

Rozhledy matematicko-fyzikální

Ivo Volf

Jak zjistit veličiny, jež nejsou přímo měřitelné

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 91 (2016), No. 1, 8–12

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146649>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2016

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Jak zjistit veličiny, jež nejsou přímo měřitelné

Ivo Volf, UHK Hradec Králové

Abstract. The physical quantities help us describe the world exactly. However, their measurement is often problematical. We often have to measure something completely different and perform the calculations based on the known formulas to get the value of the searched variable.

Základem fyzikálního poznávání byla v historii vědy vždy opakovaná zkušenost, kterou člověk vyzoroval. Později přistupoval k pokusům, tedy připravoval umělé situace, které pak pozoroval, měnil podmínky k jejich provedení, aby na základě opakujících se a měnících se podmínek nejprve registroval, a potom i měřil důsledky, k nimž docházelo. Např. spolu se zvyšováním nákladu na lodi se zvětšuje její ponor, s rostoucí vzdáleností od úderu blesku se prodlužuje prodleva mezi optickým a zvukovým signálem, se zvyšující se vzdáleností se předměty pozorované okem zdají být menší, s rostoucí rychlostí automobilu při jízdě po dálnici se zvětšuje odporová síla a s tím i spotřeba benzínu atd.

K řadě výsledků můžeme dospět jen na základě pozorování; toho se využívá např. v odborné činnosti v astronomii. Záhy však lidé poznali, že bez měření, tedy bez vstupu matematiky do procesu pozorování, tedy bez účinného zavedení matematických modelů na jedné straně a bez promyšlených změn vstupních údajů na druhé straně nemůžeme dospět k vyjádření funkčních závislostí mezi fyzikálními veličinami, které přírodní jevy popisují, a tedy ztrácíme možnost nejen pro exaktní popis reality, ale též možnost hodnověrně předpovídat jejich následný průběh. Tak lidé dospěli nejprve k experimentu, odtud k zákonům a při jejich posouzení a zjištění souvislostí až k fyzikálním teoriím.

Při měření se zabýváme problémy: CO měříme, ČÍM měříme, JAK měříme, v ČEM měříme. Odpovědi se pokusíme stručně naznačit. Při popisu reality musíme zavést nejen odborné pojmosloví, ale především fyzikální veličiny – víme, že jde o skaláry (lat. *scala* = stupnice), vektory (musíme znát nejen velikost, ale i směr), ve vysokoškolské fyzice zavádíme i tenzory. Pokuste se sami ze své vlastní fyzikální zkušenosti jmenovat veličiny skalární a vektorové; případně si vezměte svou učebnici fyziky a veličiny tohoto typu najděte a zapíšte.

Při rozdělení fyzikálních veličin podle jejich typologie rozlišujeme veličiny základní, vedlejší a odvozené. Základní fyzikální veličiny vytvářejí určitou jednotnou strukturu – pro nás je rozhodující Mezinárodní soustava SI (zkratka z francouzského *Le Système International d'Unités*), doprovázená vhodnými základními fyzikálními jednotkami. Základními fyzikálními veličinami SI a jejich jednotkami jsou: délka (metr), hmotnost (kilogram), čas (sekunda), teplota (kelvin), elektrický proud (ampér), svítivost (kandela) a látkové množství (mol). Ostatní fyzikální veličiny jsou v soustavě SI z těchto základních veličin odvoditelné, např. rychlost (m/s), zrychlení (m/s²), síla (kg m/s² = newton), práce (Nm = joule), výkon (J/s = watt), elektrické napětí (volt), elektrický odpor (ohm) aj. Tím jsme našli odpověď na otázku CO měříme a v ČEM měříme.^{a)}

Při měření potřebujeme měřicí přístroje, které jsou ručkové (hodnota měřené veličiny se určí podle polohy ručky na stupnici, tedy např. teploměr, tlakoměr), délkové (měření se převádí na měření délky, např. siloměr), můstkové (hledá se nulová hodnota na „můstku“, kam patří např. vážení, měření odporu Wheatstoneovým můstkem), digitální (hledaný výsledek měření najdeme na displeji jako výstupní hodnotu, teploměr, digitální stopky). Metody měření závisejí na použitých přístrojích – např. měření kapalinovým, kovovým, plynovým, elektrickým teploměrem, zároměrem závisí na hodnotě měřené veličiny a užitém přístroji.

Kromě základních jednotek a jednotek z nich odvozených používáme jejich násobky a díly (ve škole oblíbené převádění jednotek).

Velice často místo měření určité veličiny používáme měření jiné fyzikální veličiny, která se měří snadněji, a veličinu hledanou prostě vypočítáme; např. k měření času (doby) využíváme určování násobku periody určitého opakujícího se děje, např. rotace Země kolem osy, oběhu Země kolem Slunce, doby kyvu či kmitu kyvadla nebo periody jiného děje (jde např. o různé elektromagnetické kmity) apod.

Jak však (nejen ve fyzice, ale vůbec) měříme to, co změřit přímo nejde? Uvedeme několik známých postupů:

1. Hustotu kapalin můžeme změřit pomocí hloubky ponoření hustoměru do kapaliny.

2. Při vážení (měření hmotnosti) zjišťujeme rovnost tíhových sil působících na páce.

^{a)} Pozn. redakce: V případě jednotek veličin se lze setkat s pojmem jednotky hlavní, což jsou speciálně pojmenované odvozené jednotky, např. N = kg m/s², Hz = s⁻¹ aj., více viz např. <http://www.labo.cz/mft/jedhlavni.htm>.

3. Měření rychlosti pohybujícího se tělesa určíme pomocí změřené vzdálenosti s a doby t nutné k jejímu překonání; potom je $v = s/t$.

4. Měření okamžité rychlosti pohybujícího se jízdního kola určujeme na základě měření počtu otáček za sekundu f předního kola bicyklu o poloměru r ; potom je $v = 2\pi r f$.

5. Měření práce nutné ke zvednutí tělesa o hmotnosti m z výšky h_1 do výšky h_2 určíme na základě rozdílu potenciálních energií v tíhovém poli, tj. $W = mg\Delta h$; zjišťujeme však hmotnost zvedaného tělesa, místní hodnotu tíhového zrychlení a rozdíl výšek.

6. Měření plošného obsahu rovinných obrazců můžeme změnit na měření příslušných délek a obsah získáme výpočtem na základě vhodného vzorce. Lze užít i planimetru. Zajímavé je také měření pomocí vážení (vytvoříme plechový model, jehož hmotnost porovnáme např. s hmotností čtverce o obsahu 1 dm^2 vyrobeného z téhož plechu).

7. Měření plošného obsahu povrchu tělesa převedeme na měření příslušných délek a výsledek získáme výpočtem.

8. Měření objemu pevného tělesa převedeme na měření délek a objem získáme užitím vhodného vzorce.

9. Měření objemu malého a nepravidelného tělesa provedeme pomocí ponoření tohoto tělesa do kapaliny nalité do odměrného válce; o objemu soudíme podle zvýšení volného povrchu kapaliny.

10. Jak lze změřit objem cukrového panáčka (kostky cukru), který by se při tomto měření ve vodě rozpustil? Těleso můžeme obalit tenkou fólií, vodu nepropouštějící (to však vede k nepřesnostem), nebo místo vody použijeme práškového cukru a převedeme měření na předchozí případ.

11. Měření objemu kapalin nebo plynů lze provést takto: kapalinu můžeme nalít do odměrného válce a sledovat výšku volného povrchu na stupnici, nesmí však jít o kapalinu příliš těkající. Postup měření objemu plynu navrhněte sami; máte odměrný válec.

12. Stanovení hustoty $\rho = m/V$ provedeme změřením hmotnosti a objemu tělesa a hodnotu hustoty získáme výpočtem.

13. Určení tlaku vzduchu pomocí tlakoměru závisí na užitém přístroji; použijeme-li rtuťový tlakoměr, převedeme měření na porovnání s hydrostatickým tlakem sloupce rtuti; užitím Bourdonova manometru porovnááme průhyb plechové trubice.

14. Měření elektrické práce – použijeme tzv. elektroměr (lidově se mu říká elektrické hodiny), a měření práce $W = UIt$ nahradíme vhodným otáčkoměrem.

15. Měření elektrického výkonu $P = UI$ nebo $P = UI \cos \varphi$ převedeme na měření napětí a elektrického proudu, případně využijeme wattmetru.

16. Měření odporu rezistoru převedeme na měření napětí a proudu a příslušnou hodnotu elektrického odporu rezistoru vypočítáme ze vztahu $R = U/I$. Při měření na Wheatstoneově můstku převedeme měření odporu na měření délek na odporovém drátu či pásce.

17. Měření frekvence střídavého proudu – využijeme rezonančních vlastností krátkých pružných pásků, jež závisejí na frekvenci střídavého proudu.

18. Měření úniku tepla z místnosti (z kabiny skříňového automobilu) – můžeme využít empirického vztahu pro vedení tepla stěnou a musíme zjistit hodnoty potřebných veličin – součinitele tepelné vodivosti stěn, plošného obsahu stěn, teploty vně a uvnitř místnosti (kabiny), tloušťky stěn a doby, po kterou bude teplo z prostoru odváděno.

19. Měření rychlosti větru (někdy se mluví nesprávně o síle větru) pomocí odporové síly – využijeme otáčkoměru spojeného s anemometrem. Orientačně se např. na dálnici pro směr a rychlost větru využívá tzv. „pytel“, který se stáčí podle směru větru a zvedá závisle na rychlosti větru.

20. Co měří laktometr, alkoholometr, „nabitostoměr“ (toto slovo jsme si vymysleli)? Ve všech třech případech se stanovuje hustota kapaliny (mléka, vodného roztoku lihu, kyseliny sírové v oloveném akumulátoru) a na tomto základě se potom stanoví procentuální obsah tuku v mléce v procentech, procentu lihu v roztoku, hustota roztoku síranu olovnatého v kapalínové náplni, a tedy úroveň nabití akumulátoru.

21. Jak byl definován mezinárodní ampér na základě elektrolýzy? Tato definice využívala elektrochemických jevů – 1 ampér byla hodnota elektrického proudu, který za dobu 1 sekundy vyloučil z roztoku dusičnanu stříbrného 1,118 mg stříbra (vzpomínáte na tzv. elektrochemický ekvivalent?).

22. Jak se určí součinitel smykového tření při pohybu tělesa po rovné ploše? Součinitel smykového tření závisí na charakteru styčných třecích ploch, $F_t = fF_n$; musíme zjistit velikost třecí síly a velikost tlakové síly; hledaný součinitel smykového tření určíme výpočtem. Můžeme také použít pohybu tělesa dolů po nakloněné rovině.

23. Jak by se stanovila účinnost rychlovarné konvice? Protože účinnost stanoví většinou v procentech využití dodané elektrické práce s ohledem na teplo použité k zahřátí kapaliny v rychlovarné konvici, musíme sta-

novit hodnoty veličin pro dodanou práci elektrickou $W = P\tau$ a teplo přijaté vodou $Q = mc(t_2 - t_1)$.

24. Jak určit výslednou rychlost padajícího výsadkáře, kterému se neotevřel padák? Je jasné, že čekat na poslední sekundy před dopadem výsadkáře na zemský povrch se zdá být poněkud morbidní, a tak odhadneme mezní rychlost pádu výsadkáře v prostředí, kde je odporová síla, jež působí na výsadkáře, dána odporem vzduchu. Tak se nám ze vztahu $mg = \frac{1}{2}C_S \rho v^2$ ^{b)} podaří určit neznámou hodnotu mezní rychlosti. Může se však stát, že pád z určité výšky nestačí k dosažení mezní rychlosti, a proto bude dopadová rychlost menší.

25. Jak stanovit vlnovou délku zvukové vlny ve vzduchu při frekvenci f ? Můžeme použít metody rezonance vzduchového sloupce, v němž se vytvoří čtvrtvlna a třičtvrtěvlna.

26. Jak stanovit optickou mohutnost $1/f$ spojné čočky? Pokusíme se co nejostřeji zobrazit předmět ve vzdálenosti a od čočky o ohniskové vzdálenosti f na stínítku ležícím ve vzdálenosti b od čočky a pro výpočet ohniskové vzdálenosti (optické mohutnosti) použijeme čočkovou zobrazovací rovnici.

27. Změní se optická mohutnost spojné čočky, když ji přeneseme ze vzduchu do vody? Pro výpočet optické mohutnosti spojné čočky musíme použít tzv. relativní index lomu skla vzhledem k prostředí, $n_r = n_2/n_1$. Vstupuje-li světlo do čočky a vystupuje-li z ní v případě, je-li kolem vzduch, dostáváme jinou optickou mohutnost než pro případ, že čočka bude vytvářet zobrazení ve vodě. Měření můžeme provést ve vzduchu a chování čočky při zobrazování potom stanovíme výpočtem na základě jiné optické mohutnosti.

Ve všech uvedených případech jsme vždy měřili něco jiného, než jsme původně chtěli, a hledanou fyzikální veličinu jsme zjistili výpočtem.

Literatura

- [1] Lepil, O. a kol.: *Soubor učebnic z fyziky pro gymnázia*. Prometheus, Praha, různá vydání.
- [2] Svoboda, E. a kol.: *Přehled středoškolské fyziky*. Prometheus, Praha, různá vydání.

^{b)} Pozn. redakce: Tato rovnice se nazývá Newtonovým vztahem pro aerodynamickou odporovou sílu. Tíhová síla je v tomto případě v rovnováze se silou odporu prostředí, tj. pohyb výsadkáře je rovnoměrný přímočarý.