 2 \delta(u) + \delta(\Sigma m_i) + 4\delta(a) + \delta(\Sigma y_i),$$

kde $\delta(\Sigma m_i) = 0,02 = 2\%$ a $\delta(\Sigma y_i) = 0,05 = 5\%$].

Ke zpracování možno využít program stolního počítače v laboratoři.

Obecná část:

Modul pružnosti v tahu neboli Youngův modul E je poměr normálového (tahového resp. tlakového) napětí σ k poměrnému podélnému prodloužení ε . Při deformaci ohybem se u vzorku ve tvaru tyče čtvercového průřezu dosahuje měřitelných hodnot deformace při nízké hladině zatížení. Používá se k tomu experimentální uspořádání znázorněné v obr. 9.2. Měřená tyč spočívá na dvou podpěrách A a B a na svých koncích je zatěžována zavěšovanými závažími. Průhyb tyče y je měřen uprostřed mezi oběma podpěrami (C). Jak ukazuje obr. 9.2, je uspořádání středově souměrné a rozměry z a u jsou mnohem větší než délka hrany a čtvercového průřezu tyče.



Obr. 9.2

Zkušební tyč musí být homogenní hranol s pečlivě opracovaným povrchem a hmotností menší než je hmotnost použitých zatěžovacích závaží. Břity obou podpěr musí být rovnoběžné a horizontální. Za těchto předpokladů se pro pružný průhyb zatěžované tyče y v bodě C dá odvodit z Hookeova zákona následující vztah:

$$y = \frac{Fzu^2}{8EJ} \quad [y] = \text{m}, \quad (1)$$

kde u je vzdálenost podpěr, z je vzdálenost působíště zatěžující síly F od nejbližšího břitu, E je modul pružnosti zkušební tyče a J je kvadratický moment průřezu tyče vzhledem k vodorovné ose procházející jejím těžištěm. V případě čtvercového průřezu tyče $J = a^4/12$, kde a je délka hrany čtvercového průřezu tyče.

Metoda měření: Měření provedeme na speciálním zatěžovacím zařízení, které je zobrazeno na obr. 9.2. Toto zařízení je tvořeno silným rámem, na němž jsou upevněny dva podpěrné břity (A a B) a speciální držák sloužící k uchycení úchylkoměru určeného ke měření příčného průhybu zatěžované tyče v bodě C . Průhybu je dosahováno zavěšováním zatěžovacích závaží o stejné hmotnosti na oba konce zkušební tyče. Součet hmotnosti závaží zavěšených na jedné straně tyče budeme značit m . V obr. 9.2 jsou místa zavěšení závaží vyznačena působíšti sil. Dosadíme-li do vztahu (1) tíhu použitých závaží (Pozor! závaží použitých na jedné straně tyče) a výraz upravíme, dostáváme konečný vztah pro modul pružnosti zkušební tyče

$$E = \frac{3zu^2mg}{2a^4y} \quad (2)$$

Návod k měření a zpracování:

a) Postup práce při přípravě zařízení k činnosti:

- 1) změříme na několika místech mikrometrem stranu čtvercového průřezu tyče a a pásovým měřítkem délku tyče l (od závěsu k závěsu),
- 2) změříme vzdálenost u obou opěrných břítů (A a B) a zkontrolujeme zda posuvná nožka úchylkoměru leží skutečně uprostřed mezi břity,
- 3) zkušební tyč uložíme na břity tak, aby byly splněny podmínky dle obr. 9.2, přičemž musí být splněna podmínka symetrie uspořádání $z = (l - u)/2$,

- 4) zkontrolujeme zda se nožka úchylkoměru volně dotýká zkušební tyče a zda je úchylkoměr řádně upevněn ve svém držáku; případné nedostatky ihned odstraníme,
 5) odečteme počáteční výchylku úchylkoměru y_{n0} .
 Pozor! Od tohoto okamžiku až do ukončení měření již nijak nemanipulujeme s úchylkoměrem a zkušební tyčí. Zavěšování a snímání závaží provádějte opatrně a tak aby nedocházelo k prudkým změnám v zatížení tyče, popřípadě k jejímu posuvu.
 6) změříme a zapíšeme teplotu místnosti a zároveň zpracujeme přehlednou tabulku stanovených veličin.

b) Postup práce při stanovování velikosti průhybu zkušební tyče v závislosti na jejím zatížení:

- 1) postupně zatěžujeme zkušební tyč současně na obou koncích závažími o stejné hmotnosti a čteme odpovídající údaje úchylkoměru y_{ni} ,
 2) postup dle bodu 1) opakujeme, dokud nejsou zavěšena všechna závaží připravená pro měření. Průhyb tyče v průběhu měření by neměl překročit hodnotu $u/100$,
 3) snímáme postupně závaží současně z obou konců tyče a čteme příslušné údaje úchylkoměru y_{di} .

Získané údaje zapisujeme do tabulky:

i	m_i (kg)	y_{ni} (mm)	y_{di} (mm)	$y_i = (y_{ni} + y_{di})/2$	$y_i - y_0$
0	0				
1	0,5				
.....				

c) Postup práce při vyhodnocování výsledků:

lineární regresní analýzou získaných dvojic hodnot (y_i a m_i) nalezneme rovnici přímky, která je jejich aproximací:

$$y = y_p + k \cdot m, \quad (3)$$

přičemž y_p a k jsou parametry určující průběh této přímky. K tomuto účelu se nejvíce využívá metoda nejmenších čtverců, kterou bývají vybaveny i běžné kalkulačky (např. mód LR u některých kalkulaček zn. Casio). Směrnici regresní přímky (regresní koeficient) k použijeme k výpočtu střední hodnoty Youngova modulu pružnosti E s použitím následujícího vzorce:

$$E = 3gz u^2 / (2a^4 k), \quad (4)$$

který získáme porovnáním směrnic lineární závislosti y na m vyjádřených jednak z rovnice (3) a jednak z rovnice (2). Posouzení průběhu měření:

Rozdíl veličin y_{ni} a y_{di} vyjadřuje rozdíl mezi úchylkami pozorovanými při zatěžování a odtěžování při jinak stejném zatížení. Maximální hodnota absolutní hodnoty rozdílu $y_{ni} - y_{di}$ by neměla překračovat přesnost čtení na stupnici, tj. 0.01 mm. Lineární regresní analýza naměřených hodnot umožňuje posoudit kvalitu prováděných měření a to hned prostřednictvím dvou veličin. Prvou z nich je koeficient determinace R^2 , který by v našem případě neměl klesnout pod hodnotu 0.99 (stane-li se tak, je třeba měření provést znovu). Druhou zmíněnou veličinou je parametr y_p z rovnice (3), který v ideálním případě by měl být roven počáteční poloze úchylkoměru (y_{n0}), rozdíl v obou hodnotách by při dobrém měření neměl překračovat přesnost odečtu na stupnici úchylkoměru, tj. cca 0.01 mm.

Úloha č. 10:

Stanovení modulu pružnosti v tahu ohybem tyče

Upozornění: Postupně za sebou vyplňujte nadepsané a vybarvené kolonky (klikněte vždy myší na kolonku, kterou chcete vyplňovat).

Jméno studenta:
Pedagogický dozor:
Ročník:
Kroužek:
Fakulta:

Konstanty měřicího zařízení:

	Změřené hodnoty / mm	Absolutní chyby / mm	Relativní chyby / %
Vzdálenost podpěr u :	500	1	0,2
Vzdálenost působící síly od podpěry z :	250	1	0,4
Délka strany čtvercového průřezu tyče a :	10,27	0,01	0,1

1. Upozornění: Do následující tabulky je třeba zadávat údaje o prodloužení v milimetrech. Pokud jste je na stupnici odečítali v setinách milimetru, je nutné je převést.

2. Upozornění: V tabulce vyplňte všechny vybarvené buňky. V případě, že nemáte naměřený dostatečný počet dat, zadejte do všech zbývajících buněk poslední naměřenou hodnotu opakovaně.

Tabulka měření:

Číslo měření i	Hmotnost navěšené ho závaží x_i / kg	Údaj o průhybu na stupnici y_i / mm
1	0,0	0,00
2	0,5	0,63
3	1,0	1,26
4	1,5	1,91
5	2,0	2,54
6	2,5	3,18
7	3,0	3,81
8	3,5	4,44
9	3,0	3,82
10	2,5	3,25
11	2,0	2,55
12	1,5	1,91
13	1,0	1,27
14	0,5	0,63
15	0,0	0,00

Metoda: Naměřené body jsou proloženy přímkou. Ze směrnice této přímky se vypočte modul pružnosti E .

Rovnice přímky: $y = k \cdot x + y_0$, kde

y / mm - údaj o průhybu tyče při dané hmotnosti závaží,

y_0 / mm - průsečík přímky se svislou osou,

x / kg - celková hmotnost právě zavěšených závaží,

k / mm.kg⁻¹ - směrnice přímky. V našem případě pro směrnici platí:

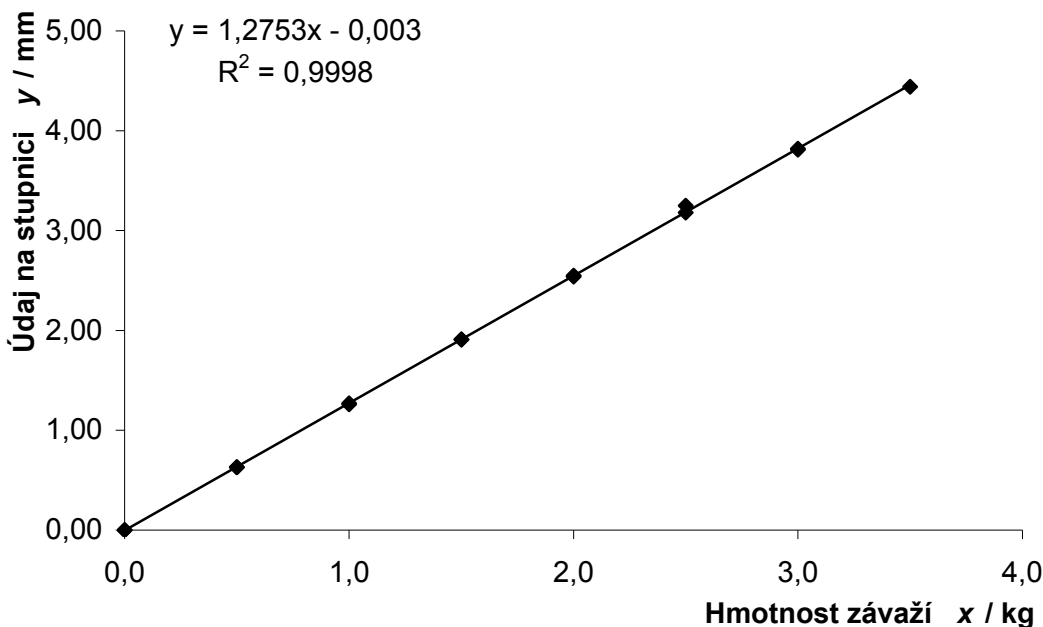
$k = (3 z u^2 g) / (2 E a^4)$, kde g / m.s⁻² je tíhové zrychlení.

Číselná hodnota k viz graf.

Z tohoto vztahu je modul pružnosti $E = (3 z u^2 g) / (2 k a^4)$ / MPa – dosadte číselné hodnoty.

Poznámka: Vše se dosazuje v původně zadaných hodnotách.

Graf závislosti průhybu tyče na zatížení



Poznámka: Pro výpočet rovnice přímky, která je zobrazena v grafu, je použita metoda "Spojnice trendu", jíž disponuje program Excel. Kromě rovnice přímky je v grafu uvedena také hodnota tzv. koeficientu determinace R^2 (statistická veličina vyjadřující těsnost proložení naměřených hodnot teoretickou křivkou). Je-li $R > 0,99$, můžeme hovořit o dobře provedeném měření.

Modul pružnosti v tahu:

$$E = 98,27 \text{ GPa}$$

Relativní chyba:

$$\delta(E) = 9,0\%$$

Absolutní chyba: $\Delta E = E \cdot \delta(E)$ (Poznámka: $\delta(E)$ nedosazovat v procentech!)

$$\Delta E = 8,84 \text{ GPa}$$

Závěr:



10. Závěr

Cílem této práce bylo ukázat, že výuka fyziky s bezesporu velmi účelným použitím experimentů nemusí jít pouze „klasickou“ cestou, ale může alespoň občas obléknout nový kabát utkaný a ušitý z relativně nových technologií, které souvisejí s využitím výpočetní techniky. Navrhl jsem konkrétní příklady, jak to udělat, a některé vyzkoušel v praxi na katedře fyziky Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze.

V úvodní kapitole charakterizují postoj veřejnosti k fyzice jako lhostejný nebo spíše negativní v důsledku převážně konzumního charakteru tzv. moderní civilizace. Zároveň ale zmiňují postupné narůstání uvědomění, že elementární fyzikální znalosti jsou v důsledku rychlého rozvoje technologií potřebné pro každého jednotlivce a s tím související vyvíjené aktivity.

Druhá kapitola vytyčuje cíl mé práce jako snahu pomoci studentům získávat nové poznatky efektivnějším a zajímavějším způsobem, než byli dosud zvyklí. V této kapitole rovněž uvádím jaká je struktura práce a že její těžiště spočívá v inovaci laboratorních úloh a fyzikálních experimentů pomocí zvukové karty počítače a experimentálního systému ISES.

Třetí kapitola „**Výuka fyziky na ČZU**“ seznamuje čtenáře se strukturou uchazečů o studium na Technické fakultě ČZU, podává charakteristiku předmětů Fyzika a Vyrovnávací kurz fyziky a také uvádí stručný přehled laboratorních úloh měřených na katedře fyziky TF ČZU.

Ve čtvrté kapitole „**Modifikace experimentů využitím zvukové karty počítače**“ ukazují konkrétní využití počítačové zvukové karty doplněné vhodným zvukovým programem a periferním zařízením v laboratorních úlohách a fyzikálních experimentech.

Pátá kapitola „**Experimenty realizované systémem ISES a optickou závorou**“ srovnává průběhy, výstupy a přesnost fyzikálních experimentů prováděných pomocí systému ISES a zvukové karty.

Šestá kapitola „**Nová laboratorní úloha**“ se zabývá kalibrací termistoru a srovnává průběh a zpracování původní verze úlohy s verzí modifikovanou pomocí experimentálního systému ISES.

Sedmá kapitola „**Další nově upravené laboratorní úlohy**“ ukazuje modernizaci způsobů určení povrchového napětí kapaliny a velikosti plochy libovolného tvaru díky počítačové periférii (webová kamera) a standardnímu softwarové vybavení (program Corel).

V osmé kapitole „**Využití softwaru pro demonstraci fyzikálního principu**“ je uvedena ukázka užití programu Excel pro zpracování dat z fyzikálního experimentu a aplikace volně dostupného softwaru pro ilustraci Dopplerova jevu.

„**Formuláře pro počítačové zpracování laboratorních úloh**“ (devátá kapitola) jsou určeny studentům, kteří graficky zpracovávají data získaná v laboratoři katedry fyziky. Jsou vytvořeny tak, aby studenti využívali standardní metody fyziky, matematiky a programu Excel.

Příloha charakterizuje experimentální měřicí systémy ISES a IP COACH a vzájemně je porovnává.

V mé práci je navrženo celkově pět nově modifikovaných laboratorních úloh (stanovení modulu pružnosti ve smyku dynamickou metodou, stanovení koeficientu smykového tření, kalibrace termistoru, stanovení povrchového napětí kapkovou metodou a měření rovinných ploch), dále tři experimenty, které mohou být snadno navrženy jako laboratorní úlohy (určení rychlosti zvuku, měření síly a valení těles) a některé další experimenty vhodnější spíše pro demonstrace fyzikálních jevů. Ze zmíněných laboratorních úloh je zatím v praxi reálně využívána „Kalibrace termistoru“ a jeví se jako stabilní a „příjemně“ realizovatelná úloha. Postupem doby dochází k inovaci rozvrhu laboratorních cvičení a tudíž postupnému začleňování ostatních nových úloh do praktika. Tyto zatím využívám (dovolím si podotknout, že celkem úspěšně) jako demonstrace v rámci předmětu Vyrovnávací kurz fyziky. Z mé subjektivní zkušenosti totiž vyplývá, že studenti mají větší zájem o fyziku, která je propojena s moderní technikou (a díky tomu může být i názornější), než o fyziku pojatou „tradičně“, tj. v duchu minulého století. Díky této výraznější změně stylu jsou také schopni být delší dobu koncentrováni na výklad dané fyzikální partie.

V některých zde uváděných experimentech jsem využil experimentální systém ISES (pro ilustraci – cca 450 instalovaných souprav v ČR, srovnatelná souprava IP Coach je více rozšířená ve světě, avšak v ČR je instalováno „pouze“ 120 souprav IP Coach a Coach Junior), další experimenty jsem navrhl jen se všeobecně dostupnými prostředky, jako je zvuková karta počítače. Výhoda druhé množiny experimentů spočívá v jejich mnohem větší dostupnosti, neboť použitelných počítačů se zvukovou kartou by mohlo být k dispozici zhruba o dva řády více než je souprav ISES.

Snažil jsem se, aby popsány novými metodami neutrpěla didaktická stránka experimentů, naopak jsem se jí snažil vylepšit. Dosud byla většina ohlasů příznivá, ať už při výuce ze strany studentů nebo na konferencích (viz [1] – [5]) ze strany kolegů učitelů). Nekladl jsem si za cíl hledat metody, jak objektivně zjistit úspěšnost své snahy. Naopak považuji za svůj cíl i pro další léta v podobných inovačních snahách pokračovat. Vítám připomínky ke své práci, aby to, co jsem zde popsal, mohlo být dále vylepšováno.

Doufám, že některé mé náměty mohou být využity i ve výuce na jiných školách; k tomu slouží jejich publikace a prezentace na konferencích.

Jan Sedláček

Seznam použité literatury a odkazů:

- [1] Sedláček, J.: Simple experiments with usual hardware, Proceedings of contributed papers, part IV, 9th Annual Conference of Doctoral Students WDS 2000, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, ISBN: 80-85863-59-6
- [2] Sedláček, J.: Jednoduché fyzikální experimenty řízené počítačem, Mezinárodní vědecká konference: Výskum a vyučovanie na katedrách fyziky v kontexte univerzitého vzdelávania, Nitra, 26. 1. 2001, ISBN: 80-7137-889-5
- [3] Sedláček, J.: Simple experiments in physics controlled by computer, Applied Physics in Life Science, Czech University of Agriculture in Prague, Technical Faculty, Department of Physics, Prague, Czech Republic, 2002, ISBN: 80-213-0973-3
- [4] Sedláček, J.: Jednoduché fyzikální demonstrace s využitím počítače – měření tíhového zrychlení, Mezinárodní vědecká konference: Výskum a vyučovanie na katedrách fyziky v kontexte univerzitého vzdelávania, Nitra, 4. 6. 2003, ISBN: 80-8069-201-7
- [5] Sedláček, J.: A physical description of coffee cooling in a pot, Applied Physics in Life Science, 2nd International Workshop, Czech University of Agriculture in Prague, Technical Faculty, Department of Physics, Prague, Czech Republic, 2003, ISBN: 80-213-1112-6
- [6] <http://sedlacek.tf.czu.cz/> (březen 2005)
- [7] Dolejší, J.: School Physics and Modern Technology, <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~dolejsi/lesna/lesna.htm> (březen 2005)
- [8] Kolektiv katedry fyziky: Laboratorní cvičení z fyziky, str. 80-83, Praha, Katedra fyziky ČZU, 1990, ISBN 80-213-0067-X
- [9] Lustig, F.: Školní experimentální systém – příručka k soupravě, Praha, 1992
- [10] Lustig, F.: Fyzikální experimenty se systémem ISES, Praha, 1996
- [11] Vícha, V.: Experimenty s počítačem i bez. Seminář pro učitele, Pardubice, listopad 2002
- [12] Karls, M. A. and Scherschel, J. E.: Modeling heat flow in a thermos, Am. J. of Physics 71 (2003), 678-683
- [13] Brandt, S.: Statistical and computational methods in data analysis, North Holland/American Elsevier Publishing Company 1970
- [14] Greenwald, Sarah J. and Bauldry, William C.: Coffee cooling on a TI-CBL unit and in maple, <http://www.mathsci.appstate.edu/~sjg/papers/CoffeeCooling.pdf> (březen 2005)

- [15] Cooling a Cup of Coffee, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/coocof2.html> (březen 2005)
- [16] The Coffee problem, <http://www.rogerfrost.com/cof.htm> (březen 2005)
- [17] Newton's Law of Cooling, <http://www.aw-bc.com/ide/Media/pdf/Documents/Part1/Labs/Lab01.pdf> (březen 2005)
- [18] How to use the Newton's Law of Cooling: Curve Fitting Tool, <http://www.aw-bc.com/ide/Media/JavaTools/nlhcddata.html> (březen 2005)
- [19] Kolín, J.: Pokusy s IP COACHem, Kladno, 1995
- [20] Havel, V.: Demonstrační měření krátkých časových intervalů, Veletrh nápadů učitelů fyziky II., str. 50-51, Západočeská Univerzita (ZČU), Plzeň 1997
- [21] Hofrichter, T.: Porovnání rychlosti zvuku ve vzduchu a ve vodě, Veletrh nápadů učitelů fyziky IV., str. 52-54, Příbram 1999, ZČU, Plzeň 1999
- [22] Hubeňák, J.: Přímé měření rychlosti zvuku, Veletrh nápadů učitelů fyziky VI., str. 58-61, Univerzita Palackého, Olomouc 2001
- [23] Vícha, V.: Ukázka laboratorních prací měřených soupravou ISES, str. 78-81, Veletrh nápadů učitelů fyziky VII., Prometheus, Praha 2002
- [24] Vícha, V.: Vrtule v laboratorních úlohách, Veletrh nápadů učitelů fyziky VIII., str. 113-121, PedF JČU, České Budějovice 2003
- [25] Tesař, J.: Klasické a inovované měření rychlosti zvuku, Veletrh nápadů učitelů fyziky VIII., str.151-155, PedF JČU, České Budějovice 2003
- [26] Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J.: Fyzika, VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2000, ISBN 80-214-1868-0
- [27] <http://kdf.mff.cuni.cz/pos/> (září 2004)
- [28] <http://kdf.mff.cuni.cz/pub/PhysicsOnStage/> (září 2004)
- [29] http://www.tf.czu.cz/studium_scripta.php (březen 2005)
- [30] http://jurca.tf.czu.cz/info_stu.htm (březen 2005)
- [31] <http://www.ises.info/index1.html> (březen 2005)
- [32] <http://www.uhk.cz/pdf/fakulta/dokumenty/granty/161.doc> (březen 2005)
- [33] Vícha, V.: Laboratorní práce k učebnici Elektřina a magnetismus měřené soupravou ISES, str.59-62, Gymnázium Dašická 1083, Pardubice

[34] <http://clanky.muzikus.cz/clanek.php?id=963> (březen 2005)

[35] Valouch, M.: Tabulky konstant, SNTL, Nakladatelství technické literatury, Praha, 1967

[36] <http://downloads.5star-network.com/Music/ce2kmain.exe> (březen 2005)

[37] <http://home.zcu.cz/~tmarsal/kro/ft/ft.html> (duben 2005)

[38] Brandt, S.: Statistical and Computational methods in data analysis, North Holland Publishing, New York, 1970

[39] Press, W. H. et al.: Numerical Recipes, Cambridge University Press, 1992

[40] Lepil, O. a kol.: Fyzika pro III. ročník gymnázií, SPN Praha, 1986

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Jan Sedláček

Příloha

Charakteristika měřicích systémů ISES a IP COACH

Charakteristika systému ISES

Citace z [10]:

„ISES neboli inteligentní školní experimentální systém je představován soupravou čidel a programového vybavení pro počítačem podporovanou laboratoř. V tomto ohledu se jedná o **novou filozofii výuky přírodních věd**, která si klade za cíl vytvořit nové **integrované prostředí** (spolupracující s modelovacími systémy, tabulkovými procesory, hypertextovým prostředím).

Souprava ISES je koncipována jako otevřená stavebnice, jejíž základ tvoří 12-bitová interfejsová deska AD/DA, ovládací panel, sada modulů (čidel) a obslužný univerzální počítačový program. Při využití systému ISES lze počítač používat jako univerzální měřicí přístroj – osciloskop, ampérmetr, voltmetr, teploměr, tlakoměr, snímač polohy a rychlosti, elektronické váhy, siloměr, pH-metr, EKG, sonar aj., kde sledované děje mohou být zobrazeny číslíkově i graficky.

Systém ISES umožňuje sledovat průběh experimentu, snímat současně až 8 různých veličin a vynášet je v grafické či digitální podobě na monitor počítače. Navíc poskytuje možnost řízení experimentu ve výstupních kanálech, které fungují jako programovatelné zdroje napětí. Je možné sledovat a řídit průběh dějů relativně krátkých i dlouhých. Podle typu zapojeného čidla jsou sledovány a zaznamenávány údaje v závislosti na čase nebo jiné veličině. Autodetekce čidel umožňuje automatický popis os včetně jednotek. Ve zpracování výsledků měření mohou být obsaženy: odečet hodnot, aproximace, derivace, integrace. Naměřené hodnoty lze přenést i do jiných produktů – Excel, Quattro, Famulus aj. (A naopak také lze systém ISES použít pro rozšíření aplikace výukového programu Famulus.)“

Charakteristika systému IP COACH

Osobně jsem neměl možnost s tímto experimentálním systémem pracovat, nicméně vzhledem k tomu, že se jedná o druhý nejrozšířenější školní experimentální systém v ČR (hned po ISESu), považuji za vhodné podat jeho krátkou charakteristiku – cituji z [19]:

„Systém IP COACH – Interface Program COACH (Propojovací program Coach) (vyvinutý na univerzitě v Amsterdamu) umožňuje snímání, řízení, grafické i numerické vyhodnocení školního experimentu pomocí počítače. Dále vlastní kalibraci čidel a dynamické modelování. Vlastní systém se skládá z řady programů, které provádějí výše uvedené činnosti a lze je spouštět z hlavního menu. Experiment lze snadno sestavit, doplnit řadou užitečných maker a začlenit jej do hlavního menu. Při jeho vyvolání se tak automaticky provedou všechna potřebná nastavení, která lze ještě dále pomocí uživatelem naprogramovaných maker měnit.

Jeden z programů dovoluje vícekanálové měření a řízení pokusů. Nabízí několik hlavních pracovních režimů, které se liší ve způsobu snímání a záznamu měřeného signálu (grafické zobrazení přímé nebo z paměti) a v možnostech ovládní výstupu (z klávesnice, programově). Uživatel rozhoduje o optimální volbě režimu snímání (kanály, celkový čas). Tímto způsobem lze zachytit rychlé změny signálu i děje značně pomalé. Naměřené závislosti je možné porovnat s modelovými prostým přechodem do programu Modelování.

Dalším z důležitých programů je Tabulkový kalkulátor (tzv. spreadsheet), který umožňuje rozsáhlé operace s velkým množstvím dat (výpočty vzorců, manipulace s určitým typem dat).

Program Zpracování nabízí řadu algebraicko-grafických úprav a možnost dalšího numerického zpracování signálu (zoom, derivace naměřených závislostí, výpočet neurčitých integrálů, grafická a numerická aproximace aj.).

Dále obsahuje programové prostředky (plnohodnotný programovací jazyk zahrnující podmíněné příkazy, cykly, procedury a funkce) pro modelování a řízení experimentu.

V nejnovější verzi IP COACH 4.0 je rozšířen o grafické modelování, které umožňuje graficky znázornit jednotlivé proměnné jako objekty zúčastněné v dynamickém procesu.

Důležitou roli hrají tzv. makra – v tomto případě posloupnosti stisknutí kláves. Při přechodu od jednoho z programů k jinému musíme několikrát za sebou použít klávesy kurzorových šipek a jiné klávesy. Makra nám umožňují uložit si tyto velké posloupnosti za sebou jdoucích stisknutí do souboru a snadno je v případě potřeby vyvolat. Dané akce se pak provedou rychleji a bez zbytečné námahy.

Současným handicapem systému je nedostatečnost v grafickém modelování, kde nelze vykreslovat obrazce a objekty jako je tomu např. u programu FAMULUS.“

Stručné porovnání systémů ISES a IP COACH

Výhodou systému ISES je větší dostupnost a to jak fyzická (v ČR), tak také cenová – jeho pořízení přijde cca dvakrát levněji (viz [31] a [32]). Díky tomu je ISES v ČR rozšířen téměř 4x více než IP Coach (450 : 120 prodaným a instalovaným soupravám).

Výhodou systému IP COACH je sjednocení měřicích a modelovacích prostředků do jednoho systému a jejich vzájemné propojení. Další výhodou je možnost uložit nastavení experimentu a maker do paměti a kdykoli je bez problémů vyvolat z hlavního menu.

Jan Sedláček

Jan Sedláček