

Pokusy a projekty nejen pro letní tábory

Leoš Dvořák
katedra didaktiky fyziky
MFF UK Praha

V příspěvku zmíním některé experimenty a konstrukce, které vznikly na základě projektů na letních matematicko-fyzikálních táborech pro středoškoláky a menších jarních soustředěních pro posluchače učitelství. Stručnou informaci o charakteru těchto táborů a soustředění lze najít v [1], podrobnější informace budou publikovány v [2]. Výsledky řady projektů a náměty na další jednoduché přístroje byly již publikovány ve sbornících z konferencí Veletrh nápadů učitelů fyziky (viz odkazy v [1]).

K čemu takové pokusy

Proč se vůbec o pokusech a přístrojích z táborů a soustředění zmiňovat? Důvodů je víc:

- Mohou sloužit jako náměty na projekty na podobných fyzikálně zaměřených akcích pro středoškoláky.
- Lze je využít v přípravě budoucích učitelů fyziky.
- Uplatní se při práci v rozšiřujících seminářích na SŠ, v kroužcích fyziky apod.
- Řada z nich se může uplatnit přímo v hodinách fyziky na SŠ a ZŠ. A navíc:
- Poskytují inspiraci pro vývoj dalších variant jednoduchých přístrojů a experimentů, využitelných ve výuce fyziky.

Výhody takovýchto přístrojů a experimentů:

- Jde o konstrukce a pokusy **laciné**, využívající běžně dostupných materiálů a pomůcek, nepotřebujeme k nim špičkově vybavené fyzikální kabinet.
- Pokusy a přístroje jsou **jednoduché a názorné**, „je do nich vidět“, nejsou to tajemné „černé skříňky“, posilující představu, že fyzika je nepochopitelná a nesrozumitelná oblast.
- Ukazují, že **fyzika funguje i s věcmi z běžného života**, nejen se speciálními pomůckami a přístroji.
- Tyto přístroje a pokusy si mohou zhotovit a provádět **sami žáci a studenti**. Není zde asi třeba dodávat, jak jim to může upevnit sebevědomí, dává příležitost k rozvoji tvořivosti (při tvorbě ve skupinkách i k rozvoji spolupráce, komunikace atd.) a přispívá ke zvýšení zájmu o fyziku.
- Ve většině takových pokusů si lze **zvolit různou úroveň**. Prakticky tentýž pokus lze popisovat a vysvětlovat jednoduše a kvalitativně, nebo provádět přibližná měření a polokvantitativní odhady, případně usilovat o přesnější měření a hlubší vysvětlení... Se zájmem lze bez problémů dojít až třeba na úvodní vysokoškolskou úroveň – a často se z takového pokusu mohou v lecčems přiučit i vysokoškoláci. (Musím říci, že já sám se z nich učím dodnes. A velice rád.) Z pokusů se proto snadno vyvinou náměty i na rozsáhlejší projekty.

Využití podobných pokusů a konstrukcí je jednou z forem, jak uplatnit **aktivizující přístupy ve výuce fyziky**. Řečeno méně vznešeně, umožní to žákům a studentům, aby si na fyziku sami „sáhli“. Respektive, jak říkáme ve rčení, které se tak trochu stalo naším sloganem a které vystihuje naše snahy, aby se fyziky dotkli *vlastníma rukama a hlavou*.

Příklady pokusů a přístrojů

Zvažte zrnko písku

Nejrůznější konstrukce malých vah lze vyrábět z papíru, špejlí, brček, špendlíků a kousků nití. Motivací žáků může být například pobídka: *Zkuste udělat váhy, které zvaží zrnko písku!* Jako závaží se hodí kancelářský papír. Ten běžný, „osmdesátigramový“ má hmotnost 80 g/m^2 , to znamená, že jeden cm^2 má hmotnost 8 mg. Žákům na ZŠ raději nebudeme plést hlavu

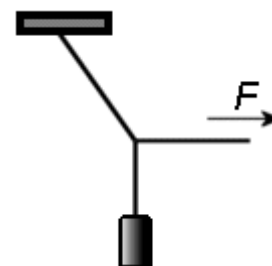
termínem „plošná hustota“, je otázkou, zda to takto precizovat na SŠ. Podstatné je, aby bylo žákům jasné, že mohou lehce udělat závažíčko 10 mg. Na svých vážkách pak ověří, že mohou vážit i předměty o hmotnosti několik miligramů. A kolik váží takové zrnko písku o průměru třeba milimetr? Jestliže decimetr krychlový vody má hmotnost 1 kilogram, tak centimetr krychlový má tisíckrát méně, tedy 1 gram, a krychlička vody o straně 1 mm má 1 mg. Naše zrnko písku je určitě těžší... Podobnými úvahami lze u žáků rozvíjet „fyzikální cit“ pro vztah veličin délka, plocha, objem, hustota a hmotnost. Většina fyziků by se asi shodla na tom, že tento fyzikální cit a intuitivní pochopení jsou důležitější, než formální znalost vzorečku, do něhož žák jen nazdařbůh něco dosazuje.

Na poněkud hlubší úrovni můžete začít rozebírat otázky citlivosti vah. (Při zadání „sestrojte nějaké váhy ze špejlí“ žáci a studenti často vytvoří váhy, které se překlápějí na jednu či druhou stranu i při sebelepším vyvážení. Výborná příležitost, jak si uvědomit souvislost stability a citlivost vah s polohou těžiště!) Kdybyste chtěli jít ještě hlouběji, nabízí se třeba průhyb vahadla – či, na pragmatičtější úrovni, otázka, jak tomuto průhybu zabránit...

Siloměry tradiční i netradiční

Na letošním letním táboře pro středoškoláky byl úvodní „miniprojekt“ na část dopoledne zadán pokynem: Sestrojte libovolný siloměr“. Sami jsme byli překvapeni, kolik typů siloměrů účastníci vytvořili. V siloměrech pružinového typu byly natahovány pružiny, gumičky i kroucená telefonní šňůra. (Nevěřil bych tomu, ale fungovala.) Jiný typ siloměru využil ohýbání špejle.

Velmi zajímavý typ siloměru využil skládání sil: měřené síly ve vodorovném směru, svisle působící tíhy závaží a síly v šikmém lanku. Úhel, který lanko svíralo se svislicí, sloužil k určení síly F . Jednoduché – a přitom (alespoň teoreticky) měřící síly od nuly až do nekonečna! Okalibrování takového siloměru dá žákům příležitost prakticky se seznámit s funkcí tangens. (A to i pokud goniometrické funkce ještě neznají. Ostatně pojmy „funkce“ a „tangenta“ nemusí v diskusi vůbec padnout. Jak říká Shakespeare „Co je po jméně...“.)



Vynalézavost žáků a studentů nezná mezí. V jedné z konstrukcí byl základním prvkem „klips“ na sepnutí kancelářských papírů. Vaši žáci třeba přijdou se siloměrem z kolíčku na prádlo nebo s něčím podobným.



Inspirujeme-li se z uvedených nápadů, můžeme vylepšit třeba známý pokus se dvěma siláky tahajícími lano, v jehož prostředku je zavěšeno závaží. Snad žádný silák se reálně nenachytá na sázku, aby vypnul lano do úplné přímky – ale my můžeme v tomto pokusu lehce změřit sílu, kterou je lano napínáno. Stačí změřit jeho „prověšení“ oproti vodorovnému směru. Jak realizovat přímku (resp. úsečku), vůči níž budeme prověšení lana měřit? Třeba kouskem dostatečně napjaté kloboukové gumičky. Na závěs závaží připevníme papírovou stupnici a můžeme měřit. Jde vlastně stále o jednoduchou úlohu na rozklad sil, ale dotaženou do praktického kvantitativního měření. (Chcete-li zde hloubat na hlubší úrovni, můžete zkoumat, jak se prohýbá sama gumička, a dojít až třeba k odvození řetězovky...)

Hrající destička (model reproduktoru)

Další konstrukci můžete využít k docela působivé demonstraci působení magnetického pole na vodič s proudem. Vezměte kousek tužší destičky z pěnového polystyrénu. Stačí čtverec 5 x 5 až 10 x 10 cm tloušťky 1 až 2 cm. Po obvodu destičky navíjete několik desítek závitů tenkého smaltovaného měděného drátu, třeba ze starého rozebraného transformátoru. Vyhoví

drát o průměru zhruba 0,2 až 0,3 mm, celkový odpor drátu by neměl být menší než asi 8 Ω . Vývody této cívky vyvedte pružným tenkým kablíkem. Destičku pevně omotejte izolepou či podobnou lepicí páskou tak, aby závitů drátu byly pevně přitlačeny k destičce.

Přiblížíte-li ze strany k této cívce silný magnet (tak, aby siločáry magnetického pole byly zhruba rovnoběžné s destičkou) a připojíte vývody od cívky např. k ploché baterii, destička sebou „cukne“: na závitů, kterými prochází proud, působí síla, a ta pohne celou destičkou. To nejzajímavější ale nastane, když přívody cívky připojíme k výstupu zesilovače do kterého přivádíme nějaký hudební signál, třeba z magnetofonu. Destička bude skutečně hrát! Přidržíte-li si ji u ucha, zjistíte, že poslech je až překvapivě kvalitní. (Nezapomeňte přitom v blízkosti závitů držet magnet, oddálíte-li ho, destička samozřejmě umlkne. A ještě jedna poznámka: Dejte pozor, abyste vývody ze zesilovače nezkratovali, nebo aby cívka neměla příliš nízký odpor. V obou případech hrozí poškození zesilovače. Bezpečnější je využít některého z malých několikawattových zesilovačů, které lze levně, někdy jako stavebnici, koupit v prodejnách potřeb pro elektroniku. Takový zesilovač stačí napájet ze dvou až třech plochých baterií.)

Hlasitost naší „hrající destičky“ sice není největší, zato je celá konstrukce asi nejjednodušším modelem skutečného elektrodynamického reproduktoru. Chcete-li, můžete hlasitost zvýšit použitím vhodné membrány.

I u této konstrukce by nás podrobnější rozbor mohl zavést značně daleko, například k otázkám týkajícím se akustické impedance, což už přesahuje i úvodní vysokoškolské kurzy. Ovšem přibližně vypočítat a změřit sílu působící na destičku lze i na středoškolské úrovni. A slyšet destičku hrát a cítit v ruce její chvění, to je docela zajímavý zážitek pro každého.

Vlnění na gumičce

Zůstaneme-li v oblasti vlnění a akustiky, je užitečnou pomůckou, na níž lze demonstrovat mnohé vlastnosti posuvného i stojatého vlnění, obyčejná klobouková guma. Na napjaté gumě dlouhé např. 5 m, jejíž jeden konec je pevně uchycen, lze ukazovat například • šíření vlny (jednoho pulzu vzniklého vychýlením a puštěním gumičky), • odraz na pevném konci (včetně změny fáze), nebo • stojaté vlny s jednou i několika půlvlnami, připadajícími na celou délku gumičky (stačí gumičku na jednom konci rozkmitávat rukou).

Kvalitativně lze demonstrovat fakt, že vyšší frekvenci (rychlejšímu kmitání) odpovídá kratší vlnová délka. A také skutečnost, že při vyšším napětí gumičky je vyšší rychlost šíření vln (a při stejné vlnové délce je vyšší frekvence). Tak lze alespoň kvalitativně ilustrovat vztah $\lambda = v/f$ a případně vztah pro rychlost šíření příčných vln na struně.

Ověření daných vztahů lze však přibližně provést i kvantitativně. Necháme-li puls odrážet se tam a zpět, dá se změřit, kdy se vrátí podesáté, tedy čas, za který uběhne 100 m. Odtud již lehce určíme rychlost šíření vln. (Vychází zhruba 15 až 30 m/s. To není právě málo – a je vlastně docela působivé, moci takto jednoduše změřit ve třídě rychlost přesahující 100 km/h.) Podobně lze lehce změřit (např. z deseti kmitů) periodu kmitů a z ní vypočíst frekvenci. Vztah mezi frekvencí, vlnovou délkou a rychlostí šíření vln pak můžeme ověřovat i kvantitativně. (Při běžných měřeních ve třídě sice nemůžeme očekávat přesnost větší než asi 10 %, ale i tak bývají výsledky pro žáky docela přesvědčivé.)

Velmi hezké jsou demonstrace stojatých vln kratších vlnových délek. Při nich ovšem už nevystačíme s buzením vln rukou, protože frekvence je příliš vysoká. Pomůže například akumulátorová ruční vrtačka, do jejíhož sklíčidla upneme místo vrtáku malou „kličku“ z tlustšího měděného drátu (průměr 4 až 6 mm). Stačí, když se drát při chodu vrtačky vychyluje o necelý centimetr. Gumičku dokáže rozkmitat s amplitudou o dost vyšší. Výhodou akumulátorové vrtačky je možnost regulovat rychlost otáček. Ještě vyšší rychlost nabízejí

malé ruční „minivrtáčky“ určené např. pro vrtání děr do desek s plošnými spoji (jsou za cenu okolo tří set korun k dostání v prodejnách potřeb pro elektroniku). Rychlost jejich otáček lze regulovat napětím (jedna či dvě ploché baterie) a případně přibrzdováním sklícidla prstem. (Motorek dané vrtáčky nemá velkou sílu, jinak je ovšem samozřejmé, že při daných pokusech je potřeba dodržovat rozumné zásady bezpečnosti – přece jen zde máme i rychle rotující části a je potřeba hlídat, aby se na ně někomu např. nenamotaly vlasy, volný konec drátěné kličky někoho neškrábl apod.)

Efektivním způsobem, jak budít na gumičce stojaté vlny, je využít vibračního holicího strojku. Stejně jako při buzení vrtáčkou jsou zde velice názorně vidět kmitny a uzly. Při všech těchto pokusech můžeme navíc kromě chování na pevném konci ukázat i chování stojatých vln na volném konci. Stačí konec gumy nepřivazovat k pevnému bodu přímo, ale přes delší nit.

Kromě kvalitativních ukázek se i zde otevírají možnosti kvantitativního měření. Stačí dát třeba úkol, změřit pomocí stojatých vln frekvenci otáčení vrtáčky nebo frekvenci kmitů holicího strojku. A to, jak hluboko by šlo jít v teoretickém rozboru vln na struně, snad není nutno příliš rozvádět. Žáky, kteří dávají přednost historickým souvislostem, by zase mohla zaujmout zmínka o pokusu M. Mersenna z r.1648, jímž pomocí kmitů struny poprvé změřil frekvenci tónů.

Některé další informace, návody a komentáře týkající se vlnění na gumičce, doplněné ilustrativními fotografiemi, se připravují k publikaci v elektronické formě na webových stránkách projektu Heuréka [3].

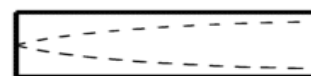
Měření rychlosti zvuku zahradní hadicí

Titulek trochu přehání. Kromě kusu dostatečně silné zahradní hadice budeme potřebovat ještě mikrofon a počítač se zvukovou kartou – a program, který nám z počítače udělá osciloskop. Ovšem počítač je už dnes tak běžnou záležitostí, že ho můžeme považovat také za jednoduchou pomůcku. A mikrofon k němu můžeme koupit za cenu i pod sto korun.

Sice starší, ale velmi pěkný software, který váš počítač se zvukovou kartou dovolí využít jako osciloskop, je program Winscope autora K. Zeldoviče. Pro vzdělávací účely je k dispozici zdarma; stáhnout si jej můžete např. ze sekce Dílna serveru Fyzweb [4]. (Stahování nebude trvat moc dlouho ani při pomalém připojení – je k neuvěření, že tak flexibilní program, jakým Winscope je, se vejde do jediného souboru velikosti necelých 100 kB.)

Nebudeme zde detailně popisovat, jak pomocí programu Winscope ukázat časový průběh signálu zachyceného mikrofonem nebo jeho spektrum. (Krátký návod na obsluhu tohoto programu bude publikován na [3], základní informace jsou i na serveru [4].) Pojdme se raději podívat, jak změřit rychlost zvuku pomocí zmíněné zahradní hadice. Tu použijeme jako model australského lidového nástroje *didjerydu*, což je dlouhá roura, do níž na se na jednom konci fouká tak, aby přitom rty kmitaly. Nástroj vyluzuje hluboký „bručivý“ tón. Podobně zní například dva metry dlouhý kus zahradní hadice o vnitřním průměru několika centimetrů. Nacpeme-li do jednoho konce ústa, podaří se nám po troše cviku vyloudit hluboký, dost legračně znějící tón. (Zpočátku se to moc nedaří a z hadice zní leccos. Rty musejí opravdu volně kmitat a správný tón je hodně hluboký.) Frekvenci tohoto tónu změříme, vynásobíme vlnovou délkou a dostaneme naměřenou rychlost zvuku.

Jak je to s vlnovou délkou vydávaného zvuku? Musíme si uvědomit, že svými ústy ucpáváme jeden konec hadice, takže ta funguje jako na jednom konci uzavřená píšťala. Rozložení kmitů a uzlů pak odpovídá v učebnicích uváděnému obrázku – na délku hadice tedy připadá čtvrtina vlnové délky. (V diskusi se často objeví námitka, že svými rty rozkmitáváme vzduch v hadici a že tedy na tomto konci by neměl být uzel, ale spíš kmitna.



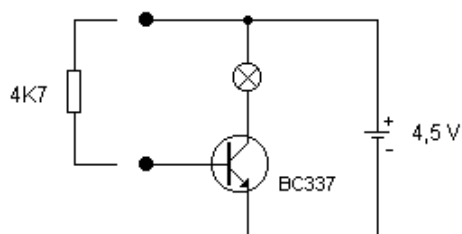
Zde pomůže předchozí zkušenost se stojatým vlněním na hadici: v místech, kde jsme hadici rozkmitávali rukou, vrtačkou nebo holicím strojkem, také nebyla kmitna, ale prakticky uzel.) Pro hadici dlouhou dva metry je $\lambda = 8$ m. Programem Winscope naměříme v tomto případě základní frekvenci kmitů asi 42 až 43 Hz. Rychlost zvuku pak vychází okolo 340 m/s.

Přesnější měření by vyžadovalo jednak kvalitnější (a dražší) software pro měření frekvence zvuku a jednak uvážit na jedné straně korekci na průměr píšťaly (hadice) a jednak fakt, že do hadice foukáme, takže v ní ovlivňujeme teplotu i vlhkost vzduchu. Měřit takto rychlost zvuku s přesností vyšší než několik procent se nám proto asi nepodaří. Na druhé straně tato přesnost ve škole v řadě případů stačí a rozhodně jde o měření pro žáky docela atraktivní.

Nemáme-li zahradní hadici, můžeme foukáním na hranu rozeznít na druhém konci ucpanou trubku od vysavače nebo zapískat na uzávěr od fixky a rychlost zvuku určovat postupem popsáním výše. (S uzávěrem od fixky vychází měření o něco hůře, ale stále s odchylkou do deseti procent od tabulkové hodnoty.)

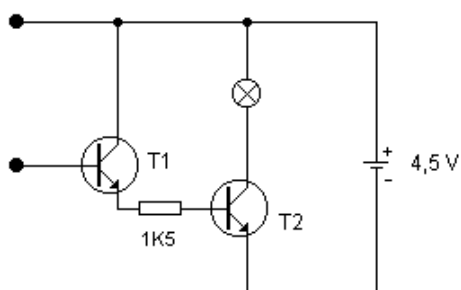
Indikátor s tranzistorem aneb „nanoampérmetr za dvacku“

Pro názorné seznámení s funkcí tranzistoru se dobře hodí názorná pomůcka, v níž malým proudem do báze tranzistoru řídíme proud několik desetin ampéru tekoucí kolektorem do malé žárovčky. Jako velmi vhodné se ukázalo realizovat celou konstrukci na malém prkénku, do něhož zatlučeme mosazné hřebíčky, na něž připájíme vývody součástek. Rozložení součástek přímo kopíruje schéma, vše je vidět, nic není zakryto a se vším lze volně experimentovat. (Chceme-li dát žákům tuto konstrukci do rukou pro libovolné experimentování, je dobré zapojit do přívodu k bázi ochranný rezistor o odporu asi 1 k Ω . Při přímém spojení báze s kladným pólem baterie by se totiž tranzistor zničil velkým proudem.)



Místo připojování různě velkých odporů mezi bázi a kladný pól zdroje je možno sem připojit starý rozebraný potenciometr o odporu 10 až 25 k Ω a odpor měnit tak, že se drátem dotýkáme odporové dráhy v různých místech. Žáci si tak mohou názorně vyzkoušet, co to znamená „otevírat“ a „zavírat“ tranzistor různě velkým proudem do báze. Chceme-li, můžeme na našem „zařízení“ provádět také kvantitativní měření. Můžeme měřit proud do báze potřebný k rozsvícení žárovky (bude řádu desetin mA), z tohoto měření odhadnout proudový zesilovací činitel tranzistoru a porovnat ho s hodnotou naměřenou např. multimetrem.

Naši jednoduchou konstrukci můžeme dále rozvíjet. Proud do báze tranzistoru T2 lze řídit

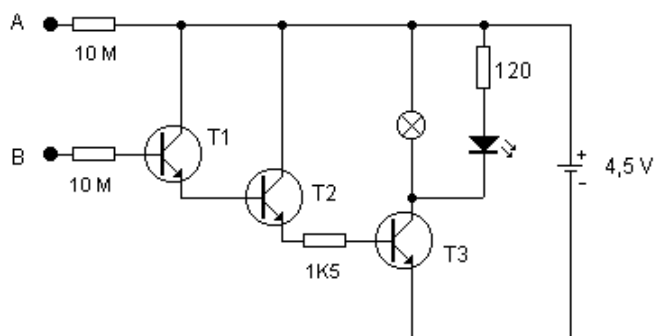


dalším tranzistorem, tak, jak to ukazuje schéma. Pro rozsvícení žárovky stačí do báze tranzistoru T1 přivést proud řádu mikroampér či desetin mikroampéru. (Záleží na velikosti proudových zesilovacích činitelů obou tranzistorů. Poznamenejme, že můžeme užívat ty nejlacinější křemíkové tranzistory typu NPN; tranzistor T2 ovšem musí vydržet proud žárovkou.)

Žárovka se rozsvítí, když mezi vstupní svorky přístroje zapojíme rezistor o odporu menším než asi megaohm či několik M Ω . Takový je řádově i odpor kůže, takže žárovka se rozsvítí, i když svorky spojíme rukama. Někdy máme ovšem ruce velmi suché, odpor je příliš velký a proud k rozsvícení žárovky nestačí. To nám na jedné straně umožní diskutovat o závislosti odporu

kůže na stavu člověka (třeba v souvislosti s „detektory lži“) a na druhou stranu je výzvou ke konstrukci ještě citlivějšího indikátoru.

Vyšší citlivosti dosáhneme zařazením ještě jednoho stupně zesilujícího proud. Výslednou konstrukci ukazuje schéma.



Pro rozsvícení žárovky pak opravdu stačí proud do svorky B řádu nanoampér. Snadno tedy můžeme demonstrovat, že i velmi suchýma rukama protéká nějaký proud (což jsme na některých demonstracích uváděli sloganem „nikdo nejsme nekonečně odporný“). Kromě toho se ukázalo, že citlivost přístroje je tak vysoká, že reaguje i na malé změny náboje vyvolané změnami elektrostatického pole. Náš indikátor proto můžeme využít i v řadě pokusů z oblasti elektrostatiky – viz podrobnější popis v [5]. Přitom cena součástí je opravdu nižší než cena jedné ploché baterie, která přístroj napájí.

Další náměty

Rozsah příspěvku nedovoluje podrobněji zmínit další náměty, například jednoduchá měření modulu pružnosti měděného drátu a jiných materiálů, jednoduché indikátory tepelné roztažnosti, „sluneční pec“ z řady zrcátek, přibližná měření solární konstanty, dvoustupňovou Heronovu fontánu... Snad někdy příště.

Závěr

Soustředění se středoškoláky i s budoucími učiteli fyziky přinášejí opravdu mnoho zajímavých a inspirujících nápadů na projekty, pokusy a konstrukce přístrojů. Pokud byste měli zájem zúčastnit se třeba našeho jarního neformálního soustředění pro posluchače učitelství fyziky a „spřízněné duše“ na Malé Hrašticí (představu o nich vám mohou dát webové stránky [6]), dejte nám vědět. Stačí e-mailem na adresu Leos.Dvorak@mff.cuni.cz.

Literatura:

[1] Dvořák L.: Vlastníma rukama a hlavou: aktivizující formy práce se středoškoláky a budoucími učiteli fyziky. In: Sborník z konference DIDFYZ 2002, Račkova dolina, 16.-19.10.2002. Ed.: Ľ. Zelenický. FPV UKF, Nitra 2003, s.81-87.

[2] Dvořák L.: Příspěvek na semináři JČMF „Aby fyzika žáky bavila“, Vlachovice, říjen 2003, Ed. R.Kolářová, bude publikováno.

[3] <http://kdf.mff.cuni.cz/Heureka/>

[4] <http://fyzweb.cuni.cz>

[5] Dvořák L.: Netradiční měřicí přístroje 2: Indikátor malých proudů. In: Sborník z konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 7, Prometheus, Praha 2002. s. 149-152.

[6] <http://kdf.mff.cuni.cz/Hrastice/>