

Fyzikální analýza videozáznámů reálných situací

Robert Cikán^{*}, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

ÚVODEM

Z výzkumu [2, 6] vyplývá, že začínající vysokoškolští studenti fyziky mají často problémy s interpretací grafů závislostí polohy, rychlosti a zrychlení na čase. Pravděpodobně nejčastěji se projevuje nepochopení významu těchto grafů v představě, že tyto grafy jsou nějakou formou jakoby „fotografického otisku“ zkoumaného pohybu. Například, pokud mají studenti načrtnout graf závislosti polohy či rychlosti na čase pro jízdní kolo jedoucí z mírného kopce, od rážejí načrtnuté grafy často fyzickou konfiguraci zadání, tj. studenti často vytvoří místo grafu závislosti zvolenou souřadnice na čase $x = x(t)$ graf, který prakticky popisuje trajektorii pohybu $y = y(x)$. Z jiných výzkumů [4, 8, 9] vyplývá, že co se týče kinematiky hmotného bodu, je jedním z nejběžnějších a nejkritičtějších problémů nesprávné pochopení významu základních kinematických pojmu a nejasné rozlišování mezi nimi. V [4] se například přímo uvádí, že 51 % studentů si při diskuzích k řešení diagnostického testu [5] alespoň jednou popletlo pojmy poloha, rychlosť a zrychlení.

Pokud si studenti pletou pojmy poloha, rychlosť a zrychlení, znamená to, že dobrě nechápu definice těchto veličin a nevidí jejich vzájemné vztahy. Při tradičním způsobu výuky fyziky tedy pravděpodobně není jejich zavedení na střední škole věnována dostatečná pozornost, jak lze pozorovat například při výuce podle učebnice [1], která klade velký důraz na používání definic a vztahů pro výpočet dané fyzikální veličiny pomocí jiných veličin. Přitom často ustupuje do pozadí logika, která k definici vede. Tento způsob výuky vede k tomu, že studenti nechápu odvozené rovnice jako relační vztahy popisující chování konkrétního fyzikálního systému v čase, ale jako statické vzorce, pomocí nichž se počítá rychlosť pohybu, uražená dráha, atd.

S tím, že si studenti neuvědomují dostatečně jasně vazby mezi jednotlivými fyzikálními veličinami, úzce souvisí i problémy, které mají s interpretací grafů závislostí kinematických veličin na čase. To je vzhledem ke skutečnosti, že se při výuce mechaniky využívají grafy závislostí kinematických veličin na čase velmi intenzivně a že by měly pomáhat zvyšovat srozumitelnost a současně snižovat nároky na abstraktní myšlení a představivost studentů, zcela zásadní problém, kterým se uzavírá začarovány kruh. Přitom schopnost vytvořit k danému pohybu (například k pohybu skokana bungee jumping) příslušné grafy závislosti polohy, rychlosťi a zrychlení na čase je klíčem k budoucímu pochopení přičin pohybu. Podle 2. Newtonova zákona totiž existuje jednoznačný vztah mezi zrychlením tělesa a výsledníci působících sil. Známe-li síly působící na těleso, jsme schopni určit, jak se mění v závislosti na čase zrychlení tělesa a z něj dále při znalosti počátečních podmínek vypočítat závislost rychlosťi a polohy tělesa na čase, tj. určit, jak se těleso pohybuje. Naopak, jsme-li schopni změřit závislost polohy tělesa na čase a z ní vypočítat závislost jeho zrychlení na čase, můžeme získat informace o silách, které na těleso působí.

Ukažme si nyní na dvou konkrétních příkladech, jak je možné pokusit se s naznačenými problémy ve výuce fyziky na střední škole vypořádat.

MĚŘENÍ POLOHY AUTÍČKA

Fyzikální veličiny rychlosť a zrychlení jsou abstraktní pojmy, které používáme k popisu pohybu těles. Pokud mají studenti správně pochopit jejich význam, musíme při jejich zavádě-

^{*} robert.cikan@atlas.cz

ní vycházet z něčeho konkrétního, na čem bychom mohli stavět. Například z jednoduchého fyzikálního pokusu, v němž budou studenti měřit závislost polohy jedoucího dětského autička na dálkové ovládání na čase – viz obrázek 1.

1. Měření polohy autička

Při pozorování svého kola vidíme, že oblaka plynou po obloze, ze stromu spadla hruska, kolem projelo auto, atd. Říkáme, že se vše kolem nás pohybuje. Popisem pohybu těles se ve fyzice zabývá částí nazývanou kinematika.

V tomto a několika následujících cvičeních se pokusíme najít různé způsoby, jak pohyb těles popsat pomocí prostředků kinematiky.

Pomůcky

Úkoly

1. Navrhnete postup měření závislosti polohy jedoucího autička na čase.
2. Proveďte příslušné měření a vhodně prezentujte naměřená data.
3. Diskutujte přesnost měření.

Doplňující otázky a úkoly

1. Jaké informace můžeme z tabulky resp. grafu vyčíst?
2. Určete
 - Jaká byla poloha autička v čase 4 s?
 - Jaká byla poloha autička v čase 5 s?
 - Jaká byla poloha autička v čase 4,5 s?
 - V jakém čase byla poloha autička 250 cm?

Tipy a návody

Diskutujte nejprve, co vlastně myslíme tím, když říkáme, že se něco pohybuje.
Jaké pomůcky budete k měření potřebovat?
Jak budete měřit polohu autička? Jak budete měřit čas?
Jak můžete zaznamenat výsledky měření, aby byly jasné a přehledné?
Diskutujte, co ovlivňuje přesnost měření a jak bychom mohli přesnost měření zvýšit.

Obr. 1: Pracovní list k měření závislosti polohy autička na čase

Při měření závislosti polohy dětského autička na čase se studenti mají možnost seznámit s tím, co vlastně fyzikální měření jako jedna z metod, pomocí nichž dochází fyzika k novým poznatkům, obnáší: navrhnout postup měření, zvolit vhodné měřící prostředky a metody měření (sestavit vlastní plán experimentální činnosti), připravit experiment podle navrženého postupu a provést měření, zaznamenat výsledky měření a ty dále zpracovat a prezentovat ve formě tabulek a grafů, provést vyhodnocení chyb měření, atd. Prakticky si vyzkouší své experimentální dovednosti a získají touto cestou přímou zkušenosť, na jejímž základě budou definovat fyzikální veličinu rychlosť pohybu jako časovou změnu polohy a na jejímž základě se dále mohou seznámovat s novými fyzikálními pojmy, které používáme při popisu pohybu těles (hmotný bod, mechanický pohyb, vztažné těleso, soustava souřadnic, vztažná soustava, souřadnice, poloha, atd.).

Z naměřených hodnot studenti vytvoří graf závislosti polohy jedoucího autička na čase a učí se z něj určit polohu autička v daném čase nebo čas, v němž se autičko nacházelo v dané

poloze. Vytvářejí si tak základní vazbu mezi konkrétním pohybem a grafem závislosti, který ho popisuje. Tuto vazbu je vhodné ještě dále upřesnit na konkrétních příkladech složitějších pohybů, kdy mohou studenti alespoň kvalitativně načrtout, jak by mohl vypadat graf závislosti polohy na čase popisující pohyb lezoucího šneka, myšky hledající potravu, zajíce vyrušeného ze spánku, brzdícího automobilu atd., porovnat své předpovědi s předpověďmi spolužáků a diskutovat případné rozdíly.

Pokud jde o kvantitativní zkoumání složitějších pohybů, je vhodné hledat takové metody měření, které jsou dostatečně přesné a přitom nejsou příliš časově náročné. Rozsáhlé možnosti v tomto směru nabízejí moderní technologie, například video. S pomocí videokamery lze zaznamenávat různé reálné pohyby a ty dále s pomocí videa kvantitativně analyzovat tak, jako to už před lety dělal D. Zollman [10], který používal transparentní fólie připevněnou na obrázku televizoru, na které pomocí video přehrávače promítal jednotlivé snímky videozáZNAMU, a na ni zaznamenával se studenty polohu pohybujících se objektů. Poté, co takto provedl potřebná měření, vytvářeli studenti z naměřených hodnot grafy závislostí polohy či rychlosti na čase popisující studovaný pohyb a prováděli jejich analýzu.

Video usnadňuje vytváření přímé vazby mezi konkrétním pohybem a grafem závislosti, který ho popisuje. Poté, co studenti vytvoří odpovídající graf závislosti polohy zkoumaného objektu na čase, je možné pouštět videozáZNAM znova a porovnávat reálný pohyb s grafem, který ho popisuje. Tak je možné například zaměřit pozornost studentů na ty části grafu, kdy změna fyzikální situace (např. změna směru pohybu) přímo způsobí změnu v odpovídajícím grafu. Současná prezentace zkoumaného pohybu a odpovídajícího grafu usnadňuje pochopení jejich vzájemného vztahu a jeho uložení do dlouhodobé paměti jako jednoduchou entitu.

Takto provedené měření nevyžaduje od studentů zpracování velkého množství informací najednou během krátké doby, kdy by normálně byl zkoumaný pohyb před očima. Použití analýzy videozáZNAMU nevyžaduje obecně přímé zapojení mentálních zdrojů, jako jsou krátkodobá paměť a soustředěná pozornost. Navíc se při použití videa zapojí do celého procesu učení více smyslů, což celý proces osvojování nových poznatků výrazně urychluje. Kromě verbálního učení spojeného s popisem příslušného pohybu se totiž zapojuje i učení vizuální. Využití těchto dvou způsobů učení najednou celý proces učení výrazně zefektivňuje.

STUDIUM POHYBU SPRINTERA

Možnosti, které nabízí video, lze ještě dále rozšířit, použijeme-li v další etapě výuky k analýze videozáZNAMU počítač a specializovaný software, který celý proces měření a zpracování dat výrazně urychlí a usnadní studentům pochopení příslušných souvislostí tím, že umožňuje vytvářet příslušný graf závislosti polohy zvoleného objektu na čase synchronně se zaznamenáváním polohy tohoto objektu na jednotlivých snímcích videozáZNAMU nebo že později dovoluje jednoduše přehrát videozáZNAM současně s jemu odpovídajícími grafy naměřených závislostí. Takové možnosti nabízí například *měřící, modelovací a řídící systém IP-Coach* (viz <http://vydra.karlov.mff.cuni.cz/Bobo/Fyzika/IPCoach/Default.htm>), s jehož pomocí lze provést všechna potřebná měření a získané výsledky dále zpracovávat (například vypočítat z naměřených závislostí polohy zkoumaného objektu na čase odpovídající grafy závislosti jeho rychlosti a zrychlení na čase) a analyzovat (odečítat hodnoty z grafů, určovat směrnici krivky atd.).

Studium videozáZNAMŮ různých reálných situací pomocí počítače je jednoduchý způsob, jak předkládat studentům nové fyzikální poznatky v kontextu, který přiláká jejich pozornost, a jak jim ukázat, že fyzika je úzce svázána s reálným životem. Mnoho situací vhodných pro fyzikální analýzu poskytují například videozáZNAMY různých událostí ze sportu. Pomocí počítače je také možné provádět fyzikální měření z videozáZNAMŮ různých nebezpečných situací, například srážky aut.

Jednoduchým příkladem fyzikálního měření prováděného na události ze sportu může být například studium videozáznamu startu sprintera – viz obrázek 2.

Co se týče dostupnosti videozáznamů vhodných pro fyzikální měření, je možné koupit hotovou sbírku videozáznamů určených pro výuku mechaniky (například CD Multimedia Motion – viz <http://www.csmedia.demon.co.uk>), stáhnout si vhodné videozáznamy z internetu (viz například sbírka videozáznamů <http://vydra.karlov.mff.cuni.cz/Bobo/Fyzika/Video.htm>), digitalizovat zajímavé záběry z televizního vysílání nebo natočit a digitalizovat vlastní záznamy různých situací (například v rámci seminárních prací pro studenty vyšších ročníků).

3. Analyza pohybu sprintera (video)

Již jsme detailně zkoumali dva speciální případy mechanického pohybu: pohyb rovnoměrný (pohyb autička) a pohyb rovnoměrně zrychlený (pohyb kuličky na nakloněné rovině).

V tomto cvičení podrobne prozkoumáme obecný nerovnoměrný pohyb (start sprintera) pomocí prostředků programu Coach 5 pro data-video měření a pro zpracování a analýzu naměřených dat.



Pomůcky

Úkoly

3. Přehrát si videozáznam startu sprintera. Vytvořte graf závislosti polohy sprintera na čase.
4. Odhadněte, jak bude vypadat graf závislosti polohy sprintera na čase.
5. Zaznamenejte závislost polohy sprintera na čase a porovnejte výsledek s vaší předpovědi.
6. Odhadněte, jak bude vypadat graf závislosti rychlosti sprintera na čase.
7. Vytvořte graf závislosti rychlosti sprintera na čase a porovnejte výsledek s vaší předpovědí.
8. Určete typ pohybu sprintera (rovnoměrný, rovnoměrně zrychlený, nerovnoměrný zrychlený).
9. Určete maximální rychlosť sprintera a v jakém čase ji dosáhl.
10. Určete průměrnou rychlosť sprintera během zaznamenaného pohybu.
11. Určete maximální zrychlení sprintera a v jakém čase ho dosáhl.
12. Určete, za jak dlouho uběhne sprinter vzdálenost 100 m za předpokladu, že si udrží na zbytku dráhy maximální rychlosť získanou během několika prvních sekund záznamu.

Doplňující otázky a úkoly

13. Kdo je držitelem světového rekordu v běhu na 100 m? Jaká je hodnota tohoto rekordu? Určete průměrnou rychlosť sprintera při světovém rekordu v běhu na 100 m.
14. Kdo je držitelem světového rekordu v maratonu? Jaká je hodnota tohoto rekordu? Určete průměrnou rychlosť maratonce při světovém rekordu.
15. Za jak dlouho uběhnete vzdálenost 100 m vy? Porovnejte svou průměrnou rychlosť s průměrnými rychlosťmi sprintera a maratonce při světovém rekordu.

Tipy a návody

Videozáznam je již připravený k měření – měřítka, měřící body, atd. jsou už nastavené. Před vlastním měřením vypněte zobrazení měřítka a os a maximalizujte měřící okno.

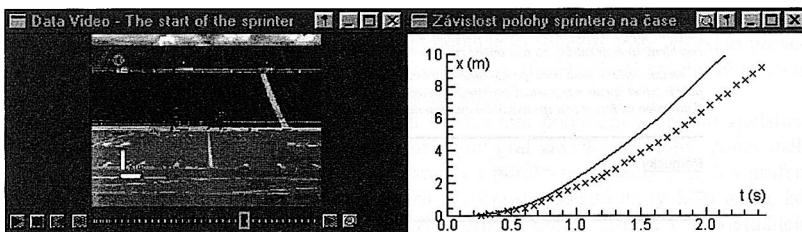
Před měřením si volte nějaký výrazný bod na těle sprintera, jehož polohu budete ...

Obr. 2: Pracovní list ke studiu pohybu sprintera

Při studiu videozáznamu pohybu sprintera si studenti mohou znova z trochu jiného úhlu pohledu ujasnit vztah mezi konkrétním pohybem a jeho grafickou reprezentací a dále vztahy mezi fyzikálními veličinami, které používáme k popisu pohybu. Na základě jednoduchého

měření s počítačem si prohloubí své dosavadní znalosti z kinematiky a také procvičí některé specifické dovednosti spojené s měřením a zpracováním experimentálních dat.

Z zmínsku v tomto případě stojí otázka přesnosti video měření. Aby měli všichni studenti stejné podmínky, měl by být videozáznam již připravený k měření. Hodnoty získaných výsledků totiž výrazně ovlivňuje zejména volba os a měřítka (kalibrace pro měření vzdáleností) a přesnost vlastního měření polohy vybraných objektů prováděného pomocí myši na obrazovce monitoru – ne vždy se studentům podaří umístit měřící značku na stejně místo pohybujícího se objektu, což ovlivňuje mnoho faktorů: volba význačného bodu objektu, jehož polohu naznamenáváme, velikost tohoto význačného bodu, ostrost obrazu, citlivost myši, manuální zručnost experimentátora při práci s myší, atd.



Obr. 3: Předpověď studenta a naměřená závislost vodorovné složky polohy sprintera na čase (pro měření z videozáznamu, na němž pohyb sprintera nezačíná v časovém okamžiku 0 s)

S pomocí nástrojů programu Coach 5 mohou studenti velmi rychle provádět všechny rutinní činnosti spojené s měřením a zpracováním dat, takže se mohou soustředit na vlastní fyzikální analýzu studovaného pohybu. Program Coach 5 navíc studentům umožňuje aktivně opakovat známé poznatky v mnoha různých souvislostech pomocí kombinace různých aktivit (zpracování experimentálních dat z měření pomocí klasických měřicích přístrojů a metod, počítačový experiment, interaktivní video, matematické modelování) a tak jim umožňuje, aby si našli vlastní cestu k osvojení nových poznatků. Prakticky se tak naplňuje didaktická zásada variace učiva a metod řešení, což pomáhá udržet pozornost a zájem studentů.

SHRNUTÍ

Některé konkrétní zahraniční zkušenosti a výsledky [3, 7] ukazují, že použití fyzikální analýzy videozáznamů reálných situací a dalších měřicích aktivit s počítačem (např. studium složitějších pohybů s pomocí sonaru) může středoškolským studentům výrazně pomoci při osvojování a pochopení základních pojmu a vztahů z mechaniky hmotného bodu. Přitom je však třeba mít stále na paměti, že efektivita výuky nezávisí jen na tom, zda se multimedia při výuce používají nebo ne, ale zejména na tom, jak jsou do celého procesu učení zapojeni sami studenti.

Poznámka:

Použité ukázky pracovních listů jsou součástí souboru studijních materiálů pro výuku mechaniky hmotného bodu zaměřenou na používání výukových metod, které kladou velký důraz na aktivní činnost studentů, na rozvíjení jejich dovedností a schopnosti (tj. problémové a výzkumné metody), v kombinaci s prostředky, které nám nabízí zejména zapojení výpočetní techniky do výuky – viz <http://vydra.karlov.mff.cuni.cz/BoBo/Disertace/Default.htm>. Tyto studijní materiály tvoří rozsáhlý soubor praktických cvičení ve verzi pro studenty a pro učitele. Verze pro studenty obsahuje zadání jednotlivých úloh a tipy a návody k jejich řešení. Ve

verzi pro učitele jsou navíc ke každému cvičení k dispozici kompletní řešení úloh nebo jeho část, která naznačuje, jak při řešení postupovat, a dále komentáře a metodické poznámky k úlohám s mnoha dalšími cennými informacemi – návody a tipy, jak při řešení úloh postupovat, jak motivovat studenty, na co se zaměřit, jaká je vazba na praxi, atd.

LITERATURA:

- [1] Bednářík M., Široká M., Bujok P.: *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*. Prometheus, Praha 1993.
- [2] Beichner R.: *Testing student interpretation of kinematics graphs*. American Journal of Physics **62**, (1994) 750.
- [3] Ellermeijer A. L., Landheer B., Molenaar P. P. M.: *Teaching Mechanics through Interactive Video and a Microcomputer-Based Laboratory (IV/MBL)*. In: *NATO conference*. University of Amsterdam, Amsterdam 1996.
- [4] Halloun I. A., Hestenes D. P.: *Common sense concepts about motion*. American Journal of Physics **53**, (1985) 1056.
- [5] Halloun I. A., Hestenes D. P.: *The initial knowledge state of college Physics students*. American Journal of Physics **53**, (1985) 1043.
- [6] McDermott L. C., Rosenquist M. L., van Zee E. H.: *Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from Kinematics*. American Journal of Physics **55**, (1987) 503.
- [7] Molenaar P. P. M., Mahn M. A. C.: *The Force of Multimedia in the Mechanics*. In: *GIREP conference*. University of Amsterdam, Ljubljana 1996.
- [8] Trowbridge D. E., McDermott L. C.: *Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension*. American Journal of Physics **48**, (1980) 1020.
- [9] Trowbridge D. E., McDermott L. C.: *Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension*. American Journal of Physics **49**, (1981) 242.
- [10] Zollman D., Fuller R.: *Teaching and learning physics with interactive video*. Physics Today **47**, (1994) 41.