

## Netradiční měřicí přístroje

LEOŠ DVOŘÁK

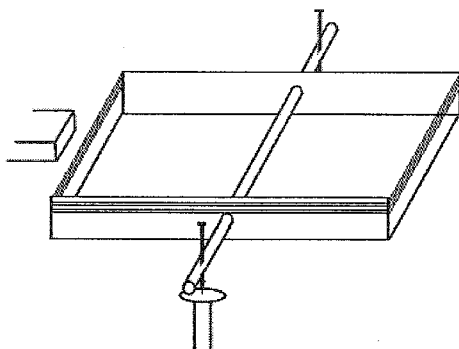
Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

„...nejlépe studenti fyziku pochopí, jestliže si sami zkonstruují potřebné měřicí přístroje.“ – zhruba tak na Veletrhu nápadů citoval prof. Wilke akademika Kapicu. Ve svém příspěvku bych chtěl do této oblasti přispět třemi náměty, které mohou realizovat a nejrůznějším způsobem modifikovat sami žáci a studenti. Jde o přístroje dostatečně jednoduché a názorné, jejichž princip činnosti je srozumitelný i na úrovni základní školy. Jak však bylo alespoň na jednom z námětů ověřeno, jejich konstrukce může být zajímavá i pro vysokoškoláky – budoucí učitele fyziky.

### „Vážení“ magnetického pole

První přístroj umožňuje přibližné měření velikosti magnetické indukce  $B$ . Měření může sloužit jako příklad aplikace známého vztahu pro sílu působící na vodič s proudem:  $F = BI l$ . Ze známého proudu  $I$ , délky vodiče  $l$  a změřené síly  $F$  spočteme  $B$ . Sílu  $F$  určíme vážením.

V praktické konstrukci jsou váhy vytvořeny z obdélníkového kusu kartonu (obr. 1). Délka může být asi 20 cm až 30 cm, šířka zhruba 10 cm. Na jeho dvou delších stěnách zahneme do pravého úhlu proužky v šíři asi 2 cm, takže vznikne jakési „korytko“. Středů ohnutých proužků propícháme a protáhneme jimi špejli. Na každé straně vah špejli propícháme špendlíkem (tak, aby špendlíky byly rovnoběžné). Špičky špendlíků budou tvořit „brity“ vah.



Obr. 1

Dosedat budou na hlavičky dvou hřebíků, které zatlučeme do kousku prkénka. Je vhodné užít hřebíky se širšími plochými hlavičkami.

Posouváním špendlíků ve špejli můžeme vážky nastavit tak, aby byly dostatečně citlivé. Zde lze diskutovat, na čem závisí citlivost vah, proč se při příliš vysunutých špendlicích vážky „kácí“ na jednu či druhou stranu a nedrží v rovnovážné poloze, mohli bychom řešit úlohy, jak hluboko pod spojnicí špiček špendlíků je těžiště atd. atd. Konstrukci přístroje lze opravdu využít k hlubšímu pochopení příslušných partií fyziky.

Výslednou polohu špendlíků ve špejli se osvědčilo fixovat zakápnutím kalafunou, užívanou při pájení. Lze ji lehce nanést pistolovou páječkou a v případě potřeby opět rozehrát a špendlík posunout. Z dalšího špendlíku, kterým propíchneme špejli, lze vytvořit ručičku vah, indikující rovnovážnou polohu (špendlík směřuje dolů oproti značce, kterou uděláme na prkénku). Vyzkoušejte si, že pootáčením špejle vůči kartonu lze rovnovážnou polohu „doladit“, protože se tím vůči rameni vážek posouvá bod, v němž jsou podepřeny. V souvislosti s tímto nastavováním lze se žáky diskutovat, jaký vliv má na rovnovážnou polohu a na citlivost vah změna polohy těžiště vůči bodu, v němž jsou váhy podepřeny.

Prozatím jsme zkonstruovali normální vážky. Chcete-li, můžete je se žáky využít k vážení lehkých předmětů, asi tak od desetiny gramu. Závažičky na vyvažování mohou být kousky běžného kancelářského papíru. Je-li „osmdesátigramový“, znamená to, že  $1 \text{ m}^2$  váží 80 g. Takže  $12,5 \text{ cm}^2$  váží právě 0,1 g.

Pro určení síly, kterou magnetické pole působí na vodič, navineme drát přímo kolem celých vah – podél bočních stěn, rovnoběžně s kartónovou „základnou“ vah. Lze užít vcelku libovolný smaltovaný měděný drát (ne extrémně tenký) nebo tenčí zvonkový drát. V prototypu přístroje stačilo 10 závitů; vyšší počet závitů bude znamenat vyšší citlivost vah.

Proud do vodiče bude dodávat baterie umístěná přímo na samotných vahách (na základní kartónové desce). V prototypu vyhověly dvě tužkové baterie zapojené v sérii. Byly umístěny v držáku, který se běžně prodává v řadě prodejen elektro. (Vhodnější je držák, ze kterého jsou vyvedeny dráty, než ten s nástrčkovými kontakty.) Baterie jsou nejtěžší částí vah, proto musí být umístěny pod špejli, tvořící osu vah. Nejjednodušší způsob upevnění baterií je nacpat držák těsně mezi kartónovou základnu a špejli. Posouváním baterií lze pak zhruba nastavit rovnováhu.

Proud do závitů nebudeme z baterie pouštět přímo, ale přes žárovíčku 3,5 V, 0,2 A nebo 0,3 A, kterou také připevníme na váhy, např. z boku. Žárovíčka omezí protékající proud a umožní nám dostatečně přesně odhadnout

jeho velikost, takže se obejdeme bez ampérmetru. Povolení a dotažení žárovničky v objímce navíc nahradí vypínač.

Možností, jak modifikovat popsanou konstrukci, je celá řada (např. základní část vážek z pěnového polystyrénu místo z kartónu, větší počet závitů, závěs vážek na nitích apod.).

Magnet, jehož magnetickou indukci chceme měřit, budeme přibližovat z boku ke kratší straně vážek. Sílu  $F = BIl$ , působící na vodič s proudem, musíme násobit počtem závitů  $n$ .

Největším zdrojem nepřesností je určení délky  $l$ . Ve skutečnosti je magnetická indukce různá v různých místech, a tak bychom správně sílu měli určit integrací podél vodiče. (Navíc síla působí i na části závitů podél delších stěn, takže správně bychom měli integrovat nikoli sílu, ale moment síly vzhledem k ose vah.) Je tedy jasné, že naše vážky nám umožní určit jen jistou „průměrnou“ resp. spíše charakteristickou hodnotu velikosti magnetické indukce  $B$ . Přiblížíme-li k závitům například tyčový magnet, můžeme za délku  $l$  vzít šířku magnetu. Vzdálíme-li poněkud magnet, můžeme si představit, že siločáry magnetického pole „zasáhnou“ delší část vodiče a  $l$  poněkud zvětšit.

Vlastní měření probíhá tak, že při přiblížení magnetu se vážky vychýlí z rovnovážné polohy. Pokud rovnováhu obnoví závažíčko o hmotnosti  $m$  (např. z kousku papíru), položené na druhý konec vah, je  $Bln = mg$ , kde  $g$  je tíhové zrychlení. Naměřená hodnota  $B$  je tedy

$$B = \frac{mg}{nIl}.$$

Pokud závažíčko nedáváme až na konec vah, objeví se samozřejmě ve výsledném vzorci navíc poměr vzdáleností od osy. Velikost  $B$ , kterou můžeme vážkami změřit, odhadneme z typických hodnot  $m = 0,1$  g,  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>,  $I = 0,2$  A,  $l = 2,5$  cm,  $n = 10$  na  $B = 20$  mT. To je řádová velikost magnetické indukce blízko běžného tyčového školního magnetu. Citlivost vážek lze nastavit tak, že indikují i o dost menší síly. Našimi vážkami lze tedy měřit hodnoty  $B$  od několika militesla i méně (pokud bychom zvýšili počet závitů).

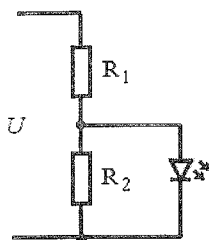
Naše měření je samozřejmě jen značně přibližné. Porovnání s teslametrem ukáže, že odchylky mohou být padesát procent i více. Měření je však názorné (nejde o žádnou „černou skříňku“), jasně ilustruje působení magnetického pole na vodič s proudem a umožní žákům a studentům udělat si představu o velikosti magnetické indukce běžně dostupných magnetů. Domnívám se proto, že podobný jednoduchý přístroj a jeho výroba mohou najít své místo ať už přímo v hodinách fyziky či v různých nepovinných předmětech, kroužcích, v rámci SOČ apod.

### „Panelový“ voltmetr s LED

Následující konstrukce může studentům pomoci ujasnit si, jak funguje dělič napětí ze dvou rezistorů.

Svítivá dioda (LED) začíná svítit od napětí asi 1,7 až 1,8 V (červená dioda), resp. asi 2 V (zelená). Uvažujme zelenou diodu a pro jednoduchost předpokládejme, že začíná svítit při napětí přesně 2 V. Při nižším napětí nesvítí a neodebírá prakticky žádný proud.

Jestliže jsou v zapojení podle obrázku odpory rezistorů  $R_1$  a  $R_2$  stejné,  $R_1 = R_2$ , je při napětí  $U$  nižším než 4 V na svítivé diodě polovina napětí  $U$  – tedy méně než 2 V a dioda nesvítí. Rozsvítí se, až napětí  $U$  přesáhne 4 volty.



Volbou poměru  $R_2/(R_1+R_2)$  můžeme nastavit mez napětí  $U$ , při němž dioda začne svítit. A zde se již naskytá téma pro malíčky „týmový projekt“: Skupinky žáků či studentů vytvoří každá svou „měřicí jednotku“ – s různými hodnotami napětí  $U$ , při nichž diody začnou svítit (3V, 4 V, 5 V, ...). Zapojíme-li pak všechny jednotky paralelně, získáme tak jednoduchý voltmetr, který bude počtem rozsvícených diod indikovat velikost napětí.

Praktická konstrukce může využít technologie již popsané v loňském sborníku Veletrhu nápadů: pájení součástek na malé mosazné hřebíčky zatlučené do kousků prkének. Žáci tak mají příležitost pocvičit se v pájení. (Popravdě řečeno se na dané konstrukci rádi pocvičili i budoucí učitelé fyziky, v dané chvíli posluchači 2. ročníku. Dlužno říci, že někteří dle svých slov pájeli prvně v životě.) Prkénka lze pak spojit do společného panelu, takže výsledné měřidlo je opravdu „panelové“.

Přesnost měření není ovšem nijak závratná. Překročení nastaveného napětí není indikováno náhlým silným rozsvícením diody; pár desetin voltu nad zvoleným napětím je svit poměrně slabý. Ale rozdíly větší než asi čtvrt voltu již celkem spolehlivě rozlišíme. Náš voltmetr má také značnou spotřebu. Ta závisí na hodnotách rezistorů. Je vhodné volit hodnoty  $R_1$  zhruba kolem  $220 \Omega$  – dejme tomu mezi  $150 \Omega$  a  $270 \Omega$ . Vyšší hodnoty znamenají slabší svit, nižší hodnoty zas vyšší spotřebu a případně přetěžování diod vyšším proudem.

K rutinnímu měření napětí se tedy vytvořený voltmetr nehodí. Ovšem při jeho konstrukci si žáci a studenti mohou promyslet a vyzkoušet nejen funkci děliče napětí, ale i spojování rezistorů v sérii i paralelně. Požadujeme-li totiž přesný poměr odporů v děliči napětí, nevystačíme s běžně dodávanými

hodnotami rezistorů a musíme rezistory vhodně skládat. Žáci se též naučí respektovat polaritu diody svítivé diody a procvičí se i v již zmíněném pájení.

I tuto konstrukci lze modifikovat a možná rozšíření třeba zadat jako problémy. Například: Jak by se v podobné konstrukci dosáhlo toho, aby dioda začala svítit již od napětí 1 volt? (Nápověda: Byla by k tomu potřeba např. tužková baterie 1,5 V. Při zapojení do série...) Nebo: Dalo by se dosáhnout toho, aby se dioda třeba při 3 V rozsvěcovala a při 4 V zase zhasínala? (To už by bylo maličko složitější a vyžadovalo např. jeden tranzistor...) Šlo by dosáhnout toho, aby se dioda rozsvítila po překročení zvoleného napětí náhle plným svitem? Ale to už možná míříme až příliš do elektroniky...

### Automatické váhy aneb traktor na houpačce

Poslední přístroj je patrně „nejvíce netradiční“. Ilustruje rovnováhu na páce (nebo, chcete-li, skutečnost, že pro rovnováhu tělesa musí být celkový moment sil roven nule).

Základem je dvojjzvatná páka, vlastně jakási houpačka – třeba podložené delší prkénko. Na jeden konec páky položíme předmět, který chceme zvážit. Automatické vyvažování zajistí na druhé straně páky malý „traktor“, zkonstruovaný tak, aby jezdil vždy do kopce.



Funkce těchto „automatických vah“ je jasná. Necht’ jsou na začátku traktor a vážený předmět stejně daleko od osy. Je-li traktor těžší než předmět, převáží houpačku. Jede tedy do kopce směrem k ose – tak dlouho, dokud se momenty sil nevyrovnají, resp. dokud vážený předmět nepřeváží houpačku na svou stranu. Z polohy traktoru v tomto okamžiku (a z hmotnosti traktoru) už se lehce vypočte hmotnost váženého předmětu. Na páku lze dokonce narýsovat stupnici a k traktoru připevnit ručičku, která bude ukazovat na stupnici... Vynalézavosti se meze nekladou.

Tvoří-li páku opravdu podložené prkénko, tak, jak ukazuje obrázek, začne ve skutečnosti po převážení páky traktor zase couvat, dokud se páka zase nepřeváží, pak zas jede dopředu – a tak „osciluje“ kolem rovnovážné polohy. Se žáky by bylo možno diskutovat, proč je tomu tak, jak to souvisí s polohou těžiště celého systému vůči ose, řešit, jak konstrukci vylepšit, aby vážení bylo přesnější atd.

V konstrukci, realizované autorem, tvořil páku kus polystyrenu, podložený dvěma latěmi, které se mohly otáčet kolem vodorovné osičky. „Traktor“ byl sestaven z dílů ze stavebnice Merkur. V ní jsou k dispozici osičky, kola, pásy, díly na šnekový převod a ve variantě Merkur s názvem „Pohony“ je i vhodný motorek s osičkou. Traktor jezdí již na jednu plochou baterii, ale pro spolehlivější pohyb do kopce bylo lepší použít dvou plochých baterií v sérii. Poměrně jednoduše lze vyřešit i přepínání polarit baterie, aby traktor jezdil stále do kopce. V popisované konstrukci byla prostě zavěšena plochá baterie na dvou nitkách tak, že se mohla volně kývat. Baterie byla zavěšena vývody dolů tak, aby se při naklonění traktoru dopředu nebo dozadu vývody baterie dotkly jedné resp. druhé dvojice drátů, vedoucích k motoru. A u kontaktů pro náklon vzad byla prostě prohozena polarita. Konec konců, vymyslet a realizovat podobný přepínač polarit může být také vhodným dílčím projektem...

„Automatické váhy“ podobného typu mohou mít jistě mnoho modifikací, vynalézavosti se meze nekladou. Asi bychom je nepoužili ke skutečnému vážení. Na to váží příliš hrubě a pomalu. Ale možná někomu podobná konstrukce může zpestřit výklad rovnováhy na páce nebo třeba může žákům napomoci v jejím pochopení...

Fotografie, popř. další detaily k uvedeným konstrukcím můžete najít na webu na adrese

<http://kdf-ls.karlov.mff.cuni.cz/veletrh/2001/dvorak/Netradicni.htm>.