Gymnaziální učebnice mechaniky 1993 – 2018

Jana Musilová
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity

Abstrakt: *Příspěvek kriticky hodnotí obsah a formu současné učebnice mechaniky pro gymnázia [2] (dotisk zatím posledního, pátého vydání z roku 2013) v kontextu s jejím prvním vydáním [1] v roce 1993. První vydání učebnice bylo nezávisle recenzováno ex post z iniciativy časopisu Školská fyzika v roce 2000*[1]*. Předkládaný příspěvek byl zpracován v rámci přípravy podkladové studie k revizi Rámcových vzdělávacích programů [3].*

Je nepochybně úctyhodným a obtížným úkolem zpracovat učební texty pokrývající všechny důležité oblasti obecné fyziky (v případě gymnaziálních učebnic jde o řadu: Mechanika, Termika a molekulová fyzika, Elektřina a magnetismus, Optika, Mechanické kmitání a vlnění, Fyzika mikrosvěta, Astrofyzika, Speciální teorie relativity). Úkolem o to obtížnějším, že cílovou skupinou jsou studenti gymnázií, jejichž matematické zázemí, které by mělo podpořit chápání fyzikálních pojmů, principů a zákonitostí a přiměřenou schopnost jejich užívání v konkrétních modelových úlohách či reálných situacích, není na úrovni odpovídající dané fázi vzdělávání vždy a ve všech oblastech takové, aby dovolilo vést linii výkladu způsobem umožňujícím žádoucí rozvíjení fyzikálního myšlení studentů. (Absenci povinné maturity z matematiky lze považovat za jednoho z „viníků“ současné situace.)

Autorská řešení otázek koncepce učebních textů a didaktického pojetí budování fyzikálních pojmů a zákonů (míněno v obecné poloze) samozřejmě vycházejí z vlastních i sdílených zkušeností autorů a mohou se lišit. Styl výkladu i jeho případná kritika proto bývají do značné míry věcí názoru, který se pochopitelně promítá i do této recenze. Na druhé straně by však texty, které mají být oporou učiteli při výuce a studentovi při domácím studiu, neměly obsahovat fyzikální interpretační chyby (interpretace fyzikálních pojmů, zákonů, experimentů, jevů, atd., již za věc názoru považovat nelze). Samozřejmým je však požadavek, aby učebnice odrážely hierarchickou strukturu a logickou stavbu dané fyzikální disciplíny, odlišily klíčové pojmy od vedlejších či přidružených, rozlišily principy od dílčích zákonitostí a vztahů odvozených, účelným způsobem přistupovaly k výkladu experimentů a vůbec celkově rozvíjely fyzikální myšlení studentů na odpovídající úrovni vzdělávání.

Tento příspěvek (říkejme mu pro úspornost „recenze“, ačkoli recenzí v pravém slova smyslu není, neboť následuje ex post, po vydání textů již recenzovaných) vznikl jako příloha k analýze gymnaziálních učebnic (spoluautor A. Lacina), vypracované v rámci přípravy podkladové studie k revizi Rámcových vzdělávacích programů [3]. (V publikaci [3] jsou uvedeny pouze stručné závěry analýzy, která je v plném rozsahu zveřejněna v této brožuře.) Cílem recenze je posoudit, nakolik se učebnice mechaniky [1], [2], náležející do tematické řady oficiálních gymnaziálních textů, drží výše nastíněných a níže pak podrobněji specifikovaných obecných požadavků, resp. nakolik se od nich odchylují. Soudy, které k jednotlivým partiím a konkrétním formulacím recenze předkládá, nemohou pochopitelně být zcela oproštěny od názoru autorky na výuku mechaniky. Ten však není dán čtením posuzovaných textů „u zeleného stolu“ a přemýšlením o nich na tomtéž místě. Odráží mnohaletou zkušenost s výukou mechaniky v prvním semestru univerzitního studia fyziky na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity (dříve Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Brně): od studentské „výpomoci“ ve cvičeních v letech 1968 až 1970 a samostatné výuky ve cvičeních od roku 1970, až po odpovědnost za disciplínu jako celek (přednášky, cvičení, zkoušení) od roku 1988 po současnost.

[1] Lacina A., Musilová J. a kol.: Postrecenze souboru učebnic Fyzika pro gymnázia. Školská fyzika **VI**, č. 2 (2000) 80-84,85-88; č. 3 (2000) 61-64, 65-66, 67-68, 69-71,72-77, 78-80. Dostupné také z: http://www.physics.muni.cz/kof/index.php?clanek=recenze.

Zkušenosti s fyzikálními znalostmi a dovednostmi maturantů v mechanice zavdávají bohužel rok od roku méně důvodů k optimismu. Úpadek fyzikálního myšlení je jistě zapříčiněn více faktory, zejména nestabilitou koncepcí vzdělávání, procházejících řadou často nekvalifikovaných změn – (nejen) redukce výuky fyziky, pokles důrazu na výuku matematiky, apod., které jsou i dobrým a iniciativním učitelům překážkou. Nezanedbatelné jsou finanční podmínky učitelů, nízká prestiž, obtížnost skloubit rodinný život a náročné povolání učitele, které vyžaduje i další sebevzdělávání, má-li být vykonáváno poctivě a s respektováním vývoje fyzikálního poznání. A našli bychom jistě řadu dalších argumentů. Jednou z příčin současného často neutěšeného stavu fyzikálního myšlení maturantů jsou bohužel i učebnice. Posuzované texty [1], [2], jakož i ostatní položky zmiňované řady, jsou opatřeny tzv. ministerskou doložkou, která je staví do takřka výlučné oficiální pozice. Obsahují však řadu chyb a dezinterpretací, z nichž většina je konzervována od prvního vydání v roce 1993 po současnost, kdy se na trhu postupně objevuje vydání páté, dle tiráže „přepracované“. Je ovšem přirozené, že většina učitelů se o tyto učebnice při výkladu opírá zásadním způsobem, i když se mnozí z nich snaží uplatňovat při výuce vlastní přístupy – to však rozhodně není běžným jevem.

Již zmíněná zkušenost ukazuje poměrně významnou korelaci stavu a vývoje fyzikálního myšlení začínajících univerzitních studentů fyziky, tedy čerstvých maturantů, s učebnicovými texty. (Studenti reprodukují formulace z učebnic bez hlubšího pochopení a nedovedou reagovat na jednoduché dotazy týkající se jejich významu.) I díky tomu je recenze dosti kritická, někdy i v detailech, které by se na první pohled nemusely zdát podstatné, avšak jejich vliv na fyzikální myšlení studentů je prokazatelný. (V dalším textu je toto tvrzení na několika místech doloženo konkrétními příklady z posledních let výuky v prvním semestru výuky fyziky na PřF MU[2].) Je ovšem korektní, aby veškeré výhrady byly podpořeny argumenty a případně názorem, jakou strukturu či postup výkladu zvolit místo kritizovaných odstavců či jednotlivých formulací. Argumenty jsou uváděny vždy, náměty k výkladu pak tehdy, týkají-li se obsáhlejších pasáží. Aby nedošlo k nedorozumění, je třeba zdůraznit, že recenze je určena zájemcům z řad učitelů a nesoustředí se na to, aby textu v plné míře rozuměli středoškolští studenti, byť jsou uživateli učebnic. Jsou-li tedy uváděny návrhy týkající se fyzikální podstaty a didaktického pojetí výkladu, nejde v žádném případě o „přepisování učebnice“, tj. o formulace, které by se v ní přímo měly objevit – k těm je třeba přistupovat důsledně s ohledem na možnosti studentů.

Žádná recenze, a tedy ani tato, nemůže být úplná při hodnocení pozitiv či negativ posuzovaného textu. Při sebelepší snaze se také nelze vyhnout formulačním nedorozuměním. Objeví se asi i názorové rozdíly, které mohou vyvolat diskusi. Ta by při konstruktivním přístupu mohla vést k prospěchu rozvoje fyzikálního myšlení studentů a fyzikálního vzdělávání obecně.

Učebnice mechaniky je první z řady učebnic fyziky pro gymnázia, jak to odpovídá zvyklosti zahajovat výuku kursu obecné fyziky na všech úrovních vzdělávání mechanikou. Zdůvodnění spočívá v představě, že tato disciplína bude chápání studentů nejbližší, neboť mechanické jevy jsou bezprostředně přístupné smyslovému vnímání, a jsou proto považovány za názorné. Tento „tradiční“ názor je však do jisté míry mýtem. Mechanické jevy sice lze přímo vnímat – vidět, slyšet, sáhnout si na objekty, jež se jich účastní (a tedy prohlásit je za názorné), pojmy a zákonitosti, které se ke studiu mechanických jevů vážou, však zdaleka názorné nejsou. Vyžadují totiž nejen znalost netriviálního matematického aparátu, ale také značnou abstrakci při jejich budování, a to jak matematickou (limitní přechody, tj. matematiku „nekonečně malého“), tak fyzikální (odhlédnutí od působení okolních objektů na studované těleso – volný hmotný bod při budování pojmu inerciální soustavy, zanedbávání

[2] Jedná se o nejméně deset let, v nichž se již důsledky nepromyšlených změn koncepcí matematického a fyzikálního vzdělávání projevily. Nejde o příklady týkající se jednotlivců, ale celých skupin studentů. Výjimky jsou natolik ojedinělé, že u slovních spojení typu „studenti nerozumějí“, „studenti nedokáží reagovat“, apod.., nejde o nepatřičné zobecnění.

tření a odporu prostředí, apod., tj. něco, co je u všech skutečných mechanických jevů a dějů v rozporu s realitou). Zkušenosti v oblasti fyzikálního vzdělávání ukazují, že mechanika je pro studenty až nečekaně obtížná, přestože stojí na několika málo základních pojmech z kinematiky (poloha, rychlost, zrychlení jako funkce času) a veličinách z nich odvozených, tj. v podstatě „druhotných“ (i když velice důležitých)[3], několika málo základních principech (tři Newtonovy zákony) a nemnoha empirických faktech (princip superpozice sil, „makroskopické“ silové zákony). Vše ostatní jsou zákonitosti představující tzv. odvozená tvrzení.

Autoři recenzované učebnice [2] se základním pojmům a principům (s poněkud chudou matematickou průpravou v oblasti vektorové algebry) věnují na 106 stranách z celkového počtu 231 tištěných stran, jistě u vědomí jejich důležitosti. Celkově je vlastní obsah učebnice (bez seznamu kapitol a odstavců, předmluvy, rejstříku a seznamu kompetencí) rozvržen takto:

1. Úvod (15 stran),
2. Kinematika hmotného bodu (43 stran),
3. Dynamika hmotného bodu a soustavy hmotných bodů (35 stran),
4. Mechanická práce a mechanická energie (24 stran),
5. Gravitační pole (28 stran),
6. Mechanika tuhého těles (32 stran),
7. Mechanika kapalin a plynů (33 stran)

Připojené CD obsahuje

- tzv. Rozšiřující učivo (15 témat, 57 stran textu),
- Teoretická cvičení (13 témat, 26 řešených příkladů, 127 úloh k řešení, 57 stran),
- Laboratorní cvičení (6 laboratorních úloh, 29 stran),
- Animace (11 animací, každá ve dvou formátech, MPG a AVI),
- Videoexperimenty (6 videí s jednoduchými experimenty),
- Slovníček fyzikálních pojmů (159 hesel, 25 stran),
- Významné osobnosti historie mechaniky (17 stručných životopisů fyziků abecedně, 42 stran).

Všimneme si postupně fyzikálních a didaktických aspektů jednotlivých kapitol v porovnání s prvním vydáním [1], komentujeme i texty na CD. Učebnici jako celek pak v závěru ohodnotíme podle těchto kritérií:

- vhodně vybraný vzdělávací obsah a jeho fyzikální správnost (včetně názorných a správných!) obrázků,
- vhodná organizace a struktura výkladu,
- zjednodušení přiměřené cílové skupině (provedené na úkor úplnosti či přesnosti výkladu, nikoliv však jeho správnosti!),
- volba vhodných experimentů a jejich správný výklad,
- volba vhodných příkladů, námětů k přemýšlení a řešených i neřešených úloh,
- vysoká úroveň slovních formulací (sdělnost, srozumitelnost, čtivost) a grafického zpracování.

Ad 1. Úvod

[3] Cohen: „… curvature not only played a role in the Principia, but was the primary mathematical device employed by Newton in his early analysis of dynamical problems …”

Úvodní kapitola se v [1] a [2] prakticky neliší, až na nepodstatné formulační změny. Věnuje se fyzikálním veličinám a jejich jednotkám v soustavě SI, obsahuje odstavec o měření fyzikálních veličin (1 strana), přičemž problematika zpracování měření je ve vydání [1] zpracována v kapitole Laboratorní cvičení, ve vydání [2] v úvodním odstavci stejnojmenné kapitoly na CD (8 stran). Na pěti stranách se věnuje přípravě části potřebného matematického aparátu – základnímu počítání s vektory. Zavádí (graficky) základní algebraické operace s vektory v jednorozměrném a dvojrozměrném prostoru, tj. sčítání vektorů a násobení vektoru číslem, zabývá se rozkladem vektoru do dvou (obecných) směrů.

Odstavec týkající se vektorové algebry má několik nedostatků:

- Chybí rozklad vektoru do ortonormální báze ve dvojrozměrném prostoru (jako speciální případ rozkladu do dvou nezávislých směrů) a rozklad vektoru do ortonormální báze v trojrozměrném prostoru (průměty a složky vektoru), potřebné pro zápis vektoru ve složkách a pro zápis vektorových rovnic jako soustavy dvou, resp. tří rovnic skalárních. Přitom k takovému rozkladu byl, po vysvětlení rozkladu vektoru do dvou obecných směrů, už jen krok. Fakticky tedy chybí standardní algebraický přístup při počítání s vektory. Zacházení se složkami vektorů by např. umožnilo obejít se při výkladu pohybů hmotných bodů v homogenním gravitačním poli bez fyzikálně chybných a matoucích tvrzení typu „hmotný bod koná více pohybů“ ([2], str. 59, 140), což je jen oslabená, ale stejně škodlivá odrůda „principu nezávislosti pohybů“ ([1], str. 62).
- Autoři se dopouštějí terminologické nepřesnosti, nazývají-li (v celé učebnici) průměty vektorů (vektory) složkami (čísla).
- Autoři nedefinují skalární a vektorový součin. (Obě operace by studenti mohli zvládnout, neboť jejich obtížnost nepřekračuje a často ani nedosahuje obtížnosti některých témat standardně probíraných v matematice – příkladně analytická geometrie kuželoseček.) Jejich znalost by velmi usnadnila definici práce síly po křivce a umožnila zcela obecnou definici momentu síly (popřípadě i přidání definice momentu hybnosti a druhé impulsové věty). Namísto použití vektorového součinu se zavedení momentu síly obchází zbytečně složitou slovní formulací a omezuje se na speciální případ (viz komentář ke kapitole 6). Zavedení vektorového součinu by bylo velmi užitečné také při výuce elektřiny a magnetismu, kde by usnadnilo pochopení různých pravidel levé či pravé ruky, která mají bez výkladu fyzikální podstaty (a ten by právě znalost vektorového součinu umožnila) charakter nepochopitelných pouček.

  Zkušenost: Začínající univerzitní studenti fyziky buď neodpoví na otázku týkající se momentu síly vůbec, nebo odpoví „síla krát rameno“. Odpověď na otázku, co je to ono „rameno“, dlouho trvá a často není správná. Zda jde o moment síly vzhledem k ose či ke vztažnému bodu jim uniká zcela (zapomněli, že na střední škole se zabývali momentem síly vzhledem k ose a že šlo o sílu, jejíž směr byl k ose kolmý). Že je moment síly vektor, vědí, propojit tuto informaci se slovním spojením „síla krát rameno“ už ale nedokáží. Definici vektorového součinu však pochopí poměrně rychle, což umožní definovat moment síly vzhledem k bodu, tj. v plné obecnosti.

Ad 2. Kinematika hmotného bodu

Základním úkolem kinematiky na středoškolské úrovni by mělo být vybudování pojmů rychlost a zrychlení pomocí závislosti polohového vektoru na čase, procvičení těchto pojmů v úlohách a výklad pojmů tečné a normálové zrychlení. Hlavním cílem není ani tak detailní popis pohybů samotných, jako příprava na dynamiku. Objektivní překážkou, která korektní definice těchto pojmů velmi komplikuje, je nedostatečný matematický aparát – studenti neovládají ani základy diferenciálního a integrálního počtu. Přesto je vybudování pojmů rychlost a zrychlení možné na obecné úrovni (s přiměřenou mírou pochopení) i bez diferenciálního počtu, jejich procvičení a použití pak pro speciální případy rovnoměrného a rovnoměrně zrychleného přímočarého pohybu, rovnoměrného i nerovnoměrného pohybu po kružnici.

Bohužel však autoři učebnice svádějí na mnoha stranách (prohraný) boj o zavedení rychlosti a zrychlení. (V učebnici [2] je kinematice věnováno 43 stran ve srovnání s 47 stranami v [1]. Tato drobná redukce je způsobena odsunutím obecnějších úvah o rychlosti a zrychlení na CD a mírně menším typem písma.)

V prvním vydání zvolili vcelku dobře základní myšlenku, jak dospět k pojmu okamžité rychlosti a okamžitého zrychlení: okamžitou rychlost zavedli jako podíl změny polohového vektoru a odpovídajícího časového intervalu s délkou Δt klesající k nule ([1], str. 33):

„Okamžitá rychlost $\boldsymbol{v}$ *hmotného bodu v čase t, kdy je hmotný bod v bodě A, je dána podílem* $\boldsymbol{v} = \Delta \boldsymbol{r} / \Delta t$*, přičemž předpokládáme, že* Δt *je velmi malé.*

Obdobně definovali okamžité zrychlení jako podíl $\boldsymbol{a} = \Delta \boldsymbol{v} / \Delta t$, kde Δt je opět „*velmi malé*“ ([1], str. 45). Neuvedli však žádný konkrétní číselný příklad, který by dokumentoval chování výrazu $\boldsymbol{a} = \Delta \boldsymbol{v} / \Delta t$ při zmenšování Δt a ukázal, že tento podíl postupuje při proceduře $\Delta t \to 0$ k rozumnému výsledku. Definice tak zůstala studentům fakticky nepochopitelná. Zásadní chybou, jíž pojem rychlost autoři posléze zatemnili, byla definice *„průměrné rychlosti“* jako skalární veličiny (dráha dělená časem) – ve skutečnosti jde o časovou střední hodnotu velikosti rychlosti. (Jedině správné fyzikální i didaktické pojetí pojmu rychlost vychází z požadavku, že rychlost s jakýmkoli přívlastkem je vektor.) Do prázdna vyzněla i snaha definovat tečné a normálové zrychlení při obecném pohybu ([1], str. 45):

„Okamžité zrychlení $\boldsymbol{a}$ *zpravidla rozkládáme na dvě navzájem kolmé složky. Jedna z těchto složek má směr tečny k trajektorii v daném bodě a nazývá se tečné zrychlení* $\boldsymbol{a}_t$*, druhá složka je k tečně kolmá, má tedy směr normály a nazývá se normálové zrychlení* $\boldsymbol{a}_n$ *(obr. 2-22).“*

Bez konkrétního příkladu je však taková definice prázdnou frází, pomineme-li navíc fakt, že normál k tečně je nekonečně mnoho. (V dalším již nekomentujeme vytrvale se opakující chybnou terminologii – průměty versus složky vektorů.)

V pátém (zatím posledním) vydání [2] se problém ještě vyhrotil. Původní obecné definice okamžité rychlosti a okamžitého zrychlení byly odsunuty do rozšiřujícího učiva (pro studenty tedy implicitně „nepovinného“). Definice v hlavním textu jsou zcela zavádějící a matoucí, navíc formulačně zbytečně přetížené, pro studenty až k nesrozumitelnosti ([2], str. 37):

„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.“
„Vektor okamžité rychlosti leží v tečně v uvažovaném bodě trajektorie a jeho směr je určen směrem pohybu.“

Poznamenejme, že „definice“ velikosti rychlosti je uvedena ve výrazném rámečku, konstatování o směru, uváděné bez zdůvodnění, je bez rámečku. Znamená to, že pojem velikosti rychlosti je důležitý, směr rychlosti už méně? Autoři nadále setrvávají u definice průměrné rychlosti jako skaláru a „vylepšují“ text definicí průměrného zrychlení rovněž jako skaláru s omezením na přímočarý pohyb ([2], str. 44, 45):

„Pro jednoduchost uvažujme přímočarý pohyb, u něhož se mění pouze velikost okamžité rychlosti (směr se nemění, je dán přímkou, po níž se hmotný bod pohybuje).“

„Podíl změny velikosti okamžité rychlosti Δv a časového intervalu Δt, v němž se tato rychlost změnila, nazýváme průměrné zrychlení a_p, neboli $a_\mathrm{p} = \Delta v / \Delta t$.

Nehledě na zavádějící tvrzení *„... směr se nemění, je dán přímkou...“* (nemění se sice přímka, může se však změnit orientace, pojem „směr“ autoři přesně nezavedli), opakuje se tatáž chyba jako u průměrné rychlosti. Také zrychlení je třeba chápat jako vektor, a to s jakýmkoli přívlastkem. Omezení na přímočarý pohyb bylo samozřejmě nutné – nikoli primárně „pro jednoduchost“, ale proto, že jinak by vznikl úplný nesmysl (viz níže definici okamžitého zrychlení). Přes uvedené omezení je pravděpodobné, a zkušenosti to dokládají, že si student definici *„průměrného zrychlení“,* vytištěnou tučně a barevně, se vztahem v barevném zarámování, zafixuje jako obecnou. Přípravný pojem (skalárního) *„průměrného zrychlení“* umožní autorům zavést (pro přímočarý pohyb) velikost okamžitého zrychlení ([2], str. 45):

„Velikost okamžitého zrychlení v daném bodě trajektorie je definována jako průměrné zrychlení ve velmi malém časovém intervalu na odpovídajícím úseku trajektorie s daným bodem.“

Nelámou si hlavu s tím, že velikost vektoru (v daném případě vektoru zrychlení) je vždy kladná, zatímco změna velikosti rychlosti v daném intervalu, a tedy i autorské „*průměrné zrychlení*“, mohou být jak kladné, tak záporné.

Jinak je text kapitoly 2. Kinematika v podstatě shodný s textem prvního vydání, až na výše zmíněnou pokaženou definici rychlosti a zrychlení, drobné kosmetické změny (např. dřívější *„chlapec“* je nyní *„Jirka“*), odsunutí cca čtyř stran pojednávajících o rychlosti a zrychlení obecněji (bez odstranění chyb) a tří stran pojednání o zrychlení při rovnoměrném pohybu po kružnici do rozšiřujícího učiva na CD a konečně „obohacení“ výkladu o odstavce Rovnoměrný pohyb s nenulovými počátečními podmínkami a Rovnoměrně zrychlený pohyb s nenulovými počátečními podmínkami, spočívající v započetí měření času v okamžiku $t_0 \neq 0$, kdy je velikost rychlosti v_0 a uražená dráha s_0. Fakt, že autoři nazývají tuto banalitu rozšiřujícím učivem, vyvolává dojem, že snad ani nepočítají s tím, že by žák mohl namísto memorování pouček a vzorců o věcech přemýšlet – mohlo přece jít o úlohu v rámci hlavního učiva. Tento dojem provází čtenáře v celé kapitole o kinematice: zvlášť se rozebírá rovnoměrně zrychlený a rovnoměrně zpomalený pohyb, vzorce se stále opakují jen s odlišnými znaménky (pracuje se zásadně s velikostí, nikoli se složkou zrychlení), v rámečcích jsou zvlášť uváděny vzorce s nulovou a nenulovou počáteční rychlostí či počáteční uraženou dráhou. Matoucí je urputné lpění na slově „rychlost“, jde-li o skalár ([2], str. 40):

„*Velikost okamžité rychlosti je u rovnoměrného pohybu rovna průměrné rychlosti. Stručně pak mluvíme jen o rychlosti.“*

I při jednorozměrném pohybu je rychlost, s přívlastkem i bez něj, stále vektor. Že má jen jednu složku (volíme-li souřadnicovou osu podél přímky, po níž se bod pohybuje), není podstatné. Chybné zestručnění „rychlost = velikost okamžité rychlosti“ znamená, že autor nepřipouští pohyb po přímce oběma směry.

Odstavec 2.6 se zabývá rovnoměrně zrychleným (a rovnoměrně zpomaleným) pohybem s omezením na pohyb přímočarý a toto omezení je explicitně zmiňováno i v zarámovaných větách týkajících se rychlosti pohybu (odstavec se zabývá jen rychlostí). To je v začátku výuky mechaniky správné. Není však jasné, proč odstavec 2.7 s názvem *„Dráha rovnoměrně zrychleného a rovnoměrně zpomaleného* *pohybu"* ([2], str. 50) slovo „přímočarého" vynechává jak v názvu, tak v samotném textu a v zarámovaných formulacích týkajících se závislosti dráhy a rychlosti na čase, např. ([2], str. 52):

„Dráha rovnoměrně zrychleného pohybu se zrychlením o velikosti a a s počáteční rychlostí o velikosti v_0 závisí na čase vztahem $s = v_0 t + (1/2)at^2$."

I když je zřejmé, že nemůže jít o jiný pohyb než přímočarý (jinak by a nemohla být velikost zrychlení, ale tečná složka zrychlení), studentovi to zřejmé nebude a odlišnost textů mu může být nepochopitelná.

Zachovány zůstávají odstavec o volném pádu a odstavec Skládání pohybů a rychlostí, jehož podstatou ovšem není nic jiného než pojednání o relativní rychlosti (rychlost translačního pohybu jednoho objektu vůči jinému). Nesmyslná je ovšem hned uvozující věta odstavce a její kontext s větou následující ([2], str. 59):

Často se stává, že hmotný bod koná dva nebo i více pohybů současně. Např. cestující ve vagonu jedoucího vlaku se může pohybovat vzhledem k vagonu a spolu s vlakem se pohybuje vzhledem k povrchu Země."

Podstata skutečnosti, že jeden a týž pohyb se jeví různě pozorovatelům v různých vztažných soustavách, je zde postavena na hlavu. Jinak vcelku správný a vhodný odstaveček o vzájemné rychlosti korunuje v závěru odstavce zcela nesouvisející nesmysl ([2], str. 61):

„Obecně je však trajektorií složeného pohybu křivka. Vystřelíme-li např. šikmo vzhůru z pušky, koná střela současně dva pohyby: rovnoměrný přímočarý pohyb ve směru, kterým byla vystřelena, a rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb ve svislém směru (volný pád). Trajektorií tohoto složeného pohybu je potom křivka (část paraboly)."

V uvedeném odstavci Skládání rychlostí hovoří autoři celou dobu o relativní (tj. vzájemné) rychlosti, ač žádný z těchto termínů přímo nepoužívají. Jde o rychlost hmotného bodu $\boldsymbol{v}_1$ resp. $\boldsymbol{v}_2$ vzhledem k různým vztažným soustavám S_1 a S_2 pohybujícím se navzájem pouze translačním pohybem (dejme tomu rychlostí $\boldsymbol{v}$… např. S_2 vzhledem k S_1). Zde stačí napsat vektorový vztah $\boldsymbol{v}_1 = \boldsymbol{v}_2 + \boldsymbol{v}$. Pokud jde o příklad s šikmým vrhem, uvedený v závěru odstavce bez jakékoli souvislosti s předchozím textem, jde o dvojrozměrný pohyb hmotného bodu vzhledem k jedné vztažné soustavě (spojené se Zemí). V [2] již sice autoři výslovně nehovoří o *„principu nezávislosti pohybů"*, který v [1] figuruje na str. 62, ve skutečnosti jej však mají pevně zakotven ve své mysli. Při pohybech hmotného bodu v rovině či prostoru nejde ovšem o „více pohybů", ale o prostý rozklad polohového vektoru, rychlosti a zrychlení, jakožto vektorových funkcí času, do složek. Kdyby autoři právě tuto jednoduchou algebraickou operaci nezanedbali už v úvodní kapitole, neměli by s „více pohyby hmotného bodu" takový problém. Tato chyba by se mohla zdát až úsměvná, kdyby nebyla tak škodlivá zejména s ohledem na chápání dynamiky.

Poslední odstavec v kapitole o kinematice je věnován rovnoměrnému pohybu po kružnici. V obou vydáních [1, 2] je pohyb popsán, jak je zvykem, pomocí úhlových veličin. Úhlová rychlost však je, bohužel, opět zavedena jako skalár. Co je ovšem doslova trestuhodné, je odsunutí výkladu o zrychlení při nerovnoměrném pohybu po kružnici, který byl vcelku názorně a pochopitelně napsanou součástí příslušného odstavce v [1] (str. 68-70), do rozšiřujícího učiva! Tedy do části takříkajíc „méně důležité", či „nepovinné". Přitom je zrychlení z hlediska dynamiky zejména křivočarého pohybu (rozklad na tečné a normálové zrychlení) klíčové! Na CD je v [2] (R5, str. 10) odsunut i jednostránkový text o rozkladu zrychlení při obecném nerovnoměrném křivočarém pohybu z vydání [1] (str. 45, 46). Kinematika má být chápana jako příprava na dynamiku. Vypuštění obecného pojmu zrychlení, jako základního pojítka těchto disciplín, z hlavního textu je školáckou fyzikální i didaktickou chybou. Jde o zásah poplatný požadavku „zeštíhlení“ tištěné části učebnic – autoři jej komentují jako úspěch s odvoláním na Rámcové vzdělávací programy[4] takto:

„Oproti předcházejícím vydáním učebnice „zeštíhlela“. Její papírová forma totiž obsahuje jen učivo, které odpovídá požadavkům Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia [citace RVP G] *(dále jen RVP G) obor Fyzika. Rozšiřující učivo, které jde nad rámec učiva a očekávaných výstupů podle RVP G, je na přiloženém CD jako součásti učebnice.“*

Nové vydání učebnice pochopitelně sleduje RVP G. Jeho nedostatkem je značná redukce požadavků na zvládnutí klíčových pojmů kinematiky, zejména pak absence rozkladu zrychlení na tečné a normálové, který je zcela zásadní pro pozdější pochopení dynamiky křivočarého pohybu[5].

Zkušenost: Neocenitelným modelem pro pochopení základů dynamiky obecného křivočarého pohybu je matematické kyvadlo. (Tento model je také součástí hlavního textu v učebnici Mechanické kmitání a vlnění, kde však je použit k výkladu kmitavého pohybu v aproximaci lineárního harmonického oscilátoru.) Vzhledem k tomu, že se na středních školách ve fyzice nevyučuje kinematika křivočarého pohybu (tečné a normálové zrychlení), a také samozřejmě vinou chybného výkladu pohybu kyvadla v textu Mechanické kmitání a vlnění, je odpověď studentů na dotaz, jaký směr má výslednice sil působících na kuličku kyvadla, skutečně bez výjimek: „Tečný ke kružnici, po které se kulička pohybuje.“ Omezení kinematiky křivočarého pohybu na rovnoměrný pohyb po kružnici zjevně způsobuje, že studenti považují zrychlení při přímočarém pohybu a dostředivé zrychlení při rovnoměrném pohybu po kružnici za dvě nesouvisející veličiny. (Do jiné recenze by pak patřily studentské reakce na otázku, co se rozumí malými kmity kyvadla. Odpověď opět bez výjimek a bez schopnosti jejího vysvětlení, zní: „Výchylka do pěti stupňů.“)

CD – animace a videoexperimenty

CD obsahuje 7 jednoduchých cca půl až dvouminutových animací ke kapitole 2:

- A2-1Trajektorie a okamžitá rychlost: vykreslí trajektorii bodu na obvodu rovnoměrně se valící kružnice a trajektorii bodu uvnitř kruhu (prostá a zkrácená cykloida), dále pak vektor rychlosti k trajektorii v ekvidistantních okamžicích.

  Může sloužit jako pěkná názorná ukázka dvojice pojmů trajektorie (závislost polohy na čase) versus dráha.

- A2-2 Rovnoměrný přímočarý pohyb: spolu se zobrazením jedoucího vozíku vykreslí graf závislosti dráhy a velikosti rychlosti na čase pro tři různé hodnoty velikosti rychlosti.

- A2-3, A2-4 Rovnoměrně zrychlený (přímočarý) pohyb 1, 2: spolu se zobrazením jedoucího vozíku vykreslí graf závislosti dráhy, velikosti rychlosti a zrychlení na čase pro tři různé hodnoty velikosti zrychlení, vše při nulové (verze 1) a nenulové (verze 2) počáteční rychlosti.

  Velice užitečná ukázka za předpokladu, že student předtím dostane od učitele za úkol si sám grafy sestrojit, popřípadě učitel zařadí jejich konstrukci do výuky. V opačném případě pouze nenáročná hračka.

[4] E. Svoboda: K učebnici Mechanika pro gymnázia. Matematika – fyzika – informatika **23** (2014), 109.

[5] Na úkor důležitých pojmů je v tištěné části učebnice naopak „obohacen“ výklad o průměrné rychlosti jako skalární veličině, který první z autorů komentuje ve svém článku v MFI (předchozí poznámka pod čarou) jako *„změnu z hlediska metodického zpracování učiva mechaniky“*, kde jí věnuje čtvrtinu rozsahu článku.

- A2-5 Rovnoměrně zpomalený (přímočarý) pohyb: spolu se zobrazením jedoucího vozíku vykreslí graf závislosti dráhy, velikosti rychlosti a zrychlení na čase pro tři různé hodnoty velikosti zrychlení.

  Viz komentář k A2-3, A2-4. Prezentace je však chybná v tom smyslu, že každé ukázce předchází nápis udávající velikost zrychlení (např. a = 2 m/s^2), zatímco v animaci A2-5 ukazuje graf získaný zpracováním měření hodnoty záporné, jak odpovídá složce zrychlení. Pro studenta (pokud sleduje vše a ne jen vznikající křivky grafů) to bude matoucí.

- A2-6 Volný pád: spolu s padajícím fotbalovým míčem vykreslí závislost jeho výšky, velikosti rychlosti a velikosti zrychlení na čase při zanedbání odporu prostředí a při tzv. „menším“, resp. „větším“ odporu prostředí (název zvolený autory).

  V podstatě totéž co A2-5, obohacené o vliv odporu prostředí. Školáckou chybou, která by měla být vytknuta i studentovi, jsou chybějící jednotky na osách. Pouze běžící časový záznam dává najevo, že čas je v sekundách, takže na základě znalosti problematiky volného pádu bez odporu prostředí a přečteného okamžiku, kdy míč dopadne na zem, by student mohl jednotky odvodit – což nepochybně neudělá. Míč tedy padá z výšky 7 m. Nejsou uvedeny žádné parametry charakterizující „menší“ a „větší“ odpor, ani zvolený model odporu prostředí (např. Stokesův, nebo Newtonův). Zarážející je, že při „větším“ odporu dosáhne míč padající ze sedmimetrové výšky mezní rychlosti za necelou 1 sekundu, ještě před dopadem na zem. Z grafu odečteme mezní rychlost cca 4 m/s. Předpokládáme-li pro odporovou sílu realističtější Newtonův model $F_{\mathrm{odp}} = (1/2)CS\rho v^2$ a uvážíme-li standardní průměr a hmotnost míče $d = 2r$ = 22 cm, m = 0,43 kg (aritmetický průměr udávaných hodnot 0,41 kg a 0,45 kg), g = 9,8 m/s^2, hustotu vzduchu ρ = 1,2 kg/m^3 při 20° C a koeficient odporu pro kouli C = 0,5, dostaneme mezní velikost rychlosti 19 m/s. Kdyby byla mezní rychlost skutečně 4 m/s, jak lze odečíst z grafu, musel by se míč pohybovat v prostředí s hustotou asi 28 kg/m^3. Pokud by pilný student zjišťoval, o jaké prostředí se v takovém případě jedná (což asi neudělá), ve standardních tabulkách fyzikálních vlastností látek tuto řádovou hodnotu nenajde; hustota plynů se pohybuje v řádu jednotek kg/m^3, hustota kapalin pak v řádu stovek kg/m^3. Aby bylo možné demonstrovat viditelný rozdíl mezi pohybem bez odporu prostředí a s uvážením odporu prostředí (nejčastěji vzduchu), což nepochybně bylo autorským záměrem, je třeba zvolit vhodnou situaci. Zobrazit pohyb míče a doprovodit jej grafy, jež se k reálnému pohybu míče, odehrávajícímu se obvykle ve vzduchu, nevztahují, je další školáckou didaktickou chybou. Snaha o „přiblížení jevů žákově zkušenosti“ tak má právě opačný účinek, než autoři zamýšleli. Mohlo být řečeno, že grafy představují modelovou situaci – pak však animace neměla být prezentována se zobrazením míče.

- A2-7 Rovnoměrný pohyb po kružnici: zobrazí bod rovnoměrně obíhající po kružnici při třech různých hodnotách velikosti úhlové rychlosti.

  Tato animace je takříkajíc jen „do počtu“. Dívat se na kroužící kuličku nepřináší žádný poznatek.

Umístěním animací týkajících se pohybů objektů v homogenním tíhovém poli (volný pád a vrh šikmý) do souboru náležejícího ke kinematice se autoři implicitně přiklonili k názoru, že výklad o těchto pohybech (jakožto pohybech s konstantním zrychlením) patří do kinematiky. Proč je tedy uváděn v kapitole s názvem Gravitační pole? Anebo, proč nejsou tyto animace uvedeny s vazbou na kapitolu o gravitačním poli? (Viz též komentář k této kapitole – níže).

Kinematice jsou věnovány dva videoexperimenty:

- V4 Rovnoměrný přímočarý pohyb: trvání 30 s, vozík na vodorovné lavici měnící směr pohybu odrazem od zarážky. Měří se a graficky se zobrazuje nejprve vzdálenost vozíku od vztažného bodu (zřejmě čidla?), tedy fakticky souřadnice měřená podél lavice, vyhodnocuje se složka rychlosti (mění znaménko) a složka zrychlení (až na průběh v blízkosti zarážky nulová). Správně jsou komentovány rychlost a zrychlení. Chybný a pro studenta matoucí je však komentář ke grafu vzdálenosti od vztažného bodu. Graf skutečně ukazuje vzdálenost, která úměrně času nejprve roste, poté, po odrazu vozíku od zarážky klesá, zatímco komentář hovoří o dráze:

  „Rovnoměrný přímočarý pohyb je nejjednodušší přímočarý pohyb. Během tohoto pohybu je dráha úměrná času. Grafem je tedy část přímky."

- V5 Rovnoměrně zrychlený a rovnoměrně zpomalený pohyb: trvání cca 1 min, vozík na šikmé lavici odrážející se od zarážky, měří se jeho vzdálenost od vztažného bodu (čidla), vyhodnocuje se složka rychlosti podél lavice. Ve slovním komentáři chybí specifikace směru osy, podél níž se vozík pohybuje, Při pečlivém sledování experimentu a málo zřetelného popisu grafu může student (snad, bude-li mít trpělivost nad tím přemýšlet) usoudit, že kladný směr složky rychlosti směřuje podél lavice vpravo. Při pohybu vozíku vlevo (tj. vzhůru) je složka rychlosti podél lavice záporná, při pohybu vpravo (dolů) je kladná. Ve vztahu k hlavnímu textu učebnice je však otázkou, zda a jakou hodnotu má tento experiment. Hlavní text o složkách rychlosti u přímočarého pohybu nemluví, zabývá se v podstatě jen změnami velikosti rychlosti (dle formulací v textu velikost rychlosti při zrychleném pohybu roste, při zpomaleném klesá). Stejný komentář doprovází i jinak pěkný experiment:

  „Velikost okamžité rychlosti se zvětšuje, resp. zmenšuje za stejné časové intervaly o stejnou hodnotu. ... Graf závislosti rychlosti tohoto pohybu na čase je lineární."

  Student, navyklý z textu a utvrzen komentářem k pokusu, očekává záznam změn velikosti rychlosti, jako je tomu u grafů na str. 47 a 49 v textu [2] (po odrazu od zarážky tedy závislost klesající, po dosažení bodu obratu rostoucí). Po každém odrazu od zarážky však vskutku vidí jen rostoucí lineární závislost, současně však registruje, že v zhruba v půli časového intervalu tohoto záznamu došlo o otočení směru pohybu vozíku. Vzhledem k tomu, že jej text nenaučil pracovat se složkami vektorů (rychlost, zrychlení), které mohou být i záporné, musí být pro něj záznamy při běžném zhlédnutí pokusu nepochopitelné a těžko lze očekávat, že by se nad nimi hlouběji zamýšlel. Tato výtka ovšem nesměřuje proti uspořádání pokusu, nýbrž proti koncepci základního textu. Naopak, při správném postupu výkladu by pokus mohl být velmi instruktivní.

Ad 3. Dynamika hmotného bodu a soustavy hmotných bodů

Hned v úvodu je třeba konstatovat, že dovětek názvu (*„soustavy hmotných bodů"*) je nekorektní. Úvahy se týkají téměř výhradně hmotného bodu, i když se někdy, občas nepatřičně, mluví o tělese. Jedinou soustavou, o které je v kapitole řeč, je dvoučásticová izolovaná soustava a jediným výsledkem je zákon zachování její hybnosti.

Tři pilíře klasické dynamiky – Newtonovy zákony – obsahují v originálních Newtonových formulacích pojem „síla" (lat. „vis"), přičemž v originální verzi prvního zákona nepochybně nejde o sílu jako fyzikální veličinu vyjadřující vzájemné působení objektů kvantitativně, ale spíš obecně o působení (vliv) okolí na studovaný objekt. Pojem síly jako fyzikální veličiny je pro studenty snad nejobtížnějším pojmem newtonovské dynamiky. Na fyzikálně správném vybudování tohoto pojmu stojí studentovo pochopení zákonů dynamiky a jeho schopnost s porozuměním a bezchybně řešit mechanické úlohy. Právě způsob, jak absolventi gymnaziální fyziky, kteří začali fyziku studovat jako svůj hlavní obor na vysoké škole (mnohaletá zkušenost s výukou mechaniky na Přírodovědecké fakultě MU), přistupují k řešení i těch nejjednodušších úloh dynamiky je dokladem toho, že účinnost gymnaziální výuky fyziky je, při současné redukované časové dotaci a nepříliš kvalitních učebnicích, nízká i přes úsilí těch učitelů, kteří se výuce iniciativně věnují na dobré úrovni i za stávajících nevyhovujících podmínek.

Zkušenost: Ukazuje se, že studenti takřka bez výjimky nejsou při řešení úloh schopni provést do důsledku fyzikálně správnou úvahu týkající se silového působení na objekt a využití Newtonových zákonů k řešení dynamických úloh. (Zejména v posledních letech jsem dokonce výjimku nezaznamenala vůbec). Namísto toho se uchylují k různým rutinním formálním postupům, které v případě složitějších úloh selžou, vycházejí z formulací, jimž nerozumějí, nedokážou vymezit objekty, které se sledovaným tělesem či hmotným bodem interagují, a zapsat odpovídající silové zákony pro toto působení či konstatovat, že některá síla je v pohybových rovnicích neznámou veličinou, kterou zjistíme teprve jejich řešením (typicky statické třecí síly, tahové síly vláken, tlakové síly podložek, apod.). Příčina je v jejich nepochopení Newtonových zákonů a pojmu síly. Značný podíl na tomto stavu mají i posuzované učebnice.

Fyzikálně korektní výklad Newtonových zákonů a souběžně s nimi vybudování pojmu síly by měl začít rozdělením vztažných soustav na inerciální (jsou spojeny s tzv. volnými hmotnými body) a neinerciální (ostatní) a Newtonovy zákony formulovat vzhledem k inerciální vztažné soustavě. První zákon lze také považovat za axiom deklarující existenci inerciálních soustav (abstrahujeme-li od rovnoměrné rotace těles, která je v originálním Newtonově znění obsažena a v učebnici by zasloužila alespoň poznámku). Obtížnost druhého zákona spočívá v tom, že je zároveň pohybovou rovnicí (určuje časovou derivaci hybnosti hmotného bodu, dokážeme-li kvantitativně popsat působení okolních objektů na tento bod – tj. známe-li silové zákony či další podmínky pro jednotlivé typy působení), zároveň je však prostředkem pro empirické zjištění těchto silových zákonů (na základě zprostředkovaného měření změny hybnosti testovacího objektu při působení jediného okolního objektu – příkladem je získání Newtonova gravitačního zákona z empiricky zjištěných Keplerových zákonů; samozřejmě vždy jde o idealizaci). Třetí zákon by při důsledném vybudování pojmu síly již neměl být problémem.

Kapitola 3 v [2] zaznamenala oproti [1] nevelké změny, spočívající většinou jen v přesunu některých odstavců či jejich částí na CD do rozšiřujícího učiva: Valivý odpor, Časový účinek síly. Impuls síly, Neinerciální vztažné soustavy. Setrvačné síly, Otáčející se vztažné soustavy. Odstavec Pružný a nepružný ráz dvou těles, obsažený rovněž v rozšiřujícím učivu, je ovšem podstatným a užitečným rozšířením řešeného příkladu v [1] (str. 94). Hlavní text v [2] se od odpovídajících odstavců v [1] liší jen nepatrně, jak obsahem, tak formulačně, mírně doplněn je odstavec o smykovém tření. Celkově tak rozsah hlavního textu v [2] klesl oproti [1] ze 41 na 35 stran.

S obtížným pojmem síly si autoři v žádném z vydání mnoho práce nedali, jednoduše ho odbyli jednou stranou textu v [1], v [2] pak dvoustránkovým odstavcem 3.1 Vzájemné působení těles, síla ([2], str. 72-74, v [1] str. 74-75). Začátky odstavců a některé další formulace jsou typické (např. [2], str. 72):

„Působení jednoho tělesa na druhé a účinky tohoto působení známe velmi dobře z osobní zkušenosti. Stlačujeme-li rukou gumový míč, mění se jeho tvar nebo i objem – míč se deformuje. Současně míč

působí na naši ruku. Podobně napínáme-li prstem ocelovou pružinu, pružina se prodlouží – dochází rovněž k deformaci. Přitom pociťujeme, že pružina působí na náš prst. Působení je tedy vzájemné a pro jeho přesnější popis užíváme veličinu síla. Říkáme, že prst natahuje pružinu silou a pružina tlačí silou na prst."

Formulace *„prst natahuje pružinu silou a pružina tlačí silou na prst"* nepochybně vzbudí ve studentovi nesprávnou představu, že reakcí na tahovou sílu podle třetího Newtonova zákona je síla tlaková. Příklad je zcela nevhodný. Obdobnou formulací charakterizují autoři působení člověka na míč a „definici" síly uzavírají tučně ([2], str. 73):

„Můžeme shrnout: Působí-li jedno těleso na druhé, působí současně i druhé těleso na první. Působení těles je vždy vzájemné a charakterizujeme ho silou."

Po stejně obecném a málo říkajícím popisu interakce na dálku odstavec 3.1 končí ([2], str. 73):

*„Síla **F**, kterou kvantitativně popisujeme vzájemné působení těles, je vektorová fyzikální veličina. Znázorňujeme ji orientovanou úsečkou, jejíž délka vyjadřuje velikost síly, počáteční bod označuje působiště síly a šipka vyznačuje směr síly…Znáte ze zkušenosti, že účinek síly na těleso závisí na velikosti síly, na jejím směru a také na poloze jejího působiště …Působí-li na těleso více sil, můžeme je vektorově sečíst, to znamená nahradit je jedinou silou – výslednicí sil – tak, aby měla stejný účinek, jako je účinek všech současně působících sil."*

Touto „definicí" síly tak celá kapitola o dynamice fakticky začíná ještě před uvedením Newtonových zákonů. Autoři zdůrazňují, že silou *„kvantitativně popisujeme vzájemné působení těles"*, žádné kvantitativní vztahy však neuvádějí, jen konstatují, že síla má velikost, směr a působiště. Obvyklé středoškolské pojetí druhého Newtonova zákona sice může vyvolávat představu, že „sílu" je třeba definovat před jeho výkladem, neboť znalost síly (výslednice sil) umožní určit zrychlení, resp. změnu hybnosti objektu. Taková interpretace je však jednostranná. Druhý Newtonův zákon je třeba umět „číst" i z druhé strany: měřením zrychlení, resp. změny hybnosti vhodného testovacího objektu a jeho okolí lze získat silový zákon (Keplerovy zákony → Newtonův gravitační zákon). Nejen z didaktického, ale zejména z fyzikálního hlediska je proto třeba vést výklad druhého zákona souběžně s budováním pojmu síly. Je třeba uvádět konkrétní příklady empirických silových zákonů, z nichž jsou velikost, směr a působiště interakčních sil zřejmé (Newtonův gravitační zákon, Coulombův zákon, Hookeův zákon pro napjatou pružinu či nebo tyč, Stokesův a Newtonův vztah pro odporovou sílu prostředí, vztah pro smykovou třecí sílu, popřípadě i zákon pro Lorentzovu sílu, později se tak jako tak objevivší v elektřině a magnetismu, apod.), dále pak příklady sil, u nichž jsou zřejmé směr a působiště, velikost však lze určit až podle konkrétní situace pomocí vazebních podmínek kladených na pohyb sledovaného objektu, či podmínek rovnováhy tělesa, na něž tyto síly působí (tlakové síly, statické třecí síly, apod.). Z obecných slovních formulací vyhýbajících se konkrétním příkladům studenti žádnou představu o síle jako veličině kvantitativně vyjadřující vzájemné působení objektů nezískají. Viz též komentář níže.

Autoři [1, 2] se vcelku dobře vypořádali s pojmem tzv. izolovaného (lepší název je volného) tělesa, resp. hmotného bodu, pomocí něhož zavádějí inerciální vztažné soustavy. Zavádějí také „model izolovaného tělesa", charakterizovaného jako *„těleso, na něž působí síly tak, že jejich výslednice je nulová"*. Tento krok by byl v pořádku až na nepřesnosti a nepříliš vhodné skutečné či myšlenkové pokusy, jimiž uvádějí údajné příklady takových „modelů izolovaných těles" ([2], str. 74):

„Ze zkušenosti víme, že žádné těleso se nedá do pohybu samo od sebe. Můžeme tedy předpokládat, že izolované těleso, které je v dané vztažné soustavě v klidu, v klidu setrvá. ... Přesněji bychom měli říci v inerciální vztažné soustavě – viz čl. 3.3.“ [6]

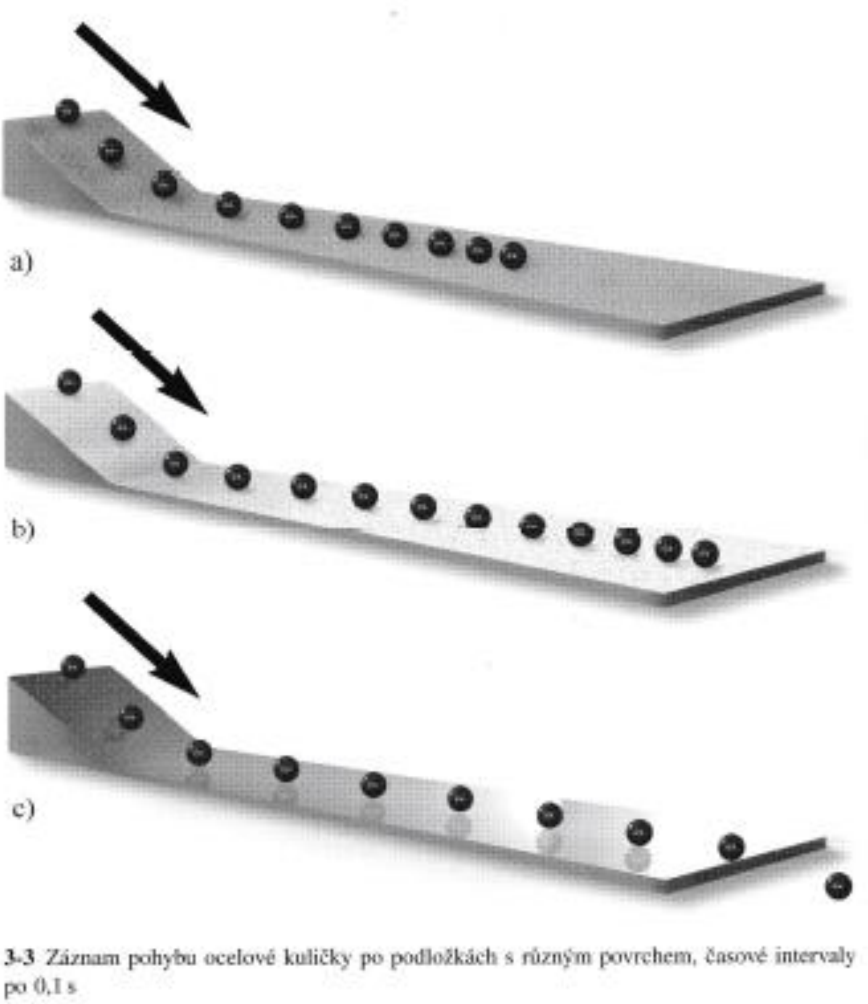
„Udělejme následující pokus: Hladkou ocelovou kuličku pustíme po nakloněné rovině na vodorovnou desku stolu (obr. 3-2), Desku stolu pokryjeme nejprve textilií, např. plstí. Kulička se bude po plstěné podložce pohybovat přímočarým zpomaleným pohybem a po uražení poměrně krátké dráhy se zastaví (obr. 3-3a). Zopakujme stejný pokus jen s tím rozdílem, že desku stolu pokryjeme papírem. Kulička nyní urazí podstatně větší dráhu, než se zastaví (obr. 3-3b). Pokryjeme-li desku stolu hladkým sklem, celková dráha kuličky se ještě zvětší a jednotlivé úseky vodorovné trajektorie jsou za stejné doby téměř stejné (obr. 3-3c). Pohyb kuličky po vodorovné desce je nyní přibližně rovnoměrný přímočarý.
Z výsledku pokusu můžeme učinit tento závěr: kdyby neexistovalo tření mezi deskou stolu a kuličkou, pohybovala by se kulička po desce stolu rovnoměrným přímočarým pohybem. Hladká kulička na dokonale hladké vodorovné rovině představuje model izolovaného tělesa, který vystihuje celou řadu reálných situací ve velmi dobrém přiblížení. Výsledky pokusu můžeme tedy zobecnit: Izolované těleso, které je v pohybu, se pohybuje rovnoměrně přímočaře.“

Text je doplněn obrázky 3-3a ,b, c, nazvanými *„Záznam pohybu ocelové kuličky po podložkách s různým povrchem, časové intervaly po 0,1 s.“* Obrázky jsou jen orientační a mohou budit pochybnost, zda jde opravdu o záznam skutečného pokusu – chybí informace o rozměrech (vzdálenostech kuliček v jednotlivých okamžicích). Pokud jde o zobecnění závěrů experimentu, opět chybí údaj o vztažné soustavě – nepochybně je myšlena inerciální soustava, ta však bude zavedena teprve v pozdějším textu, experiment je prováděn na Zemi, která inerciální soustavou není. Problém vztažné soustavy není komentován, tím se zobecnění stává zavádějícím. Výhrady lze mít i k experimentu samotnému, a to nejen k tomu, že při již tak dost redukované časové dotaci není v hodinách fyziky na experimenty popsaného typu čas (i kdyby učitel měl k dispozici potřebné pomůcky). Problematická je samotná volba kuličky jako modelu izolovaného tělesa, neboť valící se kulička modelem izolovaného tělesa nemusí být (o charakteru valení – s prokluzem, bez prokluzu – nemáme informace). Kulička koná i rotační pohyb[7] : na vodorovnou rovinu vstoupí s jistou počáteční rychlostí středu hmotnosti a počáteční úhlovou rychlostí rotačního pohybu. Není jasné, zda se valení po nakloněné rovině před vstupem kuličky na vodorovnou rovinu děje s prokluzem či bez něj, tj. zda jsou rotační a translační pohyb synchronizovány vztahem $a_{SH} = \varepsilon r$, kde a_{SH} je zrychlení středu hmotnosti kuličky, r její poloměr a ε úhlové zrychlení, či nikoliv. To je ovšem důležité pro následný pohyb kuličky po vodorovné rovině – při valení s prokluzem jsou ve hře dynamická třecí síla a valivý odpor, jejich působením může dojít k přechodu na valení bez prokluzu. Při valení bez prokluzu hraje roli minimálně valivý odpor, který je výsledkem nesymetrického rozložení sil, jimiž působí podložka na kuličku (tlakových, smykových). Popis valivého pohybu je pro studenty velice složitý, zejména v úvodní fázi studia mechaniky a výše uvedený komentář jim ani není možné uvádět – nepochopili by jej. Dostává se jim tak k „uvěření“ (nikoli k vidění) výsledek experimentu, jehož poměrně složitý popis si ani neuvědomují. Lepší je např. ukázka pohybu na vzduchové lavici, kdy se jedná o čistě translační pohyb vozíku (bez koleček), splňujícího požadavky modelu izolovaného tělesa poměrně dobře. Lze také využít představy hokejového kotouče pohybujícího se po ledu, jak jej uvádí známá

[6] Inerciální soustava je přitom zavedena až v následujícím odstavci.

[7] I když originální znění prvního Newtonova zákona obsahuje i rovnoměrnou rotaci, v tomto případě ji jako argument nelze použít. Myšlenkové „experimenty“ s kuličkami používají autoři v učebnici často a rádi, přestože výklad valivého pohybu v ní vůbec není obsažen.

učebnice HRW[8]. Jak bylo uvedeno výše, obrázek v učebnici [2] navíc budí pochybnost, zda jde opravdu o záznam – pokud ano, proč potom není pokus součástí souboru videoexperimentů?



Obr. 1. Brzdění valivého pohybu kuličky (reprodukován obr. 3-3 z [2]).

V odstavci 3.3 ([2], str. 77] je formulován první Newtonův zákon, stále ještě bez zavedení inerciální vztažné soustavy:[9]

„Z pokusů, které jsme popsali v předchozím článku, a z mnoha další podobných pozorování a přesnějších pokusů vyslovil Galileo domněnku, kterou později přesně zformuloval Newton jako první Newtonův zákon: Každé těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není nuceno působením vnějších sil tento stav změnit.“

Věta předcházející uvedení prvního Newtonova zákona je poněkud úsměvná. V článku 3.2, na který se odvolává, jsou popsány tři pokusy: házení s míčem, pohyb automobilu a kulička na obr. 3-3. Z nich jistě Galileova domněnka ani Newtonova formulace nevycházely. Kromě toho je ve studentovi vzbuzován mylný dojem, že verze prvního Newtonova zákona, jak je uvedena tučným písmem

[8] Haliday D., Resnick, Walker J.: Fyzika. (Překlad anglického originálu Fundamentals of Physics, 9. vydání.) VUTIUM, Brno, 2013.

[9] V Newtonově originální formulaci sice žádná vztažná soustava nefiguruje, šlo však o pohyb vztahovaný k absolutnímu prostoru (to je zřejmé z jiné části Principií, kde jsou absolutní prostor a absolutní čas charakterizovány).

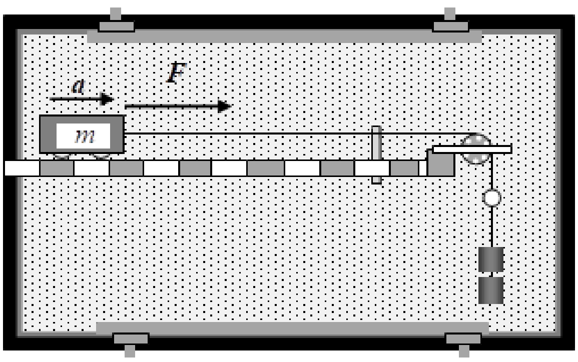
v rámečku, je originální formulací Newtonovou. V této verzi se hovoří o tělese, zmíněn je však jen pohyb rovnoměrný přímočarý. Buď tedy měla být buď uvedena i rovnoměrná rotace, nebo se formulace měla vztahovat na hmotný bod. Matoucí je i další výklad týkající se příkladů setrvačnosti jakožto projevů těles souvisejících s prvním zákonem. V příkladech rozhodně nejde o izolovaná tělesa. Chování objektů v dopravních prostředcích pohybujících se zrychleně (rozjíždění, brzdění, zatáčka) je právě důsledkem působení okolních objektů a počátečních podmínek. Je otázkou, zda toto chování lze nazývat „setrvačností“. Termín „setrvačnost“ je však dán historicky a je natolik zakořeněn, že jistě bude i nadále užíván. Jen je třeba jej správně interpretovat. Inerciální soustavy jsou zavedeny až v samém konci odstavce, první zákon je tak pojat jako existenční axiom ([2], str. 78):

„Vztažné soustavy, ve kterých každé izolované těleso zůstává v klidu, nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, tj. soustavy, v nichž platí první Newtonův zákon, se nazývají inerciální vztažné soustavy (latinsky inertia = nečinnost, setrvačnost).“

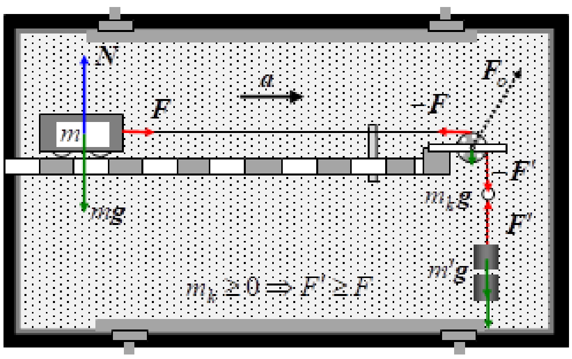
Zkušenost: Studenti na dotaz uvádějí znění prvního zákona tak, jak je předkládá učebnice, avšak dobře mu nerozumějí. Z míry je vyvede dotaz, vzhledem k jakému tělesu (vztažné soustavě) je tzv. izolované těleso v klidu, nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, a nedokáží předložit nějakou rozumnou představu o tom, co se myslí „vnější silou“. Jsou udiveni sdělením, že poučka v učebnici nepochází od Newtona a překvapí je překlad originálního Newtonova znění zahrnujícího rovnoměrnou rotaci (devátá a poslední, tj. definitivní, z Newtonových formulací prvního zákona). Je škoda, že se v případě Newtonových zákonů, a zejména prvního, nevěnovali autoři tak trochu fyzikální historii. Studenti na ni reagují pozitivně, je pro ně zajímavá.

Druhý Newtonův zákon je formulován již s pomocí autorského „zavedení“ síly z prvního odstavce kapitoly o dynamice. Jde stále o prázdný pojem, jehož vědomí u studentů má být založeno na tom, že *„ze zkušenosti víme“*, popřípadě na představě deformace míče či pružiny, v lepším případě na působení Slunce na Zemi „na dálku“. Přestože sami autoři charakterizují sílu jako veličinu, která vzájemné působení těles popisuje kvantitativně, neuvádějí žádný kvantitativní zákon, až na jedinou výjimku. Tou je vztah $\boldsymbol{F}_{\mathrm{G}} = m\boldsymbol{g}$ pro tíhovou sílu ([2], str. 83), který však následuje teprve za formulací druhého zákona ([2], str. 81). Viz také komentář výše. Uvedení druhého zákona je motivováno pokusem – myšlenkovým, nebo skutečným? Proč není na CD videoexperiment? ([2], str. 80):

„Proveďme pokus s vozíkem (obr. 3-4), který se může pohybovat po kolejích mírně skloněných, aby bylo kompenzováno tření. Vozík je spojen s nepružným lankem vedeným přes kladku se závažími. Uvolníme-li vozík, zavěšená závaží klesají a vozík se pohybuje s určitým zrychlením ***a*** *vpravo.*



3-4 Demonstrace k druhému Newtonovu zákonu



Působení okolí na vozík, závaží a kladku

Obr. 2. Demonstrace k druhému Newtonovu zákonu (vlevo překreslený obr. 3-4 z [2]).

Lanko táhne vozík vpravo určitou tahovou silou ***F****. Silou téže velikosti, ale opačného směru, působí lanko na závaží a brání jejich volnému pádu., ke kterému by jinak samozřejmě došlo. Kladka slouží ke změně směru síly napínající lanko beze změny její velikosti."*

Vlevo je obrázek z učebnice, vpravo správný obrázek s vyznačením všech relevantních sil. Zásadně chybné je samozřejmě tvrzení o síle, jíž působí lanko na závaží – tato síla je svislá, zatímco síla ***F***, jíž působí lanko na vozík, je vodorovná. Kladka, která podle autorů *„slouží ke změně směru síly"* tuto chybu nenapraví. Naopak, formulace je zbytečně matoucí. Velikost uvedených sil by byla stejná jen v případě, že by kladka měla přesně nulovou hmotnost – nic takového ovšem text nekonstatuje a vzbuzuje tak dojem, že kladka nemá jinou funkci než „změnit směr síly", a že síly, jimiž působí lanko na vozík a lanko na závaží, budou stejně velké vždy. Největší škodlivost kritizované formulace spočívá v tom, že studenti mohou nabýt dojmu (a také jej nabývají – to je zkušenost), že uvedené dvě síly (lanko na vozík, lanko na závaží) jsou akcí a reakcí podle třetího zákona. Druhý zákon je formulován v [2], str. 81, další úvahy a tvrzení následují na str. 83:

„Výslednice sil ***F*** *působících na hmotný bod o hmotnosti m uděluje tomuto bodu zrychlení* ***a*** *takové, že platí m****a*** *=* ***F****."*

*„Vztah m****a*** *=* ***F*** *se také nazývá pohybová rovnice. Pohybová rovnice umožňuje určit závislost rychlosti hmotného bodu na čase a obecně pohyb hmotného bodu za působení vnějších sil. Nebo naopak ze známého pohybu hmotného bodu stanovit sílu, která na daný hmotný bod působí. Při použití pohybové rovnice si musíme vždy ujasnit, na jaké těleso ji aplikujeme. Do výslednice sil zahrneme pouze ty síly, které působí na zkoumané těleso. Síly působící na jiná tělesa, která se mohou v dané úloze také objevovat, neuvažujeme. Výslednice sil zahrnuje jen vnější síly, tj. ty síly, jimiž na těleso působí jiná tělesa. Neuvažujeme tedy síly vnitřní, jimiž na sebe působí jednotlivé části tělesa."*

Formulace druhého zákona samotná (první výše citovaná věta) by nebyla nijak problematická (i když nejde o originální Newtonovu formulaci, která nehovoří o zrychlení, ale o změně hybnosti – mutationem motus), kdyby bylo řečeno, že se týká hmotného bodu s konstantní hmotností (to se možná myslí implicitně), a hlavně, kdyby bylo už konečně jasné, co je to síla.

První tři věty následné formulace (druhý výše uvedený citát), popisující, jak lze „číst" druhý zákon pro hmotný bod jsou v pořádku, autoři však opět promarnili možnost konečně vysvětlit, co je to vlastně ta síla. Proč alespoň nezmínili Newtonův gravitační zákon zjištěný ze zákonů Keplerových? Další empiricky zjištěné silové zákony měly rovněž být uvedeny (příklady viz výše). Tím by se naplnil obsah pojmu „síla" (opět viz analogický komentář výše). Své poučení pro studenty: *„Do výslednice zahrneme pouze ty síly, které působí na zkoumané těleso."* si autoři nestačili zapamatovat ani do strany 95, kde prezentují chybné silové diagramy (podrobnější komentář viz níže). Další chybou odstavce interpretujícího druhý zákon je, že jej autoři formulují pro hmotný bod, ale popisují, jak jej aplikovat na těleso – doslova „z nebe" spadne pojem vnějších a vnitřních sil a jak již je autorským zvykem, bez uvedení příkladu. Má si student klást otázku, zda tedy druhý zákon platí také pro těleso či nikoliv? Didaktickou a formulační chybou je slovo *„neuvažujeme"* vztahující se k silám působícím na jiné hmotné body než ten, kterého se druhý zákon právě týká, a k vnitřním silám). Slovo „neuvažujeme" v sobě skrývá dojem určité libovůle, popřípadě aproximace (neuvažujeme o působení třecích sil, odporu prostředí, apod.). Podstatou ovšem je, že síly působící na jiné hmotné body než ten, jehož se druhý zákon právě týká, do výslednice ***F*** v principu nepatří. Pokud bychom mluvili o tělese a vnitřních silách, pak vztah $m\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}$ představuje první impulsovou větu, ***a*** je zrychlení středu hmotnosti tělesa a vnitřní síly do výslednice ***F*** nevstupují díky platnosti třetího zákona. V odstavci, kdy studenti poprvé slyší druhý zákon pro hmotný bod, je konstatování o vnějších a vnitřních silách, týkajících se tělesa, předčasné, proto obsahově prázdné, je-li navíc uváděno bez vysvětlujícího příkladu. Ukázkou toho, jak odtržená jsou obecná konstatování od reality, jíž se autoři snaží přiblížit např. v úlohách, je úloha 2 ([2], str. 83):

„Automobil o hmotnosti 800 kg se rozjíždí z klidu. Motor působí stálou tažnou silou o velikosti 500 N, proti pohybu působí vlivem tření a odporu vzduchu výsledná síla o velikosti 100 N. S jak velkým zrychlením se automobil rozjíždí?“

Pomiňme fakt, že důležitým faktorem je i valivý odpor, který v zadání není zmíněn. Co si však student počne s informací o tažné síle motoru? Co to je „tažná síla motoru“? Auto veze motor s sebou, motor roztáčí nápravy, … Není tedy tažná síla motoru vnitřní silou? A co další síly? Působí na automobil ještě nějaké? Proč nejsou zmíněny? Kdyby měla být úloha řešena pořádně, bude těžká. Autoři zřejmě od studenta chtějí, aby bezmyšlenkovitě dosadil $F_x = 500 - 100 = 400\ N$ a $a = 400 / 800 = 0{,}5\ m.s^{-2}$. Student to asi opravdu tak udělá, nad dalším nebude přemýšlet, a už vůbec si neuvědomí, že podstatnou (vnější) silou působící na kola automobilu je statická třecí síla mezi koly a silnicí (pokud kola neprokluzují). Bez ní by se automobil nerozjel při jakkoli velké „tažné síle motoru“. Dvě věty k tomuto problému se objevují až na str. 96, kdy už si je student s úlohou nepropojí. Problém s tím, jaká je povaha sil působících na objekt, fakticky provází výklad mechaniky v celé učebnici – autoři se o povaze sil velmi málo zmiňují.

V dalším odstavci je zaveden pojem hybnosti $\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$ a druhý zákon přepsán do tvaru $\boldsymbol{F} = \Delta\boldsymbol{p}/\Delta t$ (opačné pořadí zápisu oproti dřívějšímu $m\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}$). K vyjádření pomocí hybnosti dospívají autoři formálním dosazením $\boldsymbol{a} = \Delta\boldsymbol{v}/\Delta t$, aniž uvažují o tom, že originální Newtonova formulace se týká přímo změny hybnosti, její obsah je tedy podstatně hlubší (možnost proměnné hmotnosti hmotného bodu resp. tělesa – tuto možnost však v závěru odstavce přece jen komentují). Stránka a půl o impulsu (konstantní) síly je přesunuta do rozšiřujícího učiva ([2], R6, str. 12, 13). Ani tam však není vše v pořádku:

„Úloha 1: Táhnete-li tenký provázek přivázaný k tělesu volně ležícímu na stole, provázek se nepřetrhne. Trhnete-li jím, provázek se přetrhne. Vysvětlete, proč k tomu dojde.“

Úloha je formulována nedůsledně a vede k povrchnosti uvažování. Student, který by se pokusil podobný pokus realizovat, by byl asi zklamán, neboť by se mu s velkou pravděpodobností nepovedl. Kdyby byla úloha doprovázena skutečným cíleným experimentem, bylo by jeho vysvětlení obtížné a vyžadovalo by např. uvažovat o pružném provázku a konkrétní časové závislosti pohybu jeho konce[10], zahrnout působení třecích sil, apod. Ani při největší možné idealizaci (zanedbání třecích sil a především dokonale tuhý provázek) však v podstatě nejde o úlohu přímo související s impulsem síly. Jde jen o to, že k udělení určitého zrychlení třeba velmi hmotnému tělesu by bylo potřeba působit na ně silou, která by již mohla překročit mez pevnosti provázku.

Třetí Newtonův zákon není problematický, jeho základní formulace v [2] rovněž ne ([2], str. 88). Následují však doplňující konstatování, která už problémy přinášet mohou ([2], str. 88):

„Dvě tělesa na sebe navzájem působí stejně velkými silami opačného směru.“

„Jednu z těchto sil nazýváme obvykle akce, druhou reakce. ... Akce a reakce jsou síly, které působí na různá tělesa, proto se ve svých účincích navzájem neruší.“

Pokud se student zeptá, která ze sil je tedy akce a která reakce, autoři mu vzápětí poněkud květnatě sdělí, že je to jedno. Problematičtější může být druhá věta (v knize uvedena stejně výrazně v rámečku jako samotný třetí zákon). Není totiž zcela zřejmý smysl a cíl vedlejší věty *„proto se ve svých účincích*

[10] Viz např. M. Rojko: Metoda reprezentativního příkladu ve vyučování fyziky. Habilitační práce. MMF UK, Praha 1994.)

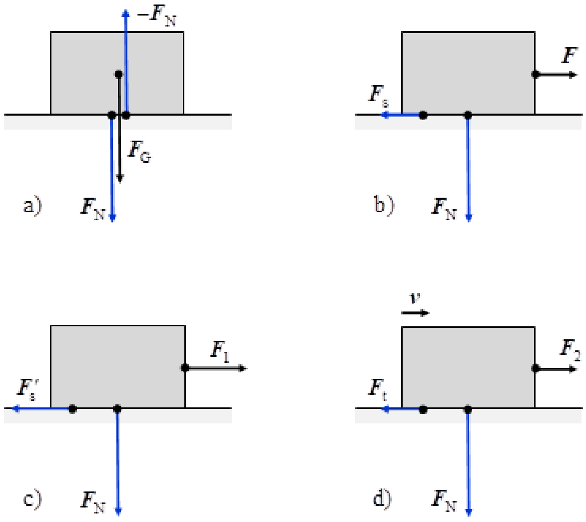
navzájem neruší", zejména v souvislosti s textem bezprostředně následujícího odstavce, nazvaného Zákon zachování hybnosti. V něm autoři srozumitelně pojednávají o zachování hybnosti dvoučásticové izolované soustavy, kdy síly vzájemného působení jejích částic nemají právě díky třetímu zákonu vliv na její celkovou hybnost. Z tohoto hlediska se síly „akce a reakce" ve svých pohybových účincích na soustavu jako celek skutečně „vyruší". Citovaná věta: *„Akce a reakce jsou síly, které působí na různá tělesa, proto se ve svých účincích navzájem neruší."* v odstavci o třetím zákonu je spíše zavádějící, než účelná. Užitečné by bylo (a „poučce" by teprve vtisklo obsah), kdyby autoři ukázali a prodiskutovali příklady dvojic sil, které jsou stejně velké a opačně orientované ze dvou různých důvodů – buď podle třetího zákona (síly vzájemného působení hmotných bodů, tj. „akce a reakce"), nebo v důsledku nějaké vazební podmínky (síly působící na týž hmotný bod, tj. nejde o „akci a reakci"). Velmi vhodnou, avšak promarněnou příležitostí k tomu by byly zrovna situace znázorněné v silových diagramech uváděných, bohužel nesprávně, v [2] na str. 95, viz níže.

Zkušenost: Studenti poměrně často považují jakékoli dvě opačné stejně velké síly působící na dané těleso za akci a reakci. Typickým příkladem chybné odpovědi je situace, kdy např. kostka leží v klidu na stole a za akci a reakci prohlásí studenti tíhovou sílu a tlakovou sílu, jíž působí na kostku stůl. Teprve zahrnutí Země do soustavy těles a specifikace dvojic „akce a reakce" mj. jakožto sil stejné povahy: síly, jimiž na sebe navzájem působí kostka a Země, mají povahu gravitační, tlakové síly, jimiž působí kostka na stůl, a stůl na kostku, jsou pak síly elektromagnetické povahy. Země na stůl a stůl na Zemi působí jak silami gravitačními, tak tlakovými. (Řečené platí za idealizujícího předpokladu, že podložka pod stolem a deska stolu jsou dokonale vodorovné, jinak je třeba pracovat ještě se silami statického tření.) Uvedený příklad, který studenti postupně sami vyřeší, se může jevit jako příliš triviální, studentům však hlubší pochopení třetího Newtonova zákona usnadní. Za celá léta však jen jednou operovala studentka argumentem, že tíhová síla, jíž na kostku působí Země, a tlaková síla od stolu nemohou být akce a reakce již proto, že nejsou stejné povahy. Tato argumentace se totiž v gymnaziálních učebnicích neobjevuje.

Odstavec 3.8 Smykové tření v [2] (str. 94-98) je oproti odpovídajícímu odstavci 3.9 Smykové tření a valivý odpor v [1] (str. 95-99) poněkud rozšířen o úvahy týkající se smykového tření, zatímco pojednání o valivém odporu (v [1] v rozsahu necelé strany na str. 97 a 98) je ve formě rozšířené a upravené verze přesunuto do rozšiřujícího učiva a zasluhuje samostatný komentář (viz níže). I tak obsahuje odstavec o smykovém tření vážné prohřešky proti zásadám, které autoři razili v odstavci 3.4 Druhý Newtonův pohybový zákon, konkrétně rekapitulujeme ([2], str. 82):

„Do výslednice sil zahrneme pouze síly, které působí na zkoumané těleso. Síly působící na jiná tělesa, která se mohou v dané úloze také objevovat, neuvažujeme."

Na str. 95 jsou uvedeny obrázky kostky, ležící či pohybující se na vodorovné podložce s uvážením třecích sil. Tyto obrázky by mohly představovat tzv. silové diagramy, kdyby byly správné (jedná se o obr. 3-13 K výkladu vzniku třecí síly; v následujícím obrázku je přesně překreslen z učebnice, včetně barev):



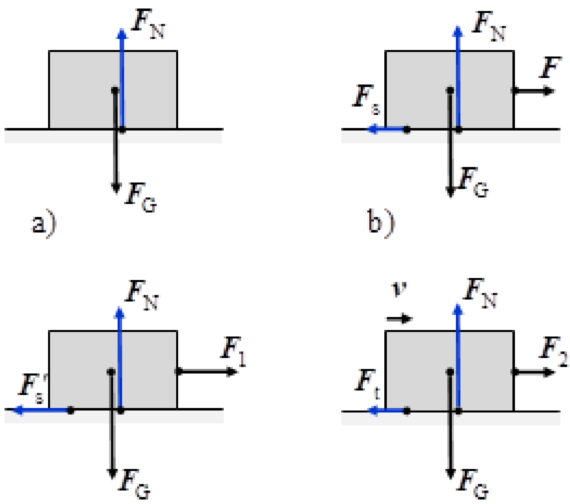
Obr. 3. Silové diagramy pro objekt na vodorovné podložce (překreslený obr. 3-13 z [2]).

„Na kvádr působí Země svisle dolů tíhovou silou $\boldsymbol{F}_G = m\boldsymbol{g}$*. Kvádr tlačí na podložku tlakovou silou* $\boldsymbol{F}_N$ *kolmou na podložku (obr. 3-13a). Podle zákona akce a reakce působí podložka na kvádr silou* $(-\boldsymbol{F}_N)$. *Kvádr se ve svislém směru nezrychluje ani nezpomaluje, proto výslednice sil* $\boldsymbol{F}_G$ a $(-\boldsymbol{F}_N)$ *musí být nulová.“*

Toto je „vzorová“ formulace, která je naprosto v pořádku, jen kdyby k ní nepříslušel matoucí obrázek 3-13a, v němž je v rozporu s doporučením autorů a hlavně v rozporu se zásadami konstrukce silových diagramů zakreslena i síla $\boldsymbol{F}_N$, která působí na jiné těleso než je těleso zkoumané. Slovní úvahy týkající se obrázků 3-13b, c, d jsou v zásadě v pořádku, obrázky však nedávají smysl – stejně jako v obr. 3-13a v nich přebývá tlaková síla kvádru na podložku a navíc chybí tíhová síla (působení Země na kvádr). Ani volba barev šipek nemá logiku: modře by mohly být zakresleny síly, jimiž působí na kvádr podložka (tlaková síla $(-\boldsymbol{F}_N)$ a třecí síly), černě pak síly, jimiž působí na kvádr jiná tělesa (Země, případně tažné lanko či ruka). Zakreslením síly $\boldsymbol{F}_N$ se ovšem jakákoli logika vytrácí. Případný argument, že slovní výklad je správný, neobstojí – silové diagramy musí být „soběstačné“. Stejně chybné jsou i obr. 3-15 na str. 97 a 3-16 na str. 98. Proč autoři značí jako $\boldsymbol{F}_N$ tlakovou sílu kvádru na podložku a nikoli podložky na kvádr, se můžeme jen dohadovat. Může to být jejich obsedantním lpěním na formulaci silového zákona pro dynamickou třecí sílu (které bůhvíproč říkají *„třecí síla za pohybu“* namísto zavedené terminologie) ([2], str. 96):

„Velikost třecí síly za pohybu F_t *je přímo úměrná velikosti tlakové síly* F_N *, kterou působí těleso kolmo na podložku. Matematicky tento poznatek zapíšeme vztahem (za předpokladu, že styková plocha těles je rovinná)* $F_t = f F_N$*, kde konstanta f je součinitel smykového tření.“*

Logičtější by bylo vyjádřit formulačně vztah pro třecí sílu, jíž působí podložka na těleso, pomocí tlakové síly, jíž rovněž působí podložka na těleso a označit jako $\boldsymbol{F}_N$ právě tuto sílu (velikost je samozřejmě stejná jako velikost tlakové síly, jíž působí těleso na podložku – třetí zákon). Obrázky by mohly vypadat například následovně:



Obr. 4. Návrh silových diagramů pro objekt na vodorovné podložce.

Rozšíření odstavce o podrobnější úvahy o smykovém tření mohlo být velmi užitečné, nebýt zmatených obrázků.

K třístránkovým odstavcům 3.9 Dostředivá síla a 3.10 Inerciální vztažné soustavy, Galileiův princip relativity nejsou výhrady, snad jedna k řešení úlohy o kónickém kyvadle ([2], str. 100):

„Kulička koná rovnoměrný pohyb po kružnici, proto je výslednice sil, které na ni působí, totožná s dostředivou silou $\boldsymbol{F}_{\mathrm{d}}$*.“*

Zdánlivě se jedná o drobnou formulační nedokonalost, věcně však může být závažná. Slovo „*totožná*“ přivádí totiž k dojmu, že je zde výslednice sil a ještě navíc síla dostředivá, která je s ní totožná.

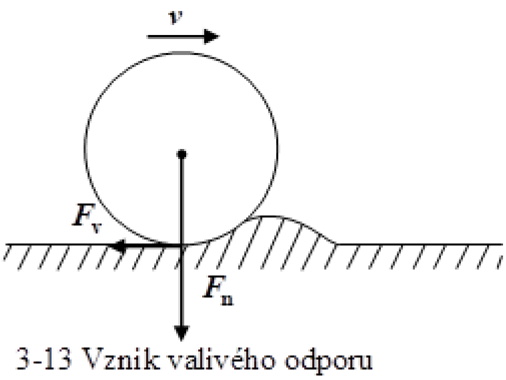
Zkušenost: Tento omyl je u studentů častý – vyjádření typu *„na kuličku působí síla tíhová, tahová síla vlákna a síla dostředivá“* nejsou u studentů výjimkou. Vhodná formulace by byla např. *„výslednice sil je silou dostředivou“*, popřípadě (méně vhodně) *„realizuje sílu dostředivou“.*

Odstavce o neinerciálních soustavách a speciálně o otáčejících se soustavách jsou přesunuty na CD.

Rozšiřující učivo na CD představuje většinou jen text přesunutý sem z tištěné verze dřívějších vydání. (Připomeňme, že v prvním vydání [1] nebyly žádné pasáže označeny jako rozšiřující, v dalších vydáních byly označeny bočními svislými čarami – takto označené učivo je nyní na CD.) Kromě položek označených jako rozšiřující, které jsme již stručně komentovali výše jako nezměněné, popřípadě s velmi mírnými změnami (R1 až R5) je třeba dát podrobný komentář k stati R8 Valivý odpor, která je oproti vydání [1] zcela změněna, nikoli však k lepšímu – nakupila se v ní řada fyzikálních a didaktických chyb. Zůstává také záhadou, jaký didaktický záměr sledovali autoři zařazením poměrně obtížné problematiky valivého odporu (a dokonce již do kapitoly o dynamice hmotného bodu, nikoli až do kapitoly o mechanice tuhého tělesa), když v celé učebnici nenajdeme standardní pasáž týkající se valení jako takového pro idealizovaný případ valení bez prokluzu bez uvážení valivého odporu. V prvním vydání ([1], str. 98) je vznik valivého odporu vyložen takto:

„Valivý odpor vzniká vždy, když se pevné těleso kruhového průřezu valí po pevné podložce (obr. 3-13). Působením kolmé tlakové síly $\boldsymbol{F}_{\mathbf{n}}$ *se poněkud deformuje těleso i podložka. Deformace vyvolává odporovou sílu* $\boldsymbol{F}_{\mathrm{v}}$*, působící na těleso a směřující proti směru jeho pohybu. Pokusy bylo zjištěno, že velikost odporové síly* F_{v} *je přímo úměrná velikosti kolmé tlakové síly* F_{n}*. Kromě toho však velikost*

odporové síly závisí také na poloměru R valícího se tělesa. Čím menší je tento poloměr, tím větší je odporová síla. Pro velikost odporové síly platí vztah $F_v = \xi F_n / R$*, kde ξ (čti ksí) je rameno valivého odporu …“*



Obr. 5. Vznik valivého odporu (překreslený obr. 3-13 z [1]).

Nejde zde „jen“ o další špatný silový diagram: znázorněná síla $\boldsymbol{F}_v$ prohlášená za sílu valivého odporu by totiž valící se těleso roztáčela! A dále: jestliže $\boldsymbol{F}_\mathbf{n}$ je síla, jíž působí podle autorské interpretace těleso na podložku (nehledíme teď na to, že výslednice elementárních tlakových sil nebude svislá) pak se působením této síly deformuje podložka, nikoli *„těleso a podložka“.*

Jak autoři text „opravili“ v dvou a půl stránkovém textu R8 (str. 21, 22 plus úlohy), je vidět na reprodukovaném obrázku a textu, který obsahuje závažné fyzikální a didaktické chyby. (Reprodukována je první strana, druhá již obsahuje praktické údaje – tabulku hodnot ramene valivého odporu pro různé materiály, na třetí straně jsou dvě úlohy.)

Autoři vycházejí z tradovaného, avšak zejména v běžné praxi nereálného předpokladu, že valivý odpor je způsoben vznikem nerovnosti podložky před valícím se tělesem. Dalším (nevysloveným) předpokladem zřejmě je homogenita tělesa. Chyby a zavádějící formulace v úvaze vedené v textu R8:

- Nejzávažnější, z hlediska pěstování fyzikálního myšlení studentů zcela zásadní, chybu představuje formulace *„Síly* $\boldsymbol{F}_N$ *a* ($-\boldsymbol{F}_N$) *tvoří dvojici, jejíž moment brzdí pohyb valícího se tělesa … “*. Je očividné, že zmíněné síly jsou svislé, a tedy nemohou mít vliv na zrychlení translačního pohybu (středu hmotnosti) tělesa. Význam veličin $\boldsymbol{F}_N$ a ($-\boldsymbol{F}_N$) navíc není správně vyložen. Síla $\boldsymbol{F}_N$ je komentována takto: *„Může to být např. tíha valícího se tělesa. Tato tlaková síla přitlačuje valící se těleso k podložce.“*. Podle první z obou citovaných vět je tedy $\boldsymbol{F}_N$ síla, kterou působí těleso na podložku, neboť podle [2], str. 138, je tíha silou, *„… kterou tělesa tlačí na podložku nebo táhnou za závěs.“*[11] Druhá věta však nedává smysl – do původní informace vnáší přinejmenším nejasnost, neprohlásíme-li ji rovnou za nesmyslnou. Pokud jde o sílu ($-\boldsymbol{F}_N$), je to podle autorského textu *„normálová složka“* výsledné reakce $\boldsymbol{F}$, jíž působí podložka na těleso. Slovem *„normálová“* se v textu rozumí (a explicitně se to konstatuje) kolmá k nedeformované podložce.[12]
- Zmíněná „reakce podložky“ je označena symbolem $\boldsymbol{F}$ a v obrázku je kolmá (tedy normálová) k podložce v místě nerovnosti. Je „reakce“ jen nevhodně zvoleným slovem pro působení podložky na těleso? Nebo si má si student představit „reakci“ podle třetího Newtonova zákona? To se pravděpodobně stane a student bude marně hledat „akci“.

[11] Její působiště je paradoxně umístěno do středu tělesa.

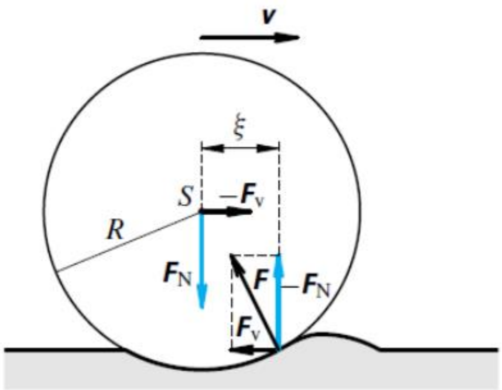
[12] Že opět dochází ke kolizi termínů průmět (vektor) versus složka (číslo) lze v kontextu se závažnými fyzikálními chybami ponechat stranou.

21

R8 VALIVÝ ODPOR

V článku 3.9 učebnicového textu jsme se zabývali *smýkáním* pevného tělesa po podložce. Když se pevné těleso kruhového průřezu (např. koule, rotační válec, rotační kužel) *valí po podložce*, pak proti pohybu tělesa působí také brzdná síla. Vzniká **valivé tření** (*valivý odpor, odpor při valení*) a brzdná (třecí) síla se nazývá **odporová síla** $\boldsymbol{F}_\mathrm{v}$ (nebo se také používá termín **síla valivého odporu**).*

Prozkoumejme, jak tato odporová síla vznikne. Zřejmě je vyvolána *deformací podložky*, popř. i *deformací oblého tělesa* v místech dotyku tělesa a podložky, a to působením tlakové síly $\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$. Může to být např. tíha valícího se tělesa. Tato tlaková síla přitlačuje valící se těleso k podložce. Podložka působí na těleso výslednou reakcí $\boldsymbol{F}$ (obr. R8-1), jejíž normálová složka $-\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$ je kolmá k rovině



R8-1 Vznik valivého odporu

nedeformované podložky a má stejnou velikost jako tlaková síla. Deformace těles způsobuje, že síla $\boldsymbol{F}$ má také tečnou složku $\boldsymbol{F}_\mathrm{v}$ (rovnoběžnou s rovinou podložky). Vektorová přímka normálové složky je ale rovnoběžně posunuta vzhledem k vektorové přímce tlakové síly o jistou vzdálenost ξ (čti ksí). Síly $\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$ a $-\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$ tvoří dvojici sil, jejíž moment brzdí pohyb valícího se tělesa a je nutné ho překonat momentem sil $\boldsymbol{F}_\mathrm{v}$ a $-\boldsymbol{F}_\mathrm{v}$. Síla $\boldsymbol{F}_\mathrm{v}$ je hledaná odporová síla.

Z rovnosti momentů uvažovaných dvojic sil vyplývá, že mezi kolmou tlakovou silou $\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$ a odporovou silou $\boldsymbol{F}_\mathrm{v}$ platí vztah

$$F_\mathrm{N} \cdot \xi = F_\mathrm{v} \cdot R$$

* S termínem odporová síla se také setkáme u obtékání pevných těles v kapalinách a plynech.

Obr. 6. Valivý odpor (reprodukován obr. R8-1 z [2]).

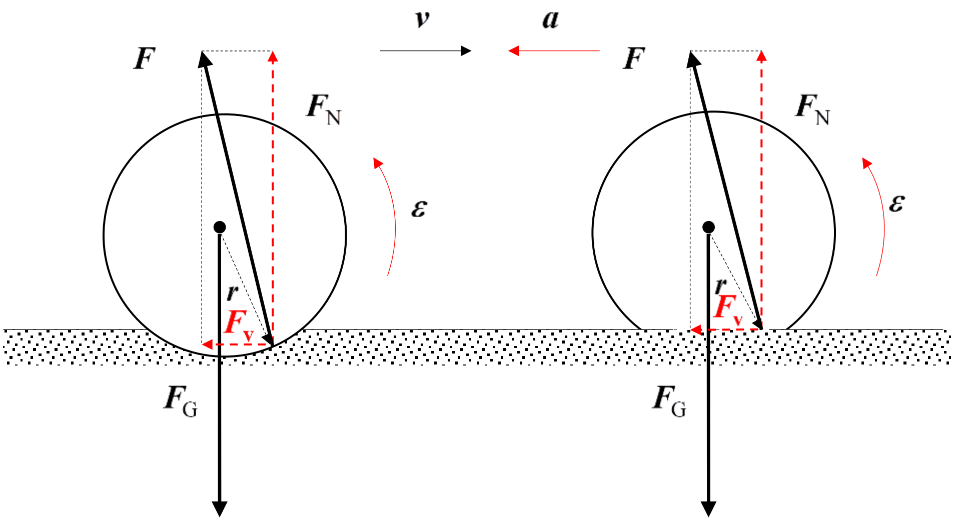
- V obrázku, který má představovat silový diagram, mají být zakresleny síly působící na těleso a jen tyto síly. Není však zakreslena a dokonce ani zmíněna tíhová síla! Naopak je zakreslena síla $\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$, kterou sami autoři popsali jako sílu, jíž působí těleso na podložku. Jaký je důvod pro umístění jejího působiště do geometrického středu průřezu válcového tělesa, popř. do středu hmotnosti tělesa?
- Je zjevné, že $\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$ není tlaková síla tělesa na podložku, stejně jako ($-\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$) není tlaková síla podložky na těleso. Obecně jsou tlakovými, resp. tahovými (elementárními) silami definitoricky nazývány průmět (elementárních) plošných sil vzájemného působení dvou těles

do normály k stykové ploše těles v bodě styku. Ve speciálním případě odpovídajícím obrázku má ve skutečnosti charakter výsledné tlakové síly, jíž působí podložka na těleso síla ***F***, opačnou silou pak působí těleso na podložku. Síla ***F*** je součtem elementárních tlakových sil, které jsou v obecném případě nesymetricky rozloženy podél styčné plochy tělesa s podložkou. (Obrázek ovšem odpovídá specifické situaci, kdy je valivý pohyb tělesa rovnoměrný – viz níže).

- Zcela opomenuty jsou síly, jimiž působí podložka na těleso ve směru tečném ke styčné ploše (statické tření, valí-li se těleso bez prokluzu, a síly smykové). Ty jsou pro vznik valivého odporu v obecném případě samozřejmě rovněž důležité.
- Rozklad síly ***F*** do průmětů je sice formálně v pořádku, není však jasný původ najednou se objevivší síly ($-\boldsymbol{F}_v$) umístěné do středu tělesa, která v obrázku kompenzuje vodorovný průmět síly ***F***, tj. oné *„reakce podložky"*. Je to zřejmě dodatečná síla, kterou je třeba působit na těleso, aby se nezpomalovalo, tj. aby se valilo rovnoměrně bez prokluzu. Pak je ovšem další zásadní chybou, tentokrát didaktickou, že to nebylo explicitně řečeno již na začátku celé úvahy.
- Bude-li dodatečným silovým působením na těleso zajištěno, aby se valilo rovnoměrně a bez prokluzu, bude výslednice všech vnějších sil na ně působících nulová, stejně jako jejich výsledný moment. Výsledná síla ***F***, jíž působí podložka na těleso, pak bude skutečně směřovat do středu hmotnosti tělesa (její moment vzhledem ke středu hmotnosti bude nulový). Student sám však není schopen takovou (v textu chybějící) úvahu provést, zejména po předchozím zmateném výkladu o silách $\boldsymbol{F}_N$ a ***F***. Je pravděpodobné, že ani učitel se nad problémem nebude takto detailně zamýšlet a raději učivo vynechá.
- Student se nedozví, jak to bude s valivým odporem, nebude-li těleso uměle udržováno v rovnoměrném pohybu. Má zkušenost, že valivý odpor těleso brzdí (třeba při jízdě na kole). Jak má vypadat silový diagram v takovém případě?
- Bude se nesprávně domnívat, že síla, jíž působí podložka na těleso v bodech jeho styku s podložkou (v obrázku i textu označená ***F***), je vždy kolmá k deformované podložce.
- A konečně, znázorněný případ je velice vzdálen od praxe, jak již bylo zmíněno. Muselo by jít o valení nepružného tělesa po pružné podložce. Student se ovšem setkává s případy opačnými. Jistě si nedovede představit, že by při jízdě na kole před sebou „hrnul" betonový hrbol deformované silnice.

Správné a pochopitelné vysvětlení valivého odporu na úrovni postačující pro gymnaziální fyziku může být jednoduché (viz následující obrázek, předpoklad – homogenní válcové těleso, valení bez prokluzu):

- Na nepružné (vlevo) či pružné (vpravo) těleso valící se po pružné či nepružné vodorovné podložce bez prokluzu působí jednak tíhová síla $\boldsymbol{F}_G$ (působiště ve středu hmotnosti tělesa), jednak nesymetricky rozložené tlakové a smykové elementární síly, jimiž působí na těleso podložka v ploše kontaktu. Jejich působiště jsou spojitě rozložena podél styčné plochy tělesa s podložkou, výslednice je označena ***F***.
- Průmět $\boldsymbol{F}_N$ výslednice ***F*** těchto sil do svislého směru kompenzuje tíhovou sílu (nulový svislý průmět zrychlení středu hmotnosti tělesa – vazební podmínka), zatímco vodorovný průmět $\boldsymbol{F}_v$ představuje brzdnou sílu, tj. určuje zrychlení středu hmotnosti tělesa – první impulsová věta: $m\boldsymbol{a}_{SH} = \boldsymbol{F}_v$.
- Moment tíhové síly vzhledem ke středu hmotnosti tělesa je nulový.
- Výsledný moment tlakových a smykových elementárních sil způsobuje zpomalování rotace tělesa, tj. určuje úhlové zrychlení tuhého tělesa se symetricky rozloženou hmotností – příslušný tvar druhé impulsové věty: $J\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{M}_F = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$.



$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_{\mathrm{v}} + \boldsymbol{F}_{\mathrm{N}}\,,\;\; \boldsymbol{F}_{\mathrm{N}} = -\boldsymbol{F}_{\mathrm{G}}\,,\;\; \boldsymbol{M}_{\mathrm{F}} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$$

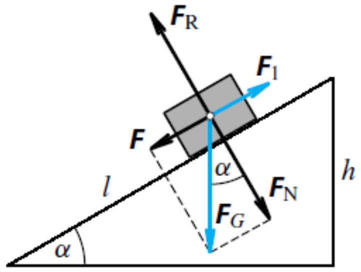
Obr. 7. Síly působící na těleso při valení.
Moment síly $\boldsymbol{F}_{\mathrm{G}}$ je nulový, moment síly $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_{\mathrm{v}} + \boldsymbol{F}_{\mathrm{N}}$ směřuje dopředu (před papír) a brzdí rotaci.
Umístění síly $\boldsymbol{F}$ je dáno nesymetrickým rozložením elementárních sil,
jimiž působí podložka na těleso. Jejich působiště jsou spojitě rozložena v ploše styku tělesa
s podložkou. Obrázek je schematický.

V běžné praxi jsou samozřejmě častější případy, kdy se pružné těleso valí po nepružné podložce (obrázek vpravo). Vlevo je situace znázorněna pro nepružné těleso a pružnou podložku.

Za lapsus z hlediska didaktiky lze ovšem považovat fakt, zmíněný již výše, že totiž autoři předkládají studentovi pro něj obtížný případ valení tělesa se započtením valivého odporu, když o jednodušší situaci – dynamice valení bez prokluzu a bez valivého odporu – se vůbec nezmiňují nejen v hlavním textu, ale ani v rozšiřujícím učivu. To by však rovněž nebylo dobře možné, neboť RVP G, a tedy ani učebnicový výklad, neobsahují druhou impulsovou větu.

A ještě jedna ukázka, kdy nejde „jen“ o špatný silový diagram. Jde o rovnováhu na nakloněné rovině v šestistránkovém rozšiřujícím učivu o jednoduchých strojích. Ještě před ukázkou několik slov o tomto odstavci celkově: R11 je skutečně rozšířením oproti prvnímu vydání, neboť v [1] odstavec o jednoduchých strojích není. O rozšiřující učivo by však mohlo jít jedině v případě, kdyby byla rovnováha, případně i pohyb, těchto zařízení pečlivě a bez chyb rozebrána z hlediska silové a momentové rovnováhy, resp. impulsových vět. V opačném případě (a ten se právě týká odstavce R11) se jedná o látku základní školy. Na začátku se student dozví, že: *„Páka je pevná tyč otáčivá kolem osy, která je k ní kolmá.“* Je uvedena podmínka rovnováhy pro dvojzvratnou páku, příklady jednozvratné páky jsou slovně dokumentovány pomocí funkcí lidského těla. O kladce pevné, volné a kole na hřídeli je řečeno, že *„jsou to v podstatě páky“*, jsou uvedeny obrázky (bez vyznačení působících sil), zmíněn předpoklad, že momenty setrvačnosti kladek jsou zanedbatelné (proč, když je rovnováha a kladky se netočí?) a je zapsána podmínka rovnováhy. Rozšiřující učivo R11 končí fotografií gola-klíčů. O nakloněné rovině se praví ([2], R11, str. 36):

Nakloněná rovina je rovina, která svírá s vodorovnou rovinou ostrý úhel α (obr. R11-8). Těleso tažené vzhůru po nakloněné rovině je v rovnovážné poloze při rovnováze všech působících sil. Neuvažujeme-li třecí sílu, jsou podle obr. R11-8 těmito silami tíhová síla $\boldsymbol{F}_G = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{F}_\mathrm{N}$, síla $\boldsymbol{F}_\mathrm{R}$ (kterou rovina působí na těleso) a tahová síla $\boldsymbol{F}_1$ působící vzhůru po nakloněné rovině. Podle 3. pohybového zákona je $F_\mathrm{R} = F_\mathrm{N}$,



$$F_1 l = F_G h$$

R11-8 Rovnováha sil na nakloněné rovině (neuvažována třecí síla)

Obr. 8. Rovnováha na naklonění rovině podle [2] (reprodukován obr. R11-8 z [2]).

Na str. 88 hlavního textu [2] autoři zvýraznili a zarámovali sdělení, že *„Akce a reakce jsou síly, které působí na různá tělesa, proto se ve svých účincích navzájem neruší.“* V pojednání o nakloněné rovině je však $\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$ průmět tíhové síly (působení Země na těleso) do normály k nakloněné rovině, $\boldsymbol{F}_\mathrm{R}$ je síla, kterou působí rovina rovněž na těleso. Autoři ovšem konstatují: *„Podle 3. pohybového zákona je $F_\mathrm{R} = F_\mathrm{N}$.“* Neuvěřitelné!

CD – animace a videoexperimenty

CD neobsahuje žádnou animaci, pouze jeden videoexperiment ke kapitole 3. Je škoda, že nebyly realizovány experimenty zmiňované v textu kapitoly pouze na „myšlenkové“ úrovni. Jejich provedení a záznam na video by nemusely být o nic obtížnější než u pokusu, který na CD uveden je. Konkrétně velmi užitečný by byl pokus týkající se druhého Newtonova zákona, zmíněný v [1] na str. 81, v [2] pak na str. 80. S profesionálními demonstračními zařízeními, která jsou v dnešní době již k dispozici, a jsou také v prezentovaných videoexperimentech použita, by neměl být problém takový pokus uskutečnit. Pro pochopení Newtonových zákonů, pro studenty poměrně abstraktních, by nepochybně měl svou hodnotu. Také pokusů s třením bylo možné uskutečnit více, když potřebné zařízení zjevně k dispozici bylo. Obdobná situace je s experimenty se závažími na kladkách, posuvným pohybem kostek na nakloněné rovině s různými povrchy (měření úhlu sklonu, při němž se překročí maximální přípustná statická třecí síla, apod.)

- V3 Třecí síla: trvání cca 80 s, měření dynamické třecí síly při tažení tenisky po podložkách různé kvality (stůl, politý stůl, banánová slupka).

  Promarněna je možnost podrobnějšího komentáře k problematice statického tření, kterou studenti většinou nechápou. Častá je jejich domněnka, že velkost statické třecí síly je vždy dána vztahem $T_\mathrm{s} = f_0 F_\mathrm{N}$, kde f_0 je koeficient statického tření a $\boldsymbol{F}_\mathrm{N}$ tlaková síla, jíž působí podložka na těleso. S uvedeným vztahem tedy pracují jako se silovým zákonem, nikoli jako s podmínkou omezující velikost statické třecí síly. Přitom na grafických záznamech k videoexperimentu jsou zřetelně vidět oblasti, kdy se uplatňuje statické tření, jakož i přechod na tření dynamické, tj. zmíněná podmínka $T_{\mathrm{s,\,max}} = f_0 F_\mathrm{N}$. Stejně jako v textu se i při experimentu objevuje komentář:

  „Velikost třecí síly je přímo úměrná velikosti tlakové síly, kterou působí těleso na podložku.“

  V (chybném) silovém diagramu, který se při provedení experimentu objevuje, je zakreslena dynamická třecí síla $\boldsymbol{F}_\mathrm{t}$ působící na těleso – botu (směřuje proti směru jeho pohybu). Její působiště je umístěno správně ve styčné ploše podrážky boty se stolem. Tlaková síla, jíž působí těleso na podložku je autory označována symbolem $\boldsymbol{F}_N$, míří svisle dolů a její působiště je někde uprostřed boty (!). I zde autoři vytrvale uvádějí vzorec $T = f.F_N$ jako vztah pro velikost třecí síly, jíž působí podložka na těleso, a vektor $\boldsymbol{F}_N$ interpretují jako sílu, jíž působí těleso na podložku. I když velikost síly, jíž působí těleso na podložku, je stejná jako velikost síly, jíž působí podložka na těleso, bylo by správnější hovořit o vztahu mezi velikostmi sil, které obě působí na těleso.

Ad 4. Mechanická práce a mechanická energie

Text této kapitoly je v obou posuzovaných vydáních shodný, až na vypuštění podrobnějšího vysvětlení grafické interpretace práce síly, uvedené v [1] na str. 116 petitem, z verze [2] – komentář viz níže. Kapitola začíná podobnou větou jako kapitola třetí – chtějí se snad autoři vyhýbat pořádnému vybudování pojmů? ([2], str. 107):

„S fyzikálními pojmy práce a energie jste se seznámili již na základní škole."

Obě posuzovaná vydání [1, 2] začínají, až na zcela nepodstatné formulační odlišnosti, definicí práce takto ([2], str. 107):

„Nejjednodušší je vztah pro práci W, jestliže se těleso přemísťuje po přímce působením konstantní síly ***F*** *rovnoběžné s trajektorií tělesa. Urazí-li těleso působením síly o velikosti F dráhu s, je práce definována vztahem W = Fs.*

Zkušenost: Tuto definici lze jistě považovat za rozumnou, měla však být doplněna upřesňujícím komentářem s uvedením vhodného příkladu: Jako samozřejmá poznámka by mělo být připomenuto, že má-li se hmotný bod pohybovat po přímce, řekněme *p*, musí výslednice všech sil na něj působících v této přímce ležet. (Studenti si to totiž sami neuvědomí.) Výslednice sil je obecně součtem více sil, z nichž například jedna, označená symbolem ***F***, je konstantní a rovněž rovnoběžná s přímkou *p*.

Následující text však již má řadu nedostatků ([2], str. 108]:

„Uvažujme nyní kuličku na hladké vodorovné desce, po níž se kulička může pohybovat bez tření. Na kuličku působí Země tíhovou silou $\boldsymbol{F}_G$ *ve svislém směru. Uvedeme-li kuličku na desce do pohybu, bude se pohybovat ve vodorovném směru stálou rychlostí. Tíhová síla v tomto případě nekoná práci, protože je kolmá k vodorovné trajektorii kuličky. Kulička se nepohybuje ve směru tíhové síly."*

„Obecně platí: Práce se nekoná, je-li síla působící na těleso kolmá k jeho trajektorii."

Kromě toho, že na kuličku působí tíhová síla, působí na ni také tlaková síla podložky (rovněž nekoná práci). Příklad s kuličkou není příliš vhodný (viz komentář výše ke kapitole 3). „Zobecnění" uvozené slovy *„práce se nekoná"* je navíc matoucí. Co znamená *„... se nekoná..."*?

Fyzikálně scestná je dále zarámovaná formulace, která má pojem práce (přesněji je třeba hovořit o práci síly po trajektorii) zobecnit ([2], str. 108):

„Jestliže těleso urazí působením konstantní síly o velikosti F dráhu s, přičemž síla svírá s trajektorií stálý úhel α, vykoná síla mechanickou práci danou vztahem $W = Fs\cos\alpha$ *."*

Tato formulace se již explicitně nevztahuje k přímočarému pohybu, týká se (soudě podle textu, který ji uvozuje) trajektorie obecného tvaru, samozřejmě však musí přímočarý pohyb zahrnovat jako speciální případ. Je chybná ve dvou aspektech:

- Její první část *„Jestliže těleso urazí působením konstantní síly ... dráhu s...“* stanoví, či přinejmenším připouští, že $\boldsymbol{F}$ je jedinou silou působící na těleso, resp. výslednicí působících sil, což ovšem v případě přímočarého pohybu může nastat jen tehdy, je-li $\alpha = 0^0$, nebo $\alpha = 180^0$.
- Je-li pohyb křivočarý, pak není možné, aby byla síla $\boldsymbol{F}$ (ať již je to výslednice, nebo obecně některá z více sil působících na těleso) konstantní a současně aby byl úhel α stálý; formulace měla v takovém případě znít *„... působením síly o konstantní velikosti ...“*. Příkladem takové situace by pak mohl být nerovnoměrný pohyb po kružnici.

Autoři se nemuseli dopustit této elementární chyby, kdyby si například sami pro sebe zapsali obecné vyjádření pro práci, kterou na trajektorii C hmotného bodu odpovídající časovému intervalu $[a, b]$ vykoná libovolná ze sil působících na těleso, resp. výslednice, $W = \int_C \boldsymbol{F}\,\mathrm{d}\boldsymbol{r} = \int_a^b \boldsymbol{F}\boldsymbol{v}\,\mathrm{d}t = \int_a^b Fv\cos\alpha\,\mathrm{d}t$.

Okamžitě by totiž viděli, že pro výsledek $W = Fs\cos\alpha$, kde $s = \int_a^b v\,\mathrm{d}t$ je dráha hmotného bodu uražená v intervalu $[a, b]$ je nutné a stačí, aby byl konstantní součin $F\cos\alpha$. Popsané chyby se vyskytují v obou posuzovaných vydáních, tj. [1, 2]. Správnosti definice je třeba dosáhnout tak, že se bude vztahovat k práci konkrétní síly po konkrétní trajektorii, tj. při pohybu hmotného bodu po určité trajektorii koná takříkajíc „svou vlastní“ práci každá ze sil, jimiž na tento bod působí okolí. V rámci matematických znalostí jsou studenti schopni určit pouze práci těch ze sil, které mají konstantní velikost a svírají s trajektorií stálý úhel, což představuje dosti specifickou situaci. Samotný vztah pro tuto práci pak bude takový, jak je uveden v zarámované poučce, formulace poučky však musí situaci odpovídat. Navíc je třeba pořádně vysvětlit, co znamená předpoklad *„síla svírá s trajektorií stálý úhel α“*: trajektorií se rozumí parametrické vyjádření polohy hmotného bodu, tedy vektorová funkce času $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$. Úhlem, který svírá síla s trajektorií, je třeba v každém okamžiku rozumět úhel mezi vektory $\boldsymbol{F}$ a $\boldsymbol{\tau}$, kde $\boldsymbol{\tau}$ je vektor jednotkové tečny, má tedy směr okamžité rychlosti (včetně orientace). Příkladem je třeba dynamická třecí síla, která stále svírá s rychlostí úhel 180^o. V takovém případě je práce skutečně rovna $W = Ts \cos 180^o = -Ts$.

Vydání [2] dále uvádí poučku, jak určit práci síly při obecně proměnné velikosti jejího průmětu do směru trajektorie jako plochu pod grafem znázorňujícím závislost velikosti tohoto průmětu na uražené dráze – obr. 4-2 a 4-3, str. 109:

„Mechanickou práci můžeme určit tak graficky, jestliže zobrazíme závislost velikosti síly na dráze v pravoúhlé soustavě souřadnic. Na vodorovnou osu vynášíme dráhu s, na svislou velikost síly F. Pokud síla není rovnoběžná s trajektorií, vynášíme na vodorovnou osu velikost té složky síly, která je rovnoběžná s trajektorií. ...Jestliže se velikost síly podél trajektorie mění, je grafem závislosti této síly na dráze buď polopřímka, která není rovnoběžná s vodorovnou osou, nebo křivka (obr 4-3). Práce je dána obsahem obrazce ohraničeného vodorovnou osou, příslušnou křivkou a úsečkami vyjadřujícími velikost síly na začátku a na konci trajektorie.“

Nechme stranou nedůslednost formulace, spočívající v tom, že se jednou hovoří o „velikosti složky síly“ podél trajektorie (při sestrojování grafu), vzápětí pak o velikosti síly (úsečky *„vyjadřující velikost síly na začátku a na konci trajektorie“).* Výklad je však chybný: především je z něj okamžitě zřejmé, že nepřipouští možnost záporné hodnoty práce (plocha pod grafem sestrojeným podle návodu je vždy kladná). To je chybné na první pohled: vykoná-li síla $\boldsymbol{F}$ („akce“) práci W, vykoná síla ($-\boldsymbol{F}$) („reakce“) práci ($-W$). Výpočet práce pomocí plochy pod grafem ukazují autoři na příkladu pružiny, kde už najednou nehovoří o dráze, ale o prodloužení pružiny. Elementární práce pružné síly, jíž pružina působí na hmotný bod upevněný na jejím konci, je ovšem záporná a celková práce, kterou vykoná pružná síla působící při posunutí jeho posunutí z polohy x_1 do polohy x_2 je $W_{12} = -\frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2)$, je-li počátek osy x v koncovém bodě nenapjaté pružiny. Roli hraje pouze počáteční a koncová poloha a nikoli dráha, kterou hmotný bod mezi těmito polohami urazil. Autoři tuto skutečnost nekomentují, celý problém „vyřeší“ tím, že uvažují nikoli o síle, jíž pružina působí na hmotný bod, ale o síle, jíž „působíme na pružinu, když ji natahujeme, nebo stlačujeme“, a že při výpočtu v tichosti předpokládají pouze situaci, kdy je výsledné prodloužení pružiny rovno dráze, kterou urazil její koncový bod. Ponechávají to však bez komentáře. Zřejmě nevědomky se tak „vyvléknou“ z potíží, do nichž by se například dostali, kdyby pružinu nejprve natáhli o délku x a poté opět povolili do původního nenapjatého stavu. Konec pružiny by tak urazil dráhu $2x$ a práce vykonaná ať již pružinou, nebo rukou, by podle jejich poučky, pracující s *„velikostí síly“,* resp. *„velikostí složky síly“,* a s dráhou byla $W = kx^2$, zatímco ve skutečnosti je nulová. Student sám si těžko chybu uvědomí. I tento nedostatek výkladu je zásadní. Přitom je věc velice jednoduchá: místo dráhy hovořit o posunutí a vyjít z definice elementární práce jako skalárního součinu síly a posunutí, $\Delta W = \boldsymbol{F}\Delta\boldsymbol{r}$. Ve vydání [1] je uvedená pasáž sice také chybná, je v něm však uvedeno vcelku elementární a dobře srozumitelné vysvětlení uvedené poučky, které by bylo velmi užitečné, kdyby interpretace byla správná (prodloužení pružiny je zde navíc označeno matoucím způsobem symbolem s, standardně vyhrazeným pro dráhu). Vydání [2] neuvádí vysvětlení ani v rozšiřujícím učivu a činí tak z grafické interpretace práce síly další bezobsažnou poučku, kterou by (nejen vzhledem k chybnému výkladu) bylo zřejmě lepší vynechat úplně.

Odstavec o kinetické energii je v zásadě v pořádku. Uvádí výpočet práce (jediné) konstantní síly působící na hmotný bod s počáteční nulovou rychlostí, konstatuje, že pohyb je přímočarý a dospívá k závěru, že tato práce je rovna změně veličiny $(1/2)mv^2$, kterou pak nazve kinetickou energií hmotného bodu. Není však jasné, proč je z tohoto jednoduchého výpočtu eliminován případ, kdy počáteční rychlost $\boldsymbol{v}_0$ je rovnoběžná s působící silou (pohyb by byl přímočarý i v takovém obecnějším případě, výpočet by byl rovněž jednoduchý a výsledek $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$). Umožňovalo by to a priori nevyloučit ze hry třecí síly (konstantní velikosti). Závěrečné zobecnění konstatuje, že kinetickou energií rozumíme veličinu, jejíž změna je určena celkovou prací všech sil, jimiž okolí působí na hmotný bod, tedy zjednodušeně – prací výslednice.

Vybudovat pojem potenciální energie, spojený s konáním práce konzervativních sil, je bez potřebného matematického aparátu velice obtížné, a tak snad autorům nelze zazlívat, že se jim to příliš nepovedlo. Hned v úvodu odpovídajícího odstavce hovoří o práci, kterou *„vykonáme, zvedneme-li těleso do určité výšky beze změny kinetické energie“* ([2], str. 115). Proč hned neuvedou, že tuto (kladnou) práci vykonala síla, jíž na těleso působil člověk, zatímco tíhová síla vykonala práci v absolutní hodnotě stejnou, ale zápornou. Student by si tak uvědomil kontext s předchozím odstavcem – změna kinetické energie je rovna celkové práci všech sil působících na objekt. Ani v následném výkladu, uvažujícím o volném pádu objektu, tj. o působení jediné (tíhové) síly, neuvádí autoři souvislost s kinetickou energií. Vypočtou práci tíhové síly jako rozdíl $W_G = mg(h_2 - h_1)$ bez souvislosti se změnou kinetické energie, vypočtené v předchozím odstavci pro rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb (zahrnující tedy i volný pád). Veličinu mgh nazvou *„ ... tíhovou energií* (bez slova „potenciální“) *hmotného bodu o hmotnosti m ve výšce h nad zvolenou nulovou hladinou tíhové energie“*. O souvislosti se hovoří až v následujícím odstavci. Jako fakt k uvěření se předkládá tvrzení ([2] str. 117]:

„Obecně platí, že změna tíhové energie nezávisí na tvaru trajektorie, po níž se těleso pohybuje, ani na dráze (obr. 4-7) či rychlosti pohybu.“

Další poučka bez vysvětlení obsahu – proč alespoň v rozšiřujícím učivu není vyřešen příklad s nakloněnou rovinou, či příklad ze str. 117, kde je úkolem určit práci, kterou vykoná člověk, který vynese láhve s vodou z přízemí do třetího patra. Řešení je komentováno takto ([2] str. 118):

„Místo toho, abychom počítali dílčí práce na jednotlivých úsecích lomené trajektorie (dokonce ani neznáme délku a sklon schodiště), stačí vypočítat výslednou práci po svislé trajektorii začínající v přízemí a končící ve třetím patře.“

Když už nemáme aparát k tomu, abychom tvrzení o nezávislosti tíhové potenciální energie na tvaru trajektorie dokázali obecně, nebylo by daleko poučnější nějaký model schodiště zvolit a porovnat oba výsledky? V dalším odstavci je již formulován zákon zachování mechanické energie, přičemž pojem potenciální energie byl obohacen ještě o energii pružnou. Námitky lze mít i proti znění zarámované poučky ([2], str. 121):

„Při všech mechanických dějích se může měnit kinetická energie v potenciální a naopak, celková mechanická energie izolované soustavy je však konstantní.“

Poučka působí zcela obecně a předpoklad: *„Pro izolovanou soustavu, ve které na sebe tělesa nepůsobí silami, jako jsou např. třecí nebo odporové síly, platí zákon zachování mechanické energie.“* této poučce předcházející může být snadno přehlédnut. I kdyby přehlédnut nebyl, co si má student vysvětlit pod souslovím *„jako jsou např.“?* Pojem konzervativních sil mohl být obecněji zmíněn alespoň v rozšiřujícím učivu a jako protipříklad mohly být uvedeny právě síly tření. Dále se nejeví úplně šťastným mluvit o přeměně kinetické energie v potenciální a naopak. Jde o dvě různé fyzikální veličiny – dokonce jednu z nich (kinetickou energii) lze definovat vždy a lze ji přisoudit každému z objektů tvořících studovanou soustavu, druhou (potenciální energii) lze definovat jen pro konzervativní síly v soustavě a přísluší soustavě jako celku. Podstatou zákona zachování mechanické energie je právě jen zachování součtu, tj. kinetická energie soustavy klesá, potenciální roste, či naopak. Matoucí je i skutečnost, že poučka o zákonu zachování mechanické energie je (správně) formulována pro izolovanou soustavu (bez vnitřních nekonzervativních sil), zatímco příklady, které byly řešeny v předchozích odstavcích, se týkaly volného pádu tělesa (hmotného bodu) v tíhovém poli Země. Takové těleso (hmotný bod) samo o sobě izolovanou soustavou není. Tou je soustava těleso + Země, mělo to být alespoň konstatováno a v rozšiřujícím učivu kvalitativně vysvětleno, proč se součet kinetické a tzv. potenciální tíhové energie v textu přisouzené hmotnému bodu volně padajícímu k Zemi zachovává. (Správně nakročeno k tomu je v textu [2] na str. 116 upozorněním, že *„…tíhová potenciální energie přísluší soustavě obou objektů – hmotnému bodu a Zemi.“*)

Absence pojmu konzervativních a nekonzervativních sil (a jejich vhodné příklady) znesnadňuje hlubší pochopení další poučky ([2], str. 123):

„Práce a energie mají stejné jednotky. Tyto veličiny spolu těsně souvisejí, nesmíme je však zaměňovat. Energie charakterizuje stav soustavy, říkáme, že je to stavová veličina. Práce charakterizuje děj, při němž nastává přeměna nebo přenos energie. Říkáme, že je to dějová veličina.“

Dosti vágní je slovní spojení *„práce charakterizuje děj, při němž ...“*. V textu se totiž neobjevuje žádný příklad ani komentář týkající se situace, kdy třeba hmotný bod přejde mezi dvěma stavy (každý z nich je dán polohou a rychlostí) dvěma různými ději, při nichž je práce určité síly působící na tento bod odlišná. Příklady práce veškerých sil, které se objevovaly ve výkladu o kinetické a potenciální energii, na ději (konkrétně tvaru trajektorie) nezávisela. Třecí síly, na nichž by se závislost práce na ději snadno vysvětlila, byly ze hry programově vyloučeny.

CD – animace a videoexperimenty

CD obsahuje jedinou animaci a jediný experiment ke kapitole 4.

- A4-1 Zákon zachování mechanické energie: trvání necelé 2 min., obsahuje kuličku pohybující se v misce, dva postupně se zabarvující obdélníčky (zabarvení reprezentuje změny kinetické a potenciální energie, třetí obdélníček, představující součet kinetické a potenciální energie, zůstává naplno zabarvený, pohybuje-li se kulička bez odporu prostředí, zabarvení klesá při pohybu v odporujícím prostředí). Pro úroveň gymnaziální fyziky je ukázka velmi mírně řečeno příliš triviální. Oproti textu učebnice nepřináší žádné nové poučení. Poučné by jistě bylo, kdyby byl student veden k tomu, aby si sám sestrojil grafy závislosti kinetické a potenciální energie na čase pro nějaký jednoduchý model, třeba pro vrh svislý vzhůru (bez odporu prostředí), a ty pak mohl porovnat s odpovídající animací.
- V6 Newtonovo kyvadlo: trvání cca 1 min., rázostroj s pěti ocelovými koulemi, postupně vychylována jedna, dvě a tři koule.

  Ukázka je jen kvalitativní, vztahuje se k rozšiřujícímu učivu o srážkách. Komentář se nevyjadřuje k tomu, že srážky jsou fakticky vícenásobné a nezdůvodňuje kvantitativně, proč vždy odskočí tolik koulí, kolik bylo na začátku vychýleno.

Ad 5. Gravitační pole

V prvním odstavci [1] i [2] je v podstatě stejný text, zabývající se Newtonovým gravitačním zákonem. Druhý odstavec nazvaný v [1] Intenzita gravitačního pole je ve vydání [2] (název Gravitační zrychlení) ke škodě věci ochuzen jednak o grafické znázornění závislosti velikosti zemského gravitačního zrychlení na vzdálenosti od povrchu Země, jednak o pojem intenzity – tento pojem není uveden ani v rozšiřujícím učivu. Celkově jsou odstavce napsány dobře. Poněkud horší je situace v odstavci 5.3 (v [1], str. 144, název Gravitační a tíhové zrychlení, v [2], str. 136, Tíhové zrychlení při povrchu Země), který má sloužit k vysvětlení, proč je velikost zrychlení volného pádu na rovníku měřitelně menší než na pólech. Texty upozorňují, že tento fakt souvisí neinerciálností laboratorní vztažné soustavy, spojené s povrchem Země. Zatímco v [1] byl odstavec o neinerciálních soustavách součástí tištěného textu, v [2] je uveden na CD jako rozšiřující učivo a v textu o tíhovém zrychlení se objevuje následující komentář ([2], str. 136):

„ ... na všechna tělesa, která neleží na ose otáčení, působí kromě gravitační síly $\boldsymbol{F}_g$, směřující do středu Země, ještě setrvačná odstředivá síla $\boldsymbol{F}_s$, směřující kolmo od osy otáčení (obr. 5-5). Výslednice těchto sil je tíhová síla $\boldsymbol{F}_G$.“*

**) „O setrvačné odstředivé síle je pojednáno v R10, Otáčející se vztažné soustavy.“*

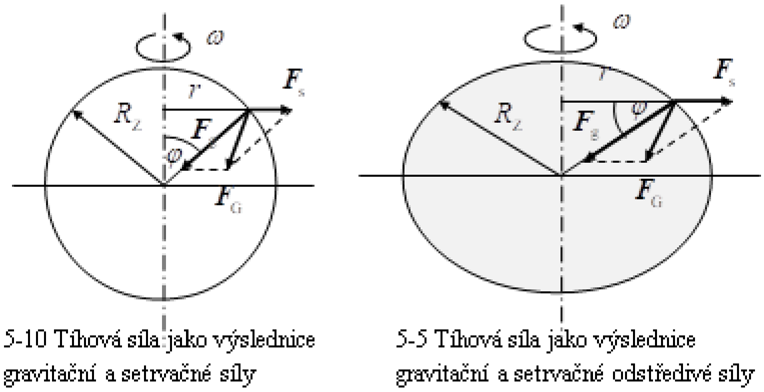
Poznámka pod čarou, označená hvězdičkou, odkazuje na rozšiřující učivo, což ovšem nesleduje koncepci „hlavního“ a „rozšiřujícího“ textu. Hlavní text by měl být soběstačný, bez nutnosti hledat na CD v rozšiřujícím učivu.

Věcným problémem je skutečnost, že rozdíly velikosti tíhového zrychlení jsou v [1] i [2] přičítány výhradně setrvačné odstředivé síle ([2], str. 136):

„Tíhová síla $\boldsymbol{F}_G$ nemá ve všech místech zemského povrchu stejnou velikost. To je dáno nestejnou velikostí jedné její složky, setrvačné odstředivé síly $\boldsymbol{F}_s$. ... Se změnami velikosti tíhové síly se mění i velikost tíhového zrychlení g. ...Při hladině moře je na rovníku přibližně 9.78 m.s^{-2}, na pólech přibližně 9.83 m.s^{-2}... “

Jednoduchým výpočtem by i sami studenti mohli ukázat (škoda, že takový úkol není zařazen mezi úlohy), že musí existovat ještě jiný vliv na velikost tíhového zrychlení. Unášivé odstředivé zrychlení na rovníku je totiž $g_s = \omega^2 R_Z = \frac{4\pi^2}{T^2} R_z = \frac{4\pi^2 \cdot 6{,}378 \cdot 10^6}{(24 \cdot 3600)^2} \approx 3{,}4 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m/s^2}$, zatímco uváděný rozdíl činí $5 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m\,s^{-2}}$. Na rozdílu se jistě podílí jiné vlivy.

V obou vydáních jsou dále uváděny obrázky znázorňující odchýlení tíhové a gravitační síly v místě s obecnou zeměpisnou šířkou φ. I když je zřejmé, že zakreslit situaci realisticky není možné (odchylka tíhové a gravitační síly je velmi malá – viz níže), jsou obrázky vzhledem k absenci kvantitativních odhadů či experimentálně získaných údajů velice zavádějící. (Následující obrázky jsou překresleny z [1], str. 146 (vlevo) a [2], str. 136 (vpravo) – v něm už samo označení R_Z v útvaru, který není kružnicí, bez dalšího komentáře, může studenta mást.)



Obr. 9. K výkladu tíhové síly (překresleny obr. 5-10 z [1] a obr. 5-5 z [2]).

Pro získání správné představy by měl být uveden kvantitativní odhad odchylky tíhové síly od radiálního směru alespoň pro homogenní kouli a $\varphi = 45^\circ$ ([1], str. 146, obr. 5-10). Pro tento případ činí odchylka zhruba desetinu stupně, úkol ji zjistit mohl být rovněž zařazen mezi úlohy. V novém vydání obohatili autoři text o informaci, že Země není (homogenní) koule, ale nějaký jiný útvar, který nakreslili zhruba jako elipsoid a směr gravitační síly zakreslili do jeho středu. Gravitační síla v bodech na povrchu útvaru nebude směřovat do středu, s výjimkou bodů na rovníku a na pólech. Obrázek 5-5 je proto zavádějící. Stejně jako měla být uvedena odchylka tíhové síly od radiálního směru v případě homogenní koule, měl být kvantitativně odhadnut i vliv zploštění Země na gravitační sílu – třeba pomocí údajů v obecně dostupných tabulkách. Případný argument, že odchylka gravitační síly od radiálního směru je zanedbatelná, neobstojí, dokud nejsou takové kvantitativní odhady či výsledky měření uvedeny. Namísto matoucích obrázků a zbytečně zdlouhavého výkladu bez kvantitativních údajů, jemuž je zbytečně věnován celý odstavec, by stačilo, a bylo to i vhodnější, uvést jen rozdíly velikosti tíhového zrychlení na pólech a na rovníku a stručně je komentovat jako způsobené vlivem rotace Země a vlivem zploštění a nehomogenity Země.

Následuje odstavec, kde jsou rozebírány pojmy „tíhová síla“ a „tíha“, z nichž druhý je zbytečný, a jak samotný autorský výklad názorně dokumentuje, i zavádějící. (Dva odstavce, věnované tíhové síle a tíze, mají rozsah 5 stran.) Ve vydání [2] povýšil problém jejich srovnání na „řádné“ učivo, zatímco ve vydání [1] byl z rozumných důvodů popsán jen petitem. Pojem tíhové síly je snad potřebný pro vysvětlení odlišnosti zrychlení volného pádu v různých zeměpisných šířkách, ale, jak již bylo konstatováno, tak podrobný výklad rozhodně nevyžaduje. Tíhu, již autoři definují jako veličinu charakterizující působení tělesa umístěného v tíhovém poli na okolní objekty tlakovými či tahovými silami, lze oželet, navíc je způsob jejího zavedení v učebnicích [1] i [2] jak fyzikálně tak didakticky pochybný a zmatečný. Podle úvodní věty příslušného odstavce v [2] (odst. 5.4, str. 138) je (bez specifikace konkrétních podmínek) tíha těles síla, *„kterou tělesa tlačí na podložku nebo táhnou za závěs"*. Student se může ptát, jaká je potom tíha tělesa, které neleží ani nevisí. Následuje zarámovaná poučka

„Tíhová síla a tíha jsou fyzikálně různé veličiny stejné velikosti, které však mají svůj původ v tíhovém poli Země."

Pokud si čtenář nevšiml, že poučce předchází věta, v níž se konstatuje, že se jedná o těleso na zemském povrchu v klidu, bude zmaten. Vzápětí se totiž dozví, že:

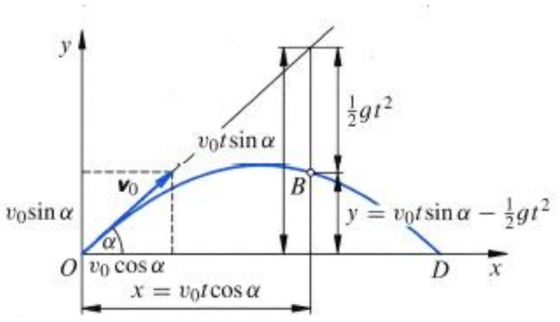
„Těleso je ve stavu tíže, projevuje-li se účinek tíhy na jiná tělesa (v podobě tlakové nebo tahové síly). Vymizí-li tento účinek, mluvíme o beztížném stavu. … tíha volně padajícího tělesa je tedy nulová."

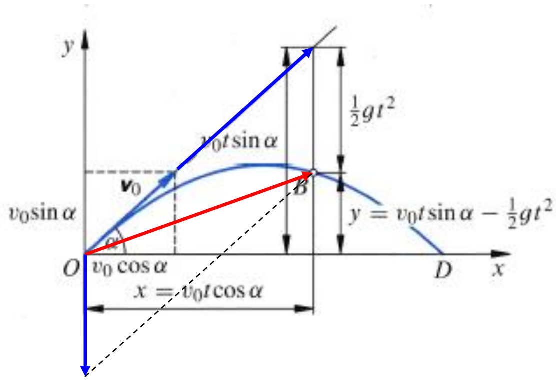
Zavádí učebnice tíhu jen proto, aby pomocí ní popsala uvedené dva mezní případy? Co znamená vyhýbavá formulace *„…projevuje-li se účinek tíhy na jiná tělesa..."?* Může to znamenat, že je tíha sice nenulová, ale neprojevuje se? Začne-li student přemýšlet, zda síla, jíž tlačí na podložku nebo táhne za závěs těleso, které se vůči povrchu Země pohybuje se zrychlením (například člověk stojící ve zrychleném výtahu, člověk sedící v rozjíždějícím se autě, kmitající kyvadlo), je či není tíha, popřípadě jaká je tíha tělesa, které nepadá volným pádem, ale koná třeba vrh šikmý, či jaká je tíha letícího ptáka (je to síla, jíž pták působí na vzduch, bez jehož přítomnosti by nemohl letět?) bude to ten lepší případ. Odpověď na žádnou z takových konkrétních otázek však text nedává. Student se nepochybně v praxi setká s pojmem „stav beztíže". K tomu, aby jej pochopil, však nepotřebuje pojem tíhy vyložený takovým způsobem, jaký přináší učebnice – fyzikálně je to jednoduché: „stav beztíže" je situace, kdy na těleso v poli Země, Slunce, jiné planety, apod., nepůsobí jiné síly než gravitační (resp. tíhová); při pohybech probíhajících v blízkosti povrchu Země taková situace např. vlivem odporu vzduchu nenastává (s výjimkou jednotlivých okamžiků, kdy má těleso nulovou rychlost – např. bod obratu při svislém vrhu vzhůru), lze se jí však samozřejmě přiblížit (tzv. vrhy, atrakce „parabolický let", apod.). Z didaktického hlediska již nemusí být výklad stavu beztíže tak snadný a neobejde se bez vhodných příkladů. Autoři se také jistě mohli rozumně vyrovnat s tím, že v běžném životě je stále užívaný pojem „váha" a opět uvést konkrétní příklady.

Sedmistránkový odstavec o pohybech v homogenním tíhovém poli Země, takzvaných vrzích, patří svou fyzikální podstatou i způsobem výkladu spíše do kinematiky jako pohyb s konstantním zrychlením (kapitola 2, kde je vše pro výklad vrhů připraveno), nikoli pod název Gravitační pole. Věnuje se totiž pouze kinematickým veličinám. Text vydání [1] a [2] se prakticky neliší a obsahuje tytéž nešvary. Typickým z nich je formulace týkající se pohybů s nenulovou počáteční rychlostí, uváděná po výkladu volného pádu, je stejná v [1] a [2] ([2], str. 140):

„Složitější pohyby nastanou, udělíme-li tělesu v homogenním tíhovém poli určitou nenulovou počáteční rychlost $\mathbf{v}_0$*. V tom případě koná těleso současně dva pohyby: 1. Rovnoměrný přímočarý pohyb ve směru rychlosti* $\mathbf{v}_0$*, 2. Volný pád ve směru zrychlení* $\boldsymbol{g}$*. Složením obou pohybů dostaneme výsledný pohyb, který nazýváme vrh tělesa."*

Především – těleso koná jeden pohyb, ten, který je mu přisouzen pohybovou rovnicí (druhý Newtonův zákon) a počátečními podmínkami. Všechny vrhy mají společnou dynamiku (homogenní silové pole uděluje hmotnému bodu konstantní zrychlení), liší se pouze počátečními podmínkami (podstatná je především odlišnost počáteční rychlosti – nulová versus nenulová, směr v případě nenulové). Výklad pomocí dvou pohybů probíhajících současně tuto důležitou věc zcela smazává. Kromě toho se zde projevuje nedostatek, komentovaný již v souvislosti s výkladem kinematiky – učebnice zásadně nepracuje se složkami vektorů v ortonormální bázi, jak je zvykem. Při práci ve složkách by odvození vztahů pro rychlost a polohu bylo podstatně průhlednější, komplikované obrázky, které učebnice uvádí, by byly zbytečné a k výkladu by rozhodně nebylo potřeba sedmi stran.





[1], str. 156, 5-21 K určování polohy tělesa při šikmém vrhu vzhůru
[2], str. 144, 5-15 Určení polohy tělesa při šikmém vrhu vzhůru
(vpravo doplněk ke komentáři)

Obr. 10. K výkladu šikmého vrhu (reprodukovány obr. 5-21 z [1] a obr. 5-15 z [2]).

Autorský popis toho, jak *„koná těleso současně dva pohyby“* fakticky znamená rozklad polohového vektoru v každém okamžiku do dvou obecných směrů (směr určený tíhovým zrychlením a směr určený počáteční rychlostí), které jsou sice významné např. pro volbu soustavy souřadnic – lze je využít pro volbu některé ze souřadnicových rovin, ale nejsou navzájem kolmé. Zřejmě si to autoři ani neuvědomili. Proč namísto toho, aby použili standardního rozkladu vektorů do ortonormální báze a pracovali jednoduše se složkami, komplikují jednoduchou vektorovou algebru výkladem o dvou pohybech jednoho bodu? Studentovi tím k pochopení problematiky řešení pohybu, byť v tak jednoduché situaci, jako je pohyb s konstantním zrychlením, rozhodně nepřispějí.

Přitom jednoduchý způsob jak popsat všechny vrhy je připraven v kapitole 2, v níž je (snad až do zbytečných detailů) rozebrán přímočarý pohyb jak rovnoměrný, tak rovnoměrně zrychlený. Stačilo by, aby studenti uměli pracovat se složkami vektorů v ortonormální bázi – k tomu je sice nakročeno, ale „nedotaženo“ k potřebné aplikaci, v první kapitole. Postup výkladu by mohl sledovat třeba následující schéma, odvíjející se od „ideální“ situace, kdy by student uměl pracovat se složkami vektorů v ortonormálních bázích. Např. pro vrh šikmý:

- jedná se o pohyb s konstantním zrychlením $\boldsymbol{g}$,
- fyzikálně významné směry ...vektor tíhového zrychlení a počáteční rychlost jsou obecně nerovnoběžné, počáteční rychlost svírá s vodorovným směrem úhel α,
- volba soustavy souřadnic: rovina xy je zvolena tak, že splývá s rovinou určenou vektory tíhového zrychlení a počáteční rychlosti (v případě, že jsou nekolineární), osa x je zvolena jako vodorovná, osa y svislá proti směru $\boldsymbol{g}$, osa z kolmá k rovině xy a orientovaná tak, aby soustava souřadnic byla pravotočivá (standardní způsob), počátek soustavy souřadnic zvolen např. tak, aby platilo $\boldsymbol{r}(0)$ ... $(0, 0, 0)$; jsou-li tíhové zrychlení a počáteční rychlost kolineární je vodorovný směr určující osu x libovolný,
- poloha bodu v rovině: polohový vektor $\boldsymbol{r}(t)$ ... složky $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$,

- rychlost: vektor rychlosti $\boldsymbol{v}(t)$ ... složky $v_x(t), v_y(t), v_z(t)$,
- zrychlení: vektor zrychlení $\boldsymbol{a}(t)$ ... složky $a_x(t) = 0$, $a_y(t) = -g$, $a_z(t) = 0$,

Další postup je připraven v kapitole 2:

- pohyb průmětu hmotného bodu do osy x ... rovnoměrný přímočarý s počáteční rychlostí $v_x(0) = v\cos\alpha$, tj. $x(t) = vt\cos\alpha$,
- pohyb průmětu hmotného bodu do osy y ... přímočarý rovnoměrně zrychlený, zrychlení $-g$, tj. $y(t) = vt\sin\alpha - \frac{1}{2}gt^2$,
- průmět hmotného bodu do směru osy z je v klidu – výsledný pohyb je tedy rovinný.

Trajektorii ostatních vrhů dostaneme speciální volbou úhlu α, volný pád pak odpovídá nulové počáteční rychlosti. Výklad je ovšem možné zjednodušit zdůvodněním, proč se pohyb hmotného bodu odehraje v (svislé) rovině určené tíhovým zrychlením a počáteční rychlostí, a pracovat pak jen se dvěma kartézskými složkami vektorů.

Zkušenost: Studenti si neuvědomí, že v obecných situacích nemohou použít úvahy, o které se autoři v učebnici opírají při výkladu pohybů v homogenním tíhovém poli Země založeném na představě, že *„těleso koná dva pohyby"*. Tzv. vrhy jsou specifické tím, že vektorová pohybová rovnice vede ke třem (při zjednodušeném výkladu popřípadě ke dvěma) rovnicím skalárním, z nichž každá se týká pouze jedné ze složek zrychlení, rychlosti a polohového vektoru. Studenti pak mají tendenci hledat takový „princip nezávislosti pohybů" i tam, kde takové „oddělení" není možné. Typickým příkladem je pohyb nabité částice v magnetickém poli.

Jistým problémem jsou obrázky znázorňující křivky, po nichž se hmotný bod při vrzích pohybuje. Není na závadu, že některé z nich jsou schematické (bez uvádění stupnic a jednotek na osách). Neuvedení kvantitativních údajů je však chybou tam, kde se porovnává reálná situace s idealizovanou: např. obr. 5-17 ([2], str. 145) je nazván Trajektorie šikmého vrhu ve vakuu a ve vzduchu. Znázorňuje značný rozdíl mezi balistickou křivkou a parabolou. Bez uvedení stupnic a jednotek na osách nemá student představu, zda takové rozdílnosti bude dosaženo při házení míčem, nebo spíše při střelbě z děla, nebo vůbec. Obrázek navíc budí pochybnost, zda křivka byla opravdu pro nějaký model realisticky vypočtena, nebo jen schematicky nakreslena.

V dalším odstavci, týkajícím se pohybu těles v centrálním gravitačním poli Země, je odvozována tzv. kruhová rychlost družic v centrálním gravitačním poli Země a první kosmická rychlost jako její speciální případ při oběhu těsně nad povrchem Země. Odvození je standardní a je vyloženo dobře. Jako fakt je uvedena parabolická (druhá kosmická) rychlost – odvození není možné, neboť není k dispozici pojem potenciální energie soustavy Země-těleso. Přitom by bylo dobře možné provést v rámci kapitoly 4 elementární výpočet práce centrální gravitační síly při přemístění hmotného bodu mezi dvěma body, třeba na CD v rámci skutečného rozšíření učiva. Oproti [1] je text [2] obohacen o údaje o geostacionárních a geosynchronních družicích, což může být pro studenty zajímavým oživením výkladu. Text odstavce o pohybech těles v gravitačním poli Slunce se v [2] neliší od [1], až na vhodně přidanou tabulku vzdáleností planet od Slunce. Stručné poznatky o sluneční soustavě jsou z [2] oproti [1] vypuštěny. Dále jsou uvedeny Keplerovy zákony. Ke škodě věci se autoři připravili o příležitost uvést Keplerovy zákony do souvislosti s Newtonovým gravitačním zákonem, když neupozornili na fakt, že v předchozím odstavci ([2], str. 148) je poslední vztah na uvedené straně právě vyjádřením třetího Keplerova zákona pro pohyb družice kolem Země po kružnici. Stejně tak nezmiňují souvislost druhého Keplerova zákona se zákonem zachování momentu hybnosti (příležitost definovat moment hybnosti hmotného bodu a tělesa je promarněna především vinou absence vektorového součinu; nepříjemným důsledkem je pak také omezení obsahu kapitoly Mechanika tuhého tělesa v podstatě jen na statiku). Pokud jde o třetí Keplerův zákon, uvádějí jej autoři pouze tak, že poměr třetí mocniny velké poloosy elipsy, po níž se děje pohyb planety, a druhé mocniny periody je pro všechny planety stejný, proč však neuvádějí, čemu je tato konstanta rovna, když ze zmiňovaného posledního vztahu na str. 148 v [2] je to přímo vidět? Celkově: Keplerovy zákony v textu působí dojmem dalších samostatných pouček, nezávislých na základních zákonech mechaniky. Není jasné, jak má student chápat implikaci, jíž nepředchází ani nenásleduje podrobnější výklad:

„Země prochází periheliem v lednu, aféliem v červenci. Proto je na severní polokouli zimní půlrok kratší (179 dní) než půlrok letní (186 dní).“

CD – animace a videoexperimenty

CD obsahuje 3 animace a jeden videoexperiment ke kapitole 5, animace cca 100s včetně cca 20% prodlev:

- A5-1 Vrh svislý vzhůru: vykreslí graf výšky tělesa (fotbalový míč) nad povrchem Země, graf velikosti rychlosti a velikosti zrychlení na čase, bez odporu prostředí a s odporem prostředí.

  Data jsou zřejmě stejná jako u animace A2-6 (volný pád), situace pro velký odpor animována není; u grafů chybí jednotky (viz komentář k animaci A2-6). Animace není dobře technicky provedena: při rekapitulaci se „spojitě“ vykreslí první část grafu – při výstupu míče, který je také znázorněn v levé části obrazu. Po krátké pauze se najednou objeví druhá část grafu, míč přitom „visí“ na místě v nejvyšší poloze, a to ještě chvíli poté, co jsou již zakresleny celé grafy. Míč začne padat a současně se po druhé části grafů pohybuje malý černý bod, kterého si na první pohled téměř nelze všimnout. Zásadním problémem však jsou chybějící jednotky na osách grafů.

- A5-2 Vodorovný vrh: při běžícím čase je zobrazen vodorovně vržený míč a jeho průměty do vodorovného a svislého směru, bez odporu prostředí a v odporujícím prostředí.

  Jediný údaj, který je zobrazen, je čas, hodnoty počáteční rychlosti ani výšky nad povrchem, z níž je míč vržen, nejsou zadány. Čtvercová síť v rovině není opatřena jednotkami – vzhledem k tomu, že kromě času vrhu není nic zadáno, mohli by studenti počítat u vrhu v neodporujícím prostředí pouze počáteční výšku nad povrchem Země a určit tak jednotky na svislé ose. Pokud by bylo uvedeno (jakože není), že jednotky na vodorovné a svislé ose jsou shodné, mohl by student dostat za úkol určit počáteční rychlost. Tvůrce animace však zřejmě takové „cvičení“, které by bylo velmi užitečné, na mysli neměl. Pro případ odporu prostředí nejsou rovněž zadány žádné údaje kromě času. Nedomyšlenosti animace je škoda – autor zbytečně promarnil velmi pěkný úkol pro studenta.

- A5-3 Vrh šikmý vzhůru: při běžícím čase je zobrazen šikmo vržený míč a jeho průměty do vodorovného a svislého směru, bez odporu prostředí a v odporujícím prostředí, na závěr znázorněny křivky, po nichž se míč pohyboval v neodporujícím a odporujícím prostředí.

  Stejné výhrady jako vůči A5-2. Dolet míče v případě odporujícího prostředí je podle závěrečného obrázku křivek asi poloviční oproti případu zanedbání odporu prostředí, při stejných výchozích podmínkách (směr a velikost počáteční rychlosti, počáteční poloha). Podle odhadů učiněných z animace má za předpokladu shodných jednotek na osách počáteční rychlost míče velikost asi 12 m/s, ($v_{0x} \approx 6{,}7\,\mathrm{m.s^{-1}}$, $v_{0y} \approx 10{,}2\,\mathrm{m.s^{-1}}$). Studenty by jistě zajímalo, zda hodnoty v grafech (rychlost výkopu, dolet míče, výška výstupu) odpovídají obvyklým hodnotám při fotbalu. Odpovídá poloviční dolet v odporujícím prostředí ve srovnání s doletem v (nerealistickém) případě pohybu bez odporu prostředí pohybu ve vzduchu? Ale jednoduše: osy grafů mají být řádně označeny a parametry, jimž grafy odpovídají, uvedeny. Jinak jde o nepříliš poučný obrázek.

- V1 Beztížný stav: cca 1 min., ukázka zátěže na siloměru, po upuštění není pružina siloměru napjatá, upuštění děravé láhve s vodou – při volném pádu voda nevytéká.

  Kvalitativní experiment, komentář situaci pouze popisuje, hlubší vysvětlení chybí.

Ad 6. Mechanika tuhého tělesa

Kapitola má v [1] 35 stran, v [2] 32 stran, v obou případech včetně dvoustránkového shrnutí. Dvě strany na jejím začátku jsou věnovány popisu rozdílu mezi translačním a rotačním pohybem tuhého tělesa, s důležitou charakteristikou společné rychlosti (translace), resp. úhlové rychlosti (rotace). Poslední dvě strany se zabývají kinetickou energií rotujícího tuhého tělesa a momentem setrvačnosti tělesa vzhledem k ose. Zbytek se zabývá statikou tuhého tělesa: definice momentu síly ve speciálních případech – moment síly kolmé k pevné ose vzhledem k této ose, těžiště, statická rovnováha tuhého tělesa, skládání a rozkládání sil. Rotační, a tedy ani valivý pohyb tuhého tělesa nejsou řešeny vůbec. Přitom s rotačními a zejména valivými pohyby se student setkává v praxi neustále. S ohledem na tuto skutečnost je název kapitoly nekorektní – slibuje více, než ve skutečnosti přináší. Text kapitoly je v [1] a [2] prakticky shodný až na nepodstatné detaily nesouvisející s fyzikou (např. uvedení příkladů otáčivého pohybu v [2] navíc oproti [1]: CD, DVD, čelist při jídle, noha při chůzi, oko při změně směru pohledu, ... , vypuštění názorných obrázků se siloměry, tj. fakticky vypuštění vhodného pokusu, přesunutí části textu do jiného místa a mírná modifikace, atd.). Z fyzikálního i didaktického hlediska obsahuje kapitola poměrně zásadní nedostatky. Za většinou z nich, stejně jako za absencí úvah o rotačním pohybu tuhého tělesa, stojí fakt, že není k dispozici operace vektorového součinu, jehož zavedení i procvičení v rámci matematické průpravy by mohlo být velice jednoduché: pro $\vec{a}, \vec{b} \neq \vec{0}$ $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$, $|\vec{c}| = |\vec{a}||\vec{b}|\sin\angle(\vec{a},\vec{b})$, pro $\vec{a}, \vec{b}$ nezávislé: $\vec{c} \perp \vec{a}$, $\vec{c} \perp \vec{b}$, $(\vec{a}, \vec{b}, \vec{c})$ ... pravotočivá soustava , pro $\vec{a}, \vec{b}$ závislé (tj. včetně možnosti $\vec{a} = \vec{0}$ nebo $\vec{b} = \vec{0}$) je $\vec{c} = \vec{0}$, s případným obrázkem, a třeba i výpočtem složek v ortonormální bázi.

Odstavec Moment síly vzhledem k ose otáčení definuje, jak již říká název, namísto zavedení momentu $\boldsymbol{M}$ síly $\boldsymbol{F}$ vzhledem k danému vztažnému bodu *O* vztahem $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$, kde $\boldsymbol{r}$ je průvodič působiště síly $\boldsymbol{F}$ vzhledem k bodu *O*, pouze pro speciální případ, kdy těleso může rotovat kolem pevné osy a síla je kolmá k této ose. Otáčivý pohyb se, jak již bylo řečeno, neřeší, pouze kvalitativně se konstatuje ([2], str. 161):

„Uvažujme těleso, které je v inerciální soustavě otáčivé kolem nehybné osy. Ze zkušenosti víte, že chceme-li takové těleso roztočit, musíme na ně působit silou. Budeme uvažovat jen případy, kdy je působící síla kolmá k ose otáčení.“

(Ponechme stranou vytrvale opakované *„ze zkušenosti víte“*.) Zavádění momentu síly $\boldsymbol{F}$ vzhledem k pevné ose *o* se autoři věnují zhruba na dvou stranách, chybějící matematiku obcházejí zbytečně složitými a ve snaze o „preciznost“ verbálně přetíženými formulacemi, výsledek není uspokojivý ([2], str. 161-162):

„... kromě vektorové veličiny síla je nutné u otáčivého pohybu zavést další vektorovou veličinu vyjadřující otáčivý účinek síly. Veličina se nazývá moment síly vzhledem k ose otáčení. Moment síly ***M*** *je vektorová fyzikální veličina. Velikost momentu síly je rovna součinu velikosti působící síly* ***F*** *a kolmé vzdálenosti d vektorové přímky od osy otáčení (obr. 6-4): M = Fd. Vzdálenost d se nazývá rameno síly. ... Vektor momentu síly* ***M*** *leží v ose otáčení a je současně kolmý k síle i k ramenu síly. Směr momentu síly určíme podle pravidla pravé ruky: položíme-li pravou ruku na těleso tak, aby prsty ukazovaly směr otáčení tělesa, pak vztyčený palec ukáže směr momentu síly (obr. 6-6).*

Tuto „definici“ vztahují autoři k výše uvedenému speciálnímu případu (síla je kolmá k ose otáčení). Student však zná z praxe i případy, kdy se těleso točí obecněji než kolem pevné osy a působí na ně i jiné síly než kolmo k (okamžité) ose. V lepším případě si student položí otázku, zda se definice momentu síly uvedená v učebnici na tyto obecnější situace vztahuje či nikoliv. Bude se také divit, jak může být moment síly *„kolmý k rameni síly“*, když podle definice je toto rameno skalár. Fakticky je autory zavedený *„moment síly* ***F*** *vzhledem k ose“* průmětem momentu síly vzhledem k vztažnému bodu *O*, libovolně zvolenému na ose. V tomto smyslu je také definice momentu síly neúplná (průmět momentu síly vzhledem k bodu *O* do roviny kolmé k ose je obecně rovněž nenulový).

Pozitivním rysem některých odstavců učebnice je skutečnost, že se snaží ukázat praktické aplikace mechanických pojmů a zákonitostí, které by mohly gymnazisty zaujmout. Je tomu tak i v případě odstavce 6.2 v [2], věnovaného problematice momentu síly (několik ukázek na str. 162 a 163). Na str. 163 je ukázka týkající se tzv. točivého momentu, který je vedle výkonu a obsahu válců důležitou charakteristikou motoru automobilu. Jsou uváděny i realistické číselné údaje. Možná by text ani nemusel být tištěn petitem, ale pro svou zajímavost standardním písmem. Neuškodil by ani podobnější výklad, např. při vysvětlení formulace: *„Maximální točivý moment znamená, v jakých otáčkách je motor nejefektivnější.“,* popřípadě formulace: *„Při nastavení otáček odpovídajících maximálnímu točivému momentu dosáhne automobil při dané rychlosti největšího zrychlení (řidič je nejvíce tlačen do sedadla).“* (Konkrétní vztah uvedených veličin jistě závisí na zařazeném rychlostním stupni). Naopak poznámka o „vtlačování řidiče do sedadla“ nezapadá do kontextu výkladu a jeví se poměrně zbytečná.

Absence vektorového součinu má negativní vliv i na odstavec o skládání sil. Ten je napsán velmi nešťastně. Uvádí postupy, jak skládat různoběžné a rovnoběžné síly, avšak úvodní věty odstavce vzbudí ve studentech jistotu, že skládat lze libovolné síly ([2], str. 165):

„Na většinu tuhých těles působí více než jedna síla. ... Všechny tyto síly je výhodné poskládat – nahradit jedinou silou.“

resp. o něco mírnější formulace v [1], str. 180:

„Skládat síly působící na tuhé těleso znamená nahradit tyto síly jedinou silou, která má na těleso stejné účinky jako skládané síly“.

Že to nejde vždy, texty zamlčují. Univerzitní studenti se pak v přednášce z mechaniky upřímně diví. Přitom jde jen o řešení velmi jednoduché soustavy tří lineárních rovnic o třech neznámých, které středoškoláci znají z matematiky: na základě znalosti složek (nenulové) výslednice sil $\boldsymbol{F} = (F_x, F_y, F_z)$ působících na těleso a složek $\boldsymbol{M} = (M_x, M_y, M_z)$ jejich výsledného momentu je třeba ověřit, zda existuje poloha $\boldsymbol{r} = (x, y, z)$ působiště výslednice tak, aby platilo $\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F} = \boldsymbol{M}$. Snadno se zjistí (a snadno na to přijdou i sami studenti), že odpovídající soustava tří lineárních rovnic

$$yF_z - zF_y = M_x,\ zF_x - xF_z = M_y,\ xF_y - yF_x = M_z$$

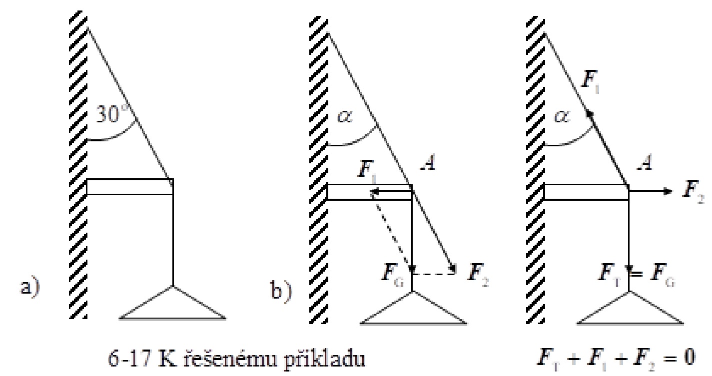
o neznámých x, y, z nemusí mít řešení. Je-li výsledná síla nenulová, má soustava řešení právě tehdy, je-li $\boldsymbol{FM} = 0$, tj. $\boldsymbol{M} \perp \boldsymbol{F}$, nebo $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{0}$, jak také rovnou plyne z vlastností vektorového součinu: vynásobením požadované rovnosti $\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F} = \boldsymbol{M}$ skalárně vektorem $\boldsymbol{F}$ dostaneme $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}) = \boldsymbol{FM}$ a podmínka $\boldsymbol{MF} = 0$ plyne ze skutečnosti, že levá strana této rovnosti je identicky nulová[13]. Prakticky ovšem může nastat případ, kdy výslednice je nulová a výsledný moment nenulový (např. roztáčení kladky dvěma opačnými silami působícími na jejím obvodu). Otázka nalezení působiště (nulové) výslednice ovšem nemá smysl.

Zkušenost: Odpověď studentů na otázku, zda je možné jakoukoli soustavu sil působících na těleso nahradit výslednicí umístěnou tak, aby její translační i rotační účinky byly stejné, jaké má daná soustava sil, je vždy kladná. Jednoduchý příklad, např. soustava dvou mimoběžných sil, však dokáže rychle tento zakořeněný mýtus vyvrátit.

Pokud jde o pojem dvojice sil (v učebnicích další dvoustránkový odstavec), je v zásadě zbytečný, rozumíme-li pojmu moment sil. I když je zavedeným zvykem jej uvádět, mohl být zmíněn velmi stručně v odstavci o momentu sil.

Odstavec Rozkládání sil ([2], str. 171-174), který kromě zadání tří úloh sestává pouze ze dvou řešených příkladů, je typickou ukázkou (fyzikálně pochybeného) „návodu“ na řešení bez pochopení:

„Lampa o hmotnosti 2,0 kg je zavěšena na svislé stěně pomocí vodorovného trámu a šikmého drátu, který svírá se stěnou úhel 30° (obr. 6-*17a). Určete velikosti a směry sil, kterými lampa působí na trám a na drát.*
Řešení:



Obr. 11. Řešený příklad s lampou (vlevo překresleny obr. 6-17 a, b z [2], vpravo správně).

Tíhovou sílu rozložíme na dvě různoběžné složky do směrů daných trámem a drátem. Síla $\mathbf{F}_1$ *působí jako tlaková síla na trám, síla* $\mathbf{F}_2$ *působí jako tahová síla na drát....“*

Formální výpočet je pak samozřejmě správně, ale úvaha o silách, jak je vedena v textu, je zásadně fyzikálně chybná – stejně jako v jiných situacích popisovaných v učebnici míchá bez ladu a skladu dohromady síly působící na sledovaný objekt se silami, jimiž objekt působí na okolí: v příkladu, o

[13] Argumentačně možná jednodušší, i když pro střední školu nepříliš vhodný, je algebraický přístup (teorie soustav lineárních rovnic). Podmínka $\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F} = \boldsymbol{M}$ představuje soustavu tří rovnic o neznámých *x*, *y*, z, určujících polohu výslednice $\boldsymbol{F}$. Hodnost matice soustavy *h* je nejvýše dvě (nulový determinant), rovna jedné být nemůže, rovna nule je pro $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{0}$. V takovém případě by i výsledný moment sil musel být nulový, aby soustava měla řešení. Řešením, které by však nemělo fyzikální smysl, by pak byly všechny vektory $\boldsymbol{r}$. V případě $h = 2$ má soustava řešení právě tehdy, je-li i hodnost rozšířené matice rovna dvěma. Z tohoto požadavku vyjde nutná a postačující podmínka $M_x F_x + M_y F_y + M_y F_y = 0$, tj. $\boldsymbol{MF} = 0$. Řešení soustavy je nekonečně mnoho (koncové body odpovídajících vektorů $\boldsymbol{r}$ tvoří přímku). Hledané působiště výslednice $\boldsymbol{F}$ lze umístit do kteréhokoli jejího bodu.

němž je řeč, se tíhová síla působící na lampu „rozkládá“ na údajnou tlakovou sílu, jíž působí lampa na trám a tahovou sílu, jíž ona lampa působí na drát. Principiální nedostatek spočívá v tom, že tíhová síla je gravitační povahy, zatímco tahové a tlakové síly jsou povahy elektromagnetické. Průmět tíhové síly do směru trámu tedy nemůže *„působit jako tlaková síla na trám“* a průmět tíhové síly do směru drátu nemůže *„působit jako tahová síla na drát“*. Správný silový diagram a základ výpočtu (v učebnici nejsou) ukazuje obrázek vpravo: v bodě závěsu lampy působí tahová síla dolního svislého drátu $\boldsymbol{F}_T$, jejíž velikost je rovna tíhové síle $\boldsymbol{F}_G$ (lampa je v klidu, platí $\boldsymbol{F}_G + (-\boldsymbol{F}_T) = \mathbf{0}$), dále tahová síla šikmého drátu $\boldsymbol{F}_2$ a tlaková síla trámu $\boldsymbol{F}_1$. Jejich součet musí být nulový, má-li být soustava v rovnováze. Stejně chybný je komentář k řešení druhého příkladu. Pokud by se úlohy podobného typu řešily s porozuměním a správnými silovými diagramy, nebyl by žádný odstavec o „rozkládání sil“ potřeba. Naopak, za daného stavu výkladu v učebnicích je kontraproduktivní.

Kamenem úrazu je odstavec o těžišti tuhého tělesa, který je takřka odtržen od předchozího výkladu. (Bohužel – při úplné absenci velice důležitého pojmu střed hmotnosti. Ten v celé učebnici nenajdeme dokonce ani pro soustavu tvořenou dvěma hmotnými body, i když půda pro jeho zavedení byla dobře připravena v odstavci Zákon zachování hybnosti ([2], str. 89)). Text odstavce o těžišti je v [1] a [2] opět téměř doslova shodný. „Definice“ těžiště ([1], str. 194, [2], str. 175) je předložena bez vysvětlení a bez odkazu na předchozí kapitoly o skládání sil (koneckonců, odkaz by ani příliš nepomohl, neboť odstavec o skládání sil obsahuje ukázky složení pouze dvou různoběžných, resp. rovnoběžných sil, moment síly není definován vzhledem k vztažnému bodu, jak je třeba, ale vzhledem k ose (otáčení)). Těžiště je v [1] i [2] definováno takto:

„V homogenním tíhovém poli působí na jednotlivé body tělesa tíhové síly, které jsou navzájem rovnoběžné. Jejich složením dostaneme výslednou tíhovou sílu $\mathbf{F}_G$ *působící na těleso. Tíhová síla má působiště v bodě T, který se nazývá těžiště tělesa (obr. 6-21).*

Bezprostředně následuje zarámovaná formulace (definice, nebo tvrzení?):

„Těžiště tuhého tělesa je působiště tíhové síly působící na těleso v homogenním tíhovém poli.“

Přitom nebylo pořádně vyloženo, co slovní spojení *„působiště tíhové síly“*, resp. obecněji „působiště výslednice sil“ znamená. A dále formulace obvyklého typu „ze základní školy víte, že ...“ ([2], str. 175):

„Připomeňme si experimentální určování polohy těžiště tělesa, jak je znáte ze základní školy. Těleso tvaru nepravidelné desky zavěšujeme v různých bodech na obvodu desky (obr. 6-22). Při každém zavěšení se těleso ustálí tak, že těžiště je pod bodem závěsu. Přímka spojující bod závěsu a těžiště se nazývá těžnice. Těžiště T je průsečíkem všech těžnic.“

A oproti [1] přidaná věta:

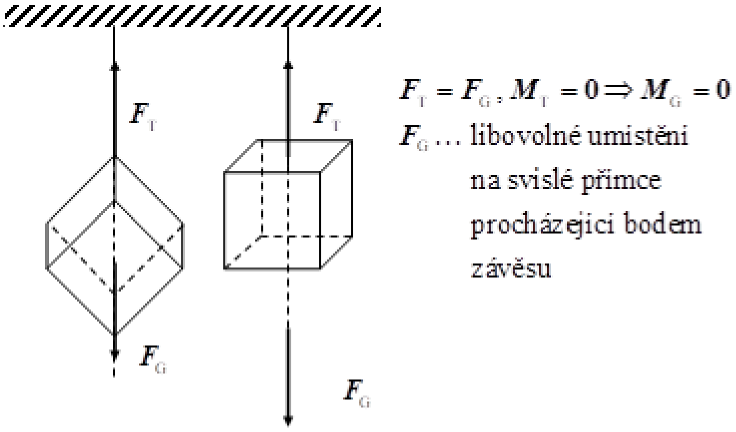
„ Kdybychom desku umístili do vodorovné polohy a podepřeli ji v těžišti hrotem, byla by v rovnováze (nekácela by se)“.

Student by mohl klást otázky (které už ani neklade, protože musí být z těch nevysvětlených pouček už otráven):

- Jak víme, že těžiště (jehož polohu jsme zatím nespecifikovali, tj. fakticky nevíme, co to je) bude ležet pod bodem závěsu desky?
- Jak by vypadala situace, kdybychom desku zavěšovali v jiných bodech než na obvodu?
- Jak víme, že se všechny těžnice protnou v jediném bodě? Co když některé dvě těžnice budou (v případě trojrozměrného tělesa) mimoběžky?

- Z čeho plyne, že kdybychom desku, jejíž těžiště určujeme jejím zavěšováním, dali do vodorovné polohy, byla by při podepření v bodě, který jsme stanovili jako těžiště, v rovnováze? To je přece úplně jiná situace, než zavěšování desky v bodech na obvodu.
- Jak určíme těžiště tělesa, jehož hmotnost je rozložena v objemu obecně (není to deska)?
- Co když gravitační pole nebude homogenní?

To, že poloha těžiště jakožto „působiště výslednice tíhových sil“ souvisí s momenty sil, se student dočte až v příkladech, které však jsou natolik speciální (hmotné body jsou umístěny na přímce ztotožněné s osou *x*, momenty tíhových sil jsou vztahovány k ose *z*), že nijak nenapomohou k pochopení pojmu těžiště. Skutečnost, že autoři nedokázali vysvětlit pojem těžiště (v homogenním tíhovém poli) souvisí spíše s jejich „zakletím“ v jejich zaběhaných formulacích, než s absencí pojmu vektorového součinu. Při pečlivém, fyzikálně správném a didakticky vhodném výkladu by se v tomto případě bez vektorového součinu obešli jen na základě správně a logicky vedených úvah o rovnováze sil působících na zavěšené těleso (výslednice sil je nulová) a rovnováze jejich momentů (výsledný moment těchto sil je nulový): uvažujme nejen o desce, která je zmiňována v učebnici, ale o obecném tělese, jehož některý rozměr nemusí být zanedbatelný (výklad je vhodné doprovodit skutečným pokusem).



Obr. 12. Návrh obrázku k rovnováze sil působících na zavěšené těleso.

V rovnováze je součet tahové síly závěsného lanka a výslednice tíhových sil nulový, stejně jako součet odpovídajících momentů vzhledem k pevnému bodu. Moment tahové síly lanka vzhledem k bodu závěsu, ale i vzhledem k libovolnému bodu ležícímu na svislé přímce, která tímto bodem prochází (tzv. těžnici), je nulový. Vzhledem k tomu, že těleso je v rovnováze (výsledek experimentu), je zřejmé, že také výsledný moment všech tíhových sil vzhledem k libovolnému bodu na těžnici je nulový. Nahradíme tedy tíhové síly působící na jednotlivé body jejich výslednicí (součtem). Správné umístění jejího působiště je tedy v kterémkoli bodě těžnice. Další výklad samozřejmě musí obsahovat zdůvodnění, proč se všechny možné těžnice protnou v jednom bodě a ten bude při zavěšení tělesa „*ležet pod bodem závěsu*“.

Pokud však je k dispozici vektorový součin, je věc snadná a byla již obecně vysvětlena v komentářích k odstavci Skládání sil: pro danou polohu tělesa hledáme řešení rovnice $\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}_G = \boldsymbol{M}$, $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r}_1 \times \boldsymbol{F}_1 + \cdots + \boldsymbol{r}_n \times \boldsymbol{F}_n$ ... výsledný moment sil (známý). V případě jakékoli soustavy rovnoběžných sil $\boldsymbol{F}_i = k_i \boldsymbol{F}$ (tj. i v případě homogenního tíhového pole) je situace zvlášť snadná: „náhradní“ působiště výsledné síly existuje, neboť výsledný moment všech sil je k jejich výslednici kolmý. Platí $\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}_G = \boldsymbol{r} \times \sum_{i=1}^{n} k_i \boldsymbol{F} = \left(\sum_{i=1}^{n} k_i \right) \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r}_1 \times k_1 \boldsymbol{F} + \cdots + \boldsymbol{r}_n \times k_n \boldsymbol{F} = \left(\sum_{i=1}^{n} k_i \boldsymbol{r}_i \right) \times \boldsymbol{F}$, odtud

$\boldsymbol{r} = \dfrac{k_1\boldsymbol{r}_1 + \cdots + k_n\boldsymbol{r}_n}{k_1 + \cdots + k_n} + \boldsymbol{r}_0$, kde $\boldsymbol{r}_0$ je libovolný vektor rovnoběžný s $\boldsymbol{F}$. (Pro homogenní tíhové pole je $\boldsymbol{F}_i = m_i\boldsymbol{g}$.) Bod T o polohovém vektoru $\boldsymbol{r} = \dfrac{m_1\boldsymbol{r}_1 + \cdots + m_n\boldsymbol{r}_n}{m_1 + \cdots + m_n}$ je polohou bodů tělesa určen jednoznačně. Pro $\boldsymbol{r}_i' = \boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}$ je $\sum_{i=1}^{n} m_i\boldsymbol{r}_i' = \boldsymbol{0}$, pro obecné otočení tělesa kolem bodu o polohovém vektoru $\boldsymbol{r}$ bude opět platit $\sum_{i=1}^{n} m_i\boldsymbol{s}_i' = \boldsymbol{0}$, kde $\boldsymbol{s}_i'$ je polohový vektor bodu i-tého bodu soustavy vzhledem k bodu T po otočení (jednoduchá algebra).

Zdůrazněme, že absence pojmu střed hmotnosti je zásadní chybou koncepce učebnice. (Střed hmotnosti soustavy hmotných bodů, resp. tělesa, je definován nezávisle na tom, v jakých podmínkách se těleso nachází, jeho zrychlení je dáno první impulsovou větou, tj. jeho pohyb je rovnoměrný přímočarý za předpokladu nulové výslednice působících sil – vazba na zákon zachování celkové hybnosti, a druhá impulsová věta má vzhledem k obecně neinerciální, avšak nerotující vztažné soustavě spojené se středem hmotnosti stejný formální tvar jako vzhledem k inerciálním soustavám.) Význam pojmu těžiště jako bodu umístění výslednice tíhových sil působících na těleso v homogenním tíhovém poli (v daném speciálním případě splývajícího shodou okolností se středem hmotnosti tělesa) je ve srovnání s pojmem středu hmotnosti přeceňován. Studenti pak tyto principiálně různé pojmy nerozlišují. Intuitivní představu o těžišti může student získat možná z jediného videoexperimentu na CD, který je vcelku dobře komentován.

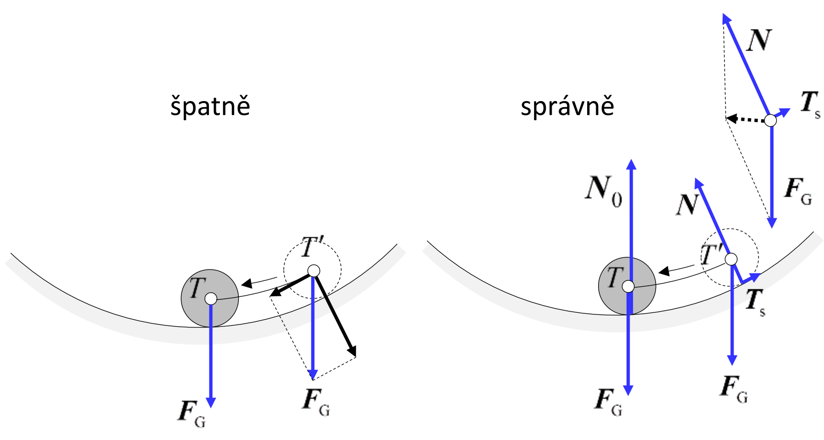
Předposlední odstavec kapitoly, týkající se rovnováhy tělesa (stálá, vratká, volná) se vyznačuje týmiž chybami v silových diagramech (a odpovídajících formulacích) jako předchozí kapitoly, jakož i místy „přetíženými“ formulacemi – ve snaze o přebytečnou přesnost. Například definice rovnováhy ([2], str. 179):

„Tuhé těleso je v rovnovážné poloze, jestliže je vektorový součet všech sil, které na ně působí, i vektorový součet momentů těchto sil rovný nule. Současně musí být těleso v klidu.“

Co znamená dovětek: *„Současně musí být těleso v klidu.“?* Jeho zařazení až na konec formulace budující pojem rovnováhy je netypické. Logické by bylo postupovat obráceně: nejprve definovat, co se rozumí rovnováhou – pomocí „kinematického“ požadavku, aby těleso bylo v jisté inerciální vztažné soustavě v klidu. Nulovost součtu všech sil, kterými na těleso působí okolí, a nulovost součtu jejich momentů je podmínkou dynamickou, má charakter nutné (nikoli však také postačující) podmínky pro zajištění rovnováhy.

Vzápětí v rozporu s podmínkou nulovosti součtu sil se objevují již standardně chybné silové diagramy ([2], str. 179, např. obr. 6-24) a formulace typu:

„Při vychýlení kuličky z rovnovážné polohy působí na kuličku složka tíhové síly směřující do rovnovážné polohy.“



Obr. 13. Silový diagram kuličky valící se v misce
(vlevo překreslen obr. 6-24 z [2], vpravo správný silový diagram). Vpravo zcela nahoře uveden silový diagram, v němž jsou působiště sil posunuta do středu hmotnosti kuličky. Černá přerušovaná šipka v něm představuje součet $\boldsymbol{F}_{\mathrm{G}} + \boldsymbol{N}$.

Především – formulace *„působí složka síly"* je terminologicky nesprávná. Na kuličku působí okolní objekty silami, nikoli „složkami". Valení kuličky ovlivňují všechny síly, kterými na ni působí její okolí (tíhová, tlaková, statická třecí – zajišťuje valení bez prokluzu) a jejich momenty. Matoucí je zejména to, že se autoři nezmiňují o momentech sil. Jednou z nutných podmínek rovnováhy je nulovost výsledného momentu sil působících na objekt, přitom moment tíhové síly působící na kuličku je vzhledem k jejímu středu hmotnosti nulový trvale, stejně jako moment tlakové síly podložky, jediný nenulový moment při vychýlení z rovnovážné polohy zajišťuje statická třecí síla, která se během pohybu mění, v rovnovážné poloze na dně misky je nulová. Jak již bylo řečeno, je poněkud nepochopitelné, že autoři velmi rádi volí (nejen zde) jako příklad valící se kuličku, když se o problematice valení jako takové vůbec nezmiňují. Stejně dobrou službu při výkladu návratu do stabilní rovnovážné polohy by udělal příklad s kostičkou pohybující se po podložce bez tření, kterou lze popsat modelem hmotného bodu.

Poslední odstavec kapitoly je věnován kinetické energii tuhého tělesa. Jsou odvozeny vztahy pro kinetickou energii tělesa při translačním a rotačním pohybu, je zaveden moment setrvačnosti tělesa vzhledem k pevné ose otáčení. Na konci odstavce je uveden zobecněný vztah pro případ, že těleso se pohybuje translačně a zároveň rotuje, s použitím momentu setrvačnosti vzhledem k ose otáčení procházející středem hmotnosti (autoři zde i jinde nepatřičně ztotožňují obecný pojem středu hmotnosti s těžištěm – co kdyby těleso nebylo v tíhovém poli?). Osa procházející středem hmotnosti translačně se pohybujícího tělesa není ovšem osou pevnou, vůči níž byly zatím vztahovány momenty sil. Vztažná soustava spojená se středem hmotnosti může být dokonce neinerciální (válec valící se dolů po nakloněné rovině). Tato skutečnost není nijak komentována. Důkaz, že druhá impulsová věta ve formálním tvaru odvozeném vzhledem k inerciální vztažné soustavě platí i v soustavě neinerciální spojené se středem hmotnosti, která vůči inerciálním soustavám nerotuje, sice na dané úrovni provádět nelze, stručný komentář by však tato věc zasloužila (viz také poznámky k odstavci o těžišti – výše).

Ve vydání [1] najdeme vysvětlení, proč je „namáhána osa otáčení", pomocí setrvačných sil ([1], str. 206):

„Při otáčení tuhého tělesa kolem nehybné osy působí na jednotlivé body tělesa setrvačné síly, směřující od osy otáčení. Tyto síly namáhají osu svou výslednicí, jestliže osa neprochází těžištěm, nebo také silovou dvojicí, vychylující osu z její polohy. Při vhodné poloze osy se setrvačné síly navzájem ruší a osa není namáhána silou ani silovou dvojicí. V takovém případě jde o volnou osu. Volná osa vždy prochází těžištěm tělesa."

Ve vydání [2] již není tolik fyzikálních a formulačních nedostatků na jednom místě jako v předchozím „vysvětlení", některé zmizely, jiné však přibyly ([2], str. 186):

„Při otáčení tuhého tělesa kolem nehybné osy konstantní úhlovou rychlostí působí na jednotlivé body tělesa setrvačné síly směřující od osy otáčení. Výslednicí těchto sil je namáhána osa otáčení. Proto se vyvažují např. kola silničních motorových vozidel ..."

Neptejme se raději, proč je namáhání os vozidel v textu omezeno na pohyb konstantní úhlovou rychlostí. Je však třeba si položit otázku, jaký smysl má hovořit tímto nezávazným, ale fyzikálně vadným způsobem o setrvačných silách a vyvolávat u studentů mylný dojem, že jde o něco zcela reálného. „Namáhat“ nějaké těleso je možné jedině působením jiných těles, popřípadě lze mít na mysli vzájemné působení částí tělesa (např. tenzor napětí). Tzv. „setrvačné“ (též „fiktivní“) síly souvisejí výhradně s pohybem v neinerciálních vztažných soustavách. Zavádějí se formálně proto, aby bylo možno používat druhý Newtonův zákon, který jinak v neinerciálních soustavách neplatí (viz též komentář k rozšiřujícímu učivu R9 a R10). Autoři si tento fakt snad i uvědomují, i když svými formulacemi (možná nechtěně) přisuzují setrvačným silám reálný základ (např. [1], str. 106):

V neinerciálních vztažných soustavách nezůstává izolované těleso v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu. Na těleso v neinerciální vztažné soustavě působí setrvačná síla $\boldsymbol{F}_s = -m\boldsymbol{a}$, *vznikající jako důsledek zrychleného pohybu soustavy.*

Nešťastné použití slova *„vznikající“* budí dojem, že zrychlení soustavy opravdu způsobuje nějaké skutečné dodatečné působení na hmotné body, resp. tělesa.

Celá kapitola týkající se nikoli obecně mechaniky, ale jen statické rovnováhy tuhého tělesa, je jednoznačným dokladem toho, jaký zmatek lze způsobit, jestliže

- není zavedena práce se složkami vektorů v ortonormální bázi,
- chybí vektorový součin,
- chybí důslednost v korektním popisu silového působení okolí na těleso (správné silové diagramy) zahrnujícím právě všechny síly, jimiž okolní objekty působí na zkoumané těleso.

CD – animace a videoexperimenty

- V2 Těžiště: Videoexperiment je zaměřený na určení těžiště komplikovanější soustavy, má zajímavé provedení, dokládající existenci těžiště i v případě, kdy leží mimo body soustavy.

Ad 7. Mechanika kapalin a plynů

Vzhledem k tomu, že i mechanické zákonitosti týkající se kapalin a plynů podléhají tak jako všechny mechanické děje Newtonovým zákonům, dalo se očekávat, že tato kapitola bude obsahovat obdobné interpretační chyby, jaké se objevovaly v kapitolách předchozích. Toto očekávání bylo v odstavcích týkajících se statiky tekutin skutečně naplněno. Stačí samotné názvy některých odstavců: Tlak v kapalinách vyvolaný vnější silou, Tlak v kapalinách vyvolaný tíhovou silou, Tlak vzduchu vyvolaný vnější silou (jako by tíhová síla nebyla vnější). Některé formulace hovoří samy za sebe ([2], str. 192-1995) a začínají jako obvykle:

„Na základní škole jste se naučili, jak se určí tlak vyvolaný tlakovou silou působící kolmo na určitou plochu. Tlak p jste definovali jako podíl velikosti síly F a obsahu uvažované plochy p = F/S.“

„Zaměříme se nejdříve na kapalinu, která je v klidu. Tlakovou sílu o velikosti F lze realizovat dvojím způsobem: 1. Vnější silou prostřednictvím pevného tělesa, které působí jen na povrch kapaliny, tj. zvnějšku, např. přes pružné stěny nádoby (obr. 7-1), nebo píst; 2. Tíhovou silou, kterou působí na kapalinu naše Země. Často se uplatňují oba případy silového působení současně, např. horní vrstvy kapaliny působí tíhou na dolní vrstvy jako vnější síla.“

„Působíme-li na horní podstavu tělesa tvaru kvádru tlakovou silou **F***, přenáší se tato síla ve stejném směru na dolní podstavu (obr. 7-2). Jinak je tomu u kapaliny v nádobě. V důsledku tekutosti se přenáší*

působící vnější tlaková síla v klidné kapalině do všech směrů, přičemž působí vždy kolmo na určitou plochu kapalného tělesa (včetně vnitřních stěn nádoby, překážek v kapalině, apod.).“

„Tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalinu v uzavřené nádobě je ve všech místech kapaliny stejný.“

Všechny uvedené formulace vyvolávají dojem, že tlakové síly, jimiž na sebe navzájem působí tělesa (autory nazývaná „pevná“) jsou svou podstatou něco úplně jiného než tlakové síly v kapalině. Místo, aby bylo jasné, že silami působí tělesa na sebe navzájem, mluví se o „síle působící na plochu“. Student nemůže chápat, jak se *„v důsledku tekutosti přenáší působící vnější tlaková síla v klidné kapalině do všech směrů, přičemž působí vždy kolmo na určitou plochu kapalného tělesa“*. Co se vůbec myslí „přenášením síly“? Co se myslí „určitou plochou“? Jaký přesný význam má vztah $p = F/S$? Co znamená formulace *„horní vrstvy kapaliny působí tíhou na dolní vrstvy jako vnější síla“,* když se *„vnější tlaková síla ... přenáší do všech směrů, přičemž působí vždy kolmo na určitou plochu kapalného tělesa“*? Pokud si student vůbec klade takové otázky (nejspíš ne), v textu na ně odpovědi nenajde.

V textu zavádějícím pojem tlaku (šest prvních stran kapitoly) není řečeno to podstatné: tlakovými silami v kapalině se rozumí síly, jimiž na sebe navzájem působí části kapaliny (přičemž působiště elementárních tlakových sil jsou spojitě rozložena v bodech styčné plochy uvažovaných částí), a to bez ohledu na to, zda je kapalina v klidu, v pohybu, v tíhovém poli či jinde. (Obdobně jsou např. síly vnitřního tření v reálné kapalině silami vzájemného působení částí proudící kapaliny.) Student má dostat vysvětlení, zdůrazňující právě tuto skutečnost. Zavést pojem tlaku, víme-li, že souvisí se vzájemným působením částí tekutiny, již není obtížné, výkladu by však mohl/měl předcházet alespoň stručný komentář vysvětlující spojité rozložení hmotnosti kapalinového tělesa (s odhlédnutím od částicové struktury):

- Statická rovnováha tekutiny: libovolně vybraná (sebemenší) část tekutiny je v klidu vzhledem k pevně zvolené vztažné soustavě. Nutné podmínky: výslednice všech sil, jimiž působí na vybranou část tekutiny její okolí (okolím se myslí i okolní tekutina) je nulová, stejně jako jejich výsledný moment.
- Ve statické rovnováze jsou (elementární) síly vzájemného působení částí tekutiny tlakovými silami, tj. jsou kolmé v každém bodě k rozhraní zmíněných částí tekutiny. (Případné síly tečné k rozhraní v rovnováze vymizí, neboť jejich nenulovost by způsobila pohyb tekutiny podél rozhraní – tohle je právě důsledek oné „tekutosti“).
- Pro určení síly vzájemného působení částí tekutiny v rovnováze v daném bodě tak stačí znát skalární veličinu $p(\boldsymbol{r}) = \lim_{\Delta S \to 0}(|\Delta \boldsymbol{F}| / \Delta S)$, resp. $p(\boldsymbol{r}) = |\Delta \boldsymbol{F}| / \Delta S$, kde ΔS „je velmi malé“, tj. tlak, neboť směr vzájemného silového působení $\Delta \boldsymbol{F}$ a $-\Delta \boldsymbol{F}$ částí tekutiny na ploše ΔS v okolí daného bodu je znám – je kolmý k rozhraní. Vzhledem k tomu, že s „velmi malými“ veličinami se pracovalo už v kinematice, je jistě možné s použitím vhodných obrázků najít způsob výkladu, který usnadní pochopení pojmu tlaku.
- V případě splnění silové rovnováhy v tekutině bude automaticky splněna i rovnováha momentová (je třeba sdělit jako fakt, nemáme k dispozici matematiku potřebnou k důkazu).
- Rozložení tlaku v tekutině je důsledkem rovnováhy tlakových sil, jimiž okolní tekutina působí na vybranou část, se silami, jimiž působí na tuto část objekty vzhledem k celému tekutinovému tělesu vnější (typicky například tíhové síly).

První zmínka, z níž student může usoudit, že tlakové síly v tekutině vyjadřují vzájemné silové působení částí tekutiny, se objevuje ve [2] až na str. 197, kde se již pracuje se silovou rovnováhou za účelem zjištění rozložení tlaku v kapalině v homogenním tíhovém poli.

Zkušenost: Otázka, jaké vzájemné působení (jakých objektů) popisují takové síly v kapalině, studenty překvapí – nikdy o tom nepřemýšleli a nikdo se jich na to neptal. Jen výjimečně zazní správná odpověď. K pochopení lze ovšem studenty snadno přivést.

Odstavce pojednávající o rozložení tlaku v tekutině umístěné v tíhovém poli Země jsou pak již vcelku dobře napsány, další části kapitoly o statice tekutin již také nejsou problematické. Nepříliš vhodný (a přispívající k zbytečnému terminologickému přetížení výkladu) je však název *„absolutní tlak"* pro tlak v hloubce *h* pod povrchem kapaliny v rovnováze v homogenním tíhovém poli, $p = p_a + h\rho g$, který je součtem tzv. hydrostatického tlaku a tlaku na povrchu kapaliny. Termín „absolutní" bývá totiž obecně nejčastěji uváděn v kontrastu s termínem „relativní", což není zmiňovaný případ. (Termín „relativní" se sice také užívá ve smyslu „vzájemný" – například „relativní rychlost", tj. třeba rychlost bodu *A* vzhledem k bodu *B*, ovšem bez používání termínu „absolutní rychlost".) Navíc není důvod odlišovat terminologicky dva sčítance výsledného vztahu, určené matematickou strukturou partikulárního řešení rovnice statické rovnováhy pro daný případ s okrajovou podmínkou udávající tlak v libovolném bodě kontaktu kapaliny s okolním prostředím.

Připomínku snad zasluhuje postup při získání vztahu pro vztlakovou sílu v tekutině (Archimédův zákon). Je samozřejmě v pořádku, mohl však být namísto výpočtu pro speciální tvar ponořeného tělesa obecný:

- Těleso obecného tvaru je zavěšeno na vlákně a zcela ponořeno do kapaliny. Součet tíhové síly, jíž na těleso působí Země, tahové síly vlákna a celkové síly, jíž na povrch tělesa působí kapalina, je nulový.
- Celková síla, jíž na těleso působí kapalina, je dána výhradně rozložením tlaku podél povrchu tělesa.
- Rozložení tlaku se nezmění, zaměníme-li ponořené těleso odpovídající částí samotné kapaliny stejného objemu, tvaru, ve stejné poloze (myšlenkově, nebo ukázka s mikrotenovým pytlíkem naplněným vodou plovoucím ve vodě, v tomto případě není potřeba vlákno). Celková síla, jíž působí kapalina na tuto vymezenou část, bude proto stejná, jako síla, jíž působí na těleso v přechozí části myšlenkového pokusu.
- Tato síla kompenzuje tíhovou sílu, působící na zmíněnou část kapaliny (rovnováha). Má tedy opačný směr než tíhová síla, (svisle vzhůru – odtud název „vztlaková"). Její velikost je $F_{\mathrm{vz}} = V\rho_K g$, kde ρ_K je hustota kapaliny.

Odstavec o proudění tekutin, uvádějící rovnici kontinuity a Bernoulliovu rovnici pro proudění kapaliny vodorovnou trubicí, rovněž velké problémy nepřináší, poněkud nešikovně je formulovaná definice ustáleného proudění ([2], str. 212):

„Je-li rychlost ***v*** *částic procházejících libovolně zvoleným místem proudící tekutiny stálá, tj. nemění se s časem, jde o ustálené neboli stacionární proudění."*

Nejednoznačná je definice proudnic ([2], str. 212):

„Proudnice je myšlená čára, jejíž tečna v libovolném bodě má směr rychlosti ***v*** *pohybující se částice. Každým bodem proudící tekutiny prochází při ustáleném proudění jen jedna proudnice.*

Daným bodem může procházet nekonečně mnoho křivek, které mají společnou tečnu. Druhá věta definice sice říká, že jen jedna z těchto křivek může být proudnice, ale není specifikováno, která, resp. není řečeno, jak se vztahuje k rychlosti proudění v daném bodě. Vzhledem k tomu, že v kinematice (v [1] v textu, v [2] v rozšiřujícím učivu) byla definována okamžitá rychlost pohybu, mohl být pojem proudnice vysvětlen pořádněji, i když odvodit tvar proudnic jako integrálních křivek vektorového pole rychlostí nepřipadá na úrovni gymnázia v úvahu.

Rovnice kontinuity je formulována primárně pro objemový tok ([2], str. 214, formulace v rámečku), poté doplněna pro hmotnostní tok a interpretována jako zákon zachování hmotnosti (bez rámečku). Mělo to být právě opačně. Tučně vytištěná poučka ([2], str. 215):

„Ze vztahu vidíme, že velikosti rychlostí proudící kapaliny v trubici nestejného průřezu jsou v opačném poměru než obsahy průřezů.“

je zbytečná, říká totéž co přechozí (mnohem důležitější) zákon zachování objemového toku.

Nepřijatelně je komentováno určení rychlosti vytékání kapaliny otvorem v nádobě ([2], str. 219):

„Ze zákona zachování mechanické energie určíme ještě velikost rychlosti kapaliny vytékající otvorem, který je v hloubce h pod povrchem kapaliny (obr. 7-28). Při vytékání dochází k poklesu hladiny o h, takže se změní tíhová energie o mgh, kde m je hmotnost uvažované vrchní části kapaliny o objemu V. Na úkor poklesu této energie získává uvažovaná část kapaliny o stejné hmotnosti m (a objemu V) u otvoru rychlost o velikosti v. Z rovnice $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ platí) pro hledanou velikost výtokové rychlosti vztah $v = \sqrt{2gh}$. *) Přitom zanedbáváme kinetickou energii, kterou uvažovaná část kapaliny získala během poklesu, protože je velmi malá vzhledem k hodnotě h pro běžné rozměry nádob.“*

Celé zdůvodnění a zejména poznámka pod čarou, označená *), nejsou dobře srozumitelné. Výsledný vztah pro rychlost vytékání platí pouze přibližně za předpokladu, že plošný obsah otvoru je zanedbatelně malý ve srovnání s plošným obsahem hladiny.

CD – Animace a videoexperimenty

Žádné animace ani videoexperimenty.

CD – Rozšiřující učivo

Rozšiřující učivo na CD obsahuje na 57 stranách 15 témat, jejichž výklad jde nad rámec hlavního (tištěného) textu. Jak již bylo konstatováno, jde spíše o zúžení původního obsahu povinného učiva, vyplývající z nešťastné koncepce Rámcových vzdělávacích programů. K tématům se váže vždy několik úloh k řešení – rozšiřující učivo obsahuje celkem 47 jednoduchých úloh.

Následují stručné poznámky k jednotlivým tématům rozšiřujícího učiva, z nichž některé již byly uvedeny výše v souvislosti s hlavním textem. Celkově lze říci, že až na výjimku odstavce o valivém odporu (viz výše) není text souboru Rozšiřující učivo zdaleka tak problematický, jako některé pasáže textu hlavního.

R1 Okamžitá rychlost hmotného bodu

Okamžitá rychlost hmotného bodu je zavedena jako podíl vektoru posunutí v časovém intervalu $[t,\ t+\Delta t]$ a délky tohoto intervalu, pomocí náznaku limitního přechodu $\Delta t \to 0$. Tato definice je v rámci možnosti korektní a v této formě měla být uvedena v hlavním textu. Škoda, že není chování zmíněného podílu při $\Delta t \to 0$ doloženo numerickým výpočtem.

R2 Rovnoměrný pohyb hmotného bodu s nenulovými počátečními podmínkami

Závislost $s = s(t)$ dráhy rovnoměrného pohybu (obecně může jít i o pohyb křivočarý, text to však neuvádí) na čase při podmínce $s(t_0) = s_0$, včetně grafického znázornění. Příliš triviální problém, mohl být v hlavním textu, nebo v teoretických úlohách jako úkol. Grafické znázornění je přínosnou součástí takových úloh.

R3 Rovnoměrně zrychlený pohyb hmotného bodu s nenulovými počátečními podmínkami

Závislost $s = s(t)$ dráhy rovnoměrně zrychleného pohybu na čase při podmínkách $s(t_0) = s_0$, $v(t_0) = v_0$ včetně grafického znázornění. V textu není uvedeno, že se jedná o přímočarý pohyb (o veličině a vystupující ve vzorcích pro dráhu a velikost rychlosti se v něm hovoří jako o velikosti zrychlení, což by při křivočarém pohybu nebylo v pořádku; v případě křivočarého pohybu by se totiž jednalo o tečnou složku zrychlení – viz také R5). Studenta může absence sdělení, že jde o přímočarý pohyb, zmást, popřípadě se může domnívat, že uvedené vzorce lze používat i pro křivočarý pohyb. Problém rovnoměrně zrychleného pohybu (samozřejmě přímočarého) je, stejně jako v případě R3, vhodný spíše jako námět složitější úlohy pro studenty než jako „rozšiřující" výklad.

R4 Zrychlení při rovnoměrném pohybu po kružnici

Vhodně pojaté odvození dostředivého zrychlení při rovnoměrném pohybu po kružnici. Mělo by ovšem být součástí hlavního textu.

R5 Zrychlení při nerovnoměrném křivočarém pohybu

Rozklad zrychlení na součet tečného a normálového zrychlení – toto téma by rovněž mělo být součástí hlavního textu, neboť pochopení problematiky zrychlení při obecném pohybu je důležité pro chápání zákonů dynamiky a správné řešení úloh. V R5 je správný odkaz na vztahy pro rychlost a dráhu rovnoměrně zrychleného přímočarého pohybu, které mohou být použity i obecně s tím, že zrychlení se v nich nahradí tečným zrychlením.

R6 Časový účinek síly. Impuls síly

Vyjádření druhého Newtonova zákona ve tvaru $\boldsymbol{F} = \Delta\boldsymbol{p}/\Delta t$ bez nutného komentáře týkajícího se přechodu $\Delta t \to 0$, nebo poznámky, že vztah v tomto tvaru platí pro konstantní sílu, resp. střední hodnotu síly. Stejně tak se formulace (R6, str. 12):

„Součin $\boldsymbol{F}\Delta t$ síly a doby, po kterou síla působila, je impuls síly."

vztahuje na případ, kdy je síla konstantní, nebo jde o střední hodnotu síly. Tato skutečnost ovšem není v textu nijak komentována, teprve následně je uveden vztah $Ft = mv$ pro případ konstantní síly a nulové počáteční hybnosti. Jako příklad z praxe jsou zmíněny deformační zóny v automobilech.

R7 Pružný a nepružný přímý ráz dvou těles

Obsáhlý odstavec obsahující kompletní řešení pružné a nepružné přímé srážky dvou hmotných bodů je vhodnou aplikací zákona zachování hybnosti a zákona zachování mechanické energie. Má charakter skutečného rozšíření učiva. Pracuje správně se složkami vektorů rychlosti na přímce (jakoby byl jeho tvůrcem autor stojící mimo hlavní autorský kolektiv). Obsahuje také kompletní řešení problému balistického kyvadla.

R8 Valivý odpor

Podrobný komentář k této partii rozšiřujícího učiva viz výše. Zopakujme, že motivace pro zařazení problematiky valivého odporu není zcela jasná s ohledem na skutečnost, že valivý pohyb bez valivého odporu není v učebnici řešen vůbec, ani v hlavním, ani v rozšiřujícím textu.

R9 Neinerciální vztažné soustavy. Setrvačné síly

Je objasněn pojem neinerciální vztažné soustavy a poměrně podrobně rozebrán pohyb hmotného bodu vzhledem k pozorovateli v inerciální soustavě a pozorovateli, který je v klidu v neinerciální soustavě pohybující se translačně se zrychlením $\boldsymbol{a}$. Text obsahuje, v rámci klasické newtonovské mechaniky, řadu nedostatků, věcných i formulačních (R9, str. 24):

„Pokud vůz jede stálou rychlostí, tvoří rovněž inerciální soustavu. Vzhledem k pozorovateli ve voze je kulička v klidu, vzhledem k pozorovateli vně vozu se pohybuje rovnoměrně přímočaře spolu s vagonem. Oba pozorovatelé zjistí, že kulička má nulové zrychlení, a tedy na ni nepůsobí žádná výsledná síla.“.... „V určitém okamžiku se pohyb vozu změní na rovnoměrně zrychlený. ... Z hlediska pozorovatele v inerciální soustavě na kuličku opět nepůsobí žádná síla.“

Jako sledovaný hmotný bod je opět nepochopitelně zvolena kulička. Že je kulička vzhledem k vagonu v klidu, mělo být konstatováno jako předpoklad, nikoli jako nezdůvodněný fakt. Věta *„nepůsobí žádná výsledná síla“* nedává smysl, správná formulace hodná fyzikálního vyjadřování má znít „výslednice sil, jimiž působí na hmotný bod jeho okolí, je nulová“. Snaha „přiblížit“ studentům výklad takovými formulacemi nemá dobré následky, pokud jde o jejich fyzikální myšlení. Když se dá vůz do pohybu, je formulace *„žádná výsledná síla“* změněna na *„žádná síla“*. Toto tvrzení je ovšem chybné i věcně. Na hmotný bod působí tíhová síla a tlaková síla podložky, jejichž součet je díky vazební podmínce nulový. Z hlediska výpočtů se „nic neděje“, z hlediska fyzikálního uvažování je taková chyba zásadní.

„Proto pozorovatel uvnitř vagonu, tedy v neinerciální vztažné soustavě, usoudí, že na kuličku začala působit síla $\boldsymbol{F}\mathrm{s} = -\mathrm{m}\boldsymbol{a}$. *Tato síla, vznikající jako důsledek zrychleného pohybu soustavy, se nazývá setrvačná síla* $\boldsymbol{F}\mathrm{s}$. *Setrvačná síla nemá původ ve vzájemném silovém působení kuličky s jinými tělesy, neexistuje také reakce k této síle.“*

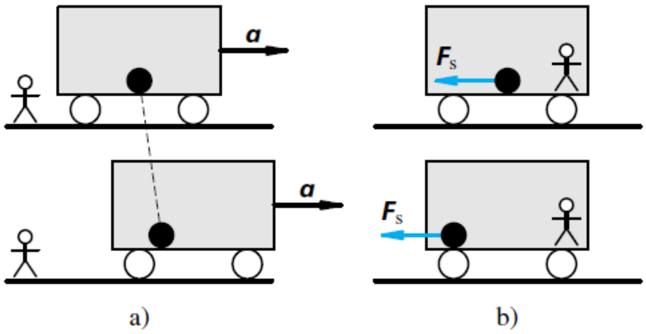
„V neinerciálních vztažných soustavách nezůstává izolované těleso v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu. Na těleso v neinerciální vztažné soustavě působí setrvačná síla $\boldsymbol{F}s = -m\boldsymbol{a}$, *vznikající jako důsledek zrychleného pohybu soustavy.“*

„Setrvačné síly jsou pro pozorovatele v neinerciální soustavě stejně reálné jako síly vzájemného působení mezi tělesy a mohou se s těmito silami skládat.“

Tyto formulace (R9, str. 24, 25) jsou velice zavádějící, i když se mezi nimi správně konstatuje, že *„setrvačná síla nemá původ ve vzájemném silovém působení kuličky s jinými tělesy.“* Student se možná bude ptát, v čem tedy tato síla má původ. Sdělení *„pozorovatel usoudí“* a *„síla vznikající“* stojí fakticky proti sobě, první jako subjektivní, druhé objektivní. Subjektivnost existence setrvačných sil potvrzují autoři i v poslední z výše uvedených vět. Celkově je ve výkladu složitě, vnitřně nekonzistentně a věcně nesprávně obsažen jednoduchý fakt, že v neinerciálních soustavách neplatí Newtonovy zákony, tzv. setrvačné síly jsou fiktivní a účelem jejich zavedení je „opravit“ druhý Newtonův zákon tak, aby mohl být používán i v neinerciálních vztažných soustavách. (Už sama skutečnost, že „setrvačná síla“ je záporně vzatým součinem dvou naprosto nesouvisejících veličin, hmotnosti sledovaného objektu a zrychlení vztažné soustavy, by měla zdánlivost takových sil – které jsou takto i často nazývány – v klasické newtonovské mechanice avizovat.) V běžné řeči je sice pohlíženo na setrvačné síly jako na skutečné, neboť soustavy, v nichž pozorujeme mechanické děje, jsou vždy neinerciální, student by však měl vědět, že mu na kolotoči není špatně vinou odstředivé síly, ale vinou neobvyklého rozložení tlaku v tekutinách v těle, ovlivňujícího např. činnost ústrojí rovnováhy v uchu.

V pořádku není ani obrázek R9-1 (R9, str. 25), k němuž se vztahuje text R9, str. 24:

„Pokud vůz jede stálou rychlostí, tvoří rovněž inerciální soustavu. Vzhledem k pozorovateli ve voze je kulička v klidu, vzhledem k pozorovateli vně vozu se pohybuje rovnoměrně přímočaře spolu s vagonem.“



R9-1 Pohyb izolované kuličky a) v inerciální vztažné soustavě; b) v neinerciální vztažné soustavě

Obr. 14. Kulička v inerciální a neinerciální vztažné soustavě (reprodukován obr. R9-1 z [2]).

Pokud je tření mezi podlahou vagonu a hmotným bodem nulové/zanedbatelné, má být hmotný bod na dolním obrázku a) na svislé přímce pod hmotným bodem v horním obrázku, tj. v rohu vagonu, jak by také odpovídalo obrázku b). Kulička navíc není vhodným modelem, vhodnější je třeba kostka – viz komentáře na jiném místě.

Další úvahy se týkají údajů na siloměru se zavěšeným závažím v nezrychleném a zrychleném výtahu (R9, str. 26, 27):

„Zavěsíme-li těleso na siloměr upevněný ke stropu kabiny, ukáže siloměr sílu F, která je rovna tíhové síle působící na těleso, tedy $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_G$ *(obr. R9-3a).“*

Uvedená formulace je pouhým konstatováním bez vysvětlení. Nehledě k tomu, že siloměr neukáže sílu, ale její velikost, chybí konstatování, že symbolem $\boldsymbol{F}$ je označena síla, jíž působí těleso na siloměr, takže síla, jíž působí siloměr na těleso, je $(-\boldsymbol{F})$ (akce a reakce), dále pak alespoň stručné vysvětlení rovnosti $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_G$, spočívající v konstatování, že součet tíhové síly, jíž působí na závaží Země, a tahové síly, jíž působí na těleso pružina siloměru, je nulový (rovnováha), tj. $\boldsymbol{F}_G + (-\boldsymbol{F}) = \boldsymbol{0}$. Mohlo by se zdát, že v daném případě je kritizován nepodstatný detail. Není tomu tak docela (viz výše zmíněné problémy studentů odlišit situace, kdy dvě stejně velké opačně orientované síly představují či nepředstavují akci a reakci). Nepřesné, resp. neurčité formulace typu výše citované by v principu v učebnicích být neměly.

R10 Otáčející se vztažné soustavy

Formulace druhého Newtonova zákona v neinerciální soustavě rotující rovnoměrně kolem pevné osy je ukázána na příkladu kuželového kyvadla. Problém je nejprve řešen v inerciální vztažné soustavě, správný výpočet je však opět doprovázen nesprávnými komentáři:

„Z hlediska pozorovatele v klidu popíšeme pohyb kuličky následovně: Kdyby kulička byla volná, pohybovala by se po nárazu rovnoměrným přímočarým pohybem ve směru vektoru **v** *a vzdalovala by se od bodu B. Tahová síla závěsu však zakřivuje její trajektorii.“*

Zakřivení trajektorie (popsané kinematickými veličinami – křivostí, resp. poloměrem křivosti) je určeno velikostí normálového zrychlení a velikostí rychlosti. Nelze tedy říci, že jedna ze sil působících na hmotný bod (v našem případě tahová síla niti) *„zakřivuje trajektorii“.* Zakřivení trajektorie je dáno spolupůsobením všech sil působících na hmotný bod (v našem případě síly tíhové a tahové). Z dalšího textu a odvození vztahu pro velikost rychlosti, která musí být kuličce kyvadla udělena, aby tato konala rovnoměrný pohyb po kružnici, to koneckonců také vyplývá.

„Kdyby kuličce v bodě B byla udělena jiná rychlost, než odpovídá uvedenému vztahu, konala by kulička pohyb po elipse.“

Autorům selhala prostorová představa: je-li kulička zavěšena na niti stálé délky, jsou jen dvě možnosti, kdy se pohybuje o rovinné křivce. Tou je buď kružnice ležící ve vodorovné rovině, kdy je kuličce udělena potřebná rychlost, nebo kružnice ležící ve svislé rovině, kyvadlo pak koná kmitavý pohyb (tzv. rovinné, nebo též jednoduché kyvadlo). V ostatních případech je trajektorií kuličky prostorová křivka, nikoli tedy elipsa.

R11 Jednoduché stroje

Tato partie rozšiřujícího učiva byla již komentována výše v poznámkách ke kapitole 3, v souvislosti se zásadní chybou v interpretaci třetího Newtonova zákona při řešení rovnováhy na nakloněné rovině.

R12 Bernoulliova rovnice

Na základě energiových úvah a práce tlakových sil je odvozena Bernoulliova rovnice ideální kapaliny ustáleně proudící skloněnou trubicí. Je vyřešen jeden příklad vyžadující kombinaci obou základních rovnic – rovnice kontinuity a Bernoulliovy rovnice. Výklad je podán dobře a srozumitelně. Terminologicky vhodnější než název *„tlaková práce“* by bylo slovní spojení „práce tlakových sil“.

R13 Měření rychlosti proudění tekutin

Je vysvětlen princip Pitotovy, Prandtlovy a Venturiovy trubice.

R14 Proudění reálné kapaliny

Kvalitativně je vysvětlen pojem laminárního a turbulentního proudění a vliv sil vnitřního tření na rychlostní profil.

R15 Obtékání těles reálnou tekutinou

Kvalitativní výklad závislosti odporové síly při proudění tekutiny kolem tělesa. Newtonův vzorec pro odporovou sílu prostředí – uveden jako fakt.

CD – Příklady a úlohy

Samostatný stručný komentář zasluhují řešené příklady a úlohy v hlavním textu. Jejich rozložení v jednotlivých kapitolách je následující (počet řešených příkladů / počet úloh):

- Úvod 0 / 9 (žádná z devíti úloh se nezabývá vektorovou algebrou)

- Kinematika hmotného bodu 7 / 40
- Dynamika hmotných bodů a soustavy hmotných bodů 3 / 39 (jen tři řešené příklady v tak důležité oblasti mechaniky!)
- Mechanická práce a mechanická energie 5 / 29
- Gravitační pole 1 / 33 (v kapitole se řeší i pohyby v homogenním tíhovém poli, jen jeden řešený příklad!)
- Mechanika tuhého tělesa 6 / 31 (vzhledem k absenci výkladu o dynamice rotačního pohybu žádný příklad ani úloha na toto téma)
- Mechanika kapalin a plynů 0 / 32 (žádný řešený příklad!)

Malý počet vzorově řešených příkladů a někde dokonce jejich absence jsou nepochopitelné. Student se naučí rozumět fyzice teprve při řešení problémů, potřebuje však názorné ukázky. Ty chybí a místo toho dostává text, občas formulačně dost zapeklitý. Úlohy v hlavním textu jsou na druhé straně tak triviální, že možná proto autoři mylně usoudili, že častější vzorová řešení nejsou potřeba. Na úlohách vyžadujících jen bezmyšlenkovité dosazení do vzorce se ovšem student fyzikálnímu myšlení nenaučí. Chybou učebnice [2] je, že lehké, avšak ne zcela triviální, a středně obtížné úlohy byly přesunuty na CD. Úlohy na CD nejsou navíc vždy toho druhu, aby se na nich student naučil fyzikálně uvažovat. Jsou často příliš jednoduché, nesrovnatelně lehčí než například úlohy ve Fyzikální olympiádě, které by měli umět řešit studenti zajímající se o fyziku a lépe pro ni disponovaní. I když jistě nelze přímo požadovat, aby tzv. Teoretické úlohy na CD byly „návody“ na řešení soutěžních úloh, přece jen by mohly být o něco komplexnější a nápaditější.

Komentář k oddílům souboru Teoretická cvičení (CD)

Cvičení 1 Počítání s vektorovými veličinami

Tři řešené příklady:
- skládání dvou sil různých velikostí v rovině, svírajících úhel 0°, 90°, 180°,
- skládání stejně velkých sil v rovině, svírajících úhel 90°, 60°, 120°,
- rozklad síly do dvou kolmých směrů.

Devět neřešených úloh téhož typu.

Používána Pythagorova věta a goniometrie. Ke škodě věci se nepracuje se složkami vektorů v ortonormální bázi.

Cvičení 2 Kinematika přímočarého pohybu

Tři řešené příklady:
- výpočet „průměrné rychlosti“ (zavedené v učebnici nevhodně jako skalár jako podíl celkové dráhy a celkového času) na základě znalosti velikosti rychlosti v jednotlivých úsecích trajektorie a dalších údajů,
- výpočet počáteční rychlosti a zrychlení automobilu při rovnoměrně zrychleném pohybu ze zadaných údajů,
- grafické znázornění velikosti rychlosti rovnoměrně zrychleného a rovnoměrně zpomaleného pohybu na čase (při zadaných počátečních rychlostech a zadaných zrychleních), grafické určení okamžiku, kdy bude velikost rychlosti stejná.

Třináct neřešených úloh obdobného typu.

V prvním řešeném příkladu je slovem „rychlost“ nesprávně označován skalár (viz též připomínky k odpovídající kapitole textu). Jde o průměrnou velikost rychlosti hmotného bodu. Jinak jsou řešené příklady vhodné pro pochopení problematiky i jako průprava k neřešeným úlohám, zejména příklad využívající grafické reprezentace. Mohly však být uvedeny řešené příklady i úlohy vyšší obtížnosti.

Cvičení 3 Kinematika křivočarého pohybu

Jediný vzorový příklad na rovnoměrný pohyb po kružnici v kombinaci s rovnoměrným přímočarým pohybem. Deset neřešených úloh.

Příklad i úlohy jsou zbytečně triviální, postrádají nápaditost. Úlohy vyžadují jen dosazení do vzorců – vztahy mezi velikostí rychlosti bodu na obvodu kola a úhlovou rychlostí, vztah pro dostředivé zrychlení, apod.

Cvičení 4 Dynamika přímočarého pohybu

Tři řešené příklady:

- výpočet zrychlení kostky sjíždějící po nakloněné rovině s uvážením tření,
- výpočet zrychlení kostky tažené po vodorovném stole bez tření na laně vedeným přes kladku, na němž je zavěšeno závaží,
- výpočet zrychlení dvou závaží různých hmotností visících na laně vedeném přes kladku.

Devět neřešených úloh.

V prvním příkladu je správný silový diagram. Není však jasná logika grafiky: k příkladu se vážou dva obrázky, v prvním z nich jsou síly, jimiž okolí působí na kostku, vyznačeny modře. V druhém obrázku je tíhová síla vyznačena černě a její průměty do směru nakloněné roviny a do směru k ní kolmého jsou vyznačeny modře. To se jeví jako matoucí. Škoda, že není provedena diskuse, při jakém úhlu se těleso dá do pohybu při zadaném koeficientu statického tření.

V druhém příkladu je zcela zavádějící komentář (viz též připomínku výše, ke kapitole 3), není vysvětleno, proč jsou tahové síly $\boldsymbol{F}$ a $\boldsymbol{F}'$, jimiž působí lanko na kostku a na závaží stejně velké (v kontextu se zanedbatelnou hmotností kladky) – je to konstatováno bez vysvětlení jako samozřejmý fakt. Zavádějící je v této souvislosti komentář o těchto silách jako vnitřních silách soustavy (jde sice o vnitřní síly soustavy, ale poznámka vzbuzuje dojem, že jsou vázány třetím Newtonovým zákonem). Zcela nesmyslné je tvrzení v alternativním řešení: *„Kladka pouze mění směr tíhové síly $m_2\boldsymbol{g}$ ...*“.

V třetím příkladu jde opět o tahové síly $\boldsymbol{F}$ a $\boldsymbol{F}'$, jimiž lanko působí na zavěšená závaží. Jejich velikost je stejná proto, že je hmotnost kladky považována za zanedbatelnou (vysvětlení spočívá v druhé impulsové větě, je však možné věc snadno vysvětlit i bez ní). Nic takového není provedeno, zato je uvedeno z obecného pohledu nesmyslné: *„Vlákno je napnuté po celé délce stejně, síly* $\boldsymbol{F}$ a $\boldsymbol{F}'$ *mají tedy stejnou velikost F.“* Příklady by byly pro pochopení dynamiky hmotných bodů přínosné, kdyby byly řešeny správně (správný formální výpočet při chybné interpretaci žádné porozumění nepřináší, naopak).

Neřešené úlohy jsou střední obtížnosti a odpovídají obtížnosti řešených příkladů.

Cvičení 5 dynamika křivočarého pohybu

Dva řešené příklady:

- řetízkový kolotoč (při zadané úhlové rychlosti, hmotnosti sedačky a poloměru kružnice, po níž se pohybuje sedačka, určit úhel, který svírá řetízek se svislým směrem a sílu napínající řetízek),
- automobil v zatáčce na neklopené silnici (určit maximální přípustnou rychlost při zadaném koeficientu statického tření a poloměru zatáčky, aby nedošlo ke smyku).

Osm neřešených úloh.

Příklady jsou vhodné, mohla být řešena i klopená zatáčka. Čtyři úlohy triviální na dosazení do vzorce pro dostředivou sílu, ostatní střední obtížnosti, odpovídají úrovni řešených příkladů.

Cvičení 6 Mechanická práce, výkon a účinnost

Dva řešené příklady:

- výpočet velikosti a práce síly působící na kostku vzhůru podél nakloněné roviny, koná-li kostka rovnoměrný pohyb vzhůru po nakloněné rovině po dané dráze, uvažuje se třecí síla, jíž působí podložka na kostku,
- určení závislosti velikosti zrychlení automobilu na jeho rychlosti za předpokladu dané konstantní odporové síly a daného konstantního výkonu motoru.

Jedenáct neřešených úloh.

Podstatou prvního z řešených příkladů je určení velikosti síly, výpočet práce, kterou tato síly vykoná po zadané dráze, spočívá už jen v dosazení do vzorce $W = F.s$.

V druhém řešeném příkladu se za vodorovnou složku výslednice sil formalisticky dosazuje výraz ($P.v^{-1} - F_{odp}$) a počítá se zrychlení. Přitom není proveden žádný obecnější rozbor silového působení na automobil (viz rovněž poznámku k pojmu „tažná síla motoru“ výše – komentáře ke kapitole 3). Použití grafického vyjádření závislosti vypočtené velikosti zrychlení na velikosti rychlosti je užitečné.

Úlohy jsou vesměs triviální, na dosazování do vzorců, nepřinášejí procvičení fyzikálních úvah.

Cvičení 7 Mechanická energie

Jeden řešený příklad zabývající se problémem, z jaké nejmenší výšky musíme volně vypustit *„malou kuličku, která bez tření klouže po nakloněné rovině ...“*, aby ještě prošla smyčkou o daném poloměru, v niž přechází nakloněná rovina. Deset neřešených úloh.

Příklad bývá obvykle označován jako „smyčka smrti“ a bývá standardní součástí souboru úloh týkajících se valivých pohybů. Autoři se samozřejmě museli valení vyhnout, neboť se o něm v tištěném textu učebnice ani v rozšiřujícím učivu nezmiňují. Jsou však zakleti v představě kuličky, kterou tedy nechali klouzat bez tření. Uskutečnit přitom pokus s kuličkou a učinit jednoduché zjištění, že se kulička bude vždy nějak valit, bez prokluzu či s částečným prokluzem, se nenamáhali. Jinak by jistě nechali klouzat kostičku. Úloha je vyřešena správně. Nesrozumitelná je však poznámka: *„Úlohu lze řešit také tak, že vyjdeme ze zákona zachování mechanické energie na začátku a v nejvyšším bodě válcové plochy“* (míněno smyčky). Zákona zachování mechanické energie přitom autoři museli použít, a také použili, při původním řešení. Samotný zákon zachování mechanické energie bez úvahy o silách působících na tělísko v nejvyšším bodě smyčky úlohu nevyřeší. Neřešené úlohy jsou opět příliš jednoduché, nevyžadují takřka nic jiného než dosazení do vzorců (výpočet kinetické energie při zadané hmotnosti a rychlosti, výpočet tíhové potenciální energie při zadané hmotnosti a výšce nad povrchem Země), popřípadě nejjednodušší variantu zákona zachování mechanické energie v homogenním tíhovém poli Země. Výjimkou je poslední úloha týkající se balistického kyvadla, která je ovšem také standardní, navíc vyžaduje použití zákona zachování hybnosti při nepružné srážce.

Cvičení 8 Gravitační pole

Dva řešené příklady:

- V příkladu s názvem *„Jak Newton dospěl ke gravitačnímu zákonu“* je ukázáno, že dostředivé zrychlení Měsíce při jeho oběhu kolem Země je nepřímo úměrné čtverci jeho vzdálenosti od středu Země.

- Druhý příklad *Můžeme „zvážit" naši Zemi?"* se věnuje výpočtu hmotnosti Země pomocí gravitačního zákona na základě znalosti gravitačního zrychlení a výpočtu průměrné hustoty zemského tělesa.

Osm neřešených úloh.

V prvním řešeném příkladu je provedeno srovnání dostředivého zrychlení Měsíce při jeho pohybu kolem Země (vypočteného na základě znalosti jeho oběžné doby a vzdálenosti od středu Země) s hodnotou g = 9,81 m/s^2 a vypočten poměr poloměru Země a vzdálenosti Měsíce od středu Země. Dospívá se k závěru, že dostředivé zrychlení je nepřímo úměrné čtverci vzdálenosti. Tento způsob není uveden do historických souvislostí (jak skutečně dospěl Newton ke gravitačnímu zákonu?). Zcela pominuta je souvislost s Keplerovými zákony, které právě jsou východiskem Newtonova odvození gravitačního zákona. Poněkud „zvláštní" je obrázek C8-1, vztahující se k tomuto příkladu: ačkoli se explicitně konstatuje, že Měsíc obíhá po kružnici, trajektorie vyznačená v obrázku na první pohled kružnicí není – vzdálenost středu malé a velké kružnice (při velikosti obrázku 110%) je 3 cm, vzdálenost koncové šipky od středu velké kružnice (při téže velikosti obrázku) je 2,5 cm. I když jsou obrázky jen schematické, neměly by obsahovat zjevné nesrovnalosti.

Podstatou druhého řešeného příkladu je triviální dosazení do vzorce pro gravitační sílu a znalost gravitačního zrychlení na povrchu Země. Poněkud směšně působí slovo „odvodili" ve formulaci *„Vyjdeme ze vztahu pro velikost gravitačního zrychlení na povrchu Země, který jsme odvodili pro případ kulového modelu Země $a_g = GM_Z/(R_Z)^2$."* Úlohy jsou opět nezajímavé, vyžadující pouze dosazení do vzorce, s výjimkou úlohy týkající se Jollyho metody přibližného určení gravitační konstanty (řešení sice rovněž vyžaduje pouhé dosazení, studenti se však aspoň seznámí s něčím, co zřejmě dosud nevěděli).

Cvičení 9 Pohyb těles v gravitačním poli

Dva řešené příklady:

- vodorovný vrh
- oběh umělé družice kolem Země při znalosti vzdálenosti perigea a apogea.

Devět úloh k řešení.

V prvním příkladu je zadána počáteční rychlost hmotného bodu a jeho počáteční výška nad povrchem Země, počítá se velikost rychlosti na konci prvních tří sekund a vyžaduje se zakreslení trajektorie. Úloha je samozřejmě jednoduchá, pozitivní je, že se počítají složky rychlosti v ortonormální bázi spojené s vodorovným a svislým směrem – autoři příkladů jsou možná jiní než autoři hlavního textu, v němž se se složkami nepracuje. Řešení je v pořádku, zásadním nedostatkem trpí schematický obrázek C9-1, v němž je délka šipky znázorňující počáteční rychlost na první pohled delší než délka šipky znázorňující vodorovný průmět rychlosti v obecném okamžiku (šipka počáteční rychlosti je stejně dlouhá jako šipka označující celkovou rychlost v obecném okamžiku). Obdobně jako ve Cvičení 8 jde i zde o trestuhodnou a zbytečnou věcnou i didaktickou chybu v obrázku.

V druhém příkladu chtěli autoři asi řešit něco realistického. Zadání se proto týká první družice Země Sputnik 1. Zadanými daty jsou výška družice nad povrchem Země v perigeu a apogeu, úkolem je určit průměrnou velikost rychlosti (tj. skalární veličinu, nazývanou v textu *„průměrná rychlost"*) a dobu oběhu. Realitu autoři upravili tak, že nechali družici obíhat po kružnici o poloměru rovném součtu poloměru Země a aritmetického průměru uvedených dvou vzdáleností. Zřejmě si neuvědomili, že tento „modelový poloměr" je roven velké poloose skutečné eliptické dráhy. Rozdíly od skutečných hodnot jsou samozřejmě zanedbatelné, situace však mohla být diskutována podrobněji.

Úlohy k řešení jsou standardního typu, spíše jednodušší.

Cvičení 10 Statika tuhého tělesa

Jeden řešený příklad (rovnováha žebříku opřeného o svislou stěnu). Jedenáct neřešených úloh.

Silový diagram je neúplný, chybí tlaková a statická třecí síla, jimiž podložka působí na žebřík. Momenty těchto sil vzhledem k jejich působišti jsou sice nulové, takže výpočet je v pořádku, neúplné silové diagramy však znesnadňují pochopení věci. Zmíněné síly měly být zakresleny s příslušným komentářem a pro úplnost měly být vypočteny jejich velikosti. Velikosti sil v obrázku nejsou zakresleny ve správném poměru, velikost síly ***F*** udržující žebřík v rovnováze, vypočtená na základě zadaných hodnot, je více než třikrát menší než tíhová síla žebříku, v silovém diagramu činí její velikost asi dvě třetiny velikosti tíhové síly. Stejná výhrada jako výše – i schematické obrázky mají být alespoň zhruba ve správných proporcích.

Většina neřešených úloh se týká zápisu podmínek statické rovnováhy, nebo výpočtu polohy těžiště soustavy, úlohy jsou nižší, resp. střední obtížnosti.

Cvičení 11 Pohyb tuhého tělesa

Dva řešené příklady:

- výpočet práce potřebné k roztočení setrvačníku na danou frekvenci,
- výpočet zrychlení závaží zavěšeného na vlákně namotaném na válci.

Dvanáct neřešených úloh.

Oba příklady jsou jednoduché, jsou založeny na energiových úvahách, neboť hlavní text ani rozšiřující učivo se nezabývají dynamikou rotačního či valivého pohybu. V druhém příkladu se přitom automaticky předpokládá, že závaží klesá s konstantním zrychlením. Při chybějící možnosti to dokázat (není k dispozici druhá impulsová věta) to mělo být alespoň komentováno – studentovi to nemusí být zřejmé. Neřešené úlohy jsou, vedle úloh, v nichž je úkolem vypočíst moment setrvačnosti tělesa, zaměřené na energiové výpočty. Jedná se o úlohy nižší obtížnosti.

Cvičení 12 Archimédův zákon

Dva řešené příklady na výpočet ponořeného objemu plovoucího tělesa (ledová kra, loďka). Devět úloh k řešení. Příklady jsou zvoleny vhodně, úlohy rovněž.

Cvičení 13 Proudění tekutin

Dva řešené příklady:

- kombinace vodorovného vrhu a rovnice kontinuity (výpočet velikosti rychlosti v hadici před výstupem vody tryskou na základě znalosti potřebných parametrů vrhu),
- kombinace rovnice kontinuity a Bernoulliovy rovnice (výpočet rychlosti proudění na základě znalosti poklesu tlaku v zúženém místě trubice).

Osm neřešených úloh.

Příklady i úlohy standardního typu (vzhledem k obsahu hlavního textu nic složitějšího ani zadávat nelze).

Grafická úprava

Grafická úprava textů je pěkná, ve vydání [2] působí opticky velmi dobrým dojmem občasné sympaticky střízlivé zabarvení vztahů a obrázků, stejně jako tmavě modré zabarvení tučného písma a rámečků obklopujících (podle názoru autorů) důležitá tvrzení či závěry. Nevýhodou spíše obsahovou než grafickou je ovšem přehnané množství zarámovaných formulací, které mají často charakter nevysvětlených pouček vyšší či nižší důležitosti, přičemž míra důležitosti není graficky nijak rozlišena. Stejná grafická úprava (zarámování) tak přisuzuje stejnou důležitost např. druhému Newtonovu zákonu ([2], str. 81), jako konstatování *„Tíhová síla a tíha tělesa jsou fyzikálně různé veličiny stejné velikosti, které však mají obě svůj původ v tíhovém poli Země.“* ([2], str. 138). Ve vydání [2] je přes 70 zarámovaných formulací na 227 číslovaných stranách textu (včetně úvodních stran kapitol s obrázkem, řešených příkladů, zadání úloh, shrnutí a rejstříku, v nichž se rámečky nevyskytují). Na tři strany skutečně výkladového textu tak připadá rozhodně více než jeden rámeček, existují dokonce strany, na nichž je více než jeden rámeček. Tolik důležitých definic, principů, zákonů snad klasická mechanika ani neobsahuje. Pokud student při samotném čtení učebnice nabyl dojmu, že fyzika je nudný soubor pouček bez logické struktury a vzájemné souvislosti, množství rámečků jej v tom leda utvrdí.

Závěry

Hodnocení textů uzavíráme podle kritérií uvedených v úvodu recenze:

- vhodně vybraný vzdělávací obsah a jeho fyzikální správnost (včetně názorných /a správných!) obrázků:

  Vzdělávací obsah učebnice je zvolen vhodně. Je tvořen tradičně, základními nepominutelnými kapitolami klasické (newtonovské) mechaniky. Také používaný matematický aparát odpovídá úrovni matematického vzdělání studentů prvního ročníku gymnázia, v němž se mechanika vyučuje (učivo základní školy), až na nepochopitelnou absenci základů tolik potřebné vektorové algebry. Výklad však bohužel obsahuje řadu zásadních fyzikálních chyb, matoucích a zavádějících formulací, či dezinterpretací (viz příklady uváděné výše), fakticky znemožňujících správně a do hloubky pochopit podstatu základních principů mechaniky – Newtonových zákonů. Negativní dopad těchto chyb se projevuje i v dalším, vysokoškolském, studiu i u studentů, kteří se o fyziku aktivně zajímají. Vzhledem k opakovanému vydávání učebnice (od roku 1993, tj. za čtvrt století, popáté) bez opravy těchto chyb, a to přes kritické připomínky v recenzích a fyzikálně-didaktických článcích v minulosti i aktuálně[14], nelze doufat, že by stávající kolektiv autorů dokázal v dalším „přepracovaném“ vydání tyto chyby odstranit.

- vhodná organizace a struktura výkladu:

  Struktura výkladu je v [1], stejně jako volba obsahu, tradiční a lze ji považovat přiměřenou možnostem studentů, jimž je učebnice určena. Kritiku ovšem zaslouží fakt, že text nerozlišuje

[14] Viz například:
[1] Lacina A., Musilová J. a kol.: Postrecenze souboru učebnic Fyzika pro gymnázia. Školská fyzika **VI**, č. 2 (2000) 80-84,85-88; č. 3 (2000) 61-64, 65-66, 67-68, 69-71,72-77, 78-80. Dostupné také z: http://www.physics.muni.cz/kof/index.php?clanek=recenze.
[2] Žák V.: Síly působící na matematické kyvadlo na 7 + 1 způsob. Matematika-fyzika-informatika **25** (2016) 266.
[3] Musilová J.: Nejde jen o kyvadlo. Československý časopis pro fyziku **66**, č. 6 (2016) 382.

zásadní poznatky (definice, principy, zákony, závěry, …) od méně důležitých, a často až zbytečně přeceňovaných tvrzení. Všechny formulace považované autory za podstatné, jsou bez rozlišení míry důležitosti zarámovány a nepřispívají tak u studenta k vybudování vědomí logické a hierarchické stavby fyziky, redukujíce ji na pouhý soubor pouček. Vydání [2] bohužel tento nedostatek ještě posiluje tím, že část učiva, která k výkladu přirozeně náleží, má-li být pochopitelný, přesouvá na CD jako tzv. „rozšiřující učivo“, resp. „teoretické úlohy“. Toto učivo většinou není faktickým rozšířením toho, co by měl gymnazista z mechaniky pochopit a alespoň částečně prakticky zvládnout. Naopak, jde o nepromyšlenou redukci učiva uváděného v hlavním (tištěném) textu, tedy o ochuzení, jehož vinou formulace hlavního textu často ztrácejí návaznost. Rozdělení učiva na „hlavní“ a „rozšiřující“ také uspořádáním je pro studium velmi nekomfortní (čtenář zajímající se o rozšíření učiva musí nepohodlně přecházet z tištěné učebnice na CD). Uvedené řešení ovšem není výmyslem autorů, nýbrž úlitbou pokaženým Rámcovým vzdělávacím programům, které bez rozmyslu a porozumění věci okleštily výuku fyziky na gymnáziích natolik, že ji fakticky ochromily. Myšlenka připojení CD k tištěné učebnici však své uplatnění nachází v animacích a videoexperimentech, z nichž (pouze) některé se vhodně vztahují k učivu, či v historických poznámkách.

- zjednodušení přiměřené cílové skupině (provedené na úkor úplnosti či přesnosti výkladu, nikoliv však jeho správnosti!):

  Výklad je cílové skupině přizpůsoben jednak zjednodušenými fyzikálními situacemi, byť nerealistickými (takřka vytrvalé a někdy nefunkční zanedbávání tření, zanedbávání odporu prostředí – zasloužil by alespoň kvalitativní výklad, klouzáním kuličky po podložce bez rotace namísto zjednodušení hmotným bodem, apod.) Matematický aparát rovněž odpovídá úrovni matematického vzdělání cílové skupiny. Na škodu však je již zmíněné nezavedení některých operací s vektory (počítání se složkami v ortonormální bázi, vektorový a skalární součin), jež by absolventi základní školy snadno pochopili a které by výrazně usnadnily zavedení některých důležitých pojmů (práce, moment síly a moment hybnosti vzhledem ke vztažnému bodu), aniž by musely být obcházeny zbytečně složitými a ve výsledku málo pochopitelnými slovními formulacemi.

- volba vhodných experimentů a jejich správný výklad:

  V tištěném textu (tedy v „základním“ učivu), jsou v úvodních pasážích kapitol i v průběhu výkladu některé experimenty zmiňovány, jak je jistě v pořádku. Jejich účinek je však někdy sporný, neboť zůstávají jen na myšlenkové úrovni – buď proto, že představují takovou míru idealizace, že by nebylo možné je uskutečnit (kulička klouzající bez valení po vodorovné rovině, popř. ve smyčce), nebo se autoři [2] nesnažili je realizovat třeba formou videoexperimentů, jimž věnovali prostor na CD (např. demonstrace k druhému Newtonovu zákonu popisovaná na str. 80 není realizována jako videoexperiment vůbec, přitom skutečný experiment by mohl být sestaven poměrně jednoduše; v případě pohybů v homogenním tíhovém poli Země jsou na CD jen animace). Na CD je celkem 5 videoexperimentů (V1 – V5). Výklad k některým z nich je zavádějící (experiment V5), jindy je sice správný, avšak tak stručný, že ke škodě věci nevystihuje všechny aspekty (experiment V3). Konkrétní komentář viz výše. Žádný videoexperiment není věnován statice či proudění kapalin, přestože by jejich realizace nebyla náročná.

- volba vhodných příkladů, námětů k přemýšlení a řešených i neřešených úloh:

Příklady a úlohy v tištěném textu dokumentují „základní“ učivo, jsou tedy odpovídajícím způsobem koncipovány na jednodušší až triviální úrovni (často jen dosazení do vzorce). Pro studenty může být jejich vyřešení snadné, a tedy i do jisté míry motivační, námět k zamyšlení však příliš neposkytují a ani příliš nepřispívají k pochopení problematiky. Teoretické úlohy ve vydání [2] na CD, ve vydání [1] v textu, jsou lehčí či střední obtížnosti, schopnost studenta je vyřešit však nelze nazvat „rozšířením“ jeho fyzikálního poznání – měla by být samozřejmá. Řešené teoretické úlohy rovněž obsahují fyzikální nedostatky (viz komentář výše).

- vysoká úroveň slovních formulací (sdělnost, srozumitelnost, čtivost) a grafického zpracování:

  Grafická úroveň je dobrá až na příliš výrazné vyznačení (rámečky) poznatků nižší důležitosti – komentář viz výše. Slovní formulace jsou často nepřesné či dokonce nesprávné. Jiné jsou pak ve snaze o (občas zbytečnou) přesnost příliš komplikované, zavádějící až nesrozumitelné – konkrétní komentáře viz výše.

Souhrnné hodnocení animací a videoexperimentů na CD může být stručné: Animace a videoexperimenty by mohly být velmi užitečnou pomůckou pro studenty i učitele, kdyby často nebyly samoúčelné, byly lépe vázány k hlavnímu i rozšiřujícímu textu a zejména neobsahovaly chyby a zavádějící komentáře. Kromě toho je položka Videoexperimenty poměrně chudá, zejména v oblasti dynamiky hmotného bodu (2 pokusy), tuhého tělesa (1 pokus), hydrostatiky a hydrodynamiky (žádný pokus). Příležitost přiblížit studentům pomocí animací a videí experimentů konkrétní podstatu pro ně poměrně abstraktních pojmů, principů a zákonů mechaniky a přispět k jejich hlubšímu pochopení zůstala z valné části nevyužita.

Shrnutí: Učebnice až na výjimky nesplňuje kritéria stanovená v úvodu recenze.

- Obsahuje řadu fyzikálních chyb a interpretačně přinejmenším nepřesných (a z didaktického hlediska nepříliš vhodných) komentářů, které mohu ve čtenáři vyvolávat dojem, že fyzika snad ani nemá žádnou hierarchickou a logickou strukturu. Zásadním nedostatkem jsou chybné silové diagramy, nerespektující požadavek, aby základní úvaha týkající se aplikace Newtonových zákonů na konkrétní soustavu vycházela ze specifikace působení okolí **na danou soustavu**. Ač se to může zdát nadnesené, právě tyto chyby, zejména jsou-li reprodukovány učiteli, jimž je učebnice ministersky schválenou oporou, se podílejí na tom, že studenti přicházející po maturitě studovat fyziku na univerzitu zákonům mechaniky rozumějí dosti povrchně. Snaha autorů o snížení rozsahu textu by mohla být daleko úspěšnější, kdyby principy mechaniky správně aplikovali – a ani by nemuseli odsouvat podstatné partie mimo hlavní text.
- Tzv. „rozšiřující učivo“ přináší sice poznatky navíc oproti učivu, které zůstalo v tištěném textu, o významné rozšíření znalostí a dovedností, které bychom u studenta gymnázia měli/mohli očekávat, se však příliš nejedná. Spíše je situace taková, že sem byly odsunuty partie, které měly zůstat v hlavním textu, které se však nepříliš kvalifikovaným „řezem“ nedostaly do hlavního učiva v RVP G. Jejich přesunem na CD se mnohde ztratila logická linie fyzikálního uvažování a hlavní text tak často působí dojmem souboru navzájem nesouvisejících pouček.
- Teoretická cvičení rovněž znamenají odsunutí úloh, které dříve byly součástí textu, do skladu na CD. V hlavním textu zůstaly pouze úlohy na dosazení do vzorců, popřípadě úlohy založené na triviálních úvahách.

- Animace a videoexperimenty jsou často příliš jednoduché a nic nového neobjasňují, studenti pasivně sledují průběh nějakého grafu bez možnosti vytvořit si jej třeba na základě vlastní volby parametrů. Často nejsou animace či experimenty těsně vázány na hlavní učivo.
- Slovníček pojmů a historické poznámky lze hodnotit pozitivně, jsou velmi užitečné.

Je možné, že redukce učiva zařazeného do hlavního textu byla stanovena jako nutná podmínka, aby učebnice mohla být vůbec vydána a získat ministerskou doložku. O to více se mělo dbát na

- promyšlenost koncepce redukovaného textu a jeho logické linie,
- odbornost a pečlivost při zpracování obsahu s důrazem na vnitřně konzistentní, fyzikálně správný a didakticky vhodný výklad základních pojmů a zákonů newtonovské mechaniky na úrovni možností gymnazistů jej správně chápat,
- důslednost textového i grafického odlišení zásadního obsahu (definice rychlosti a zrychlení, Newtonovy zákony) od méně důležitých a nedůležitých pojmů (např. pojem tíha),
- volbu vhodných experimentů, příkladů a úloh, jak co do obsahu, tak množství, které by se přímo vázaly k textu, včetně potřebných číselných odhadů při aproximacích,

přičemž splnění prvních dvou požadavků mělo být naprosto zásadní pro schválení a vydání textu a jeho doporučení pro výuku na gymnáziích.

Jistě se ozve námitka, že ani studenti fyziky nebudou ve své profesi potřebovat konkrétní poznatky klasické newtonovské mechaniky, o adeptech jiných oborů nemluvě. Hlavním účelem studia a základní rolí (dobrých) učebnic ovšem není osvojit si právě tyto poznatky, či konkrétní detaily mechaniky. Studium fyzikálních disciplín má hlavně přispět k poznání struktury a metod fyziky a k rozvoji fyzikálního, ale i obecně logického myšlení. Právě tento cíl by měli mít na mysli autoři učebnic a učitelé, ale také (a možná především) tvůrci koncepci výukových programů.

Závěrečná doporučení:

- Po čtvrtstoletí uplynulém od prvního k nejnovějšímu vydání učebnice nazrává doba k důkladnější obměně stylu výkladu a jeho přizpůsobení současným potřebám gymnaziální výuky fyziky, s důrazem na fyzikální správnost.
- Angažovat mladší tým kvalifikovaných autorů zejména z řad středoškolských učitelů, kteří jednak dokážou vysvětlit fyziku správně, jednak jsou ze zkušenosti přesně informováni o tom, co a při jakém přístupu je pro studenty středních škol zvládnutelné.
- Zapojit vysokoškolské pedagogy se vztahem k fyzikálnímu vzdělávání jako konzultanty a garanty fyzikální správnosti textů, popřípadě také jako autory vhodných doplňkových pasáží týkajících se moderních poznatků dané disciplíny a představujících skutečné „rozšiřující učivo").
- K recenzím učebnic zvolit nezávislé odborníky bez vztahu k autorskému týmu.
- V případě pokračování ve vydávání stávající učebnice je nutné opravit fyzikální nesrovnalosti a po odborné diskusi s učiteli z praxe případně také některé didaktické postupy.

Děkuji svým kolegům Doc. PaedDr Janě Škrabánkové, Ph.D., a Doc. RNDr. Leoši Dvořákovi, CSc., za velmi pečlivé pročtení rukopisu a podnětné připomínky.

[1] Bednařík M.†, Široká M.†, Bujok P.: *Fyzika pro gymnázia - Mechanika*. Prometheus, Praha 1993. 1. vydání, 343 s. (recenzenti J. Krejčí, K. Malinský, J. Bartuška).

[2] Svoboda E., Bednařík M.†, Široká M.†: *Fyzika pro gymnázia - Mechanika*. Prometheus, Praha 2013. Dotisk 5., přepracovaného vydání, 231 s. + CD (recenzenti L. Dvořák, E. Konečná, J. Krejčí).

[3] Dvořák L., Dvořáková I., Koudelková V. (editoři): *K problematice fyzikálního vzdělávání v ČR před revizemi RVP.* (Podkladová studie k revizi rámcových vzdělávacích programů.) Národní ústav pro vzdělávání, Fyzikální pedagogická společnost JČMF, Praha 2018. Dostupné na http://kdf.mff.cuni.cz/RVPfyzika/lib/exe/fetch.php?media=podkladova_studie.pdf