Poznámky k pojmu rychlost ve středoškolské fyzice

OLDŘICH LEPIL – EMANUEL SVOBODA

Přírodovědecká fakulta UP Olomouc,
Matematicko-fyzikální fakulta UK Praha

Věnováno RNDr. Milanu Bednaříkovi, CSc. (1928-2003) a doc. RNDr. Miroslavě Široké, CSc. (1933-2008) k nedožitým jubileím.

Tak, jak se vyvíjejí koncepce učiva ve středoškolských učebnicích fyziky (viz [1]), tak se vyvíjí i obsah některých pojmů, které tvoří základ těchto koncepcí. Můžeme to ukázat na přístupu k pojmům, kterými obvykle začíná středoškolská kinematika a které intuitivně používáme i v běžném životě. Jako příklad uvedeme pojmy *průměrná rychlost* a *okamžitá rychlost*, jejichž definici najdeme ve všech středoškolských učebnicích obsahujících tematický celek Mechanika.

Abychom nezacházeli příliš do historie, podívejme se, jak byly naplněny uvažované pojmy v 60. letech minulého století v učebnici pro střední všeobecně vzdělávací školu (SVVŠ) [2], kde toto téma zpracovali zakladatelé české didaktiky fyziky *dr. M. Chytilová* a *prof. E. Kašpar*. Veličina *průměrná rychlost* $\overline{v}$ je definována stejně jako ve starších učebnicích, tzn. jako skalární veličina určená podílem vykonané dráhy Δs a příslušného časového intervalu Δt:

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Okamžitá rychlost je v této učebnici vyjádřena v podstatě stejným definičním vztahem s tím, že je v textu podrobnější úvaha, jak se hodnota takto definované veličiny bude měnit, když se bude postupně zmenšovat úsek dráhy na přímé trajektorii, který obsahuje bod, v němž máme určit okamžitou rychlost auta. Tento postup pokračuje až do okamžiku, kdy pohyb ve vymezeném úseku trajektorie můžeme prakticky považovat za rovnoměrný pohyb a rychlost tohoto rovnoměrného pohybu v malém časovém intervalu je okamžitá rychlost nerovnoměrného pohybu v daném bodě trajektorie. Jak je zřejmé, není tímto postupem okamžitá rychlost definována jako vektorová veličina a vektorový charakter okamžité rychlosti je zmíněn jen slovně konstatováním, že okamžitá rychlost je určena velikostí, směrem a orientací (v době, o které mluvíme, se odlišovaly pojmy směr a orientace vektorové veličiny). V následujícím výkladu kinematiky autoři vystačili jen s velikostí okamžité rychlosti v a s rychlostí jako vektorem se operuje až později, v samostatném tématu Skládání pohybů, kde se probíralo i skládání rychlostí a kam byly zařazeny také vrhy.

Od školního roku 1979/1980 se na vybraných gymnáziích začalo vyučovat podle experimentálních učebních osnov a pro žáky byla vydána Fyzika, experimentální učební text pro 1. ročník gymnázia [3]. V této experimentální učebnici došlo k výraznému posílení vektorového aparátu. Byl použit pojem *střední rychlost* pro průměrnou dráhovou rychlost definovanou vztahem $v_s = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ a *průměrná rychlost* byla rezervována pro vektorovou fyzikální veličinu $\boldsymbol{v}_p = \dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$, kde $\Delta \boldsymbol{r}$ bylo nazváno *přemístění*. *Okamžitá rychlost* $\boldsymbol{v}$ pak vycházela z podrobného rozboru limitního postupu $\boldsymbol{v} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$. Během ověřování experimentální učebnice se ale ukázalo, že zvolený přístup je pro žáky obtížný, nesrozumitelný, neodpovídá běžné praxi. Přístup se neosvědčil a pro další učivo z mechaniky byl prakticky nepotřebný.

V učebnici pro gymnázia [4], kde kinematiku zpracoval *prof. J. Vachek* a *doc. J. Novák*, zůstalo výrazné posílení vektorového aparátu, ale místo přemístění $\Delta \boldsymbol{r}$ byla zavedena vektorová veličina *posunutí* $\boldsymbol{d}$ definovaná slovy: „*Změnu polohy hmotného bodu ve fyzice určujeme orientovanou úsečkou, která spojuje body zobrazující počáteční a koncovou polohu hmotného bodu. Veličina, kterou tato orientovaná úsečka představuje, se nazývá posunutí nebo též vektor posunutí, značka* $\boldsymbol{d}$.“

Jak je patrné, nezavádí se pojem polohový vektor $\boldsymbol{r}$, popř. změna polohového vektoru $\Delta \boldsymbol{r}$, jak je to běžné ve vysokoškolských učebních textech. To pochopitelně ovlivňuje i výklad pojmu rychlost. *Průměrná rychlost* nerovnoměrného pohybu je ale zavedena shodně s učebnicí [2] jako skalární veličina, označena je v_p, přičemž $v_p = \dfrac{s}{t}$. Je také připojena slovní formulace: „*Průměrná rychlost nerovnoměrného pohybu je rovna velikosti rychlosti rovnoměrného pohybu, při* *kterém by hmotný bod urazil tutéž dráhu za tutéž dobu jako při nerovnoměrném pohybu*." V dalších učebnicích mechaniky se od této slovní formulace upustilo.

Pokud jde o veličinu *okamžitá rychlost*, je v uvažované učebnici [4] nejprve zavedena velikost okamžité rychlosti v přímočarého rovnoměrného pohybu vztahem

$$v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

a je připojena slovní formulace: „*Velikost okamžité rychlosti rovnoměrného pohybu je rovna velikosti rychlosti daného rovnoměrného pohybu*."

Dalším výkladem se dospělo k závěru, že okamžitá rychlost je vektorová veličina. Zvolený metodický postup se ovšem vztahoval jen na pohyb rovnoměrný po přímočaré trajektorii, takže i z názoru je zřejmé, že *směr rychlosti* je stejný jako směr posunutí a tedy platí vztah

$$\boldsymbol{v} = \frac{\boldsymbol{d}}{\Delta t}, \text{ resp. } \boldsymbol{v} = \frac{\boldsymbol{d}}{t}.$$

A opět je připojena slovní definice: „*Okamžitá rychlost (vektor okamžité rychlosti) pohybu rovnoměrného přímočarého je určena poměrem posunutí a odpovídající doby, v níž posunutí nastalo.*" Je také připojeno pravidlo, že výsledná vektorová veličina má stejný směr jako vektorová veličina v podílu a to v případě, že skalární veličina má kladnou číselnou hodnotu.

Po zavedení takto definované okamžité rychlosti u přímočarého rovnoměrného pohybu se zkoumal pohyb vozíku, na který působí stálá síla, a na základě měření je uvedena formulace: „*Okamžitá rychlost hmotného bodu v určitém okamžiku je rychlost, kterou by se hmotný bod pohyboval, kdyby od tohoto okamžiku byl jeho pohyb rovnoměrný přímočarý.*"

Z měření se také dělá závěr pro velikost okamžité rychlosti $v = at$, resp. $v = v_0 + at$, kde a je označeno jako velikost zrychlení. Pomocí změny okamžité rychlosti $\Delta\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1$ je pak definováno zrychlení jako vektor a pro okamžitou rychlost pohybu rovnoměrně zrychleného přímočarého jsou uvedeny vztahy $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{a}t$, resp. $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{a}t$.

V dalším výkladu o přímočarých pohybech je důsledně používáno vektorové vyjadřování veličin kinematiky, takže např. při výkladu volného pádu je uveden jak vztah pro vektor posunutí, tak vztah pro dráhu, čili

$$\boldsymbol{d} = \frac{1}{2}\boldsymbol{g}t^2 \quad \text{a} \quad s = \frac{1}{2}gt^2.$$

Je samozřejmé, že v případě křivočarého pohybu by bylo třeba vyložit rozdíl mezi posunutím $\boldsymbol{d}$ (čili změnou polohového vektoru $\Delta\boldsymbol{r}$) a elementem dráhy Δs. To však učebnice [4] neřeší, poněvadž detailněji je probrán jen rovnoměrný pohyb hmotného bodu po kružnici. Zde výklad vystačí s velikostí rychlosti definovanou jako podíl celkové dráhy ($s = 2\pi r$) periody T, za kterou hmotný tuto dráhu urazí

$$v = \frac{2\pi r}{T}\,.$$

Výklad je doplněn upřesňujícím sdělením, že „*okamžitá rychlost pohybu hmotného bodu má směr tečny v příslušném bodě trajektorie*“ a je to tedy vektorová veličina.

Vektor posunutí zavedený jen v učivu o přímočarých pohybech nese znaky formalizmu a brzy se znovu v praxi ukázalo, že tímto zmnožením pojmového aparátu kinematiky nedošlo k očekávanému zkvalitnění výkladu učiva. Zvolený postup přináší určité obtíže dané i tím, že se s takovým pojetím kinematiky neztotožnili ani učitelé.

O problému se následně diskutovalo jak v komisi, která v 80. letech minulého století řídila rozsáhlý projekt tvorby učebnic pro gymnázium, tak na různých konferencích a seminářích i při setkáních s učiteli fyziky. Výsledkem těchto diskusí byl návrh upustit v dalších reedicích učebnic od přemíry „vektorizace“ relativně jednoduchých a intuitivně chápaných pojmů kinematiky.

To je v souladu i s názorem terminologické komise JČMF, která připravila velmi cennou publikaci Slovník středoškolské fyziky (dále jen Slovník) [5], v němž jsou na základě obšírných diskusí stručně vymezeny všechny pojmy středoškolské fyziky. Ve vydavatelství učebnic SPN a následně i v nakladatelství Prometheus bylo dohodou stanoveno, že východiskem při výkladu jednotlivých pojmů v učebních textech bude právě Slovník. Ten pojmy průměrná a okamžitá rychlost definuje takto ([5] s. 38):

2.9.1 **rychlost hmotného bodu, okamžitá rychlost**

jedna ze základních charakteristik pohybu; vektorová veličina definovaná vztahem $\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$. Má směr tečny k trajektorii v daném bodě. V soustavě souřadnic ($Oxyz$) jsou průměty rychlosti $\boldsymbol{v}$ do souřadnicových os (souřadnice vektoru rychlosti)

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}, v_z = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t};$$

pro velikost rychlosti pak platí $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$.

Poznámka: Text tohoto hesla Slovníku uvádíme v plném znění proto, abychom zdůraznili, že veličiny v_x, v_y, v_z jsou zde chápány jako souřadnice vektoru $\boldsymbol{v}$, tedy skalární veličiny, které mohou mít kladnou i zápornou hodnotu, kdežto takto zavedená velikost rychlosti může mít jen nezápornou hodnotu, což se v praxi i v řadě učebních textů často opomíjí. Tím se Slovník poněkud odlišuje od vyjádření normy ČSN ISO 31-11, která rozlišuje „složky vektoru“ $\boldsymbol{a}$, tj. a_x, a_y, a_z a „složkové vektory“ $a_x\boldsymbol{e}_1$, $a_y\,\boldsymbol{e}_2$, $a_z\,\boldsymbol{e}_3$, kde $\boldsymbol{e}_1$, $\boldsymbol{e}_2$, $\boldsymbol{e}_3$ jsou jednotkové vektory závisející na volbě souřadnicové soustavy.

2.9.2 **průměrná rychlost** v_p

skalární veličina definovaná vztahem

$$v_\mathrm{p} = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

kde Δs je úsek dráhy a Δt je příslušný časový úsek.

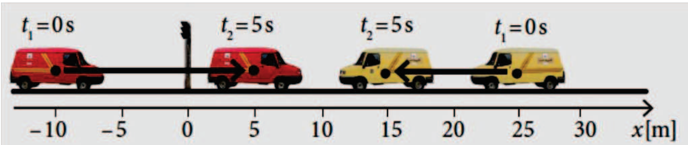
Praxe ukazuje, že takto zavedené dvě veličiny jsou pro výklad ve středoškolské kinematice zcela dostačující. Zůstává však problém, jak se na střední škole vyrovnat s vysokoškolsky formulovanou definicí veličiny okamžitá rychlost, popř. s veličinou posunutí hmotného bodu $\Delta\boldsymbol{r}$ (Slovník, heslo 2.7.2).

K úpravám učiva kinematiky v učebnici [4], jak to předpokládaly závěry konference [6], už nedošlo vzhledem k předčasnému úmrtí J. Nováka a J. Vachka v roce 1989. Úkolu přepracovat učebnici mechaniky se ujali *RNDr. M. Bednařík* a *doc. M. Široká* [7] (v prvním vydání na učebnici pracoval také *ing. P. Bujok*). Při interpretaci průměrné rychlosti jako skalární veličiny se autoři důsledně drží vymezení tohoto pojmu ve Slovníku, což vyplývá i z kontinuity s předcházejícími úrovněmi fyzikálního vzdělávání.

Dokonce i v učivu matematiky pro 5. ročník ZŠ je již pojem průměrná rychlost zaveden jako podíl celkové uražené dráhy a příslušné doby (viz např. Justová, J.: Matematika pro 5. ročník základní školy, Alter 2009). Bylo by nezodpovědné mást žáky nepromyšlenými změnami v přístupu k tomuto vžitému pojmu, jak se o to snaží např. autor pokusu o alternativní učebnici mechaniky [8]. Zde se požaduje, aby nejmladší středoškolák, který ze základní školy zná jedinou vektorovou veličinu sílu, uvědoměle rozlišoval pojmy označené slovním spojením *velikost průměrné rychlosti* a *průměrná velikost rychlosti* ([8], s. 20). Autor uvádí:

průměrná velikost rychlosti – skalár	$v_p = \dfrac{\text{celková dráha}}{\text{celkový čas}}$ $v_p = \dfrac{s}{t}$ $[v_p] = \text{m/s} = \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Průměrná velikost rychlosti vyjadřuje „jak rychle“ urazí těleso danou dráhu za daný čas. Nezáleží na směru pohybu.
průměrná rychlost – vektor (na ose x)	$\mathbf{v}_p = (v_{px}) = \dfrac{\text{posunutí}}{\text{čas}}$ $v_{px} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{x_2 - x_1}{\Delta t}$ $[v_{px}] = \text{m/s} = \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	Průměrná rychlost určuje, „jak rychle“ se těleso posunulo z jedné polohy do druhé za daný čas. Závisí jen na počáteční a koncové poloze tělesa.

K procvičení těchto dvou pojmů autor zařazuje úlohu (s obrázkem označeným 2-3):



Červené auto z obrázku 2-3 začíná svůj pohyb 10 m vlevo od semaforu. Urazí nejprve 15 m směrem doprava za 5 s. Pak ihned začne couvat zpět k semaforu, to mu trvá dalších 5 s. U semaforu auto zastaví. Určete (a) průměrnou rychlost, (b) průměrnou velikost rychlosti auta.

(a) průměrná rychlost

$$v_{px} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(0\,\text{m}) - (-10\,\text{m})}{10\,\text{s}} = 1\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Průměrná rychlost auta má velikost $1\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a směřuje vpravo.

(b) průměrná velikost rychlosti

$$v_p = \frac{s}{t} = \frac{20\,\text{m}}{10\,\text{s}} = 2\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Průměrná velikost rychlosti auta je $6\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vidíme, že $|v_{px}| \neq v_p$

Rozpaky vzbuzuje nejen skalární zápis veličiny v_{p_x}, což neodpovídá nadpisu (a) průměrná rychlost, kde by správně mělo být *velikost průměrné rychlosti*. V odpovědi je pak bez vysvětlení veličina zapsána jako modul vektoru $\left|v_{p_x}\right|$. Zcela formální je tvrzení o rychlosti směřující vpravo u auta, které se vlastně už nepohybuje. Je možné akceptovat např. vektorové vyjádření celkového posunutí automobilu, ale vektorové vyjádření rychlosti v tomto případě je matoucí. Samotný námět úlohy je hodně formální, až nevhodný – takto zmateně se asi skutečné auto u semaforu pohybovat nebude. Bylo by naopak zajímavé zjistit, zda jsou středoškoláci schopni tento formalistický postup výkladu pochopit a zda má pro další výklad kinematiky nějaký význam.

Poněkud složitější je problém středoškolské interpretace okamžité rychlosti na základě definice ve Slovníku. Není samozřejmě možné v definici použít *diferenciální podíl*, ale současně je toto učivo příležitostí, jak na názorném a přehledném příkladu ukázat postup ve středoškolské fyzice často uplatňovaný, kdy derivaci s dostatečnou přesností nahrazujeme přibližnými *diferenčními podíly*. V učebnici [7] je v české středoškolské učebnicové literatuře vlastně poprvé zařazen výklad pojmů *polohový vektor* $\boldsymbol{r}$ a *změna polohového vektoru* $\Delta\boldsymbol{r}$. Současně je vysloven důležitý předpoklad, že je uvažována změna polohového vektoru v malém časovém intervalu Δt. Pak není problém obdobnou úvahou jako v předcházející učebnici [4], kde se používá veličina posunutí $\boldsymbol{d}$, dospět k závěru, že $|\Delta\boldsymbol{r}| \approx \Delta s$ a zejména u přímočarých pohybů pokračovat stejnými metodickými postupy, jaké se v našich učebnicích používají, možno říci, od nepaměti.

Tento metodický postup v současnosti nalézá oporu např. také při vytváření počítačových modelů mechanických pohybů, kdy je modelování založeno na numerickém řešení pro žáka nedostupných diferenciálních rovnic použitím jednoduché Eulerovy metody. Ta spočívá v postupném výpočtu diferencí veličin kinematiky v krocích odpovídajících časovému intervalu Δt, např.

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \doteq \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t}.$$

Je samozřejmé, že čím menší bude časový krok, tím lépe bude model odpovídat skutečnému průběhu modelovaného děje. Ještě v době před nástupem počítačů tuto metodu využíval s použitím kalkulačky ve svých proslulých přednáškách *R. Feynman* [9].

K čemu vede vektorová interpretace průměrné rychlosti bez omezení na malý časový interval, je možné najít v práci [10], kde autorka na s. 6 zavádí pro rychlost dokonce čtyři veličiny a to:

- *průměrnou rychlost* $\vec{v}_\mathrm{p}$,
- *okamžitou rychlost* $\vec{v}$,
- *průměrnou dráhovou rychlost* v_pd,
- *okamžitou dráhovou rychlost* v_d,

přičemž připojuje nezdůvodněnou výtku autorům současně používaných učebnic, že jsou zde rychlosti nesprávně definovány (?!). Vektorovou veličinu *průměrná rychlost* objasňuje řešeným příkladem, který je v následujícím rámečku:

> Určete průměrnou rychlost chodce, který se vydal na nejkratší část turistického pochodu Praha-Prčice a zpět, víte-li, že cesta tam a zpátky trvala 8 hodin.
>
> *Řešení*
>
> Pro výpočet průměrné rychlosti $\vec{v}_p$ užijeme definiční vztah $\vec{v}_p = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$, proto je nutné nejdříve určit vektor posunutí $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$. Turista se však vrací do výchozího bodu, tedy $\vec{r}_1 = \vec{r}_2$, tj. $\Delta\vec{r} = \vec{0}$. Po dosazení je $\vec{v}_p = \frac{\vec{0}\,\mathrm{km}}{8\,\mathrm{h}} = \vec{0}$.
>
> Průměrná rychlost chodce je nulovým vektorem.
>
> *Komentář*: Všimněte si, že pro náš výpočet nebylo nutné znát délku pochodu Praha-Prčice a zpět.
>
> Z příkladu je patrné, že průměrná rychlost není příliš výstižnou charakteristikou pohybu. I když turista celý den někde pochodoval, trmácel se do kopce a zase z kopce, nemůžeme v tomto případě o konkrétním průběhu jeho pohybu mnoho říci. Pro získání lepší informace se zavádí další fyzikální veličiny, a to okamžitá rychlost $\vec{v}$, průměrná dráhová rychlost v_{pd} a okamžitá dráhová rychlost v_d.

Když odhlédneme od problematického vektorového zápisu numerického výpočtu, sama autorka přiznává, že pro praktické řešení úloh kinematiky je vektorově chápaná průměrná rychlost nepoužitelná a tudíž zbytečná. V dalším textu se pak ještě ukáže, že zbytečné je také zavedení okamžité dráhové rychlosti, poněvadž je to jednoduše velikost okamžité rychlosti. Tím se nám výčet rychlostí upraví logicky na skalární veličinu průměrná rychlost (zde označenou dnes již nepoužívaným termínem průměrná dráhová rychlost) a vektorovou veličinu okamžitá rychlost, popř. její velikost.

Vektorovému vyjadřování fyzikálních veličin ve středoškolském učivu věnuje značnou pozornost *prof. I. Šantavý*, přičemž se zabývá i pojmy okamžitá a průměrná rychlost. Tuto problematiku řeší nejen v několika učebních textech, ale i při diskusích k terminologickým otázkám fyziky (viz např. [11]). V těchto publikacích je patrný určitý vývoj interpretace pojmu rychlost i používané terminologie, takže si uveďme jen práci nejnovějšího data a tou je příručka

[12]. Jako *průměrná* (neboli *střední*) *rychlost* hmotného bodu je označena skalární veličina (viz [12], s. 21)

$$v_{\mathrm{p}} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}\,. \tag{1}$$

Vektorovou veličinu rychlost (neoznačuje ji termínem okamžitá rychlost) definuje

$$\boldsymbol{v} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \quad \text{pro } \Delta t \to 0\,.$$

Velikost rychlosti neboli *okamžitá velikost rychlosti* je velikost vektoru $\boldsymbol{v}$, pro kterou lze dokázat, že

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{pro } \Delta t \to 0\,.$$

Z uvedeného vyplývá, že by se výklad mohl jednoduše obejít bez problematické změny polohového vektoru. I. Šantavý v [11] uvádí: "*Nejsou-li uvedené operace s pojmy z časových důvodů řádně vyloženy a zejména na řadě příkladů a problémů dost procvičeny, studenti nevědí, o co jde, a fyzika se jim jeví jako předmět, jemuž nelze porozumět. Nejschůdnější cesta vedoucí ke zlepšení by pravděpodobně byla přesunutí mechaniky do vyššího ročníku a redukce učiva*".

Lze samozřejmě očekávat, že různě budou k diskutovaným pojmům přistupovat také autoři vysokoškolských učebnic. Z nich si ukažme alespoň postup ve skvělé učebnici [13], jejímž hlavním autorem je *prof. Z. Horák*. Jeho postup může být rovněž ukázkou, jak lze i ve vysokoškolském učebním textu postupovat přehledně a srozumitelně deduktivní metodou charakteristickou postupným obohacováním jednoduše definovaného pojmu. Východiskem je rychlost definovaná jako skalární veličina shodně se vztahem (1) a k jejímu označení je použit termín *střední rychlost*. Načež se řeší situace, kdy se časový interval postupně zmenšuje, až se dospěje k limitnímu případu

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}\,.$$

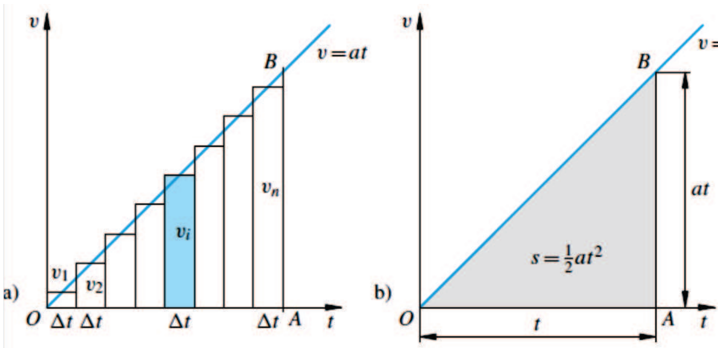
Odkud už je jen krok k *okamžité rychlosti* zavedené nejdříve skalárně s upřesněním, že jde vlastně o velikost rychlosti. Následně je zaveden jednotkový vektor $\boldsymbol{\tau}^0$ tak, aby mířil ve směru pohybu, takže „*elementární přírůstek dráhy můžeme jako vektor vyjádřit ve tvaru* $\mathrm{d}s \cdot \boldsymbol{\tau}^0$. *Z geometrického názoru* *pak plyne, že elementární přírůstek* d$\boldsymbol{r}$ *průvodiče má nejen touž velikost jako elementární přírůstek dráhy* ds, *ale je s ním shodný i co do směru, tedy*

$$\mathrm{d}\boldsymbol{r} \equiv \mathrm{d}s \cdot \boldsymbol{\tau}^0 .\text{“}$$

Vektorová veličina rychlost je pak definována vztahem

$$\boldsymbol{v} = v\boldsymbol{\tau}^0 = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\tau}^0 = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \dot{\boldsymbol{r}} .$$

V nově upravené učebnici Mechanika pro gymnázia [15] je zavedena *průměrná rychlost* jako skalární veličina v návaznosti na základní školu, tj. vztahem $v_\mathrm{p} = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ pro daný úsek trajektorie, resp. $v_\mathrm{p} = \dfrac{\Delta s_1 + \Delta s_2 + \ldots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \ldots}$ pro určení průměrné rychlosti na celé trajektorii, známe-li délky jednotlivých úseků a jim odpovídající doby. Aby bylo důsledně dodrženo upozornění, že průměrná rychlost není aritmetický průměr rychlostí, je při odvozování vztahu pro dráhu rovnoměrně zrychleného pohybu analogicky použit poznatek, že z grafu závislosti velikosti rychlosti na čase u rovnoměrného pohybu lze dráhu vypočítat jako obsah pod grafem této závislosti. Je proto proveden rozbor grafu závislosti velikosti okamžité rychlosti v na čase t pro nulovou počáteční rychlost a při daném zrychlení a, jak je uvedeno v následujících obrázcích. V dosavadní učebnici mechaniky [14] tomu tak nebylo.



Pojem *okamžitá rychlost*, je v učebnici [15] definován analogicky jako v učebnici [14], tedy nejdříve velikost tohoto vektoru formulací: „*Velikost okamžité rychlosti v daném bodě trajektorie a v daném čase je definována jako* *průměrná rychlost ve velmi malém časovém intervalu na odpovídajícím úseku trajektorie s daným bodem*." V základním textu učebnice je pak uvedeno tvrzení, že „*vektor okamžité rychlosti leží v tečně v uvažovaném bodě trajektorie a jeho směr je určen směrem pohybu*". Tvrzení je doloženo jednak animací na k učebnici přiloženém CD, jednak uvedením příkladu odlétávání jisker ve směru tečen k obvodu brusného kotouče při broušení. V rozšiřujícím učivu (rovněž na přiloženém CD) je pak odvozena okamžitá rychlost $\boldsymbol{v}$ pomocí časové změny polohového vektoru $\Delta\boldsymbol{r}$ (stejně jako v učebnici [14]).

Závěr

Jestliže shrneme vývoj vytváření pojmu rychlost ve středoškolských učebnicích, jak byl v příspěvku popsán, můžeme dojít k závěru, že jde do značné míry o problém terminologický. Zejména se to týká užívání přídavných jmen *průměrný* a *střední*. Vzhledem k tomu, jak se i v laickém vyjadřování vžil termín průměrná rychlost, jsme toho názoru, že je vhodné ponechat toto označení pro skalární veličinu rychlost vyjádřenou poměrem celkové dráhy a odpovídající celkové doby. Vždyť stejně vyjadřujeme např. průměrnou teplotu, průměrný počet částic, průměrný průtok vody, průměrnou výšku, průměrnou hustotu aj. Při vyjadřování veličiny diferenčním podílem by bylo možné podíl $\Delta s/\Delta t$ označit jako *střední hodnotu rychlosti* v malém časovém intervalu. Takto např. v učivu elektřiny označujeme střední hodnotu indukovaného napětí určenou diferenčním podílem $\Delta \Phi/\Delta t$ (viz [16], s. 163). V pokročilejším stupni výkladu je tak otevřena cesta, kterou dospějeme přes limitní hodnoty diferenčního podílu až k diferenciálnímu podílu vyjadřujícímu hodnotu okamžité rychlosti přesně.

Literatura

[1] Lepil, O.: *K vývoji učebnic fyziky pro střední školu gymnaziálního typu*, MFI roč. 22 (2013), č. 4 (Příloha), s. P-16.

[2] Marek, J. – Chytilová, M. – Kašpar, E. – Vanýsek, V.: *Fyzika pro I. ročník střední všeobecně vzdělávací školy*. SPN, Praha 1965.

[3] Tomanová, E. – Bednařík, M. – Klobušický, K. – Maršák, J. – Novák, J. – Šabo, I.: *Fyzika, experimentální učební text pro I. ročník gymnázia*. SPN, Praha 1979.

[4] Vachek, J. – Bednařík, M. – Klobušický, K. – Maršák, J. – Novák, J. – Šabo, I.: *Fyzika pro I. ročník gymnázií*. SPN Praha 1984.

[5] Tillich, J. a kol.: *Slovník školské fyziky*. SPN, Praha 1988.

[6] Lepil, O.: *Výuka fyziky na gymnáziu*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 34 (1989), No. 4, 246. Dostupné na: <http://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/139152/PokrokyMFA_34-1989-4_6.pdf> (ověřeno 2013-07-04)

[7] Bednařík, M. – Široká, M. – Bujok, P.: *Fyzika pro gymnázia. Mechanika*. Prometheus, Praha 1993, 1. vydání.

[8] Nečas, T.: *Fyzika pro gymnázia. Mechanika*. MU, Brno 2008.

Dostupné na: <http://www.physics.muni.cz/~awasin/mechanika.html> (ověřeno 2013-07-04)

[9] Feynman, R. P. – Leighton, R. B. – Sands, M.: *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady*, Fragment, Praha 2000.

[10] Kleinová, H.: *Úlohy z mechaniky jinak než rutinně*. Diplomová práce, MU, Brno 2007. Dostupné na: <https://is.muni.cz/th/77877/prif_m/?lang=cs> (ověřeno 2013-07-04)

[11] Šantavý, I.: *Pohled fyzika na pojem vektoru v učebnicích matematiky a fyziky*. In: Terminologické otázky školské matematiky a fyziky, ed. E. Svoboda, JČMF, Praha 1985, s. 15.

[12] Šantavý, I. – Trojánek, A.: *Fyzika. Příprava k přijímacím zkouškám na vysoké školy*. Prometheus, Praha 2000.

[13] Horák, Z. – Krupka, F.: *Fyzika*. Příručka pro fakulty strojního inženýrství, SNTL/SVTL, Praha 1966.

[14] Bednařík, M. – Široká, M: *Fyzika pro gymnázia. Mechanika*. Prometheus, Praha 2009, 4. vydání.

[15] Svoboda, E. – Bednařík, M. – Široká, M: *Fyzika pro gymnázia. Mechanika*. Prometheus, Praha 2013, 5., přepracované vydání.

[16] Lepil, O. – Šedivý, P.: *Fyzika pro gymnázia. Elektřina a magnetismus*, Prometheus, Praha 2009.

Biografická poznámka

RNDr. Milan Bednařík, CSc. (* 1. 5. 1928)

Vystudoval Učitelský ústav v Kroměříži a Olomouci (1947). Dálkovým studiem na Přírodovědecké fakultě UP si zvýšil kvalifikaci pro učitelství matematiky a fyziky na středních školách (1960) a postupně vyučoval na jedenáctileté střední škole a střední všeobecně vzdělávací škole v Uničově, Prostějově a Olomouci. Po krátkém působení na strojní fakultě VUT v Brně přešel v roce 1965 na Přírodovědeckou fakultu UP, kde pracoval až do odchodu do důchodu v roce 1993. Titul RNDr. získal v roce 1967, vědeckou hodnost CSc. v roce 1983. Předmětem jeho zájmu byly především metody fyzikálního vzdělávání, pedagogická kybernetika, problémové a programované vyučování (např. zpracoval a experimentálně ověřil téma Gravitační pole) a hodnocení výsledků výuky didaktickými testy. Je spoluautorem učebnic fyziky pro gymnázium a pro střední odborné školy, sbírek fyzikálních úloh a souborů didaktických testů pro středoškolskou fyziku.

Doc. RNDr. Miroslava Široká, CSc. (* 5. 4. 1933)

Vystudovala Přírodovědeckou fakultu MU v Brně, obor obecná fyzika (1957). Na Přírodovědecké fakultě UP v Olomouci působila od roku 1959 jako odborná asistentka a od roku 1990 jako docentka katedry experimentální fyziky až do odchodu do důchodu v roce 1998. Titul RNDr. získala v roce 1967, vědeckou hodnost CSc. v roce 1977. Přednášela mechaniku a molekulovou fyziku v úvodním vysokoškolském kurzu fyziky, vedla cvičení a fyzikální praktika. Zabývala se tvorbou didaktických testů ze středoškolské fyziky, jejich ověřováním ve školské praxi a metodikou učiva speciální teorie relativity. Je autorkou učebnic fyziky pro gymnázium, sbírek fyzikálních úloh, souborů didaktických testů ze středoškolské fyziky a vysokoškolských skript.