

**Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích**

**Pedagogická fakulta**

**Bakalářská práce**

# **Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

## **Návrh soupravy pomůcek pro výuku kmitů, vlnění a akustiky**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PaedDr. Jiří Tesař. Ph.D.

Autor: František Veselý

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Pedagogická fakulta  
Katedra fyziky  
Akademický rok: 2006/2007

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **František VESELÝ**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Měřicí a výpočetní technika**

Název tématu: **Návrh soupravy pomůcek pro výuku kmitů vlnění  
a akustiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- fyzikální rozbor dané oblasti fyziky
- navržení a výroba, resp. úprava vhodných pomůcek pro výuku kmitů a vlnění
- vytvoření návodů k jednotlivým experimentům
- vytvoření obrazové dokumentace k jednotlivým úlohám

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce:

Seznam odborné literatury:

cca 40-50 stran

tištěná/elektronická

viz příloha

Vedoucí bakalářské práce:

**PaedDr. Jiří Tesař, Ph.D.**

Katedra fyziky

Datum zadání bakalářské práce:

**19. dubna 2007**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**30. dubna 2008**



doc. PhDr. Alena Hošpesová, Ph.D.

děkanka



prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.

vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 19. dubna 2007

## Příloha zadání bakalářské práce

### Seznam odborné literatury:

1. Horák, Z., Krupka, F.: Fyzika, SNTL Praha, 1981
2. Javorskij, B.M. : Přehled elementární fyziky, SNTL Praha, 1989
3. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika, VUT Brno, Prometheus, VUTIUM, 2001
4. Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření, SPN Praha, 1983
5. Učebnice fyziky pro ZŠ (všechny druhy)
6. Metodické příručky k učebnicím fyziky na ZŠ
7. Fuka, J. a kol.: Pokusy z fyziky na ZŠ
8. Hlavička, Mazáč: Praktikum školních pokusů z fyziky pro studující PF
9. Drozd, Z. - Brockmeyerová, J.: Pokusy z volné ruky. Prometheus Praha, 2003
10. Svoboda, E.: Fyzika - pokusy s jednoduchými pomůckami. Praha, Prometheus, 2005
11. Lorbeerg, C.: Fyzikální pokusy pro děti. Praha, Portál, 1998
12. Kašpar, E. a kol.: Problémové vyučování a problémové úlohy ve fyzice, SPN 1982
13. <http://www.ariane-schola.cz/vyrobky/vyber.htm>
14. <http://www.didaktik.cz/>

## **Anotace**

V bakalářské práci jsou vysvětleny základní pojmy z oblasti fyziky kmitů, vlnění a akustiky.

Součástí práce jsou čtyři navržené a vyrobené pomůcky a návody k jejich použití. Jedná se o následující experimentální zařízení: Kundtova trubice – pro měření rychlosti zvuku, U – dráha – pro pozorování a měření kmitavého pohybu, Kmitající tyčka – pro pozorování a měření kmitavého pohybu, Záznam periodického pohybu v čase – pro měření jeho parametrů.

## **Abstract:**

Basic notions in the field of vibrations, waves, and acoustical physics are explained in the Bachelor thesis.

Four designed and made audio-visual aids, and instructions for their use are a part of the work. The experimental devices are the following: Kundt's tube for measurement of sound velocity, U - trajectory for observation and measurement of oscillatory motion, an oscillating rod for observation and measurement of oscillatory motion, and a record of periodic movement in time domain for measurement of its parameters.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum .....

Podpis .....

Chtěl bych tímto velmi poděkoval především vedoucímu mé bakalářské práce panu PaedDr. Jiřímu Tesaři, Ph.D. za inspiraci, odbornou pomoc, metodické vedení a praktické rady při provádění pokusů a konzultace nejen k mé bakalářské práci.

Dále děkuji mým rodičům a sestře za pomoc při dosavadních studiích a mé přítelkyni, mým přátelům a známým, bez kterých bych studium na vysoké škole nezvládal a nedostal se tam, kde jsem.



## OBSAH

1.	Úvod	10
2.	Teoretický rozbor	11
2.1.	Experiment ve výuce fyziky	11
2.2.	Definice pomůcky	13
3.	Fyzikální rozbor - kmitavý pohyb	20
3.1	Základní pojmy a definice kmitavých dějů	20
3.2.	Harmonický pohyb matematického kyvadla	23
3.3.	Tlumené kmity	24
3.4.	Mechanické (elastické) vlny, zvuk - základní pojmy	26
3.5.	Příčné a podélné vlny	29
3.6.	Rychlost šíření vln	30
3.7.	Vlnová délka	31
4.	Navržené experimenty	33
4.1.	Kundtova trubice	33
4.1.1.	Teoretický rozbor	33
4.1.2.	Navržený experiment	33
4.1.3.	Dokumentace	34
4.2.	Kmitající tyčka	38
4.2.1.	Teoretický rozbor	38
4.2.2.	Navržený experiment	39
4.2.3.	Dokumentace	42
4.3.	Záznam periodického pohybu v čase	45
4.3.1.	Teoretický rozbor	45
4.3.2.	Navržený experiment	45

4.3.3.	Dokumentace	46
4.4.	U - dráha	49
4.4.1.	Teoretický rozbor	49
4.4.2.	Navržený experiment	50
4.4.3.	Dokumentace	52
5.	Závěr	54
6.	Seznam použité literatury	55

# 1. Úvod

Nad výběrem tématu mé bakalářské práce jsem dlouho přemýšlel, diskutoval jsem s profesory a zvažoval možnosti, co bych mohl vytvořit a uskutečnit. Nakonec jsem zvolil téma : Návrh soupravy pomůcek pro výuku kmitů vlnění a akustiky, protože si myslím, že by praktické pomůcky mohly být názornou pomůckou pro další studenty a kolegy, kteří také budou studovat na Jihočeské univerzitě.

Mým cílem bylo vytvořit několik nových pokusů do fyzikálních praktik a vytvořit tím další spektrum pohledů na fyziku a její zákonitosti.

Zvolil jsem vlastnoruční vyrobení čtyř pomůcek pro demonstrování pokusů z dané oblasti fyziky tak, aby si na nich mohli studenti vyzkoušet a ověřit teoretické poznatky, přesvědčit se o konkrétním fyzikálním jevu a pozorovat ho právě okamžiku, když probíhá.

Součástí práce je i fotodokumentace a popis jak pomůcky vypadají a fungují. To by mohlo sloužit k tomu, aby práce byla i inspirací a návodem pro práci kolegů z jiných stejně zaměřených škol.

Při zpracovávání jsem nejdříve shromažďoval zdrojová data. Potom následovala výroba, kterou doprovázelo zdokonalování a opětovné úpravy, když pomůcka nevyhovovala kvůli parametrům, vzhledu nebo funkčnosti.

Konečným krokem bylo vyzkoušení funkčnosti, zdokumentování a následné doplnění teoretické části.

## 2. Teoretický rozbor

### 2.1. Experiment ve výuce fyziky

Jakýkoliv poznatek ve fyzice, ale i v ostatních vědách vychází z přírodních věd a z jevů v přírodě. Poznatky získáváme pozorováním přírodních jevů, jejich následným popisem a vyhodnocením zákonitostí ve formě fyzikálních zákonů.

Je ojedinělé, aby samotný fyzikální zákon byl definován jen podle pozorování samotného přírodního děje v přírodě, neboť ten je většinou příliš složitý, nedefinovatelně se opakující za nepopsatelných situací.

Definování pokusu dle [1]

„Fyzikální pokus navozuje umělé děje v laboratořích a tyto děje nazýváme fyzikální pokusy nebo experimenty. Fyzikální pokus je tedy děj uměle navozený tak, aby byly zajištěny podmínky, které jsou důležité pro jeho průběh.“

Fyzikální pokus je tedy možné opakovat a výsledky budou podobné a dané jen chybou měření a odchylkou prvotních podmínek.

Pokusy se tedy neprovádí jen pro hledání nových zákonitostí, ale i pro ověřování zákonů, které nebyly popsány jen díky pokusům.

Dělení pokusů.

Dle toho, kdo se na pokusu podílí:

- demonstrační - takový který provádí učitel, individuálně ho předvádí  
žákům
- frontální - pokus provádí žáci ve skupinách a jsou přímo  
účastníky pokusu

#### Podle způsobu měření

- kvalitativní - nejde o přesné matematické vyjádření, ale o pochopení jevu
- kvantitativní - jde o předvedení naměřených hodnot a na nich pochopit poměry zkoumaných veličin

#### Podle typu

- reálné - fyzikální jev je přímo ukázán
- modelové - fyzikální jev je zapotřebí dokázat přirovnáním

#### Podle didaktické funkce

- heuristické - heuristický tj. z řečtiny hledající – žáci díky pokusům daný jev hledají
- ověřovací - pokusem se daný jev ověřuje
- motivující učivo - pokusy pro lepší pochopení fyzikálního zákona
- ilustrační - předvedení jevu, jak vypadá
- uvádějící fyzikální problém
  - podněcují žáky k motivaci
- demonstrující aplikaci odvozených poznatků
  - pokusy odvíjející se na základě získaných znalostí z dané oblasti
- historické - pokusy, které byly mezníky ve vývoji poznatků
- opakující a prohlubující
  - pro zopakování učiva

## 2.2 . Definice pomůcky

Ty didaktické prostředky, které jsou nosiči didaktických informací o předmětech a jevech v přírodě a technice, jež tvoří obsah výuky, se nazývají *učební pomůcky* – viz. [2].

Učební pomůcky se bezprostředně používají ve výchovně vzdělávacím procesu k hlubšímu osvojení vědomostí a dovedností. Na rozdíl od metod výuky a organizačních forem výuky představují učební pomůcky přímý materiál zprostředkující žákům poznání skutečnosti.

Vedle učebních pomůcek jsou pro výuku nezbytné další předměty a zařízení, které umožňují didaktické využití pomůcek, nebo jsou pomocnými prostředky při experimentální výuce. Tyto materiální objekty označujeme pojmem *didaktická technika*.

K materiálním prostředkům výuky také patří výukové prostory a zařízení (učebny, laboratoře, školní knihovna, informační středisko apod.) a speciální zařízení a vybavení (např. školní dílny).

Učební pomůcky ve výuce

Vhodným kritériem dělení učebních pomůcek je jejich vnější forma. Rozlišujeme učební pomůcky:

### **A. Předmětové** (skutečné, reálné):

#### 1. *Přirozené objekty*

- přírodniny (např. islandský vápenec, jantar);
- technická zařízení (např. elektromotor, transformátor, generátor funkcí) a jejich konstrukční prvky (např. tranzistory, kondenzátory apod.), jsou-li objektem výuky;
- didakticky upravené vzorky (např. řez spalovacím motorem nebo elektromotorem, součásti obrazové elektronky na panelu).

## 2. *Modely objektů:*

- geometricky podobné modely (statické modely umožňující pohled dovnitř, rozložení na části apod.);
- funkční modely (dynamické - modifikační, např. model elektromotoru; transformační, např. rotační odporový měnič jako model trojfázového generátoru; simulační, např. model spalovacího motoru; smíšené);
- realizované ideální modely (materiální konstrukce myšlenkových představ, např. model krystalové mřížky křemíku).

3. *Pomůcky pro demonstraci jevů* dostupných, resp. nedostupných, přímému smyslovému vnímání, např. montážní stavebnice, soupravy pro elektřinu, Wehneltova trubice pro demonstraci pohybu elektronu v magnetickém poli; pomůcky pro modelový pokus - např. pomůcka pro hydromechanickou analogii elektrického proudu, vzduchový polštář pro demonstraci tepelného pohybu částic.

4. *Pomůcky pro sledování veličin a jejich funkčních závislostí* (např. elektroskop, doutnavka, měřicí přístroje, osciloskop).

## **B. *Obrazové*** (ikonické):

1. *Obrazy pro přímá pozorování, symbolická zobrazení* (např. nástěnné obrazy, mapy, světelné tabule);
2. *Obrazy pro statickou projekci* (diaprojekce, epiprojekce, zpětná projekce, snímání kamerou);
3. *Dynamická projekce* (film, televize, video, dataprojektor).

**C. *Zvukové*** (fonické) - magnetofonový záznam, gramofonový záznam, hudební nástroje.

**D. *Písemné*** (literární) - učebnice, příručky, pracovní knihy, odborná literatura a odborné časopisy, atlasy, tabulky, učební texty, návody k praktickým cvičením, pracovní sešity, pracovní desky apod.

**E. Dotykové pomůcky** (reliéfové obrazy, slepecké písmo)

**F. Speciální programy pro počítače**

Vhodný výběr pomůcky z dostupného fondu pomůcek na dané škole je určen pro danou vyučovací hodinu cílem výuky a jejím obsahem, charakterem předváděného jevu, úrovní žáků (věk, psychický vývoj, dosavadní zkušenosti a dovednosti), dovednostmi a zkušenostmi učitele ovládat pomůcku a podmínkami realizace (časové možnosti, zatemnění, promítací stěna aj.).

Prostřednictvím učebních pomůcek se uskutečňuje *princip názornosti* založený na jednotě konkrétního a abstraktního, empirického a teoretického. V procesu řízení výuky plní učební pomůcky další funkce:

- a) jako prostředky *motivace a stimulace* umožňují navozovat vztah žáka k učení a jeho zájem o předváděný jev či řešení úkolů, podporují žákovu tvořivost, touhu po objevování, jednání;
- b) jsou významným *zdrojem informací*, které žákovi nejen názorně a snadněji přibližují učivo, ale vedou ho jako prostředky verbální i neverbální komunikace k chápání podstaty studovaných jevů různými cestami;
- c) jsou *prostředky systematizace*, neboť navozují spojení nových poznatků s poznatky dříve osvojenými; usnadňují také uspořádání učiva do logických struktur a ulehčují cestu poznávání od zvláštního k obecnému, resp. naopak;
- d) slouží k *ovládnutí pracovních metod*;
- e) *spojují školu s praxí* např. navozováním a verifikací správnosti řešení úloh nebo konkrétní orientací žáka na různá technická zařízení;
- f) umožňují realizovat *diferencovaný přístup k žákovi*.

Mezi důležité učební pomůcky patří **učebnice fyziky**. Učitel by měl ve výuce s učebnicí pracovat a učit s ní pracovat i žáci. V praxi se setkáváme s dvěma krajnostmi použití učebnic, které nejsou vhodné: buď učitel i žáci pouze věrně reprodukují učebnici nebo v druhé krajnosti používají učebnici jen jako sbírku úloh.



Pro učitele by učebnice měla být inspirací, pomocníkem, ale rozhodně ne jediným zdrojem informací o daném učivu. Učitel nereprodukuje věrně učebnici, ale tvořivě s ní pracuje a učí s ní pracovat žáky. Žákovi by učebnice měla umožňovat získání a rozvíjení studijních návyků. Žáci se učí pracovat s textem, rozlišovat základní učivo a doprovodné informace. V učebnici žáci nalézají podněty k vlastní činnosti, k provádění jednoduchých pokusů, k "objevování" pro ně nových poznatků, návody k laboratorním úlohám.

Učebnice obsahuje základní učivo (výklad), popis a zobrazení pokusů, motivaci k novému učivu, aplikace poznatků, doplňující informace, otázky a úlohy pro žáky (v některých učebnicích se také používá termínu cvičení). V současné době, kdy zejména pro základní školu a nižší stupeň víceletých gymnázií existuje u nás více ucelených řad učebnic, se učitelé se rozhodují pro určitou řadu. Při posuzování kvality učebnice z pozice učitele jsou to především následující hlediska:

- pojetí výkladu jednotlivých pojmů, přiměřenost, srozumitelnost; logická stavba učebnice, návaznost výkladu;
- jazyk učebnice (dodržování určité terminologie nebo úplná volnost, používání téhož termínu v různých významech);
- kvalita ilustrací, obrazového materiálu (funkčnost, názornost, estetická hodnota); chyby (věcné je třeba při používání učebnice se žáky opravit, nevhodný metodický postup nahradit jiným).

Další jiná možná rozdělení pomůcky.

Rozdělení a klasifikaci pomůcek např. Ogornikov a Šimbiriov [4] uvádějí tyto druhy pomůcek:

1. přirozené názorné pomůcky - reálné objekty – rostliny, zvířata, sbírky
2. trojrozměrné názorné pomůcky - odlitky, vycpaniny geometrická tělesa
3. ilustračně názorné pomůcky - fotografie, kresby, obrázky, film
4. symbolické názorné pomůcky - zeměpisné a dějepisné mapy
5. grafické názorné pomůcky - schémata, náčrty, diagramy

K touto rozdělení bych doplnil dnešní modernější přístroje. Do všech kategorií by se mohl zařadit stolní počítač. Mezi zvukové by patřil kazetový a CD přehrávač. Do zrakových by patřil zpětný a datový projektor a DVD přehrávač. V neposlední řadě bych zmínil interaktivní dotykové tabule, které je možné zařadit do téže kategorie jako PC.

Nejvíce podrobnou klasifikaci učebních pomůcek řešili pracovníci v bývalém NDR, jejich klasifikaci upravil a doplnil D. Hapala [7].

## Učební pomůcky

### 1. Skutečné předměty

- přírodniny – horniny, živé zvířata, rostliny, plody, květy
- preparáty – vycpaniny, kostry, preparáty v tekutinách, mikroskopické preparáty
- výrobky – stroje, nástroje, nářadí, vzorky výrobků a polovýrobků

### 2. Přístroje

- demonstrační přístroje – na zkoumání a dokazování přírodních zákonů
- přístroje na měření a počítání – měřidla, počítačí zařízení a přístroje
- přístroje na pozorování – mikroskopy, dalekohledy
- soupravy a zařízení pro frontální pokusy – žákovské soupravy, stativový materiál

### 3.Zobrazení

- obrazy
- nákresy na tabuli, v sešitech
  
- nástěnné obrazy
  
- obrazové souborové hry
  
- fotografie
  
- ilustrace v učebnici
  
- nástěnky a trvalá výzdoba stěn
  
- zastavovací obrazce – pro magnetickou tabuli

### 4.Symbolická zobrazení

- nástěnné tabule – schémata, diagramy, grafy
  
- nástěnné plány, mapy
  
- příruční mapy, atlasy

### 5.Pomůcky na promítání statických obrazů

- diafilmy a diapozitivy
  
- obrázky na episkopické promítání
  
- ostatní druhy předloh – na zpětnou projekci, preparáty pod mikroskop

### 6.Pomůcky na promítání dynamických obrazů

- němé a zvukové filmy – filmové prstence, záznamy, fragmenty
  
- pomůcky pro tel. obraz – telerecordingový nebo videomagnetický záznam

## 7.Zvukové pomůcky

- hudební nástroje
- gramofonové desky
- magnetofonové pásky

## 8.Dotykové pomůcky

- reliéfové obrazy
- texty slepeckého písma

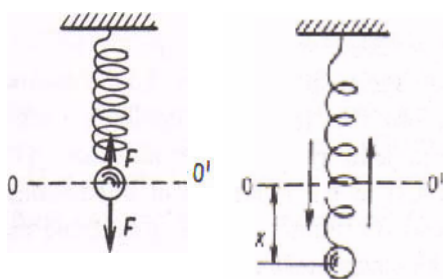
## 9.Literární pomůcky

- školní knihy
- učebnice
- slovníky
- knihy z knihoven
- metodické příručky pro učitele –pedagogická literatura
- texty psané na tabuli a do sešitu
- ostatní informační materiály – prospekty, katalogy

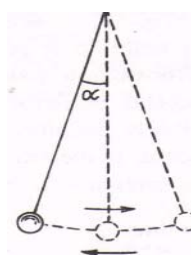
### 3. Fyzikální rozbor - kmitavý pohyb

#### 3.1. Základní pojmy a definice kmitavých dějů

*Kmitáním, oscilacemi* nebo *kmitovým pohybem* nazýváme pohyby nebo změny stavu, vyznačující se tím, že se v jisté míře tyto děje po určitých dobách opakují (reprodukujej). [4] Kmitání (kmity) jsou svou fyzikální podstatou značně rozdílné: mechanické kmitání tělesa zavěšeného na pružině - mechanický oscilátor obr. 3.1., kmitání kyvadel - obr. 3.2. a strun, vibrace základů budov, elektromagnetické kmity (oscilace) v oscilačním obvodu atd. I když jde o jevy rozdílného původu a charakteru, přísluší jim stejné obecné zákonitosti vyjádřené použitím stejných matematických metod.



obr. 3.1. - mechanické kyvadlo



obr. 3.2. – kmitající kyvadlo

Kmitání nazýváme *periodickým*, opakují-li se za stejné časové intervaly hodnoty fyzikálních veličin, které se během kmitavého pohybu mění. Například se opakují polohy kyvadla u hodin, absolutní hodnoty střídavého proudu atd.

*Periodou* (dobou kmitu)  $T$  nazýváme nejmenší časový interval, po jehož uplynutí se reprodukujej (opakují) hodnoty všech veličin, charakterizujících kmitavý pohyb. Za tuto dobu se vykoná jeden plný kmit.

*Frekvencí* (kmitočtem)  $\nu$  *periodického kmitání* nazýváme počet plných kmitů za jednotku času, tj. vztah (3.1.)

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.1.)$$

*Kruhovou (úhlovou) frekvencí  $\omega$*  periodického kmitavého pohybu nazýváme počet plných kmitů, vykonaných za jednu periodu - vztah (3.2.) , úpravou díky (3.1.) dostaneme vztah (3.3.), odkud také (3.4.) .

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3.2.)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (3.3.)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3.4.)$$

Speciálním případem periodických kmitání je *harmonický kmitavý pohyb*, při němž fyzikální veličina  $x$ , popisující tento pohyb, je závislá na čase  $t$  podle vztahu (3.5.)

$$x = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (3.5.)$$

kde  $A$ ,  $\omega$  a  $\varphi_0$  jsou konstantní veličiny, přičemž  $A > 0$  a  $\omega > 0$ . Veličina  $A$ , která je rovna největší absolutní hodnotě kmitající fyzikální veličiny  $x$ , se nazývá *amplituda výchylky*. Výraz (3.6.) je *fáze* kmitavého pohybu. V počátečním okamžiku.

$$\Phi = \omega t + \varphi_0 \quad (3.6.)$$

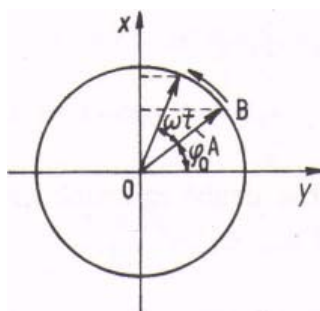
kdy  $t = 0$ , je fáze rovna  $\varphi_0 > 0$ , a proto se  $\varphi_0 > 0$  nazývá *počáteční fáze*.

Někdy se místo závislosti (3.5.) používá vztahu (3.7.), který se liší od (3.5.) počáteční fází (3.8.).

$$x = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (3.7.)$$

$$\varphi_1 = \varphi_0 - \frac{\pi}{2} \quad (3.8.)$$

Nejjednodušším příkladem harmonického pohybu je průmět rovnoměrného kruhového pohybu např. do osy  $x$ . Nechť se bod  $B$  pohybuje konstantní úhlovou rychlostí  $\omega$  po kružnici poloměru  $A$  obr. 3.3. . Při  $t = 0$  svírá průvodič  $OB$  s osou  $y$  úhel  $\varphi_0$ , za dobu  $t$  opíše úhel  $\omega t$ , takže v libovolném okamžiku máme vztah (3.5).



Obr. 3.3. – kružnice s poloměrem  $A$

*Vlastními kmity (vlastním kmitáním)* nazýváme kmity, které vznikají v soustavě nepodléhající působení proměnných vnějších sil; dochází k nim po počátečním vychýlení této soustavy ze stabilní rovnovážné polohy. Jsou to např. kmity tělesa zavěšeného na pružině a jednorázově vychýleného z rovnovážné polohy  $OO'$ , obr. 3.1. , nebo kmity kyvadla vychýleného před započítáním pohybu o úhel  $\alpha$  obr. 3.2. . Při vlastních kmitech existují v soustavě vždy síly, které se jí snaží vrátit do rovnovážné polohy. Jde-li o konzervativní soustavu, nedochází při kmitání k rozptylu (disipaci) energie. V tomto případě nazýváme vlastní kmity *netlumenými*. Vznikají tehdy, nepůsobí-li tření a jiné odporové síly. Je zřejmé, že netlumené kmity představují idealizovaný případ kmitání. Reálné vlastní kmity jsou v mechanice makroskopických těles vždy tlumené. Amplituda netlumených kmitů nezávisí na čase a její velikost je konstantní.

### 3.2. Harmonický pohyb matematického kyvadla

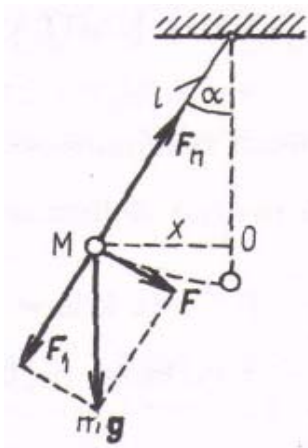
Matematickým kyvadlem nazýváme hmotný bod  $M$ , zavěšený na beztlížné neroztažitelné niti, který se pohybuje ve svislé rovině působením tíhové síly  $F_G$ , která se rovná vztahu (3.9.).

$$F = mg \quad (3.9.)$$

V rovnovážné poloze se obě síly působící na hmotný bod, totiž tíhová síla  $F_G$  a síla  $F_n$ , která je reakcí na sílu napínající nit vzájemně kompenzují obr. 3.4. . Vychýlíme-li kyvadlo z rovnovážné polohy o malý úhel  $\alpha$ , pak tíhová síla  $F_G$  a síla  $F_n$  se nebudou kompenzovat, neboť již nepůsobí v navzájem opačných směrech.



obr. 3.4. – matematické kyvadlo v rovnovážné poloze



obr. 3.5.- matematické kyvadlo vychýlené z rovnovážné polohy

Vratnou silou u matematického kyvadla je složka  $F$  jeho tíhové síly  $mg$ , která je rovna - obr. 3.5. a odpovídá (3.10.).

$$F = mg \cdot \sin \alpha \quad (3.10.)$$

Z obrázku obr. 3.5. je vidět, že  $\sin \alpha = \frac{x}{l}$  a že vratná síla působí proti výchylce, tj. snaží se ji zmenšit. Můžeme tedy psát vztah (3.11.).

$$F = -mg \frac{x}{l}. \quad (3.11.)$$



Při malých úhlech  $\alpha$  lze předpokládat, že směr síly  $F$  se bude velmi málo odchylovat od vodorovné osy  $x$ . Pak vztah (3.12.) vede v našem případě na rovnici (3.13.) odtud již plyne

$$(3.14.), \text{ kde } \omega_0^2 = \frac{g}{l}$$

$$F = ma \tag{3.12.}$$

$$ma = -mg \frac{x}{l} \tag{3.13.}$$

$$a = -\frac{g}{l}x = -\omega_0^2x \tag{3.14.}$$

Ukazuje se, že malé kmity matematického kyvadla jsou vlastními harmonickými kmity s kruhovou frekvencí (3.15.)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \tag{3.15.}$$

Perioda malých kmitů matematického kyvadla je po dosazení do (3.4.) rovna (3.16.) a nezávisí ani na hmotnosti, ani na amplitudě těchto kmitů. Měření period kmitů kyvadel lze využít k určení tíhového zrychlení  $g$ .

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{g}{l}} \tag{3.16.}$$

### 3.3. Tlumené kmity

*Tlumeným* nazýváme kmitavý pohyb, jehož energie se průběhem času zmenšuje. Tlumení vlastních harmonických kmitů je spojeno s úbytkem mechanické energie kmitající soustavy, který je vyvolán působením třecích sil (sil tření) a dalších odporových sil.

Pokles amplitudy tlumených kmitů během času je dán vztahem (3.17.),

$$A(t) = A_0 e^{-\delta t} \tag{3.17.}$$

kde  $A_0$  je počáteční amplituda kmitů v okamžiku  $t = 0$ , určená počáteční celkovou energií kmitajícího tělesa,  $e$  základ přirozených logaritmů a  $\delta$  koeficient tlumení, charakterizující rychlost klesání amplitudy, která je závislá na odporových silách a na hmotnosti kmitajícího tělesa. Je-li třecí síla  $F_t$  úměrná rychlosti kmitání v vztahu (3.18.), kde  $r$  je koeficient odporu, pak (3.19.), kde  $m$  je hmotnost tělesa. Pokles amplitudy tlumených kmitů podle zákona (3.20.), se pozoruje jen při slabých tlumeních. Hodnoty amplitud pro okamžiky  $t, t + \Delta t, t + 2\Delta t$  atd. v tomto případě tvoří klesající geometrickou posloupnost, jejímž kvocientem je  $e^{-\delta\Delta t}$ .

$$F_t = -rv \quad (3.18.)$$

$$\delta = \frac{r}{2m} \quad (3.19.)$$

$$A = A_0 e^{-\delta t} \quad (3.20.)$$

Tlumené kmitání je vlastně neperiodické, neboť při něm se nikdy neopakuje hodnota všech fyzikálních veličin, charakterizujících periodické kmitání (např. výchylky, rychlosti a zrychlení). Proto na tlumené kmity nelze aplikovat pojmy periody a frekvence tak jako je uplatňujeme u periodických kmitů.

Periodou  $T$  tlumených kmitů nazýváme časový interval mezi dvěma po sobě následujícími stavy kmitající soustavy, ve kterých fyzikální veličiny, charakterizující kmitání, nabývají analogických hodnot, které se mění v témže směru, ať již klesají či rostou. Pro periodu tlumených kmitů platí (3.21.), kde  $\omega_0$  je vlastní frekvence (volných) netlumených kmitů a  $\delta$  koeficient tlumení.

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} \quad (3.21.)$$

Veličina  $\omega_{t1}$  (3.22.), se nazývá kruhová frekvence tlumených kmitů.

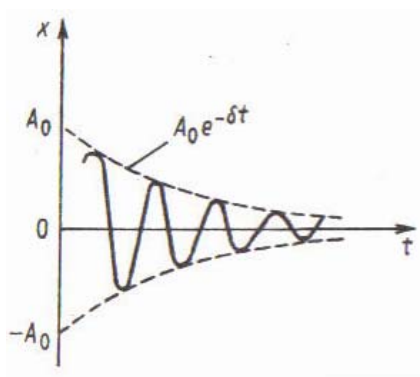
$$\omega_{t1} = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (3.22.)$$

Udává, kolikrát za  $\pi$  sekund projde kmitající těleso rovnovážnou polohou.

Je-li splněna podmínka  $\delta < \omega_0$ , jsou tlumené kmity popsány rovnicí (3.23.),

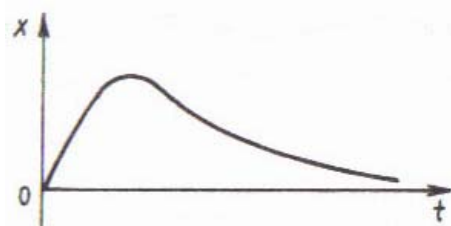
$$x = A_0 e^{-\delta t} \sin(\omega_{t1} - \varphi_0) \quad (3.23.)$$

kde  $\varphi_0$  je počáteční fáze kmitů určená počátečními podmínkami vzniku kmitavého pohybu. Na obr. 3.6. je znázorněn průběh závislosti  $x$  na  $t$ .



obr. 3.6. - tlumené kmity

Při velikém tření ( $\delta > \omega_0$ ) nedochází ani k tlumenému kmitání. Soustava, vychýlená z rovnovážného stavu vnějšími silami po skončení působení těchto sil se vrací do rovnovážné polohy aperiodicky (nikoli periodicky, obr. 3.7.). Přitom veškerá její mechanická energie se spotřebuje na překonávání tření.



obr. 3.7. aperiodický průběh

### 3.4. Mechanické (elastické) vlny, zvuk - základní pojmy

Prostředí nazýváme (obecně) *pružným*, existují-li mezi jeho částicemi interakční síly (síly vzájemného působení), které brání jeho deformaci. Například tlak plynů na stěny nádoby svědčí o tom, že plyny kladou odpor změnám jejich objemu (objemová

pružnost plynů). Plyny však bez odporu mění svůj tvar, tj. nemají tvarovou pružnost. Stejně vlastnosti mají i kapaliny. U pevných látek jsou však interakční síly mezi částicemi tak velké, že jak objemová, tak tvarová pružnost patří k jejich základním vlastnostem.

Kmitá-li těleso v pružném prostředí, působí na okolní částice prostředí tak, že je nutí konat vynucené kmity. Prostředí v sousedství kmitajícího tělesa se deformuje, a tím v něm vznikají elastické síly. Tyto síly působí na další vzdálenější částice prostředí a vychylují je z rovnovážné polohy. Postupně jsou tak všechny částice prostředí uvedeny (strženy) do kmitání. Říkáme, že prostředím postupuje *vlnění*.

Obecně pro šíření kmitání není pružné prostředí nutnou podmínkou. Například elektromagnetické kmity se šíří i vakuem.

*Vlnou* nazýváme poruchu stavu látky nebo pole, která se (s postupem času) šíří prostorem. Například při zvukových vlnách v plynech nebo kapalinách jde o tlakové kmity šířící se příslušným prostředím.

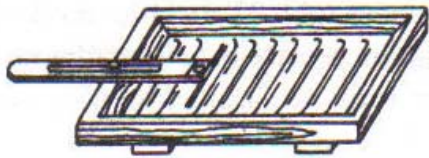
U elektromagnetických vln se šíří prostorem kmity intenzity **E** a indukce **B** elektromagnetického pole.

*Elastickými vlnami* nazýváme mechanické poruchy (deformace, rozruchy), které se šíří pružným (elastickým) prostředím. Tělesa, která vyvolávají v prostředí tyto poruchy (rozruchy), nazýváme *zdroji vln*, resp. zdroji vlnění (kmitající ladičky, struny hudebních nástrojů atd.). Elastické vlny nazýváme *zvukovými* nebo *akustickými*, šíří-li se pružným prostředím slabé rozruchy, tj. mají-li příslušné mechanické deformace pružného prostředí malé amplitudy.

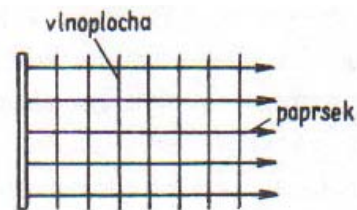
*Vlnoplochou* nazýváme množinu bodů, v nichž nositelé vlnění kmitají se stejnou fází. V určitém okamžiku jsou fáze kmitů v různých bodech téže vlnoplochy stejné. Množinu bodů, do nichž v určitý okamžik vlna právě dorazila, nazýváme *čelem vlny* nebo *čelní vlnoplochou*.

*Paprskem* nazýváme obecně křivku, jejíž tečna v každém bodě splývá se směrem šíření vlny (v tomto bodě). V homogenním a izotropním prostředí paprsek je přímkou kolmou na čelní vlnoplochu a udává směr přenosu energie vlnou.

V rovinné vlně jsou vlnoplochy roviny kolmé ke směru jejího šíření. Paprsky jsou rovnoběžné přímkami orientované ve směru rychlosti šíření vlny. Rovinné vlnění lze demonstrovat na vodní hladině pomocí kmitů ploché tyče obr. 3.8, která pravidelně na hladinu dopadá. Na obr. 3.9. jsou naznačeny vlnoplochy rovinného vlnění a paprsky.



obr. 3.8 - rovinné vlnění



obr. 3.9. - vlnoplochy

V kulové vlně jsou vlnoplochy koule. Tyto vlny vznikají v případech, kdy zdroj vlnění je bodový. Paprsky v kulové vlně míří ve směru poloměrů koulí (tj. radiálním) směrem od středu, kde je zdroj vlnění obr. 3.10. .

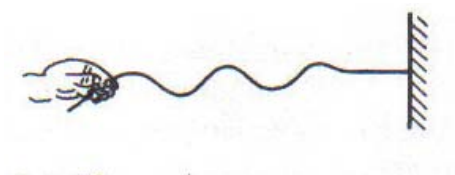


obr. 3.10. - kulové vlně

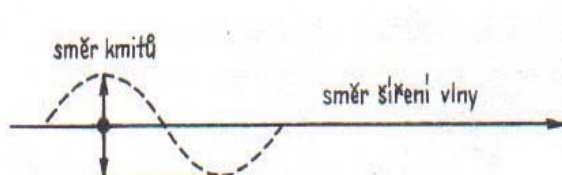
Rozdíl mezi elastickými vlnami v určitém prostředí a libovolným jiným uspořádaným pohybem jeho částic spočívá v tom, že šíření vln není spojeno s přenosem látky na větší vzdálenosti.

### 3.5. Příčné a podélné vlny

Vlnu (vlnění) nazýváme *příčnou (příčným)*, kmitají-li částice prostředí ( resp.veličiny charakterizující vlnu) ve směrech, kolmých na směr šíření vlny. Například příčné vlnění se šíří po napjaté gumové hadici (šňůře), jejíž jeden konec je upevněn a druhý je uveden do kmitavého pohybu obr. 3.11. . Každý dílek hadice kmitá vzhledem k své původní rovnovážné poloze kolmo ke směru šíření vlnění obr. 3.12. .

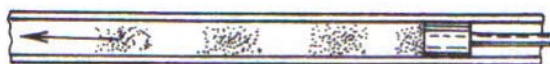


obr. 3.11. – kmitavý pohyb



obr. 3.12. – šíření vlnv

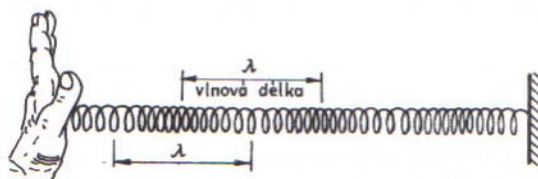
Vlnu (vlnění) nazýváme *podélnou (podélným)*, kmitají-li částice prostředí ve směru šíření vlny. Harmonické kmity pístu ve válci naplněném plynem nebo kapalinou, se předávají působením elastických sil částicím látky, a tak se válcem šíří podélné elastické vlnění obr.3.13. . To se skládá ze soustavy oblastí zhuštění (stlačení) a zředění



obr.3.13. - podélné elastické vlnění

(roztažení) prostředí, které se periodicky mění (postupují prostředím); máme-li v určitém okamžiku v jednom místě zředění a v sousedním zhuštění, pak za dobu  $T/2$ , kde  $T$  je perioda kmitů, bude v prvním místě zhuštění a ve druhém zředění, atd. Kmity částic se dějí v tom směru, ve kterém dochází k přenosu kmitů od vrstvy k vrstvě, tj. ve směru šíření vlnění. Podélné vlnění vzniká také např. v dlouhé spirálové pružině s jedním upevněným koncem, je-li druhý její konec vystaven periodickému vnějšímu působení obr. 3.14. . Elastické vlnění je zde představováno stlačeními a roztaženími,

kteřá se šířl podél pružlny a střldájí se periodlcky za dobu  $T/2$ ; zde  $T$  je perioda vnějšlho působení na pružlnu.



obr. 3.14. - elastické vlnění

V kapalinách a plynech, jlmž chybí tvarová pružnost, se přlčné vlny nemohou šířit. V pevných látkách se šířl podélné l přlčné vlny, které jsou vázány na tvarovou pružnost (např. vlnění šířící se po strunách hudebních nástrojů). Obecně výchylky nemusí být kolmé ani rovnoběžné se směrem šíření vlny (vlnění).

### 3.6. Rychlost šíření vln

*Rychlostí šíření vlny (fázovou rychlostí)* nazýváme fyzikální veličlnu, která je člselně rovna vzdálenosti, kterou za jednotku času urazl libovolně zvolený bod čelní vlnoplochy. Vektor rychlosti  $v$  mlřl ve směru normály k vlnoploše na stranu šíření vlny a v homogenním izotropním prostředí splývá se směrem paprsku.

Rychlost šíření energie vlnami jakéhokoliv fyzikálního původu je konečná a nemůže být větší než rychlost  $c$  světla ve vakuu. To plyne ze základních postulátů speciální teorie relativity a odpovídá teorii působení na blízko. Na fázovou rychlost se tato omezení nevztahují.

Rychlost šíření elastických zvukových vln v plynech závisl na termodynamické teplotě plynu. Pro ideální plyny je rychlost zvuku rovna (3.24.) ,

$$v = \sqrt{\gamma \frac{R}{M_m} T} \quad .(3.24.)$$

kde  $R$  je plynová konstanta,  $T$  termodynamická teplota,  $M_m$  molární hmotnost a  $\gamma$  je pro určitý plyn konstanta závislá na jeho molekulové struktuře. Například pro vzduch je  $\gamma = 1,4$  a pak  $v = 20\sqrt{T}$  m/s. Při  $T = 273$  K je  $v = 330$  m/s, pro  $T = 293$  K máme  $v = 343$  m/s.

Rychlost elastických vln v kapalinách a podélných vln v pevných látkách je vyšší než rychlost zvuku v plynech; tato rychlost je závislá na stlačitelnosti (pružnosti) a hustotě prostředí, neboť platí (3.25.) ,

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (3.25.)$$

kde  $K$  je modul objemové pružnosti a  $\rho$  hustota prostředí. Například pro vodu  $v = 1430$  m/s, pro měď  $v = 3910$  m/s a pro hliník  $v = 4880$  m/s.

### 3.7. Vlnová délka

Čelo vlny (čelní vlnoplocha) se za dobu  $\Delta t$  rozšíří od zdroje vlnění do určité vzdálenosti. Pro vlny v homogenním a izotropním prostředí pro tuto vzdálenost  $\Delta x$  platí (3.26.),

$$\Delta x = v \Delta t \quad (3.26.)$$

kde  $v$  je rychlost šíření vln. To znamená, že kmity částic prostředí, které jsou ve vzdálenosti  $\Delta x$  od zdroje, probíhají s časovým zpožděním  $\Delta t$  a s fázovým zpožděním  $\Delta\varphi$ , přičemž (3.27.), neboť za periodu  $T$  se fáze kmitů zdroje změní o  $2\pi$ .

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \quad (3.27.)$$



Pro časové zpoždění  $\Delta t$  a fázové zpoždění  $\Delta\varphi$  kmitů bodů prostředí, jejichž vzdálenost od zdroje je  $x$ , máme (3.28.) ,po dosazení do (3.27.) a vyjádřením  $\Delta\varphi$  dostaneme (3.29.) a následnou úpravou díky (3.30.) nám vyjde vztah (3.31.)

$$\Delta t = \frac{x}{v} \quad (3.28.)$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi x}{vT} \quad (3.29.)$$

$$\lambda = vT \quad (3.30.)$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda} \quad (3.31.)$$

kde veličinu  $\lambda$  nazýváme vlnovou délkou. Je-li  $x = \lambda$ , je  $\Delta\varphi = 2\pi$ . Vlnová délka  $\lambda$  je vzdálenost mezi dvěma nejbližšími body, jež nepatří k téže vlnoploše, ale které kmitají se stejnou fází, tj. s fázovým posunutím  $\Delta\varphi = 2\pi$ . Jinak řečeno, vlnovou délkou nazýváme vzdálenost, do které se rozšíří čelo vlny za dobu  $T$ , rovnou periodě kmitání zdroje vlnění.

Mezi vlnovou délkou  $\lambda$  a frekvencí  $\nu$  kmitů zdroje vlnění platí vztah, když dosadíme do (3.30.) vztah (3.4.) a vyjde nám (3.32.),

$$\lambda = \frac{2\pi v}{\omega} \quad (3.32.)$$

kde je  $v$  rychlost šíření vln,  $f$  frekvence kmitů zdroje a  $\omega$  kruhová (úhlová) frekvence. Frekvence kmitů závisí jen na vlastnostech zdroje vlnění. Na vlastnostech prostředí závisí rychlost šíření vln a v souvislosti s tím i vlnová délka.

## 4. Navržené experimenty

### 4.1. Kundtova trubice

#### 4.1.1. Teoretický rozbor

Polohu uzlů a kmiten stojatých vln vzniklých v skleněné trubici, naplněné zkoumaným plynem, je možné zviditelnit pomocí lehkého sypkého prášku, např. korkové drti. [24] Délku zvukové vlny lze potom přímo měřit na vzniklých obrazcích tvořených práškem. To je princip Kundtovy trubice, viz. obrázek (4.1.1)



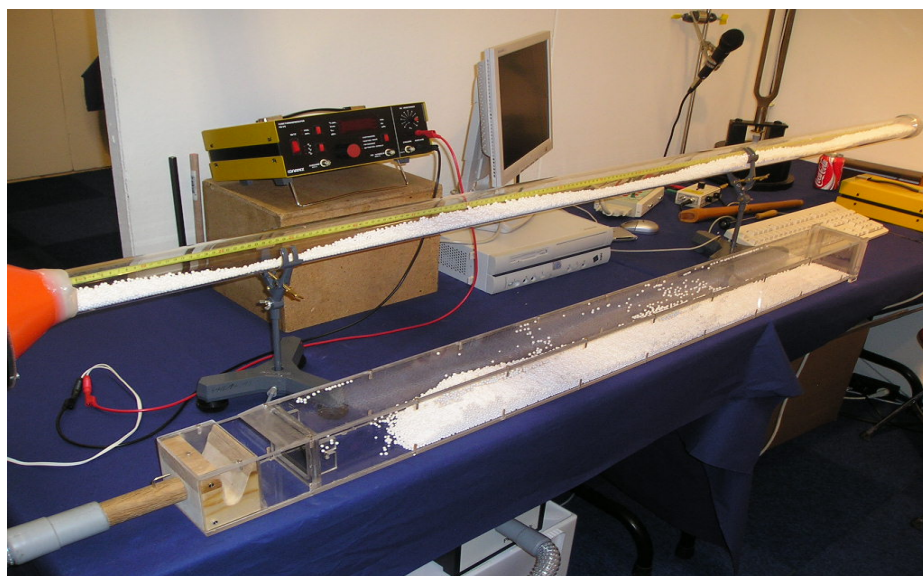
obr.: 4.1.1. - Kundtova trubice

Trubice je na jednom konci uzavřena, na druhém je zdroj zvuku **Z**. Zdrojem zvuku může být reproduktor. Změnou frekvence reproduktoru připojeného k tónovému generátoru nastavíme podmínky vhodné pro vznik stojatých vln. Po dosažení těchto podmínek vytvoří prášek umístěný v trubici obrazec. Ve stojaté vlně je kmitna akustického tlaku posunuta o čtvrtinu délky vlny proti kmitně rychlosti, čili v místě kmiten rychlosti jsou uzly tlaků a naopak. Prášek nasypaný v trubici je působením zvukové vlny rozmetáván v místech kmiten rychlosti a zůstává v klidu v uzlech rychlosti. Vzdálenosti nejbližších uzlů, tj. vzdálenosti mezi dvěma sousedními místy, v nichž prášek nebyl rozmetán, jsou rovny polovině vlnové délky zvuku.

$$v = \lambda f \quad (4.1.1)$$

#### 4.1.2. Navržený experiment

Inspirací pro tuto pomůcku mi byly fotografie z výstavy z Nizozemí (Physic on Stage), které mi poskytl vedoucí mé bakalářské práce PaedDr. Jiří Tesař. Ph.D. - obr. 4.1.2.

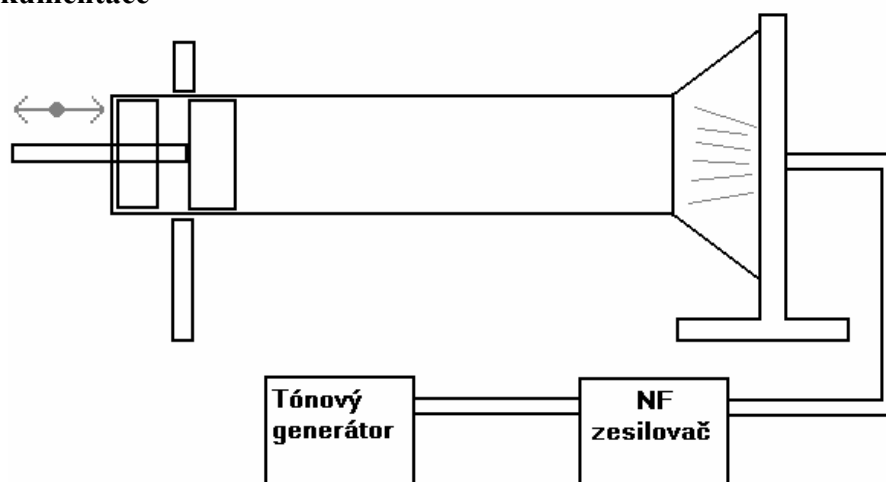


obr. 4.1.2. – experimenty pro měření rychlosti

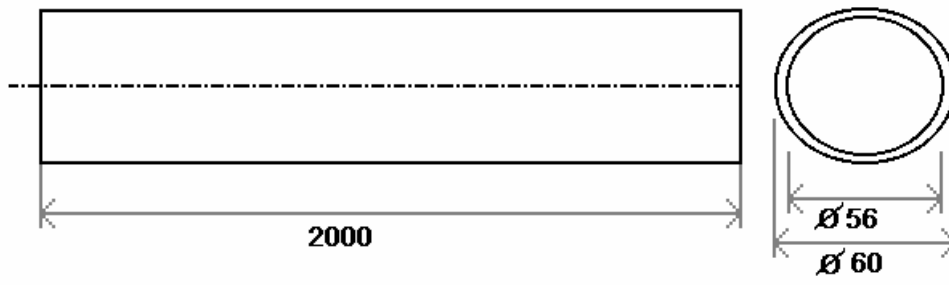
Práce na této pomůcce začaly zakoupením plastové čiré trubky o délce 2m, následným upravením trychtýře pro mikrofon a přípravy materiálů, s kterými se bude pracovat – několik druhů polystyrénových kuliček (postříkaných antistatickým přípravkem) a korková drť.

Aby bylo možné měřit, je zapotřebí zapojit sestavu dle obr. 4.1.3. – z generátoru frekvence, přes zesilovač až k reproduktoru - spojit vodiči s „banánky“.

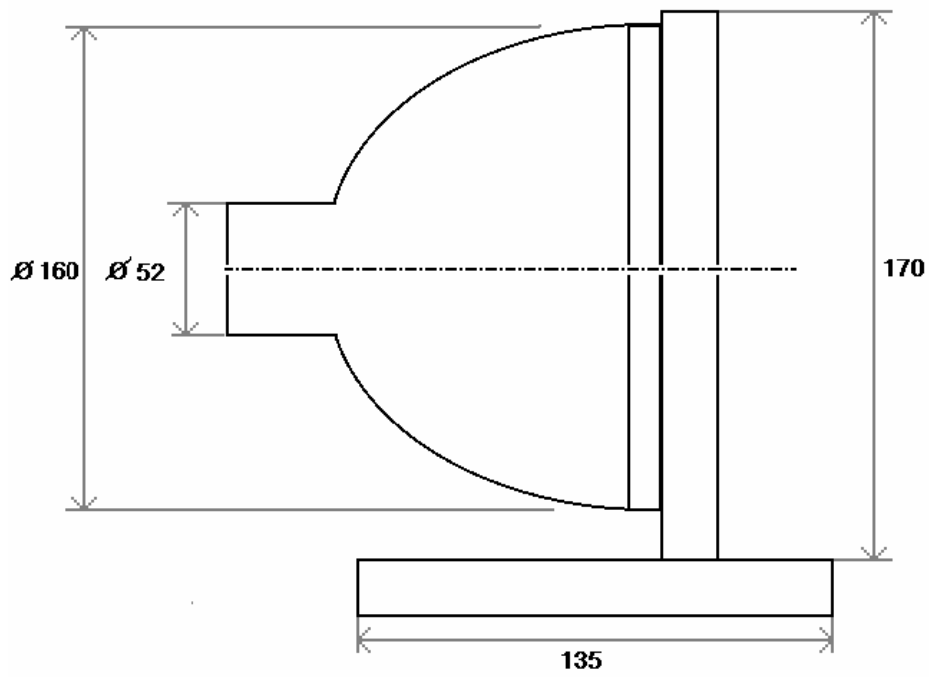
#### 4.1.3. Dokumentace



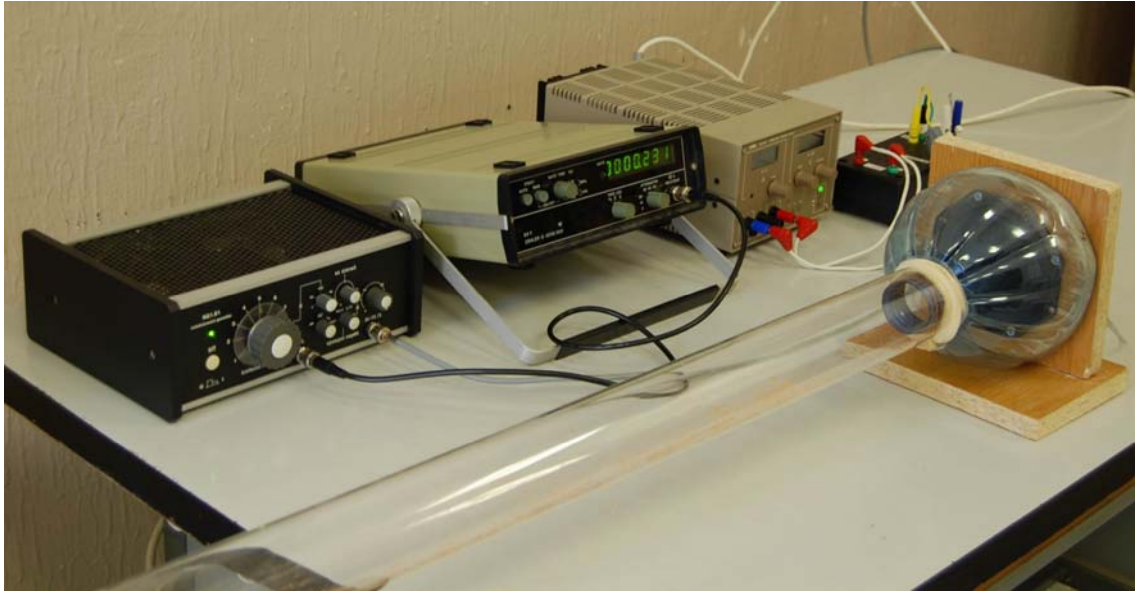
obr. 4.1.3. – zapojení celého pokusu



obr. 4.1.4. – Kundtova trubice



obr. 4.1.5. – stojan s trychtýřem pro reproduktor



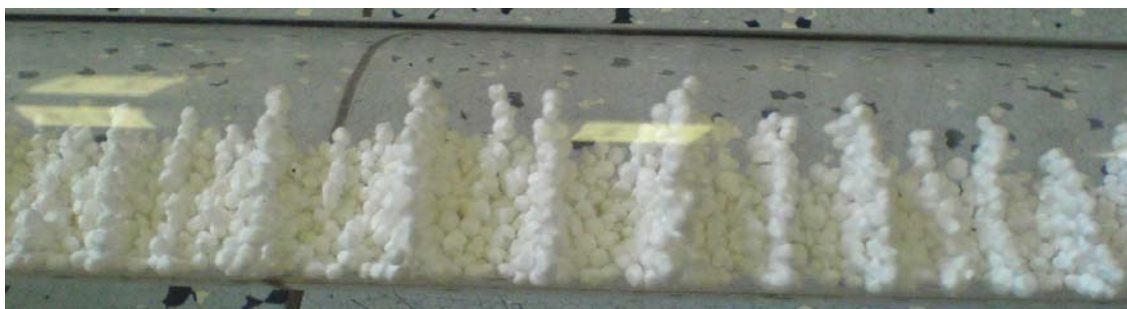
obr. 4.1.6. – zapojená Kundtova trubice



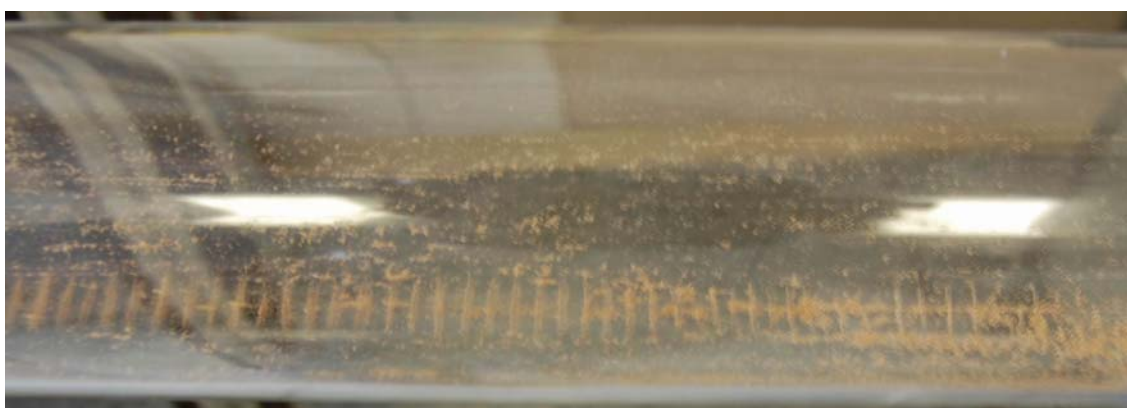
obr. 4.1.7. - Kundtova trubice s polystyrenem – s viditeľnou kmitnou



obr. 4.1.8. - Kundtova trubice s polystyrenem – s detailom zakončovaciho pístu



obr. 4.1.9. – detailní pohled na Kundtovu trubici s polystyrenem –kmitna



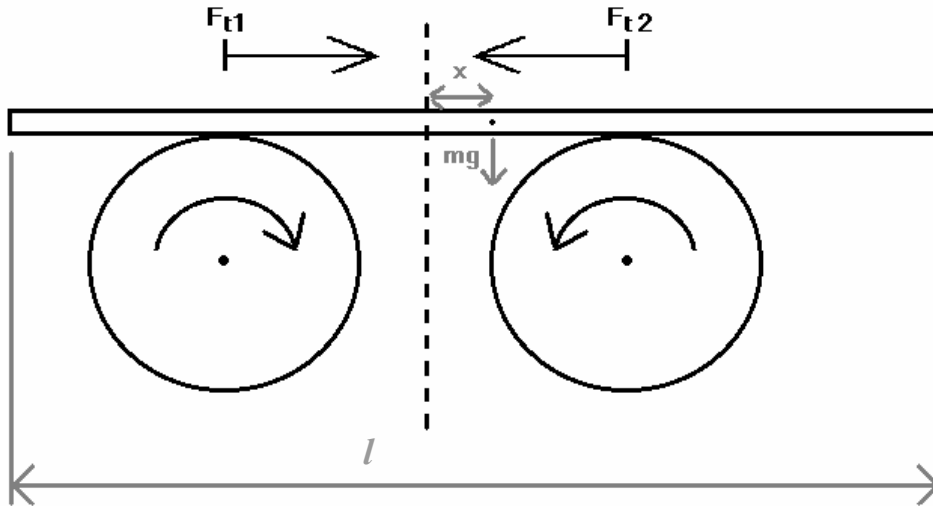
obr. 4.1.10. - Kundtova trubice s korkem – s viditelnou kmitnou



obr. 4.1.11. - Kundtova trubice s korkem

## 4.2. Kmitající tyčka

### 4.2.1. Teoretický rozbor



obr. 4.2.1.- teorie kmitající tyčky

Pro obr.4.2.1 platí, (4.2.1.), (4.2.2.), (4.2.3.)

$$F_t = \mu F_n \quad (4.2.1.)$$

$$F_1 = \left(\frac{mg}{2} + \frac{x}{l}mg\right)\mu \quad (4.2.2.)$$

$$F_2 = \left(\frac{mg}{2} - \frac{x}{l}mg\right)\mu \quad (4.2.3.)$$

kde  $\mu$  je koeficient tření,  $m$  je hmotnost tyčky a  $l$  je délka tyčky.

Platí rozdíl sil (4.2.4.)

$$F = F_1 - F_2 \quad (4.2.4.)$$

$$F = \left[ \left( \frac{mg}{2} + \frac{x}{l}mg \right) - \left( \frac{mg}{2} - \frac{x}{l}mg \right) \right] \mu \quad (4.2.5.)$$

Síla  $F$  poté vychází (4.2.6.) nadále pro sílu  $F$  platí (4.2.7.), rovností těchto sil (4.2.8.) dostaneme diferenciální rovnici (4.2.9.). Následně řešíme metodou

charakteristické rovnice, kde do(4.2.10.) dosadíme(3.4.) a dostaneme výsledný tvar pro výpočet periody  $T$  (4.2.11.).

$$F = -\frac{2mg\mu}{l}x \quad (4.2.6.)$$

$$F = \frac{d^2x}{dt^2}m \quad (4.2.7.)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2}m = -\frac{2mg\mu}{l}x \quad (4.2.8.)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{2g\mu}{l}x = 0 \quad (4.2.9.)$$

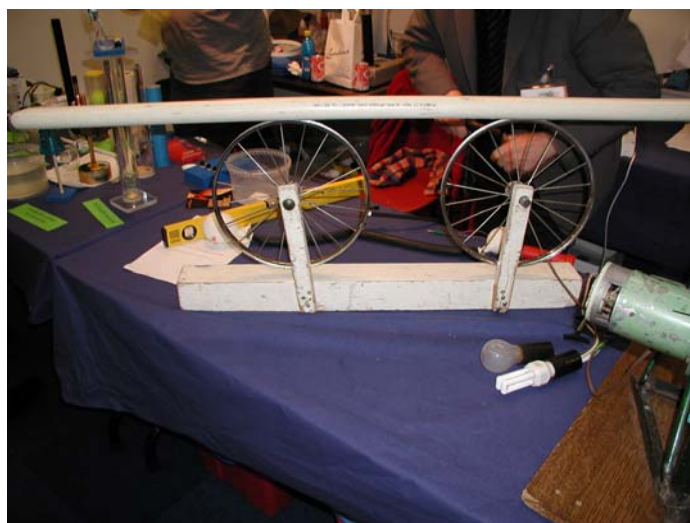
$$\omega^2 = \frac{2g\mu}{l} \quad (4.2.10.)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{2g\mu}} \quad (4.2.11.)$$

#### 4.2.2. Navržený experiment

I v tomto případě při výběru mi byly inspirací fotografie z výstavy v Nizozemí (Physic on Stage), které mi poskytl vedoucí mé bakalářské práce PaedDr. Jiří Tesař.

Ph.D. - obr. 4.1.2.



obr. 4.2.2. - kmitající tyčka



Práce na této pomůcce probíhaly postupným zdokonalováním od konstrukce ze stavebnice Merkur, kde ale nevyhovovaly parametry, až po konečný hotový výrobek, který má dokonalejší tvar je přesnější, vypadá lépe a lze na něm lépe předvést kmitavý pohyb, změřit a porovnávat periodu.

Abychom mohli demonstrovat tento experiment, je nutné zapojit desku s koly ke zdroji stejnosměrného elektrického proudu, na kterém nastavíme 10-12V. Uvedenou hodnotu můžeme nastavit přímo, pokud je zdroj vybaven jemnou regulací, jinak musíme použít regulátor otáček.

	m [g]	l [mm]
závitová tyčka	19,10	483
skleněná tyčka	14,44	423
dřevěná tyčka kruhového průřezu	20,11	704
dřevěná tyčka čtvercového průřezu	42,96	898

tab. 4.2.1. - změřené parametry tyček

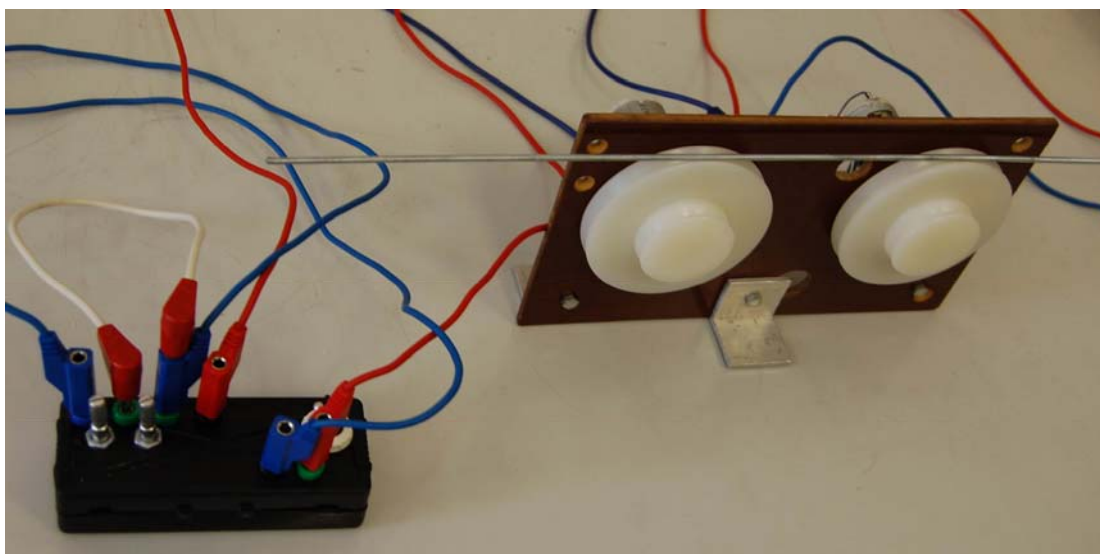
	t [s]			
	závitová	skleněná	o dřevěná	□ dřevěná
	9,60	9,23	7,94	11,11
	9,58	10,28	7,90	10,22
	8,43	10,65	9,40	10,04
	8,28	9,78	9,04	9,32
	10,03	9,92	7,71	11,04
průměrné t [s] za 10 period	9,18	9,97	8,39	10,14

tab. 4.2.2. - naměřené a vypočtené hodnoty periody

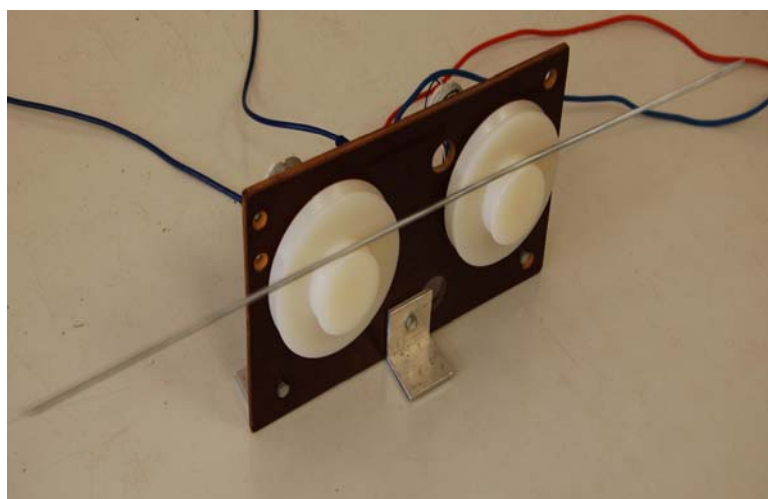
Za předpokladu, že uvažujeme koeficient tření  $\mu$  pro závitovou tyčku 0,8, pro skleněnou tyčku dřevěnou tyčku kruhového průřezu 1,1, pro dřevěnou tyčku čtvercového průřezu 1,8. Poté vychází perioda  $T$  tab.4.2.3. .

	T [s]		
	vypočtená	změřená	rozdíl
závitová tyčka	1,102	1,089	0,013
skleněná tyčka	0,972	1,003	0,030
dřevěná tyčka kruhového průřezu	1,135	1,191	0,056
dřevěná tyčka čtvercového průřezu	1,002	0,986	0,016

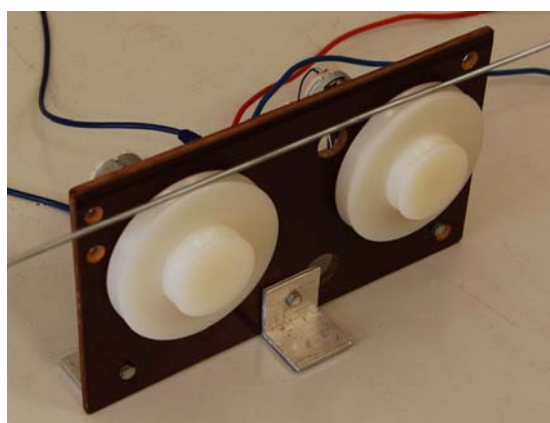
tab. 4.2.2. – přehled zjištěných period  $T$



obr. 4.2.3.- kompletní pomůcka i s regulátorem otáček

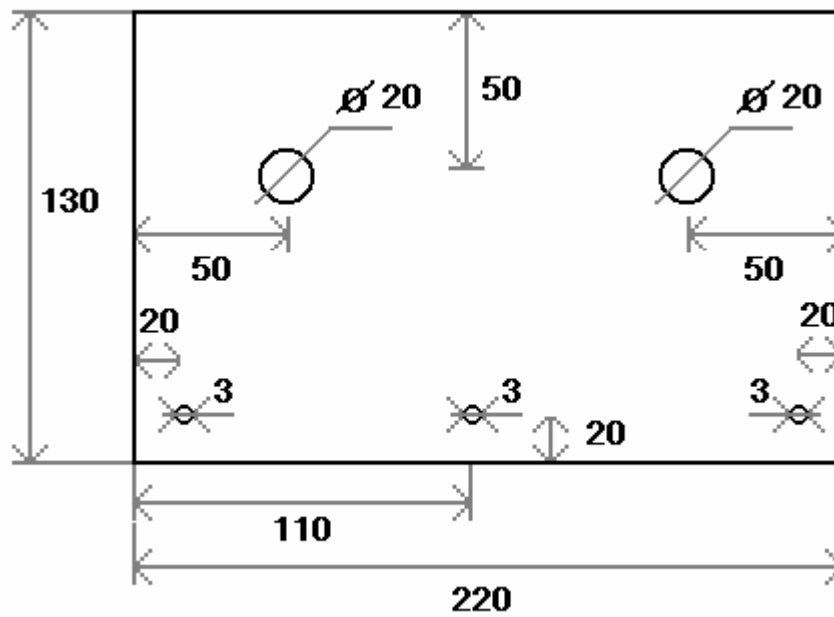


obr. 4.2.4.- pomůcka s břemenem na malém kole

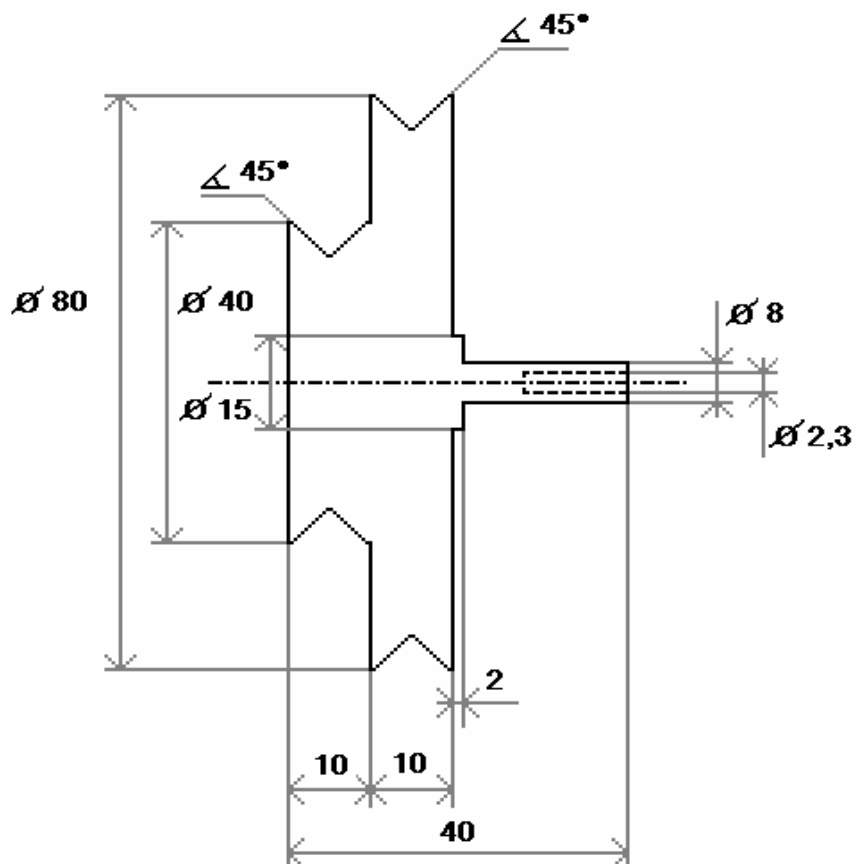


obr. 4.2.5. - pomůcka s břemenem na velkém kole

### 4.2.3. Dokumentace



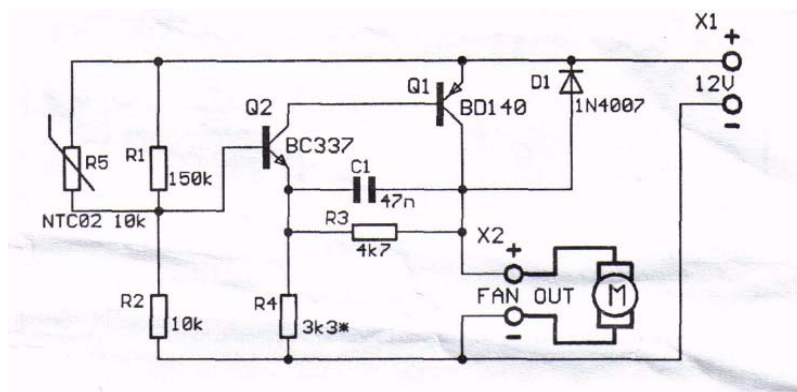
obr.4.2.6. - pertinaxová deska



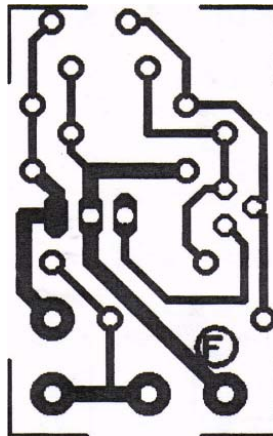
obr. 4.2.7. - kolečko

Součástí je i regulátor otáček, který se dá využít k 4.2. ale i k 4.3. .

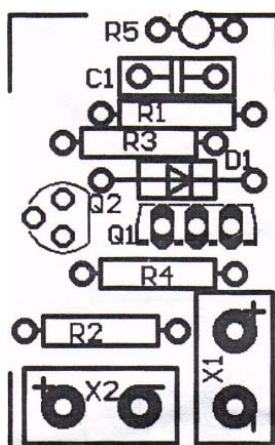
Jelikož 4.2. má dva motorčky, je regulátor sestavený ze dvou komerčně vyráběných jednoduchých spojitých regulátorů otáček, původně sloužících k regulaci otáček malého ventilátoru v závislosti na teplotě okolí, teplotně závislý odpor je nahrazen dvěma potenciometry. Regulátor je umístěn v malé krabičce o rozměrech - 110\*27\*45 mm .



obr. 4.2.8. - Schéma zapojení spojitého regulátoru otáček



obr.4.2.9 - tištěný spoj ze strany pájení



obr.4.2.10 - tištěný spoj ze strany součástek



obr.4.2.11. – pohled na regulátor



obr.4.2.12. – pohled do vnitřku regulátoru

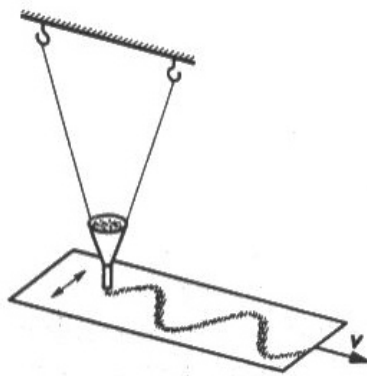
### 4.3. Záznam periodického pohybu v čase

#### 4.3.1. Teoretický rozbor

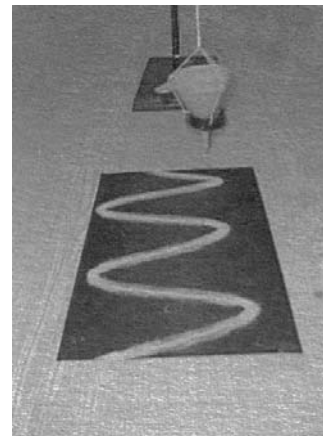
Teorie matematického kyvadla viz 3.2.1.

#### 4.3.2. Navržený experiment

Vycházel jsem z obrázků obr. 4.3.1 a obr. 4.3.2. z [18], [20].



obr. 4.3.1. – náčrt experimentu



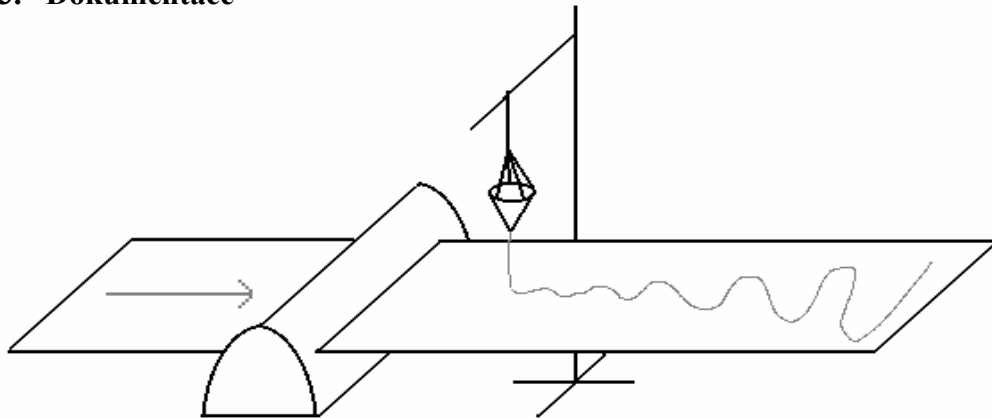
obr. 4.3.2.- demonstrace experimentu

V tomto případě je matematickým kyvadlem zavěšený trychtýř –obr 4.3.4., který má zúžený otvor a je naplněný jemným křemičitým pískem. Trychtýř je zavěšen na tyči uchycené na laboratorním stojanu, obr. 4.3.3. Písek je sypán na nekonečný papír, který je posouván navrženou pomůckou - obr. 4.3.5. Na stopě vytvořené pískem lze poté měřit amplitudy a útlum, který je při dostatečně dlouhém papíru viditelný.

U [V]	9	10	11	12
posun [mm/s]	47	54	61	68

tab. 4.3.1. – rychlost posouvání papíru

### 4.3.3. Dokumentace



obr 4.3.3. – princip fungování pomůcky



obr. 4.3.4. – kompletní pomůcka



obr. 4.3.5.- zavěšovaný trychtýř –se závažím



obr. 4.3.6.- zavěšovaný trychtýř



obr. 4.3.7. – pozorovaný záznam – s velkou výchylkou

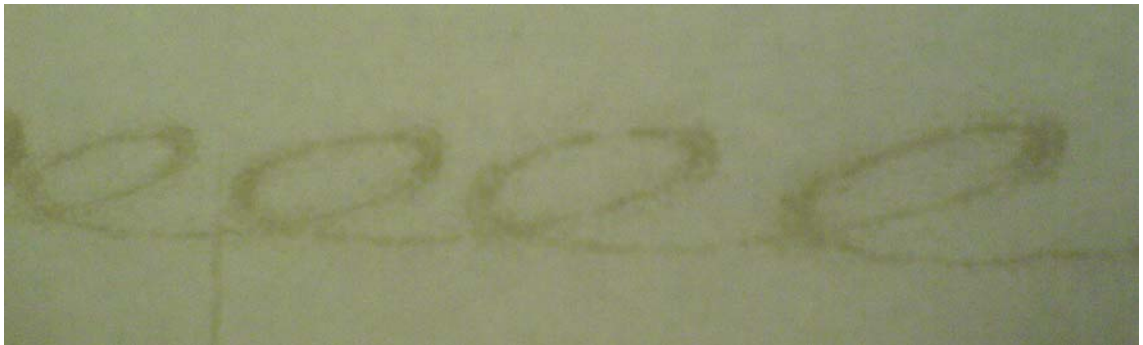




obr. 4.3.8. – pozorovaný záznam – s malou výchyľkou



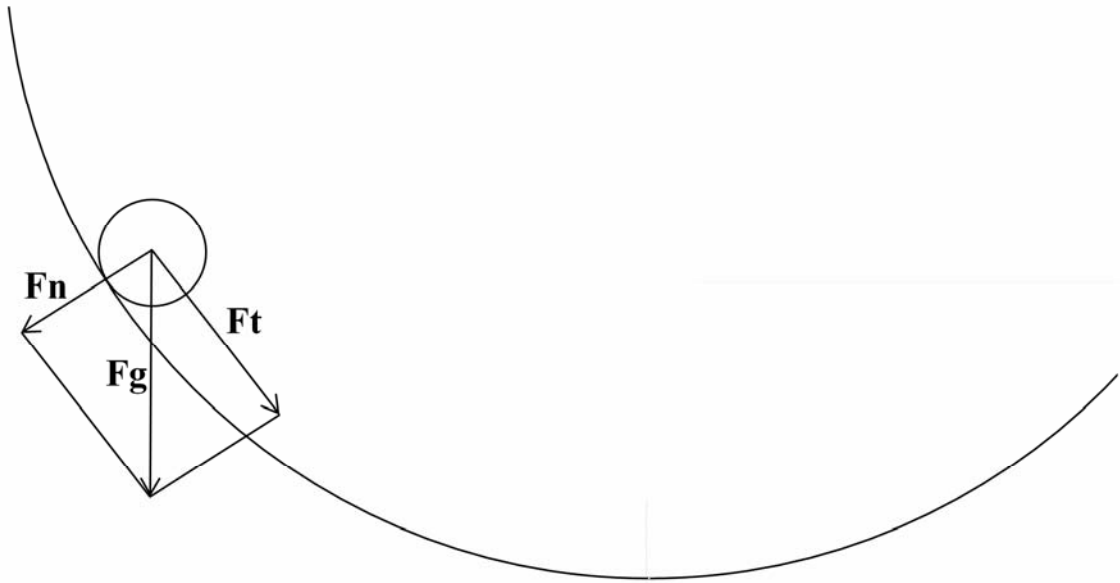
obr. 4.3.9. – pozorovaný záznam – s viditeľným útlumem



obr. 4.3.10. – pozorovaný záznam – špatné vychýlení

## 4.4. U - dráha

### 4.4.1. Teoretický rozbor



obr. 4.4.1. – U - dráha

Pro pohyb na U – dráze – viz obrázek obr. 4.4.1. platí: (3.9.), (4.4.1.)

$$F_t = F_G \sin \varphi \quad (4.4.1.)$$

Pro sílu  $F$  obecně platí (4.4.2.). Při porovnání této síly  $F$  a  $F_t$  dostaneme po vykrácení hmotností  $m$  vztah(4.4.3.).

$$F = m \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \quad (4.4.2.)$$

Za předpokladu, že pro malé uhly platí  $\sin \varphi = \varphi$  dostáváme vztah (4.4.3.).

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = g \sin \varphi \quad (4.4.3.)$$

a dále lze uvažovat jako pro matematické kyvadlo (4.4.4.), kde  $l$  je délka závěsu, což je v našem případě poloměr kruhového tvaru U - dráhy. Po dosazení a upravení dostaneme (4.4.5.) dalšími úpravami vyjde diferenciální rovnice (4.4.6.). Následně

řešíme metodou charakteristické rovnice, kde do(4.4.7.) dosadíme(3.4.) a máme výsledný tvar pro výpočet periody  $T$  (4.4.8.).

$$s = l\varphi \quad (4.4.4.)$$

$$l \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - g\varphi = 0 \quad (4.4.5.)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{g}{l} \varphi = 0 \quad (4.4.6.)$$

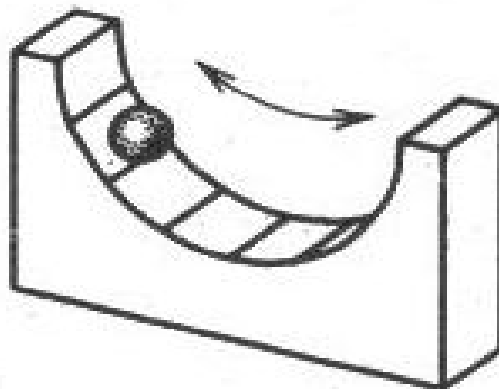
$$\omega^2 = \frac{g}{l}. \quad (4.4.7.)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (4.4.8.)$$

#### 4.4.2. Navržený experiment

K zařazení této pomůcky mě vedl obrázek, obr.4.4.2. uvedený v [19], [20].

Pro demonstraci U-dráhy stačí, postavit ji na vodorovnou plochu a pustit kuličku z jedné strany dráhy. Je možné zakreslovat lihovým fixem amplitudy a pozorovat, případně měřit útlum.



obr. 4.4.2. – U - dráha

	změřený čas t [s]	
	1.kulička	2.kulička
	11,20	11,03
	11,17	10,90
	11,14	11,20
	11,03	10,09
	11,18	11,03
	11,15	10,91
	11,17	11,07
	11,11	10,91
průměrné t [s] za 10 period	11,14	10,89

změřená perioda Tz [s]	0,897	0,918
------------------------	-------	-------

vypočtená perioda Tv [s]	0,941
--------------------------	-------

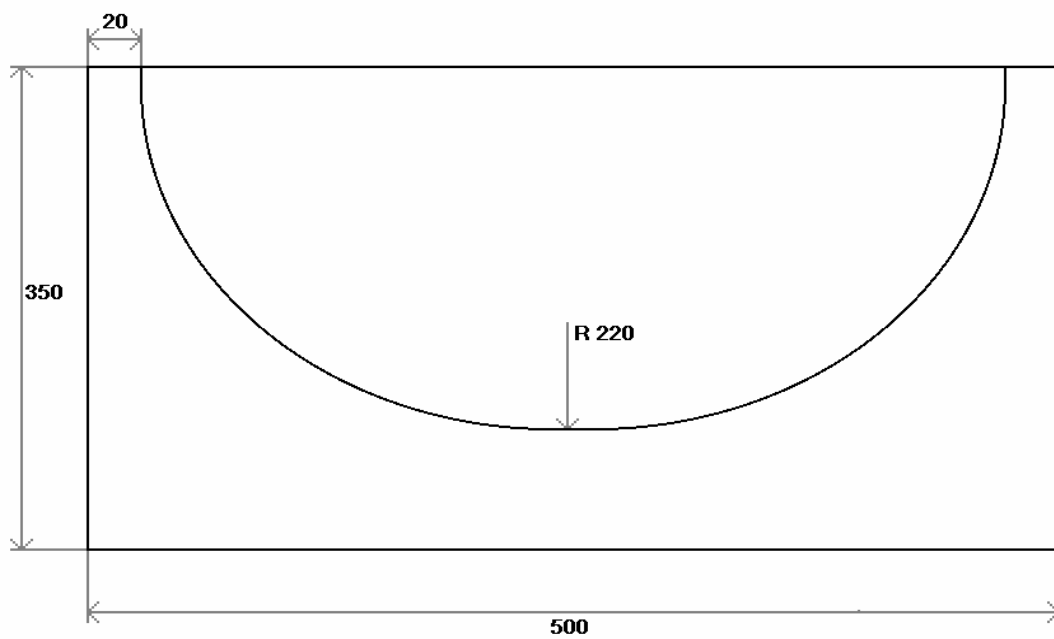
rozdíl period Tz a Tv [s]	0,044	0,023
---------------------------	-------	-------

tab. 4.4.1. – změřené a vypočtené hodnoty

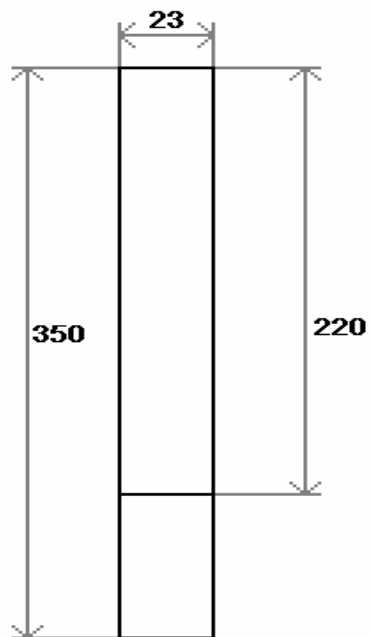


obr. 4.4.3. – U- dráha

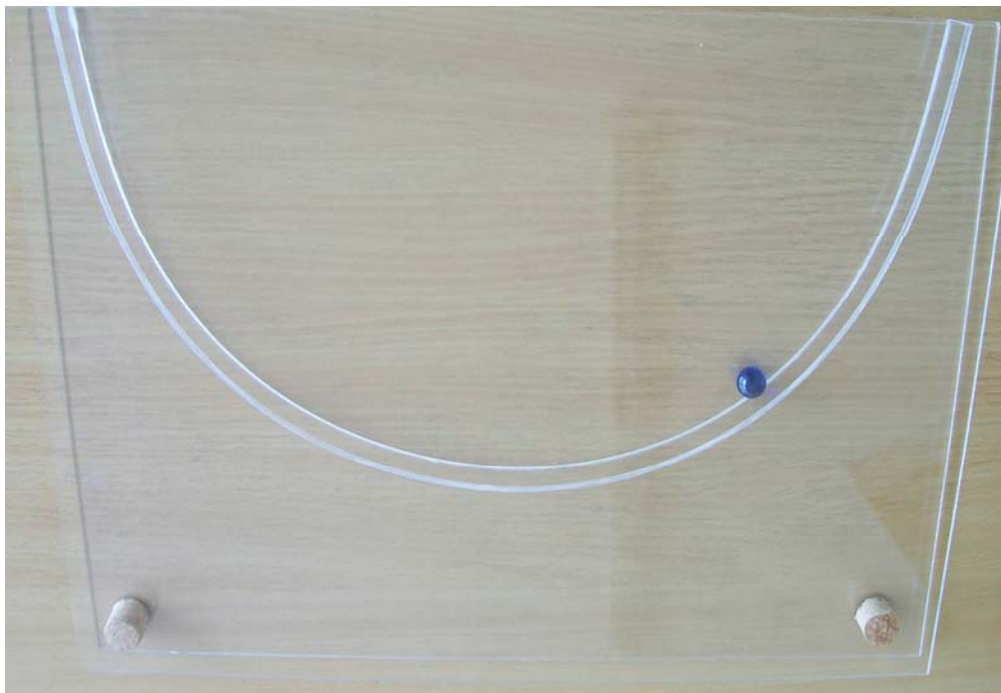
#### 4.4.3. Dokumentace



obr. 4.4.4. – nákres U-dráhy – nárýs



obr. 4.4.5. – nákres U - dráhy – bokorys



obr. 4.4.6. U-dráha s puštěnou kuličkou



obr. 4.4.7. – U-dráha – detail-kulička v pohybu

## 5. Závěr

Cílem této mé bakalářské práce bylo představit čtyři pokusy, které vysvětlují a dokazují určitý fyzikální zákon či jev z oblasti chvění, kmitání a akustiky.

Pomůcky byly voleny také tak, aby nebyly příliš finančně náročné a daly se vyrobit v jakékoli malé dílně.

Na Kundtově trubici je možné dobře pozorovat na polystyrénových kuličkách (nebo lépe na korkové drti) jasné kmitny a uzly - obr.4.1.9. , 4.1.10. Z naměřených vzdáleností mezi kmitnami resp. uzly lze určit vlnovou délku a následně ze známé frekvence vypočítat rychlost zvuku.

U kmitající tyčky lze dobře pozorovat kmitavý pohyb. Je nutné nastavit rychlost kol tak, aby nebyla příliš rychlá - tyčka by se zastavila a nebylo by možné nic odměřit. Otáčky nesmějí být ani příliš malé, jinak se tyčka také zastaví. Odvození vztahu pro periodu se dá ověřit za předpokladu, že známe nebo můžeme experimentálně změřit třecí sílu  $Ft$  a ze známé hmotnosti  $m$  a gravitačního zrychlení  $g$  určíme koeficient tření. Naměřené a vypočtené hodnoty period se liší u různých tyček do řádu jednotek sekund.

Na záznamu periodického pohybu v čase lze nastavit posouvání papíru variabilně. Při změně napájecího napětí o 1V se posuv zrychluje o  $7 \text{ mm s}^{-1}$ . Pozoroval jsem tyto obrazce obr. 4.3.7., obr. 4.3.8. , a na obr 4.3.9. je vidět i výsledek, když se trychtýř vychýlí nesprávně.

Na U – dráze je velice dobře pozorovatelný útlum periodického pohybu. Je možné ověřit velice přesně odvozený vztah pro periodu. Rozdíl vypočtené periody od experimentálně změřené vychází minimální, řádově v setinách sekundy.

Jednotlivé pomůcky splnily mé nároky, které jsem si stanovil a myslím si, že budou obohacením praktik.

## 6. Seznam použité literatury

- [1] Kašpar, E. : Didaktika Fyziky – obecné otázky. Praha, SPN 1978
- [2] Svoboda, E. – Kolářová. R. : Didaktika Fyziky základní a střední školy – Vybrané kapitoly. Praha, Karolinum 2006
- [3] Janus, H. : Pomôcky a didaktická Technika v 1. – 5.ročníku. Bratislava, SPN 1974
- [4] Wissenschaften, D. : Klenie pedagogische Enzyklopedie. Berlin, 1960
- [5] Ogorodnikov - Šimbiriov : Pedagogika. Bratislava, SPN 1965
- [6] Hapala, D. :Učebné pomôcky. Bratislava, SPN 1965
- [7] Javorskij B. M. - Selzněv Ju. A. - přeložil-Miroslav Brdička, M.: Přehled elementární fyziky. Praha, SNTL 1989
- [8] Brož, J. : Základy fyzikálních měření. Praha, SPN 1983
- [9] Krupka, F. – Kalvoda, L. : Fyzika. Praha, SNTL 1989
- [10] Pilát, K. : Kmitání a vlnění.Praha, Maják 1973
- [11] Kašpar, E. :Pokusy z fyziky na středních školách I. . Praha, SPN 1967
- [12] Halliday, D. - Resnick, R. - Walker, J.: Fyzika II – Mechanika , Termodynamika Brno, Prometheus 2001
- [13] Vesecká, J.: Kmitání, vlnění a akustika – Fyzika pro zahraniční studenty. Praha, Karolinum 2005
- [14] Liška, M. Šantavý, I. : Fyzika II – Elektromagnetismus, kmitání a vlnění optika, kvantová fyzika, atomová fyzika a fyzika pevných látek. Brno, SNTL 1981
- [15] Tolar, J. - Koniček, J. : Sbíрка řešených příkladů z fyziky – vlnění. Praha, ČVUT 1990
- [16] Tomášek, Z. : Fyzika – Mechanické kmity ,vlnění a akustika. Brno, SNTL 1977



- [17] Main, I. : Kmity a vlny ve fyzice. Praha, Acamedia 1990
- [18] Jáchym, Fr. - Tesař, J. : Fyzika pro 9. ročník základní školy. Praha, SPN 2000
- [19] Lepil, O. - Bednařík, M.- Hýbová, R.: Fyzika pro střední školy, II. díl.  
Praha, Prometheus 1996
- [20] Lepil, O. : Fyzika pro gymnázia – Mechanické kmitání a vlnění. Praha,  
Prometheus 1994
- [21] Kašpar, E.: Kapitoly z didaktiky fyziky I Praha SPN 1960
- [22] Kašpar, E.: Kapitoly z didaktiky fyziky II Praha SPN 1963
- [23] Svoboda, E. : Fyzika – pokusy s jednoduchými pomůckami.  
Praha Prometheus 2005
- [24] Stach V., Tesař J.: Fyzikální praktikum III, PF Č. Budějovice 1992
- [25] <http://www.ariane-schola.cz/vyrobky/vyber.htm>
- [26] <http://www.didaktik.cz/>