

Učebnice fyziky a výuka na střední škole

OLDŘICH LEPIL

Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

V historii vývoje fyzikálního vzdělávání vždy sehrávaly klíčovou roli učebnice, které odrážely jak vývoj v oblasti přírodovědných poznatků, tak změny v koncepcích a organizaci školského systému. Zásadní změny ve školství, dané např. legislativními změnami nebo inovací školních osnov, byly také podnětem pro přípravu nových souborů učebnic a určovaly dobu jejich platnosti a používání ve školách. Podrobně je historie vývoje učebnic pro výuku na školách gymnaziálního typu popsána v příspěvku [1]. V něm je rovněž dokumentována postupná generační obměna autorských kolektivů, jak k ní docházelo v jednotlivých projektech tvorby souborů učebnic.

Ve vztahu k současné výuce fyziky na tomto typu školy je třeba připomenout nejrozsáhlejší projekt učebnicové tvorby, který byl realizován v letech 1984–1987. V tomto období dosáhla maxima hodinová dotace fyziky na střední škole. Učební plán měl strukturu 3 + 3 + 3 + 4, tzn. celkově 13 týdenních vyučovacích hodin. Tím byl vytvořen větší prostor pro modernizaci obsahu učiva doplněním nových, popř. prohloubením tradičních témat učiva. Rozšířena byla témata tzv. moderní fyziky (poznatky kvantové a atomové fyziky), nové bylo učivo speciální teorie relativity. Došlo i k změnám ve struktuře didaktické soustavy učiva zařazením integrovaných poznatkových soustav jednak v učivu o silových polích (gravitační a elektrické pole), jednak v učivu o mechanickém a elektromagnetickém kmitání a vlnění. Příznivá hodinová dotace vedla k zavedení systému cvičení (teoretických a laboratorních), pro něž byla v učebním plánu vymezena jedna týdenní hodina v dělené třídě.

Za zmínku stojí i skutečnost, že tento soubor učebnic pro 1. až 4. ročník gymnázií, často označovaný jako *federální učebnice*, vznikal v gesci slovenského Výskumného ústavu pedagogického a práce na projektu řídila komise, kterou vedl *prof. Ján Pišút* (1939–2018) z MFF UK v Bratislavě. Učebnice tak byly výsledkem několikaleté práce velkého počtu spolupracovníků, počínaje autory textů, recenzenty z řad pracovníků vysokých škol i učitelů z praxe, včetně učitelů, kteří se na vybraných školách podíleli na ověřování pracovních verzí vznikajících učebnic. S prací na projektu byla spojena řada pracovních seminářů a dvě celostátní konference. První z nich se konala ve Východě již v roce 1981 a bylo na ní podrobně projednáno celkové pojetí nového didaktického systému učiva a jeho obsah [2]. Cílem druhé konference v roce 1988 v Luhačovicích [3] bylo vyhodnocení základní etapy realizace projektu z pohledu školské praxe. Celkově byl v rámci projektu vytvořen ojedinělý počet původních učebnic, který zahrnoval celkem 16 titulů učebních textů pro povinnou výuku, nepovinné, popř. povinné volitelné předměty a pro pět volitelných seminářů v nejvyšším ročníku gymnázia (přehledně viz [1]).

Uvádím tuto etapu tvorby učebnic fyziky podrobněji, abych zdůraznil, že příprava uceleného souboru učebnic pro určitý typ školy vyžaduje poměrně dlouhou dobu a jejich tvorba není možná bez širší spolupráce potenciálních autorů s dalšími kolegy. Jestliže se v současnosti stále častěji mluví o potřebě vzniku nového souboru učebnic, je třeba si tuto skutečnost uvědomit a prvořadou pozornost zaměřit na východiska tvorby, to znamená na novou koncepci didaktického systému učiva. Ten by měl reflektovat priority fyzikálního vzdělání a směřovat k překonání současného stavu, kdy v učivu dominují poznatky spíše z historie fyziky a často bez valného významu pro praktický život.

Federální učebnice byly považovány za přechodné a po jejich vyhodnocení měly být po roce 1992 postupně vydávány učebnice definitivní. Vzhledem ke změnám, které přinesl rok 1989, však již k realizaci této etapy tvorby učebnic nedošlo.

Po roce 1990 na výsledky projektu postupně navázala tvorba učebnic v nakladatelství Prometheus, které vzniklo jako soukromý podnikatelský subjekt v roce 1993. Redakci tvořily převážně pracovnice bývalého Státního pedagogického nakladatelství, které se podílely již na přípravě federálních učebnic. Tím byla zajištěna kontinuita tvorby učebnic jak z hlediska výběru autorů, tak z hlediska redakční práce a to umožnilo zhodnotit získané zkušenosti s federálními učebnicemi.

Zásadní přehodnocení původního projektu vyžadoval i nastoupený trend liberalizace školské soustavy, kterou charakterizuje značná volnost ve volbě vzdělávacích cest. To ve svých důsledcích vedlo k redukci hodinové dotace fyziky a k změnám osnov fyziky, které znamenaly do značné míry návrat ke klasické struktuře didaktického systému, jak se formoval již v 1. polovině 20. století. Vývoj výuky fyziky pak pokračoval zavedením Rámcových vzdělávacích programů (RVP), na jejichž základě se ještě prohloubila volnost vzdělávacích cest, které si učitelé volí vlastními Školními vzdělávacími programy (ŠVP).

Učebnice fyziky pro gymnázium

Změny v koncepci výuky podle RVP a ŠVP vyústily v myšlenku, vytvořit soubor učebnic, které učitelé poskytnou lepší možnost sladit vlastní záměry vzdělávacích cest s učebními materiály pro žáky. Tato myšlenka byla realizována v podobě souboru osmi tematicky zaměřených učebnic pro gymnázium. Základ autorského kolektivu těchto učebnic vytvořili autoři, kteří se již podíleli na federálních učebnicích, ale přibyli autoři noví. Celkově pak na počátku tvořilo autorský kolektiv 10 autorů (*M. Bednařík, M. Šíroká, P. Bujok, K. Bartuška, E. Svoboda, O. Lepil, P. Šedivý, Z. Kupka, I. Štoll, M. Macháček*), z nichž bohužel již většina nežije.

Učebnice byly hned od počátku učitelskou veřejností velmi dobře přijaty. O tom svědčí anketa Fyzikální pedagogické sekce JČMF z roku 1998, při níž bylo osloveno téměř 200 gymnázií s žádostí, aby se učitelé vyjádřili k širšímu okruhu problémů fyzikálního vzdělávání [4]. V rámci tohoto šetření byli požádáni také o hodnocení učebnic fyziky tematické řady. Odpovědi přišly z 91 gymnázií a výsledky jsou patrné z následující tabulky.

Hodnocení Učebnice	Velmi dobré %	Dobré %	Nevyhovující %	Poznámka %
Mechanika	44	56	0	2x výborně
Mol. fyzika a termika	51	49	0	
Mech. kmitání a vlnění	55	44	1	
Elektrina a magnetismus	45	51	4	
Optika	40	55	5	
Spec. teorie relativity	38	58	4	
Fyzika mikrosvěta	39	50	11	1x výborně
Astrofyzika	68	32	0	1x výborně

Za celou dobu existence učebnic nezaznamenali autoři ani redakce nakladatelství Prometheus nějaké zásadní připomínky k učebnicím, kromě různých upozornění na drobná nedopatření v textu nebo v řešení úloh. Jako zcela ojedinělé tak vyzněly tzv. postrecenze učebnic, uveřejněné v roce 2000 v již zaniklém časopisu *Školská fyzika*. Těmito publikacemi byla zahájena bezmála dvacet let trvající kampaň, kterou se autoři z Přírodovědecké fakulty MU v Brně snažili přesvědčit učitelskou veřejnost o nedostatcích učebnic a o potřebě vytvořit učebnice nové. Postrecenze byly vypracovány na všechny učebnice tematické řady učebnic pro gymnázium, avšak jejich uveřejnění nemělo žádný ohlas a většina autorů učebnic postrecenze ani nezaznamenala. Jedinou reakcí je článek *K. Bartušky* a *E. Svobody* [5], kterým se autoři učebnice molekulové fyziky a termiky vyrovnali s řadou neopodstatněných výtek v postrecenzi *A. Laciny* [6]. Současně se v tomto příspěvku ohradili proti autoritativnímu a konfrontačnímu způsobu, kterým jsou některé postrecenze napsány. Nejpatrnější je to u postrecenze učebnice mechaniky, jejíž autorkou je *J. Musilová* [7]. Celkový ráz postrecenze charakterizuje závěr, který stojí za citaci: „... knihu nelze bez požadavku významného přepracování doporučit nejen k samostatnému studiu, ale ani k opakování a prohloubení znalostí, které studenti získají na základě výkladu učitele.“¹⁾

Od autorky tak kategorického výroku bychom očekávali, že má nějakou vizi kvalitnějšího projektu, popř. poukáže na učební texty, které lépe naplňují vzdělávací úkoly ve výuce fyziky. Nic takového se nestalo. A situace se nezměnila ani v průběhu uplynulých dvaceti let. Žádná koncepční studie, žádný nový projekt ani učební text, ačkoliv k tomu byla autorka v citovaném příspěvku [5] přímo vyzvána. Jen neustálé opakování stejných výtek soustředěných na několik málo problémů, které většina učitelů ani jako nějaké zásadní problémy nevnímá (např. průměrná rychlost, valivý odpor nebo kyvadlo). Uvážíme-li tlak na redukci učiva v rámci připravované revize RVP, jsou témata recenze zcela mimo trend většího důrazu na poznatky odpovídající vědeckotechnickému rozvoji současné společnosti.

Aktuální stav letité kritiky představuje text [8], kde se autorka znovu pozastavuje nad údajným monopolem tematické řady učebnic fyziky pro gymnázium. Podle recenze je tomu tak proto, že „jsou opatřeny tzv. ministerskou doložkou, která je staví do takřka výlučné oficiální pozice“. Toto

¹⁾Podle žebříčku Svazu českých knihkupců a nakladatelů se učebnice *Mechanika* v týdnu od 9.–15. září 2019 umístila mezi deseti nejprodávanějšími knihami naučné literatury v ČR.

nesmyslné tvrzení vyvrací např. počet souborů učebnic pro ZŠ z různých (aktuálně šesti) vydavatelství, které schvalovací doložku MŠMT rovněž získaly. Stejně tak má schvalovací doložku elektronická učebnice fyziky pro SŠ, vzniklá v rámci projektu učitelů Olomouckého kraje ELUC [9].

Z tohoto hlediska neexistuje žádná překážka, která by bránila v tvorbě nových učebních textů i pro výuku dílčích témat učiva fyziky. Překážkou není ani Školský zákon, který umožňuje, aby školy kromě učebnic a učebních textů se schvalovací doložkou používaly i další učebnice a učební texty, pokud splňují podmínky stanovené zákonem (viz § 27, odst. 2). Je však třeba si uvědomit, že stát vydavatelům neposkytuje žádnou dotaci, jako tomu bylo v minulosti. Není tedy možné přijímat podnikatelské riziko vydáváním publikací nezkušených autorů, aniž by prokázali svoje kompetence třeba jen pracemi menšího rozsahu.

Pokusy vytvořit nové učebnice pro gymnázium zde byly, ale skončily právě učebním textem z mechaniky. Proč tomu tak je, o tom si čtenář může udělat úsudek sám. Příkladem může být projekt *L. Sklenáka* a *D. Dvořáka*, který měly tvořit čtyři učebnice (Mechanika, Termodynamika, Elektřina a magnetismus a Optika) a Sbírka úloh. Jako první vyšla v roce 1997 Mechanika [10]. Je určena pro žáky 1. ročníku střední školy, tedy pro žáky, kteří se na ZŠ setkali s jedinou fyzikální veličinou vektorového charakteru – silou. Hned v úvodní části učebnice, v podkapitole 1.3 Matematický jazyk mechaniky je obsáhle budován vektorový aparát fyziky na úrovni vysokoškolského semináře, včetně vektorové báze souřadné soustavy, normování vektorů, skalárního i vektorového součinu. Není divu, že se učebnice v praxi neprosadila a vydavatel touto knihou celý projekt ukončil.

Znovu se potvrdil již dříve získaný poznatek z ověřování experimentálních učebnic rozsáhlého projektu tvorby federálních učebnic (viz např. závěry z konference z roku 1988 [3]), že nepřiměřený vektorový aparát a přehnaný formalismus středoškolského učiva mechaniky školská praxe nepřijme. Částečně je tento problém popsán také v publikaci [11], která se zabývá obdobnými trendy při výkladu pojmu rychlost.

Kritika J. Musilové se týká hlavně učiva mechaniky. Při každé možné příležitosti však věnuje pozornost také kyvadlu, i když ho RVP pro gymnázium ani nezahrnuje. Učivo o kyvadle je v učebnicích obvykle součástí tematického celku Mechanické kmitání a vlnění, který plnil funkci propeedeutiky k učivu akustiky a optiky a nověji i k učivu o elektromagnetickém kmitání a vlnění. Výklad pohybu kyvadla je prakticky shodný ve většině středoškolských učebnic u nás i v zahraničí. Určitou výjimkou je učebnice

[12], v níž je toto učivo jako zbytečné vypuštěno. Vzhledem k tradici je zařazeno alespoň jako příklad v teoretickém cvičení.

Zdrojem námitek recenzentky je požadavek, aby pohyb kyvadla při libovolné počáteční výchylce byl vždy interpretován jako pohyb po kružnicové trajektorii, tedy jako křivocharý zrychlený pohyb. Každý odlišný výklad je údajně chybný a je označen jako „tradovaný blud“ [13] (obr. 1). O tomto přístupu k výkladu kyvadla, který ani nelze dohledat v učebnicových textech dostupných na webu, můžeme diskutovat, není to však důvod k posměšnému hodnocení metodického postupu, který je v učebnicích dominantní. I když jsem se k tomuto okrajovému tématu středoškolské fyziky již vyjádřil (viz [14]), je zřejmě třeba, ještě jednou se k němu vrátit.



Obr. 1

Kyvadlo

Jednoduché kyvadlo tvoří malé těleso (např. kovová kulička) o hmotnosti m , zavěšené na „nehmotném“ vlákně délky l a v naprosté většině učebnic fyziky slouží od dob Galilea Galileiho jako model mechanického oscilátoru. Cíl výkladu v současnosti je jediný: ukázat, že kyvadlo koná harmonický pohyb, a zjistit, na čem závisí, popř. nezávisí perioda T kmitání. Všechno ostatní je balast, který jen zatěžuje výuku fyziky zbytečnými historismy a vede ji do slepé uličky nezájmu žáků, kteří si kladou oprávněnou otázku: „K čemu mi to bude?“

I když se těleso kmitajícího kyvadla obecně pohybuje po kružnicové trajektorii, výklad vždy směřuje k *linearizaci* jeho pohybu, čili k matematickému popisu pohybu kyvadla jako *lineárního harmonického oscilátoru*. Je to exemplární příklad častého postupu ve fyzice, kdy jsou stanoveny určité omezující podmínky, za kterých se popis složitějšího děje zjednoduší a to přispěje k jeho lepšímu pochopení.

Podívejme se, jak pohyb kyvadla řeší vysokoškolské učebnice. Kmitání kyvadla popisuje diferenciální rovnice, ke které se dospívá velmi jednoduše na základě pohybové rovnice rotačního pohybu

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mgl \sin \varphi,$$

kde J je moment setrvačnosti kmitajícího tělesa vzhledem k ose otáčení a φ je okamžitá úhlová výchylka kyvadla. Pravá strana rovnice vyjadřuje moment síly, který vyvolá tíhová síla $F_G = mg$ působící na těleso kyvadla. Poněvadž moment setrvačnosti tělesa redukovaného na hmotný bod ve vzdálenosti l od osy otáčení $J = ml^2$, dostáváme po jednoduché úpravě ihned diferenciální rovnici

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{l} \sin \varphi = 0.$$

V každé vysokoškolské učebnici se pak dočteme, že tato rovnice je nelineární, nemá jednoduché řešení, kmitání kyvadla není přesně harmonické a perioda kmitání závisí na amplitudě výchylky. Je tedy třeba stanovit podmínku linearizace této rovnice: počáteční výchylka kyvadla musí být tak malá, aby $\sin \varphi \approx \varphi$ (v radiánech). Pak rovnice přejde do tvaru

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{l} \varphi = 0,$$

má standardní řešení a je rovnicí netlumeného harmonického kmitání lineárního oscilátoru s úhlovou frekvencí ω a periodou T :

$$\ddot{\varphi} + \omega^2 \varphi = 0 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Ve středoškolské fyzice má výklad kyvadla stejný cíl, jen se k němu dospívá poněkud odlišným způsobem už proto, že úhlové zrychlení vyjádřené druhou derivací okamžité úhlové výchylky je mimo možnosti střední školy. Je třeba si uvědomit, že úhlové zrychlení nikdy nebylo standardním učivem středoškolské fyziky. Jen v učebnici volitelného předmětu [15] je tato veličina definována vztahem $\alpha = \Delta\omega/\Delta t$ v souvislosti s rotací tuhého tělesa.

Kyvadlem se zabývá i pracovní text na webu J. Musilové [16] (název publikace ani autor není uveden). Ve srovnání s většinou vysokoškolských učebnic se v tomto textu složitým postupem řeší pohyb kyvadla s počáteční

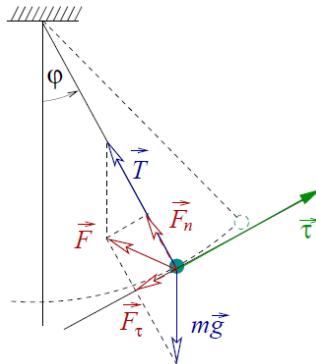
výchylkou $\varphi_0 < 90^\circ$ (viz s. 122–125). Ale student by v textu marně hledal vysvětlení, proč v diferenciální rovnici, k níž výklad směřuje, chybí funkce sinus (obr. 2; triviální chybu v rovnici 2.21 si čtenář jistě opraví sám). Může se tak mylně domnívat, že rovnice platí obecně pro libovolnou počáteční výchylku.

Vyjádření složek zrychlení pomocí úhlové výchylky a jejich derivací dosadíme do (2.14). Vynásobíme-li první rovnici soustavy (2.14) $\cos \varphi$, druhou $\sin \varphi$ a sečteme, vyloučíme tím T a dostaneme

$$l\ddot{\varphi} = -g \sin \varphi \implies \ddot{\varphi} + \sqrt{\frac{g}{l}}\varphi = 0. \quad (2.21)$$

Obr. 2

Od tradiční metodiky výkladu pohybu kyvadla se výklad ve zmíněné publikaci liší právě zdůrazněním, že se jedná o křivočarý pohyb, daný působením sil patrných z obr. 3, ke kterému se váže text na obr. 4.



Obr. 3

Rozkladem vektorové rovnice představující druhý Newtonův zákon do směru tečny a hlavní normály dostaneme

$$ma_\tau = -mg \sin \varphi, \quad ma_n = T - mg \cos \varphi. \quad (2.22)$$

Tečné a normálové zrychlení a_τ a a_n jsou dána vztahy (1.37) a (1.42), tj.

$$\ddot{\varphi} + g \sin \varphi, \quad T = mg \cos \varphi + ml\dot{\varphi}^2.$$

Výsledná síla $\vec{F} = m\vec{g} + \vec{T}$ má tečnou a normálovou složku určenou vztahy (2.22),

$$\vec{F}_\tau = m\vec{a}_\tau = -mg \sin \varphi \vec{\tau}, \quad \vec{F}_n = m\vec{a}_n = (T - mg \cos \varphi) \vec{n}.$$

Obr. 4

Zde je třeba opravit vztah pro tečné zrychlení $a_\tau = l\ddot{\varphi} = -g \sin \varphi$, který je naopak uveden správně u chybně upravené rovnice (2.21). Pokud do vztahu pro normálovou složku F_n dosadíme vztah pro tahovou sílu vlákna T , dostaneme

$$F_n = ml\dot{\varphi}^2 = ml\omega^2 = m\frac{v^2}{l}.$$

To tedy znamená, že normálovou složkou výslednice sil je vlastně dostředivá síla, což je v celém textu studentovi utajeno. Neznámo proč se řeší extrémní případ, kdy je počáteční výchylka kyvadla 90° a v textu je uvedeno, že v těchto krajních bodech „má kulička nulovou rychlost a tedy i nulové normálové zrychlení“. To ovšem platí pro body obratu při libovolné výchylce, protože i z jednoduchého, intuitivně pochopitelného názoru je ihned zřejmé, že při nulové rychlosti kyvadla je nulová i dostředivá síla. Stejně tak je tomu také v případě, kdy je počáteční výchylka kyvadla malá, takže dostředivé zrychlení je zanedbatelné. Tahová síla vlákna je ve všech těchto případech kompenzována složkou tíhové síly do směru normály k trajektorii.

Velikost počáteční výchylky, při níž tato situace nastane, je v publikacích J. Musilové také předmětem posměšné kritiky [13] (obr. 5). Se stejnou ironií bychom se mohli zeptat, proč se v pracovním textu řeší kyvadlo s výchylkou 90° a ne rovnou 180° , což je nesporně fyzikálně zajímavější.

MASARYKOVA UNIVERZITA www.muni.cz

Matematické kyvadlo

**Proč právě pět stupňů?
Proč ne deset, nebo jeden?**

**Která síla je pak ale „příčinou“
zakřivení trajektorie?**

O. Lepil: Fyzika pro gymnázia. Mechanické kmitání a vlnění. Prometheus, Praha 1994, 2001. 21

Obr. 5

Rovněž v tomto případě lze diskutovat o mezní hodnotě počáteční výchylky, při níž je rovnice kyvadla standardně řešitelná, kmitání kyvadla je harmonické a odchylka periody kyvadla od teoretické hodnoty má přípustnou hodnotu. Dobře to vystihuje krátký text, převzatý ze světoznámé učebnice *Berkeley Physics Course* [17] (obr. 6).

We now use the Taylor's series expansion [Appendix, Eq. (4)]

$$\sin \psi = \psi - \frac{\psi^3}{3!} + \frac{\psi^5}{5!} - \dots, \quad (6)$$

where the ellipsis (\dots) denotes the rest of the infinite series. We see that for sufficiently small ψ (in radians, remember), we can neglect all terms in Eq. (6) except the first one, ψ . You may ask, "How small is 'sufficiently small'?" That question has no universal answer—it depends on how accurately you can determine the function $\psi(t)$ in the experiment you have in mind (this is physics, remember—nothing is perfectly measurable) and on how much you care. For example, for $\psi = 0.10$ rad (5.7 deg), $\sin \psi$ is 0.0998; in some problems "0.0998 = 0.1000" is a poor approximation. For $\psi = 1.0$ rad (57.3 deg), $\sin \psi$ is 0.841; in some problems "0.8 = 1.0" is an adequate approximation.

Obr. 6

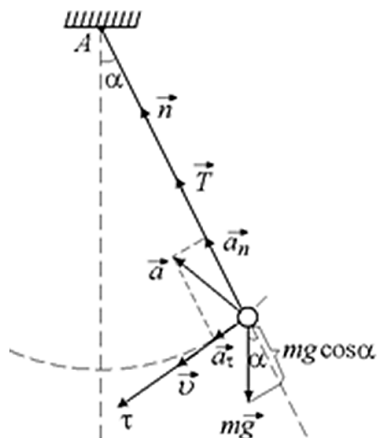
Nahlédnutím do učebnic jiných autorů se snadno přesvědčíme, že nejčastěji se jako podmínka řešitelnosti rovnice kyvadla uvádí právě počáteční výchylka $\varphi_0 \leq 5^\circ$, popř. $0,1$ rad $\approx 5,7^\circ$ nebo jen $\varphi_0 \ll 1$ rad. Tak je tomu ve většině našich středoškolských učebnic vydaných v uplynulém století a samozřejmě v mnoha dalších zahraničních učebnicích, třeba v populární a často citované učebnici *Fundamentals of Physics* [18] (obr. 7).

We can simplify Eq. 15-25 if we assume the angle θ is small, for then we can approximate $\sin \theta$ with θ (expressed in radian measure). (As an example, if $\theta = 5.00^\circ = 0.0873$ rad, then $\sin \theta = 0.0872$, a difference of only about 0.1%.) With that approximation and some rearranging, we then have

$$\alpha = -\frac{mgL}{I} \theta. \quad (15-26)$$

Obr. 7

Protože postup výkladu pohybu kyvadla popsáný v publikaci [16] je zcela ojedinělý, naskytá se otázka, zda je ještě někde jinde použita analogická metodika výkladu. S určitým úsilím se podařilo na zahraničním webu najít postup (viz [19]), který je zmíněnému pojetí výkladu do jisté míry blízký, jak se dá usuzovat z obdobného vyobrazení působících sil (obr. 8).



Obr. 8

V samotném textu se však opět setkáváme s podmínkou 5° pro počáteční výchylku kyvadla. Vyústění výkladu v podobě rozhovoru autora s čtenářem uvádím krátkou ukázkou originálního textu, který snad bude srozumitelný i bez znalosti ruského jazyka (obr. 9). Text začíná již uvedenou rovnicí pro tahovou sílu T vlákna a řeší, co je možné v rovnici zanedbat (*пренебречь*) a co zjednodušit (*упростить*).

$$T - mg \cos \alpha = m \frac{v^2}{l}.$$

Теперь на минуту остановимся и подумаем: чем можно пренебречь и что можно упростить, если ограничиться случаем *малых* колебаний, то есть колебаний, происходящих с очень небольшой скоростью вблизи положения равновесия?

Читатель: Если, как Вы говорите, скорость v мала, то квадрат скорости v^2 , наверное, пренебрежимо мал, то есть им можно пренебречь. Тогда $\frac{v^2}{l} \rightarrow 0$.

Автор: А значит, можно считать, что $T - mg \cos \alpha = 0 \Rightarrow T = mg \cos \alpha$!

Obr. 9

Uvedené ukázky znovu potvrzují, že stanovisko, které jsem zaujal v publikaci [14], je správné, výklad v gymnaziální učebnici je obrazně řečeno „lege artis“ a není na něm třeba nic měnit. Současně jsem přesvědčen, že při další inovaci gymnaziálních učebnic kyvadlo definitivně odejde do „fyzikálního nebe“ za svými praotci Galileem a Huygensem. Jedině touto cestou se musí inovace obsahu školské fyziky ubírat, chceme-li najít prostor pro opravdu moderní fyziku.

Potřebuje fyzika nové modernizační hnutí?

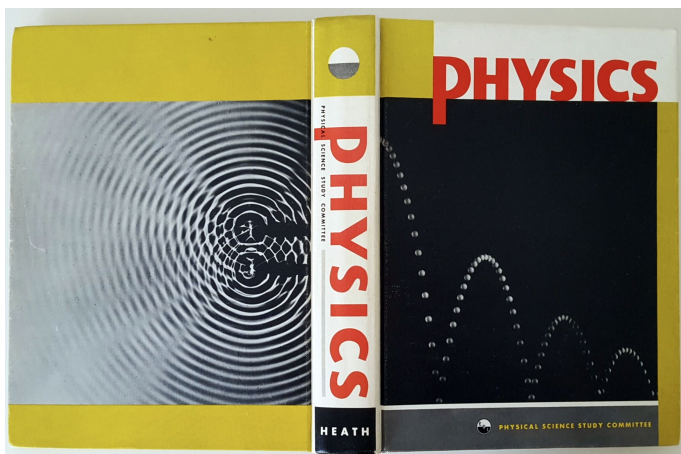
Od vzniku fyziky jako předmětu školního vzdělávání její obsah výrazně ovlivňoval vědeckotechnický pokrok. Vždy však fyzika ve škole za tímto pokrokem zaostávala, přičemž jsme svědky, jak narůstá rozpor mezi tím, co se ve škole vyučuje, a co je pro současnou úroveň praktického využívání fyzikálních poznatků rozhodující. Je např. charakteristické, že na počátku 20. století, krátce po udělení první Nobelovy ceny *W. C. Röntgenovi* v roce 1901, se již v gymnaziálních osnovách fyziky z roku 1904 objevuje heslo „paprsky X“. Je obtížné si představit, že by někteří ze současných objevů oceněných Nobelovou cenou bylo možné snadno transformovat do podoby sdělitelné středoškolákovi.

Prohlubující se rozpor mezi stavem fyziky jako vědy a výukou fyziky periodicky podněcoval hledání cest k nápravě tohoto stavu v podobě modernizace fyzikálního vzdělávání. Výrazně se tyto snahy projeví zejména v 60. letech 20. století jako reflexe úspěchů v oblasti letů do vesmíru a nástupu polovodičových technologií a tím podmíněné elektronizace ve všech oblastech společnosti. Ukázalo se, že škola dostatečně nepřipravuje absolventy, aby mohli co nejlépe zvládat nově kladené požadavky. Tato situace vedla k potřebě zásadních přeměn kurikula fyziky, výběru učiva, jeho didaktického zpracování a posílení metod výuky, zaměřených zejména na experimentální činnosti žáků blízké moderním metodám získávání poznatků o přírodě a jejich technologickém využití.

Výsledkem těchto celosvětových snah byl vznik několika velkých, komplexně propracovaných modernizačních projektů výuky fyziky, které mohou být inspirující i pro současnost. Největší popularitu a ohlas získal projekt vytvořený širokým týmem fyziků všech typů škol, sdružených kolem pracovišť MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Z jejich iniciativy vznikla pracovní skupina *Physical Science Study Committee* a podle ní je celý projekt označován jako projekt PSSC [20]. Jednalo se o mimořádně obsáhlý projekt, který vycházel z moderně koncipované učebnice se čtyřmi základními tematickými celky: Vesmír, Optika a vlny, Mechanika, Elektřina a stavba atomu [21] (obr. 10). Projekt zahrnoval také metodickou příručku pro učitele, soubor laboratorních cvičení včetně potřebných pomůcek, doplňující textové materiály, zkušební testy a výukové filmy.

Východiskem pojetí učiva v učebnici projektu PSSC byla kritika překonaného přístupu k výuce fyziky s důrazem na její historické pojetí. Tradiční výuka se opírá především o klasickou newtonovskou mechaniku, která dostatečně nepřispívá k pochopení současných technologií. Ukazuje se, že

výuku fyziky je třeba založit spíše na porozumění obecnějším principům, jako jsou třeba zákony zachování, než na množství matematicky vyjádřených vztahů, určených hlavně k zapamatování. Tomuto pojetí odpovídají i laboratorní práce, zaměřené ve větší míře na objevování, než na jednoduché ověřování jednotlivých poznatků v učivu.



Obr. 10

Zmíněné modernizační hnutí nalezlo odraz i v našich školách. Z podnětu JČMF byla v roce 1963 svolána celostátní konference, na níž byla konstatována naléhavá potřeba změn nejen ve fyzice, ale také v matematice. Touto konferencí bylo zahájeno velmi plodné období diskusí a výměny názorů na pojetí a potřeby změn ve výuce fyziky. Nové úkoly naznačil v úvodním referátu tehdejší předseda JČMF *prof. Miloslav Valouch*, který také podal první podrobnější informaci o projektu PSSC (viz [22]). Je zajímavé porovnat, jestli se za půl století problémy výuky fyziky nějak změnily.

Aniž bychom podrobněji analyzovali další vývoj a výsledky těchto modernizačních tendencí, můžeme za reflexi světového modernizačního hnutí ve výuce fyziky u nás označit následující:

- Vytvoření uceleného projektu fyziky pro základní fyzikální vzdělávání vybudovaného na integrujících pojmech (látka a těleso, pole, fyzikální veličiny, energie).
- Inovaci vybraných témat středoškolské fyziky:
 - Speciální teorie relativity.
 - Základy kvantové fyziky a fyziky mikrosvěta.

Integrované poznatkové soustavy (silová pole, kmity a vlny).

Doplnění nového tématu učiva elektřiny – polovodiče.

- Nové metody výuky.
Programované učení.
Problémová a skupinová výuka.
- Moderní výukové technologie (zpětná projekce, kazetový film, video).

Je samozřejmé, že tyto modernizační tendence nalézaly uplatnění postupně a v různém rozsahu. Pro středoškolskou výuku fyziky se však nepodařilo vytvořit nově pojatý ucelený projekt fyziky, který by byl obdobou projektu vytvořeného pro základní školu pod vedením *dr. M. Chytilové a doc. R. Kolářové*.

Nyní, po více než padesáti letech si v souvislosti se záměrem revidovat současný RVP pro gymnázium znovu klademe otázku, zda obsah fyzikálního vzdělávání na střední škole odpovídá aktuálním společenským potřebám. Fyzika jako učební předmět v současném pojetí se formovala ve 2. polovině 19. století a postupně si vytvořila určitou strukturu, jejíž vývoj za uplynulých více než sto let je velmi malý (projevuje se hlavně v učivu elektřiny a fyziky mikrosvěta), ale za dobu od zmíněných modernizačních snah je již zanedbatelný. Spíše jsme svědky omezování rozsahu i obsahu výuky.

Zatím co v počátcích fyzikálního vzdělávání bylo možné položit téměř rovnítko mezi fyziku jako vědu a fyziku jako učební předmět, dnes tomu tak už zdaleka není. V minulosti také převažovaly v lidské činnosti profese a pracovní postupy vyžadující např. určité znalosti z mechaniky a termiky (pohyby, vrhy, jednoduché stroje apod.). V dnešním digitalizovaném světě je náplň práce lidí většinou zcela odlišná a na poznatcích z mechaniky a termiky vesměs nezávislá. Např. zákonitosti šikmého vrhu byly klíčovou znalostí v oblasti vojenství, dnešní význam tohoto učiva bych viděl jen v tom, že se na příkladu šikmého vrhu pěkně ilustruje postup při počítačovém modelování pohybů. Další podobných příkladů, které ke škodě věci ve středoškolském učivu přežívají, bychom našli více. Sem samozřejmě patří obsáhle diskutované kyvadlo, kalorimetr, principy různých měřicích přístrojů pro analogové měření fyzikálních veličin a mnoho dalších překonaných poznatků. Značná setrvačnost didaktického systému středoškolské fyziky a lpění na okrajových tématech učiva jeho modernizaci znesnadňuje, ne-li znemožňuje.

Můžeme si tedy položit otázku, co a na jaké úrovni se na středních školách vyučuje. Závazné osnovy učiva již neexistují a minimalizovaný RVP

nelze považovat za relevantní dokument k posouzení této otázky. Pokud by učitel při vytváření vlastních osnov v rámci ŠVP vycházel jen ze závazného dokumentu, kterým je RVP, pak není divu, že téměř veškeré výsledky modernizačního úsilí minulého století jsou vlastně smazány. Připomeňme, že např. poznatky speciální teorie relativity RVP nezahrnuje vůbec a základy elektroniky začínají a končí u polovodičové diody. Odpovědnost za fyzikální vzdělání se tak z centrálních požadavků daných dříve osnovami plně přenáší z hlediska obsahu i metod výuky na učitele. Pokud se s ohledem na výběr učiva reflektujícího převážně fyziku 19. století žák necítí dostatečně připraven k vysokoškolskému studiu tak náročného oboru, jakým je současná fyzika, není divu, že to významným způsobem ovlivňuje zájem o vysokoškolské studium nejen fyziky, ale zejména technických oborů.

Na otázku položenou v úvodu, zda výuka fyziky potřebuje nové modernizační hnutí, lze tedy odpovědět kladně. Kdo však by se měl tohoto náročného úkolu ujmout? Zdálo by se, že nejvhodnějšími řešiteli by byli didaktikové fyziky. I když je u nás několik pracovišť didaktického zaměření, některá i realizující doktorská studia v oblasti fyzikálního vzdělávání, tematika např. doktorských prací, popř. publikací z nich vyplývajících signalizuje zaměření spíše na metody výuky, pokusy s jednoduchými pomůckami, využití IT ve fyzice, různé průzkumy (ne)zájmu žáků o fyziku apod. Bylo by tedy třeba v této oblasti dosáhnout určitých změn a více pozornosti věnovat také obsahové stránce výuky a její inovaci, komparaci zahraničních realizovaných projektů a metodice výkladu nových, netradičních témat učiva.

Omezený rozsah příspěvku neumožňuje detailněji pojednat o tomto aktuálním tématu. Proto stručně naznačím jen tři základní tendence, které by nové modernizační hnutí mělo zahrnovat. Stručně vyjádřeno je to:

- inovace
- integrace
- diferenciac

Při komplexním přístupu k modernizaci fyzikálního vzdělávání se ovšem všechny tři uvedené tendence budou navzájem prolínat.

Inovace znamená v podstatě dvě věci. Provést analýzu tradičního učiva jednak z hlediska současného fyzikálního poznání, jednak z hlediska společenské potřeby jednotlivých poznatků a jejich příspěvku buď ke všeobecnému, nebo odbornému vzdělání žáka. Tato analýza nepochybně ukáže, že v našich učebnicích fyziky je celá řada poznatků, které byly překonány nejen z hlediska vývoje fyziky jako vědecké disciplíny, ale i z hlediska

praxe. Některé příklady byly již uvedeny v předcházející části příspěvku. Tradice však tyto poznatky pevně zakotvuje i do současného didaktického systému fyziky a učitelé se s nimi často neradi loučí. Možné řešení je takové, že jako rozšiřující, čili fakultativně zařazované učivo označíme nejen poznatky náročnější, které výrazněji překračují požadavky RVP, ale i jednoduché poznatky s malým významem pro současné všeobecné vzdělání (namátkou uvedme poznatky o jednoduchých strojích, hydrostatiku, některé poznatky učiva elektrostatiky aj.)

Inovace fyzikálního vzdělávání ovšem zahrnuje také zařazení zcela nových fyzikálních poznatků, zejména těch, které přinášejí široce používané praktické aplikace v různých oborech techniky. Snaha přiblížit obsah výuky fyziky potřebám technické praxe je dána tím, že v klasickém spektru učebních předmětů všeobecně vzdělávací školy není předmět, který by žáka v oblasti základů technických věd vzdělával. Tuto funkci s větším či spíše s menším úspěchem plní fyzika. Jde tedy o přístup, který požaduje, aby výuka fyziky byla předmětem, který vyučuje základy fyzikálně technických věd.

Inovovat lze i dílčí poznatky jejich modernějším pojetím. Příklady najdeme třeba v učivu blízkém soudobým aplikacím elektroniky. Např. tradiční poznatky vakuové elektroniky se postupně redukovaly až na poslední příklad – televizní obrazovka a v novém vydání učebnice tematické řady Elektrina a magnetismus již žádné nejsou. Jiný obdobný příklad se týká fyzikálních základů komunikační techniky a poznatků o přenosu informace analogovým signálem, který byl nahrazen digitálním signálem. S tím souvisí třeba tradiční výklad principu amplitudové modulace a demodulace, který bylo třeba nahradit alespoň naznačením postupu, jak se analogový signál převádí na signál digitální, avšak již jen jako rozšiřující učivo.

Nové vydání učebnice optiky reaguje např. na nástup nových zobrazovacích technologií a revoluční změnu v osvětlovací technice, založené na elektroluminiscenci diod LED, ale opět jen v podobě rozšiřujícího učiva. Problémem je, že moderní aplikace fyzikálních poznatků v technické praxi mají vesměs komplexní charakter. Např. k tomu, abychom mohli žákoví vysvětlit princip zobrazování technologií LCD, potřebujeme jak poznatky tradiční (polarizace světla, aditivní mísení barev), tak poznatky nové, pro něž se ještě ve středoškolském učivu nenašlo místo (kapalné krystaly). Kromě toho mohou být stejné technické aplikace založeny na odlišných principech. Např. v dataprojektoru, který z učebnice optiky vytlačil klasický diaprotektor, se využívají dvě podstatě odlišné technologie – trans-

misní a reflektivní. Podobně je tomu u digitálního fotoaparátu s čipem CCD, který je součástí každého mobilu nebo tabletu. Podobných příkladů je ovšem mnohem víc a inovační snahy zde budou narážet na řadu omezení, daných možná i nechtív učitelů opustit tradiční, ale překonané poznatky.

Vývoj fyziky je dnes velmi diferencovaný a objevují se celé nové obory fyziky, které mají významné místo ve struktuře fyziky jako vědy. Není to tedy jen několik témat tzv. moderní fyziky, na něž byla zaměřena modernizace fyziky v 60. letech. Vývoj fyzikálního poznání směřuje do stále menších oblastí mikrosvěta či nanosvěta a na druhé straně by výuka fyziky měla zahrnovat také poznatky, které získává pronikáním do stále vzdálenějších oblastí vesmíru. Ale jsou i obory fyziky, které přinášejí odlišný pohled na náš svět smyslům dostupných rozměrů. Příkladem mohou být třeba poznatky o tzv. deterministickém chaosu, které nově nahlížejí na děje běžného života, jako jsou meteorologické jevy nebo vývoj populací živočichů aj.

Didaktika fyziky stojí před stále náročnějším úkolem, kterým je transformace nových poznatků do podoby sdělitelné v přiměřené podobě na úrovni středoškolské výuky. Výběr některých aktuálních témat, s nimiž by středoškolák mohl být seznámen, nabízí jako pomůcku pro učitele publikace [23]. Nejnověji jsou vybraná zajímavá témata k dispozici žákům v elektronickém doplňku Přehledu středoškolské fyziky, který je jako CD s názvem *Přehled PLUS* součástí dotisku 5. vydání. Jsou to témata: Gravitací vlny: Einsteinovo báječné poselství, Modelování fyzikálních dějů, Osvětlovací technika, Komunikační technologie, Obrazovky a displeje, Nanotechnologie, Aplikace fyziky v lékařství, Standardní model částicové fyziky. K informaci o této nové elektronické publikaci se ještě vrátíme v samostatném příspěvku.

Inovací tedy rozumím jakousi inventuru obsahu školské fyziky, jeho kritickou analýzu a takový výběr učiva, který by byl v korelaci se současnými požadavky na všeobecné vzdělání. Asi do budoucna nebude možné vybrat od všeho „něco málo“, ale bude zřejmě nutné opustit historicky vzniklé uspořádání tematických celků v didaktickém systému fyziky od mechaniky až po fyziku mikrosvěta.

Integrace představuje spojení fyzikálního vzdělávání s ostatními přírodními vědami, což je myšlenka, o níž se u nás poměrně intenzivně uvažovalo již v 70. letech diskusí o tzv. integrované přírodovědě. Domnívám se, že tato myšlenka je znovu aktuální, ale v integraci by měl být určitý posun, spočívající v posílení vztahu přírodovědného vzdělávání směrem k tech-

nickým vědám. Zatím se vesměs uvažuje vzájemná integrace poznatků fyziky, chemie a biologie. Jako nedostatek chápu skutečnost, že fyzika ve svém obsahu v podstatě supluje vzdělání žáků ve vztahu k tak významným technickým odvětvím, jako je elektronika, energetika, dopravní technika, nové konstrukční materiály atd. Podrobněji o integračních tendencích a možných didaktických systémech integrované přírodovědy pojednává publikace [24].

Diferenciace fyzikálního vzdělávání představuje třetí směřování modernizace výuky. Ta by se měla odvíjet od určité úrovně základního vzdělání a umožňovala by žákům na úrovni středoškolského vzdělávání volit vlastní vzdělávací cesty a odpovídat více za svůj osud. Přitom by existovala i varianta diferenciace *na nulu*, v níž by se student spokojil jen se základní úrovní přírodovědného vzdělání tak, aby si vytvořil odpovídající přírodovědný obraz světa.

Vymezení nutného minima poznatků, které by splňovaly cílový požadavek vytvoření fyzikálního (popř. přírodovědného) obrazu světa, je obtížný problém, obvykle řešený stanovením tzv. základního nebo kmenového učiva. V současnosti by takto vymezené minimum ve formě očekávaných výstupů a klíčových témat učiva měl stanovit obsah vzdělávacího oboru Fyzika v RVP. Ten je však poznamenán snahou o maximální redukci obsahu RVP a nastavuje tuto hranici v některých tématech příliš nízko.

Cesty rozvoje schopností žáků ve fyzice a obecněji v přírodovědném vzdělávání jsou rovněž velmi diferencované. Je úkolem didaktiků i učitelů fyziky, aby se jimi intenzivněji než dosud zabývali a podíleli se zejména na vytváření nových projektů fyzikálního vzdělávání. Tak náročný úkol není ovšem řešitelný v krátké době, v níž by měla být provedena revize RVP. Je iluzí, že změnou RVP dojde samovolně k jakési „revoluci“ ve školství, že se omezí biflování a posílí tvořivost žáků atd. Chybějí projekty a jejich konkrétní realizace, které by učitelé v tomto směru podaly pomocnou ruku a nevyčerpávaly jeho omezené časové možnosti hledáním nových cest „metodou pokusu a omylu“. Obdobně, jako tomu bylo při tvorbě federálních učebnic, by se tímto úkolem měla zabývat širší pracovní skupina, která by se soustředila na vytvoření nového, optimálně koncipovaného projektu. Ten by pak byl nabídnut učitelské veřejnosti jako alternativa a bude na učitelé, zda ho přijme pro svůj ŠVP.

Literatura

- [1] *Lepil, O.*: K vývoji učebnic fyziky pro střední školu gymnaziálního typu. MFI, roč. 22 (2013), č. 4, s. P16. Dostupné na: http://mfi.upol.cz/files/2204/mfi_2204_p16_p30.pdf
- [2] *Lepil, O.*: K novému pojetí vyučování fyzice na gymnáziu. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, roč. 27 (1982), č. 3, 178. Dostupné na: http://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/139698/PokrokyMFA_27-1982-3_7.pdf
- [3] *Lepil, O.*: Výuka fyziky na gymnáziu. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, roč. 34 (1989), č. 4, 246. Dostupné na: http://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/139152/PokrokyMFA_34-1989-4_6.pdf
- [4] *Svoboda, E.*: Názory učitelů na gymnáziu na současnou výuku. MFI, roč. 8 (1999), č. 8, s. 471.
- [5] *Bartuška, K., Svoboda, E.*: K postrecenzi učebnice Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika. MFI 10 (2000), č. 3, s. 149.
- [6] *Lacina, A.*: Postrecenze učebnice „Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika“. Školská fyzika, roč. 6 (2000), č. 2, verze SŠ, s. 85.
- [7] *Musilová, J.*: Postrecenze učebnice „Fyzika pro gymnázia – Mechanika“. Školská fyzika, roč. 6 (2000), č. 2, verze SŠ, s. 80.
- [8] *Musilová, J.*: Gymnaziální učebnice mechaniky 1993–2018. Dostupné na: <http://www.physics.muni.cz/~janam/download/Recenze-Mechanika-final.pdf>
- [9] <http://eluc.kr-olomoucky.cz>
- [10] *Sklenák, L., Dvořák, D.*: Fyzika pro střední školy. Mechanika, Fortuna, Praha 1997.
- [11] *Lepil, O., Svoboda, E.*: Poznámky k pojmu rychlost ve středoškolské fyzice. MFI, roč. 22 (2013), č. 4, s. P47. Dostupné na: http://mfi.upol.cz/files/2204/mfi_2204_p47_p59.pdf
- [12] *Lepil, O., Houdek, V., Pecho, A.*: Fyzika pro III. ročník gymnázií. SPN, Praha 1986.
- [13] http://www.physics.muni.cz/~janam/ppt_presentations.php
- [14] *Lepil, O.*: Poznámka k silám působícím na kyvadlo. MFI, roč. 25 (2016), č. 4, s. 276. Dostupné na: http://mfi.upol.cz/files/25/2504/mfi_2504_276_286.pdf
- [15] *Lepil, O. a kol.*: Vybrané kapitoly z fyziky. SPN, Praha 1987.
- [16] <http://www.physics.muni.cz/~janam/download/Nastrahy-text-2.pdf>
- [17] *Crawford, F. S.*: Waves. Berkeley Physics Course – Volume 3. McGraw-Hill Book Company, New York, 1968.

- [18] *Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.:* Fundamentals of Physics. 9th ed., John Wiley & Sons, 2011.
- [19] <https://helpiks.org/7-83511.html>
- [20] https://en.wikipedia.org/wiki/Physical_Science_Study_Committee
- [21] Physics, Physical Science Study Committee. D. C. Heath & Co, Boston, 1960.
- [22] *Valouch, M. A.:* Snahy o modernizaci vyučování fyziky v zahraničí. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, roč. 9 (1964), č. 2, s. 99–112. Dostupné na: <https://dml.cz/handle/10338.dmlcz/137659>
- [23] *Lepil, O. a kol.:* Fyzika aktuálně – příručka nejen pro učitele. Prometheus, Praha, 2009.
- [24] *Lepil, O.:* Přírodovědné integrované výukové projekty I. In: Integrovaná přírodověda, UP Olomouc, 2006. Dostupné na: <http://www.science.upol.cz/prirodoveda.pdf>

Sbírka úloh z fyziky pro základní školy a víceletá gymnázia aneb Fyzikální nápadník v novém kabátě

DANA MANDÍKOVÁ¹ – VLASTA KARÁSKOVÁ

¹Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

V roce 2011 vydalo nakladatelství Prometheus první díl sbírky fyzikálních úloh „Fyzikální nápadník 1“ [1]. Motivem k jejímu napsání bylo, dát žákům a jejich učitelům náměty k fyzikálnímu bádání vycházející z běžných životních situací a napomoci tomu, aby žáci neodcházeli ze školy s tím, že fyzikální poučky platí jen ve školních lavicích, ale naučili se hledat fyzikální zákonitosti i ve svém okolí. Následovat měly dva další díly. K tomu již ale zejména z ekonomických důvodů nedošlo.