

FYZIKA

K učebnici MECHANIKA pro gymnázia

EMANUEL SVOBODA

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

Nakladatelství PROMETHEUS, spol. s r.o. vydalo v roce 2013 jako své páté přepracované vydání učebnici pro výuku mechaniky na gymnáziích [1]. Oproti dosavadním čtyřem vydáním došlo k několika změnám a to jednak v uspořádání učebnice, jednak v didaktickém zpracování některých částí učiva mechaniky.



Oproti předcházejícím vydáním učebnice „zeštíhlela“. Její papírová forma totiž obsahuje jen učivo, které odpovídá požadavkům Rámcového vzdě-

lávacího programu pro gymnázia [2], (dále jen RVP G), obor Fyzika. *Rozšiřující učivo*, které jde nad rámec učiva a očekávaných výstupů podle RVP G, je na příloženém CD jako součásti učebnice.

Toto rozšiřující učivo (označené pro orientaci písmenem **R**) obsahuje 15 námětů:

- R1** Okamžitá rychlost hmotného bodu
- R2** Rovnoměrný pohyb hmotného bodu s nenulovými počátečními podmínkami
- R3** Rovnoměrně zrychlený pohyb s nenulovými počátečními podmínkami
- R4** Zrychlení při rovnoměrném pohybu po kružnici
- R5** Zrychlení při nerovnoměrném křivočarém pohybu
- R6** Časový účinek síly. Impuls síly
- R7** Pružný a nepružný přímý ráz dvou těles
- R8** Valivý odpor
- R9** Neinerciální vztažné soustavy. Setrvačné síly
- R10** Otáčející se vztažné soustavy
- R11** Jednoduché stroje
- R12** Bernoulliova rovnice
- R13** Měření rychlosti proudění tekutin
- R14** Proudění reálné kapaliny
- R15** Obtékání těles reálnou kapalinou

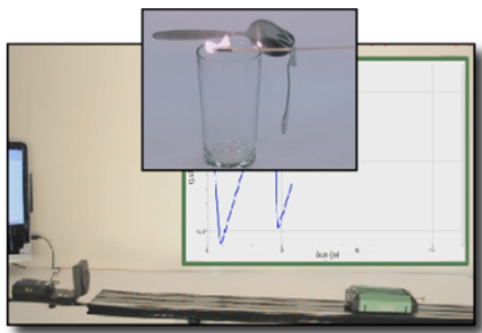
Dále jsou na příloženém CD uvedena *teoretická a laboratorní cvičení*. Výběr, zaměření a zpracování jsou stejná jako v předchozích vydáních učebnice Mechanika. Teoretická cvičení (označení TC) obsahují jednak řešené příklady, jednak soubory dalších úloh, řada z nich je nových. Cílem těchto cvičení, kterých je celkem 13, je prohloubení poznatků získaných ve výukových hodinách a jejich využití k řešení konkrétních problémů. Podobný úkol má šest laboratorních cvičení (označení LC).

Příložené CD obsahuje i další doplňující a obrazové materiály. Jsou jimi:

- *Historické poznámky* k 16 významným osobnostem mechaniky (označení H); ke zpracování tohoto námětu byla mimo jiné využita publikace [3] se svolením autora publikace *Dějiny fyziky doc. Ing. Ivana Štolla, CSc.* Uvedení historických poznámek bylo vedeno snahou podpořit naplňování hodnotových cílů při výuce fyziky, především úctu k historii

fyziky jako nezastupitelné součásti kulturního dědictví a prohlubování zájmu o přírodní vědy. V neposlední řadě pak poskytnout náměty pro realizaci průřezového tématu Výchova k myšlení v evropských a globálních souvislostech.

- *Slovníček fyzikálních pojmů*, který přehledně shrnuje důležité fyzikální pojmy
- *Animace k učivu mechaniky* (označení A), jejichž autorem je RNDr. Petr Janeček; celkem je na přiloženém CD umístěno 11 animací s náměty na rovnoměrné a nerovnoměrné přímočaré pohyby, rovnoměrný pohyb po kružnici, volný pád, zákon zachování mechanické energie a na vrhy v tíhovém poli Země.
- Videozáznamy (označení V), jejichž autory jsou Mgr. Lucie Filipenská, Mgr. Jakub Jermář a hlavní autor učebnice; náměty videozáznamů jsou beztlíživý stav, těžiště, třecí síla, rovnoměrný přímočarý pohyb, rovnoměrně zrychlený a rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb a Newtonovo kyvadlo.



- *Literatura a webové stránky*, ze kterých lze čerpat další poznatky z klasické mechaniky.

Odkazy na doplňující materiály jsou v textu učebnice vyznačeny barevnou značkou, např. [A2-7](#), což je v tomto případě odkaz na animaci rovnoměrného pohybu po kružnici.

Z hlediska metodického zpracování učiva mechaniky došlo také ke změnám. Uvedme si některé:

a) Byl upřesněn výklad pojmu *průměrná rychlost* jako skalární veličiny v návaznosti na základní školu, tj. vztahem $v_p = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ pro daný úsek tra-

jektorie, resp. $v_p = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots}$ pro určení průměrné rychlosti na celé trajektorii, známe-li délky jednotlivých úseků $\Delta s_1, \Delta s_2, \dots$ a jim odpovídající doby $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$. Je zdůrazněno, že tedy neplatí, že bychom postupovali při určování průměrné rychlosti tak, že vypočítáme průměrné rychlosti na jednotlivých úsecích trajektorie pohybujícího se tělesa a z nich pak vytvoříme aritmetický průměr. K tomuto upozornění, které v dřívější učebnici nebylo zdůrazněno, je pak uveden názorný příklad.

b) Aby bylo důsledně dodrženo výše uvedené upozornění, bylo nutné změnit postup při odvozování vztahu pro *dráhu rovnoměrně zrychleného přímočarého pohybu*. V předchozích učebnicích mechaniky pro gymnázia [viz např. 4, str. 44] bylo totiž při odvození dráhy $s = \frac{1}{2}at^2$ použito vztahu pro průměrnou rychlost ve tvaru $v_p = \frac{1}{2}v = \frac{1}{2}at$ a vztahu pro dráhu $s = v_p t$. V nové učebnici je využito poznatku známého žákům z předchozího tématu, a sice toho, že z grafu závislosti velikosti rychlosti na čase u rovnoměrného pohybu lze dráhu vypočítat jako obsah pod grafem této závislosti. Využitím metody analogie 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 na obr. 1a. Předpokládáme, že čas se postupně zvětšuje z počáteční hodnoty 0 o tak malé přírůstky Δt , že velikosti okamžité rychlosti $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n$ v každém intervalu Δt lze považovat prakticky za konstantní. Potom odpovídající dráhy $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n$ můžeme vyjádřit vztahy $s_1 = v_1 \Delta t, s_2 = v_2 \Delta t, \dots, s_i = v_i \Delta t, \dots, s_n = v_n \Delta t$. Součet

$$s = v_1 \Delta t + v_2 \Delta t + \dots + v_i \Delta t + \dots + v_n \Delta t$$

tedy udává celkovou dráhu, kterou vozík ujel za celkový čas t .

Je uvedena poznámka, že výše uvedený postup není úplně přesný, protože velikost rychlosti se přece jen i na intervalu délky Δt trochu mění, ale můžeme tuto přesnost zvýšit, když Δt volíme dosti malé, tedy celkový čas rozdělíme na větší počet velmi krátkých časových intervalů.

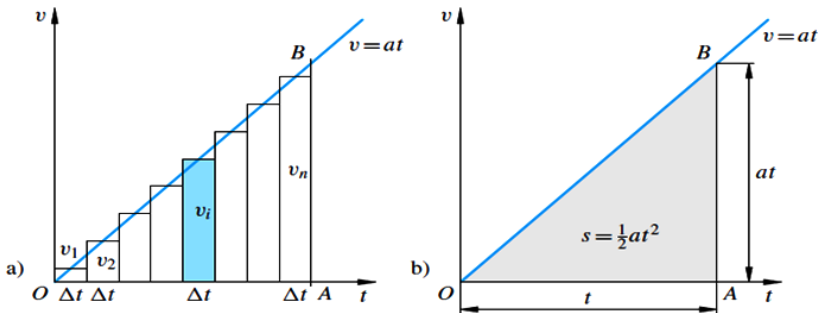
Dráhu $s_i = v_i \Delta t$, kterou hmotný bod urazí za velmi malý čas Δt , znázorňuje obsah barevného obdélníku na obr. 1a. Náš odhad celkové dráhy je dán součtem obsahů všech obdélníků, tedy obsahem plochy pod „zubatou křivkou“. Dělíme-li celkový čas na větší a větší počet kratších a kratších intervalů, splyne „zubatá křivka“ s polopřímkou $v = at$. Celkový obsah plochy pak snadno určíme jako obsah trojúhelníku OAB na obr. 1b. Celková dráha s , kterou vozík ujede rovnoměrně zrychleným pohybem za

celkový čas t , je tedy rovna obsahu plochy trojúhelníku OAB , neboli

$$s = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{1}{2}at^2.$$

Na CD v rozšiřujícím učivu **R3** *Rovnoměrně zrychlený pohyb s nenulovými počátečními podmínkami* je pak analogicky odvozen vztah pro dráhu

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2.$$



Obr. 1

c) Pokud se týká pojmu *okamžitá rychlost*, je v upravené učebnici [1] definován analogicky jako v předchozí učebnici [4], tedy nejdříve velikost tohoto vektoru formulací: „Velikost okamžité rychlosti v daném bodu trajektorie a v daném čase je definována jako průměrná rychlost ve velmi malém časovém intervalu na odpovídajícím úseku trajektorie daného bodu“. 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 příloženém CD, jednak uvedením příkladu odlétávání jisker ve směru tečen k obvodu brusného kotouče při broušení. V rozšiřujícím učivu je v **R1** *Okamžitá rychlost hmotného bodu* pak odvozena okamžitá rychlost v pomoci časové změny polohového vektoru Δr (stejně jako v učebnici [4]).

d) V učebnici [1] je podrobněji zpracováno smykové tření, je rozlišena klidová třecí síla F_s (včetně mezní – kritické) od třecí síly F_t za pohybu. Pro stručnost vyjadřování se pak používá jen názvu třecí síla F_t . Měření součinitele smykového tření je námětem laboratorní práce a k jeho určení

s použitím počítače je také uveden videozáznam. O třetí síle vznikající při valení pevného tělesa kruhového průřezu po podložce je pojednáno v rozšiřujícím učivu **R8** *Valivý odpor*.

e) V tématu *Gravitační pole* je v matematickém zápisu *Newtonova gravitačního zákona* pro dvě stejnorodá tělesa tvaru koule označena gravitační konstanta písmenem G . Dřívější označování této fyzikální konstanty řeckým písmenem κ (kapa) již neodpovídá současné normě ČSN ISO 80 000. Značka G se užívá v celém světě. Problémem u nás je to, že stejnou značku používáme již delší dobu pro velikost tíhy tělesa. Proto je na to v učebnici upozorněno v článku 5.4 Tíhová síla a tíha tělesa.

V témže tématu je v článku *Pohyby těles v centrálním gravitačním poli Země* věnována pozornost geostacionárním družicím a také geosynchronním družicím, připomenut je také navigační systém Galileo společně budovaný Evropskou komisí a Evropskou kosmickou agenturou. Centrum pro tento systém je v Praze.

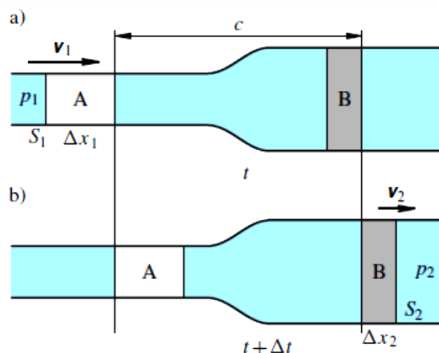
f) V tématu *Mechanika kapalin a plynů* bylo také provedeno několik změn. Především v článku *Tlak v kapalinách vyvolaný tíhovou silou* směřuje výklad ke vztahu $p = p_o + h\rho g$, kde p se nazývá absolutní tlak v hloubce h , je-li nad kapalinou hustoty ρ atmosférický tlak p_a . Rozdíl $p - p_a$ se pak označuje jako *hydrostatický tlak* $p_h = h\rho g$. V návaznosti na tento postup je pak upřesněna formulace Pascalova zákona: *Působí-li na kapalinu v uzavřené nádobě vnější tlaková síla, zvýší se tlak ve všech místech kapaliny o stejnou hodnotu*. A je také připojeno sdělení, že když působí na kapalinu v nepřilíh velkém uzavřené nádobě dostatečně velká vnější tlaková síla, je tlak vyvolaný působením této síly mnohem větší než hydrostatický tlak uvnitř kapaliny. Pak nemusíme s hydrostatickým tlakem vůbec počítat a ve všech bodech kapaliny je téměř stejný tlak. Odkaz je na tradiční pokus demonstrace Pascalova zákona – působení síly na píst kulové nádoby s otvory (tzv. „ježek“), kterými vystřikuje voda přibližně stejně prudce všemi směry a vždy kolmo ke stěnám nádoby.

g) Při odvozování *Bernoulliovy rovnice pro vodorovnou trubici* měnicího se průřezu není z hlediska energetické bilance v nové učebnici mechaniky zavedena veličina tlaková potenciální energie. Za pomoci obr. 2 se provádí rozbor průběhu vstupu proudící vrstvy A kapaliny do trubice a výstupu vrstvy B z ní za dobu Δt . Na proudění uvažovaných vrstev kapaliny je aplikován poznatek, že změna kinetické energie uvažovaného kapalného tělesa se rovná celkové práci, kterou vykonávají všechny síly působící na toto těleso. Na vrstvy A, B působí tíhová síla, síla od stěn trubice, tlaková

síla F_1 od kapaliny přiléhající k vrstvě A zleva a tlaková síla F_2 od kapaliny přiléhající k vrstvě B zprava. Protože práce od tíhové síly a síly stěn trubice je nulová, spočítá se práce sil F_1 , F_2 a celková práce. Porovnáním této práce a změny kinetické energie se dospěje ke vztahu

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2.$$

Po rozboru významu jednotlivých členů v rovnici následuje formulace Bernoulliovy rovnice.



Obr. 2

V rozšiřující části učiva je na příloženém CD v námětu **R12** uvedeno odvození Bernoulliovy rovnice pro stacionární proudění nestlačitelné kapaliny skloněnou trubicí různého průřezu. Výklad se opírá podle obr. 3 o vyjádření *přírůstku kinetické energie*

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}\rho\Delta V(v_2^2 - v_1^2)$$

o výpočet *práce*

$$W_G = \rho g\Delta V(h_1 - h_2)$$

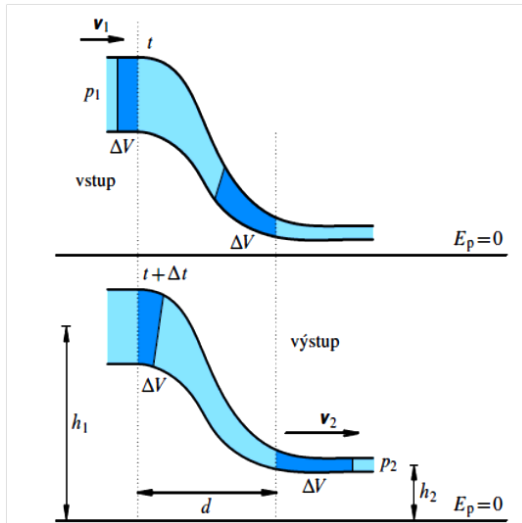
tíhové síly vynaložené na přemístění kapaliny o hmotnosti Δm od vstupu do trubice k jejímu výstupu z trubice v tíhovém poli Země, a o výpočet *tlakové práce*

$$W_p = p_1\Delta V - p_2\Delta V$$

spotřebované na to, aby se kapalina z levého konce zatlačila do trubice a u pravého konce vystoupila. Protože $W_G + W_p = \Delta E_k$, dostaneme po

úpravách vztah

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + h_1 \rho g + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + h_2 \rho g + p_2.$$



Obr. 3

Byl bych velmi rád, kdyby upravené vydání učebnice Mechanika jak v tištěné „papírové“ podobě, tak i obsahem na přiloženém CD, přispělo k úspěšnému naplňování cílů výuky fyziky. Aby bylo vhodným didaktickým prostředkem pro výuku gymnaziální fyziky a ve spojení s dalšími moderními informačními zdroji přispělo k zájmu o fyzikální poznávání. Budu také rád za všechny připomínky, které by mohly přispět k dalšímu zlepšení učebnice i doplňujících materiálů na CD.

Literatura

- [1] Svoboda, E. a kol.: Fyzika pro gymnázia. Mechanika. Prometheus Praha, 2013.
- [2] Rámcový vzdělávací program pro gymnázia. VÚP v Praze, 2007. Dostupné na: <http://www.nuv.cz/ramcove-vzdelavaci-programy/rvp-pro-gymnazia>
- [3] Štoll, I.: Dějiny fyziky. Prometheus Praha, 2009.
- [4] Bednařík, M., Šíroková, M.: Fyzika pro gymnázia. Mechanika. 4. vydání. Prometheus Praha, 2009.