Časopis pro pěstování mathematiky a fysiky

Vladimír Novák
Princip jednoduchosti ve fysice. [I.]

Časopis pro pěstování mathematiky a fysiky, Vol. 29 (1900), No. 2, 137--145

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/109287

Na konec ještě poznámku nikoli nezajímavou. Americký učenec Michelson prací stejně úmornou jako důkladnou našel vztah mezi soustavou metrickou a jednotkou docela přirozenou a neměnlivou, totiž délkou vlny červeného světla kadmiového, jež závisí jenom na etheru světelném: byla by to tedy jedna z nejurčitějších veličin světa. Dle toho by pak 1 *m* = 1,553.164 vlnám zmíněného světla při 15° C a 76 *cm* tlaku barometrického, takže by délka metru byla stanovena pro všechny časy. Kdyby všechny prototypy metru přišly na zmar, bylo by lze dle udání Michelsonova snadno sestrojiti metr legalný a tedy rekonstruovati všecky jednotky metrické soustavy.

Jen málo civilisovaných států lpí ještě na starých svých mírách a vahách, buď z přirozené setrvačnosti nebo z jakési ješitnosti, která nerada se vzdává charakteristických známek národních. Lze však očekávati, že časem zavládne v této věci žádoucí shoda i sjednocenost, stejně významná pro život praktický jako pro vědu.

Princip jednoduchosti ve fysice.

Napsal

Ph. dr. **Vlad. Novák,**
docent české university v Praze.

Mnohému žáku působí obtíže zapamatování si vzorců a definic fysikalních, ačkoliv převážná jich většina jest té povahy, že může býti snadno a trvale pamatována. Těmito řádky chci poukázati na důležitý základ definic a některých zákonů fysikalních, jehož užití ukazuje vývoj veličin fysikalních a tudíž i stanovisko, s něhož vzorce fysikalní pozorovány snadno se v paměti upevňují, nehledíc k hlubšímu a jednotnému názoru o těch veličinách, se kterými se ve fysice operuje.

Zjevy na hmotě dějí se tak, že můžeme pozorovati nejen jich jakost, ale i velikost, se kterou vystupují. Oko nás poučuje, že lampa plynová svítí *mohutněji* než lampa petrolejová, ta zase *intensivněji* než obyčejná svíčka atd. Struna na houslích rozzvučená zní *tišeji* neb *silněji*, v světnici je chladno nebo teplo, nebo i horko — toť jsou příklady *quantity* těchže veličin.

Zjevy fysikalní ukazují dále *spojitost* jednotlivých veličin, *závislost* veličiny jedné na druhé neb na několika. Plamen kahanu Bunsenova, který šlehá na síťku drátěnou, rozpaluje ji do červena i žluta, ohřívá vodu v kádince na síťce postavené. Zkracujeme-li pístem, jejž do píšťaly retné zasunujeme, délku píšťaly, ozývá se ton stále vyšší a vyšší. Stoupáme-li do výše po boku hory, shledáme tlak vzduchu menší a menší. Kloníme-li desku papíru ku paprskům slunečním, spatřujeme ji tím méně osvětlenou, čím menší úhel svírá rovina její se směrem paprsků.

A tak v každém zjevu přírodním nalezneme souvislost veličin, které v něm přicházejí. Souhrn takových souvislostí vede dále k poznání, že některé veličiny jsou *obecnější* než jiné, že se *častěji* vyskytují a že, nemohouce býti již jinými *zastoupeny* neb *nahrazeny*, jsou *jednodušší* než ostatní. Snaha po *jednoduchosti* v soustavě vědecké projevuje se pak tím, že tyto veličiny volíme za *základní*.

Kámen vzhůru vržený vystupuje do určité výše, opisuje dráhu zvláštního tvaru, dopadá v jisté době do takové a takové vzdálenosti s větší neb menší prudkostí. Veličiny: hmota vržená, výška, vzdálenost, doba, prudkost souvisí tu vespolek. Některé jsou stejné podstaty: výška odpovídá vzdálenosti, některé dají se vyjádřiti jinými: prudkost = rychlost, souvisí s drahou a trváním pohybu po této dráze.

Dvě tělesa elektrovaná, isolovaně zavěšená na sebe působí, přibližují se nebo vzdalují. Při tomto zjevu souvisí veličiny: hmota přitahovaných těles, vzdálenost obou hmot, ústředí mezi oběma hmotami, přítažlivost země, délka a hmota závěsu a konečně elektrické vlastnosti obou hmot. Přítažlivost země lze vyjádřiti hmotou, délkou a dobou, elektrické vlastnosti nemůžeme jinak posuzovati než z jich účinků a ty jeví se veličinami souvisícími s hmotou, drahou a dobou. Veškeré zkušenosti a pozorování zjevů fysikalních vedou tedy k veličinám, jež se proti jiným jeví býti *jednoduchými*. Princip *jednoduchosti* velí veličiny tyto zvoliti za základní. Jsou tedy *hmota*, *délka* a *čas* fysikalními veličinami *základními*. Ostatní veličiny lze z těchto odvoditi, proto se také nazývají *odvozenými* čili *derivovanými*.

Později teprve rozhodneme otázku, zdali volba *tří* základních veličin jest *nejjednodušší*, zatím přestaňme na tom faktu, že skutečně tato volba *byla provedena.*

Fysika stopuje zjevy přírodní nejen v jich *quantitě*, ale — jak již podotknuto bylo — také v jich *qualitě* a proto nutno dále voliti *jednotky* veličin fysikalních, aby bylo možno *měřiti.* Jednotkou nějaké veličiny může býti ovšem pouze veličina stejnorodá. Při veličinách základních jest této volbě ponechána úplná *volnost*, pokud jen se dosahuje jednotek *určitých* a *trvale i místem neproměnných.* Ovšem že k volbě jednotek základních přibírány důvody jiné, na př., aby se jednotka veličiny dle své definice dala *znovu* realisovati a pod. — jak vhodné, ukáže se na definicích přijatých. Tak byla ustanovena *jednotka délky 1 cm*, to jest stý díl metru, metr pak *definován* jako desetimiliontý díl quadrantu poledníka zemského. *K realisaci*, k získání skutečné délky metru bylo nutno provésti obtížná měření části poledníku nějakou mírou *starší* (byla to „perúská toisa“) a dle toho jednotka délky *nová* ustanovena jako délka určité tyče. Poněvadž by nové měření poledníku zemského, provedené nynějšími stroji, dokonalosti mnohem větší než jakou měly měřící stroje před 100 lety a methodami přesnějšími vedlo jistě k hodnotě metru poněkud jiné od metru ustanoveného, jest patrno, že důvod voliti jednotku délky v souvislosti s rozměry naší země nemá zvláštní důležitosti a přednosti před jinými, které by stanovily snad souvislost schopnou *snadnější realisace.*

Jednotkou hmoty ustanovena hmota vody 4°C teplé obsažené v 1 cm^3, opírá se tudíž volba této jednotky o předešlou, *realisace* zase však je obtížnější a nedá se provésti *tak přesně* jako *srovnávání dvou hmot* toho druhu jako jest na př. platina a podobně. Jest tedy hořejší ustanovení zase *definicí* jednotky hmoty, skutečnou jednotkou hmoty jest pak závaží, které zákonem za jednotku bylo prohlášeno.

Při volbě jednotky času rozhodoval důvod praktický, aby totiž měření času souviselo s pohybem slunce (zdánlivým ovšem) po obloze, kterýž má pro veškerý život náš tak veliký význam. Pohyb slunce jak jej pozorujeme, se však neshoduje s jednoduchými pohyby, které můžeme na zemi zaříditi, měříce na př. čas počítáním kyvů kyvadla, proto zaveden *čas sluneční střední*, který jeví tutéž jednoduchost jako *čas hvězdný*, totiž souhlas s jednoduchými pohyby na naší zemi realisovanými.

Jednotkou času jest pak sekunda slunečního času středního, ji udávají správně jdoucí hodiny, v podstatě kyvadlo určité délky na určitém místě země.

Princip *jednoduchosti* zvláště se jeví v definicích jednotek derivovaných. Představme si, že v nějakém zjevu dvě veličiny ve společné závislosti vystupují. Vzniká otázka, jaká neb jaké jsou *nejjednodušší* závislosti dvou proměnných veličin? Závislost veličin vyjadřuje se mathematicky úkony početními, z nichž základní jsou sečítání, odčítání, násobení a dělení. Poněvadž ony dvě veličiny jsou různorodé, není jednoduššího úkonu, který by je mohl spojiti, než-li *násobení* neb *dělení*.

Výsledek úkonů početních dává však *veličinu třetí*, o které tu nebyla dosud řeč — třetí tato veličina přispěje k jednoduchosti, zjeví-li se jako *stálá* (konstanta).

Mají tedy fysikalní rovnice

$$a . b = \text{konst.} \tag{1}$$

$$\frac{d}{e} = \text{const.} \tag{2}$$

význam *nejjednodušších vztahů* dvou veličin fysikalních.

Rovnici (2) lze též psáti ve tvaru

$$d = \text{const.}\, e \tag{3}$$

a rovnici (1)

$$a = \frac{\text{konst.}}{b} \tag{4}$$

a čísti je takto: Veličina d jest přímo úměrna veličině e a veličina a je nepřímo úměrna veličině b.

Geometricky lze obě rovnice (3) a (4) znázorniti, považujeme-li e a b za pořadnice, d a a za *úsečky* proměnného bodu jako *přímku* a *rovnoosou hyperbolu*.

Rovnice uvedené jsou skutečně ve fysice základem mnohých definicí nových veličin aneb i vyjádřením *fysikalního pravidla* čili *zákona*. Třetí veličinou ve vztazích uvedenou může býti veličina *nová* — pak se jedná *o definici* nové veličiny, neb jest to pouhé číslo a rovnice má význam fysikalního zákona. Stanovení *jednotky* nové veličiny dáno jest pak již dle principu jednoduchosti samo sebou. Jednotkou veličiny nové jest *ta hodnota*, která pro ni vychází, když *ostatní* veličiny jsou *jednotkami*.

Některými příklady objasní se, co tu všeobecně řečeno.

1. Studujíce pohyb bodu, znamenáme vztah mezi drahou a dobou, v níž dráha byla vykonána. Nejjednodušší vztah tento jest

$$s = \text{const.}\, t \tag{5}$$

čili slovy dráha tělesem vykonaná jest při pohybu úměrna uplynulé době.

Z rovnice té však plyne

$$\frac{s}{t} = \text{const.} = c. \tag{6}$$

Veličinu c definujeme pak dle toho jako *rychlost pohybu* a jednotkou její bude rychlost pohybu, při němž těleso za jednotku času urazí dráhu jednotky délky, tedy za 1 *sec* 1 *cm*. Dle vzniku svého píše se tato jednotka $\left(\frac{cm}{sec}\right)$, udává pak zároveň způsob, jak jednotky základní utváří jednotku odvozenou čili vyznačuje *rozměr* derivované jednotky.

Hořejší rovnice vyjadřuje zároveň *nejjednodušší pohyb rovnoměrný*, definice tohoto pohybu dána jest podmínkou *stálé* rychlosti pohybujícího se tělesa.

2. Představme si však pohyb o rychlosti *měnlivé* a stanovme na základě jednoduchosti nový pojem. V pohybu tomto závisí rychlost v na čase t. Závislost nejjednodušší dána jest:

$$v = a.\, t, \tag{7}$$

kde a značí stálou, konstantu úměrnosti. Z této rovnice plyne *definice urychlení* (akcelerace):

$$a = \frac{v}{t} \tag{8}$$

a jednotka urychlení jako vzrůst rychlosti 1 *cm* za 1 *sec*. Jest pak rozměr urychlení a

$$\left(\frac{\frac{cm}{sec}}{sec}\right) = \left(\frac{cm}{sec^2}\right).$$

Pohyb rovnicí (7) určený sluje *rovnoměrně zrychlený*, dráha se při něm dá určiti z vzorců již známých, představíme-li si, že těleso probíhá tutéž dráhu pohybem rovnoměrným rychlostí *průměrnou*.

Tato průměrná rychlost jest však

$$\frac{0+v}{2} \text{ čili } \frac{v}{2},$$

značí-li v rychlost v posledním okamžiku pohybu rovnoměrně zrychleného. Jest pak dle (6) a (7)

$$s = \frac{v}{2} t = \frac{1}{2} a t^2 \tag{9}$$

a vzorec tento lze na základě uvedeném vždy rychle odvoditi, i když by v paměti neutkvěl.

3. Zkoumejme dále příčinu obou uvedených pohybů. Pohyb rovnoměrný má svou příčinu ve vlastnosti hmoty, kterou nazýváme *setrvačností*. Hmota, jednou v pohyb uvedená, hledí v něm setrvati, a není-li vnější příčiny, proč by rychlosti mělo přibývati neb ubývati, zůstává tato stálou. Ovšem jest jiná otázka *o vzniku* pohybu rovnoměrného. Touto otázkou však můžeme přejíti na pohyb druhý, když totiž v jistém okamžiku si odmyslíme příčinu, která u tohoto pohybu rychlost mění. Jeví se pak příčina pohybu rovnoměrně zrychleného jednak ve velikosti urychlení a jednak patrně ve velikosti hmoty, po které se toto urychlení rozkládá. Nejjednodušší závislost tohoto vztahu bude dána vzorcem (4)

$$a = \frac{f}{m},$$

kde f má význam veličiny nové a m jest hmotou pohybujícího se tělesa.

Jest tedy

$$f = m \,.\, a, \tag{10}$$

i sluje f *silou*, kterou dle této definice měříme součinem hmoty a urychlení, nazývajíce jednotku její takovou sílu, která hmotě 1 g uděluje urychlení 1 $\left(\frac{cm}{sec^2}\right)$. Síla tato sluje *dynou* a rozměr její jest:

$$\left(\frac{g.\,cm}{sec^2}\right)$$

4. Podobným způsobem odvozena jest jednotka práce, rotační moment síly a jednotka intensity pracovní, když tyto veličiny definovány byly vztahy

$$l = f.\,s, \tag{11}$$

kde l značí práci, resp. moment síly*),

a
$$I = \frac{l}{t},$$

kde I značí intensitu pracovní.

Rozměr práce $\left(\frac{g\,cm^2}{sec^2}\right)$; intensity pracovní $\frac{g\,cm^2}{sec^3}$.

Rovnice (11), když f substitujeme výrazem (10) a urychlení nahradíme výrazem (8), dává výraz pro energii pohybu:

$$E_p = \frac{1}{2}\,m\,v^2.$$

Rozměr energie $\left(\frac{g\,cm^2}{sec^2}\right)$ souhlasí s rozměrem práce.

Výraz pro energii svou podobou připomíná výraz (9) a může býti tím spíše pamatován.

5. Zavedeme-li pro pohyb rotační úhlovou rychlost ω, dle jednoduchého vztahu

$$\omega = \frac{v}{r},$$

kde v značí postupnou rychlost jako dříve a r vzdálenost bodu

---

*) s pro případ práce jest dráha ve směru síly, pro případ rot. momentu jest velikostí kolmice na směr síly s bodu daného spuštěné.

pohybujícího se od osy, změní se výraz (11) pro energii pohybu rotačního v následující

$$E_r = \frac{1}{2}\,\omega^2\,\Sigma m r^2. \tag{12}$$

Výraz $\Sigma m r^2$ nazývá se *momentem setrvačnosti* a obdržíme jej, sečítajíce součiny hmoty a čtverce vzdálenosti hmotného bodu od osy a vyčerpávajíce všechny hmotné body otáčejícího se tělesa.

6. Budiž těleso, nalézající se v poloze stálé, vyšinuto z ní otočením o malý úhel φ. Otáčivý moment jest úměrný tomuto úhlu φ, tedy

$$M = \varphi . D \tag{13}$$

a veličina D nazývá se direkční silou daného uspořádání. Na př.: Kyvadlo redukované délky l a hmoty m, vychýlené o úhel φ, dává moment rotační $M = \varphi\, m\, g\, l$, jest tudíž direkční síla

$$D = m\, g\, l.$$

7. Vedle těchto definicí z mechaniky buďtež uvedeny za příklad některé z jiných oborů fysiky.

Stupeň temperatury (1 °C) definován jest na základě změny objemu vodíka teplem. Zvoleny dva stálé tepelné stavy: tepelný stav tajícího ledu a tepelný stav vařící se vody při tlaku 76 *cm* Hg 0°: v těchto stavech tepelných zaujímá vodík objemy V_0 respektive V_{100}, z relativní změny $\frac{V_{100} - V_0}{V_0}$ definována temperatura dle nejjednoduššího vztahu

$$\frac{V_{100} - V_0}{V_0} = 100^0 . \alpha,$$

kde α je stálé číslo pro vodík i jiné plyny. Tato *stálost* koefficientu α pro některé plyny tvoří pak jádro *zákona* Gay-Lussacova.

8. Galvanický odpor definujeme dle vztahu mezi intensitou proudu a elektromotorickou silou jeho nejjednodušeji rovnicí

$$I = \frac{E}{R},$$

kde I značí intensitu proudu, E jeho elektromotorickou sílu a R *novou* veličinu, kterou nazýváme *odporem galvanickým*. Potud jest hořejší rovnice *definicí* odporu, když se však dále *pokusy* dokázalo, že skutečně R záleží pouze na *rozměrech* vodiče, jeho *materialu* a *temperatuře* a že se vlivem I nebo E nemění, stává se hořejší rovnice také *zákonem*, proto se jí *uvádí zákon Ohmův*.

Není úmyslem mým probrati takto veškeré definice veličin fysikalních a poukázati, jak se při tom jeví princip jednoduchosti, chci však připojiti ještě užití principu jednoduchosti ve vyhledávání *zákonů fysikalních*.

Představme si zase jednoduchý zjev, který poukazuje k souvislosti dvou veličin. Závislost veličin budiž zatím neznámou. Aby se známou stala, nutno pozorovati různé případy zmíněného zjevu a měřiti obě veličiny závislé. Tím nabudeme hodnot sobě odpovídajících a tabulky výsledků pozorování může býti užito ku *grafickému* znázornění pozorované závislosti. Nanášíme totiž jednu veličinu jako úsečku, druhou jí odpovídající za pořadnici a tak nabýváme bodů, které spojeny dávají geometrický obraz hledané závislosti. V mnohých případech objeví se přímka neb hyperbola rovnoosá — tedy nejjednodušší vztahy vůbec.

1. Sem náleží mnohé závislosti veličin fysikalních na temperatuře. Na př. mezi odporem galvanickým (R) kovů a temperaturou t jeví se vztah

$$\frac{R_t - R_0}{R_0} = \beta t,$$

což lze čísti: relativní změna odporu přímo jest úměrna temperatuře. (R_t značí odpor při temperatuře t, R_0 odpor při temp. 0), α sluje galvanickým koefficientem temperaturním.

(Dokončení.)