

Fyzikální neadekvátnosti v učebnicích

5.1 ÚVOD

Předcházející dvě kapitoly byly zaměřeny na subjekty edukace, mohli bychom říct na aktéry vzdělávání, a na jejich interakce (zejména ve výuce). Do kvality vzdělávání však promlouvají také další „aktéři“, např. edukační média, z nichž významné místo zaujímají učebnice. Učebnice jsou významným zdrojem obořového (fyzikálního) obsahu (přirozeně nejen něho). Jelikož je kvalita fyzikálního vzdělávání (ať už chápaná jakýmkoliv způsobem – viz kapitola 1) přirozeně spjata s fyzikálním obsahem, který je v procesu vzdělávání komunikován, je zřejmé, že diskuze kvality fyzikálního vzdělávání by měla mimo jiné zahrnovat také diskuzi učebnic fyziky z hlediska jejich obsahu.

Jen stručně okomentujme, že výzkumu učebnic, jejich různých charakteristik, jejich používání, jejich vnímání žáky a učiteli je v rámci výzkumů vzdělávání věnován poměrně značný prostor. V českém prostředí poskytuje nejzákladnější přehled Průcha (2009b, s. 265–270), který odkazuje na některé domácí a zahraniční výzkumy učebnic. Pokud se zaměříme na české učebnice fyziky, pak se jimi z hlediska historické perspektivy nedávno věnovali Kolářová (2013), Lepil (2013), Volf a Vybíral (2013). Českými učebnicemi fyziky, zejména jejich používáním a hodnocením učiteli a žáky se podrobně zabývali Svoboda a Höfer (2008, s. 62–165).

Na možnosti a rizika práce s učebnicemi ale upozornila v českém prostředí již Fenclová (1984, s. 33): „Učitel by se měl s učebnicí důkladně seznámit, musí ji však chápat ne jako zdroj vědomostí, nýbrž jako významný didaktický prostředek umožňující předávání fyzikálního poznání žákům. Role učitele také nespočívá v tom, že žákům učebnici co nejvěrněji reprodukuje. Učebnici může učitel užívat vskutku tvořivě a mnohostranně, v souvislostech celého výukového projektu a procesu.“

Zúžíme-li pozornost na učebnice fyziky a jejich obsahové nepřesnosti, zavádějící informace až chyby, lze říct, že je jim dílčím způsobem věnována pozornost jak v zahraničí (např. Campanario, 2006; Sliško, 2006; Zajkov, Gegovska-Zajkova, & Mitrevski, 2017), tak v České republice (např. příspěvky Musilové, 2012, 2016).

V této kapitole se zaměříme na několik problematicky pojatých fyzikálních témat. Jejich výběr provedl autor této knihy na základě zkušeností s výukou fyziky na gymnáziu, vysoké škole a na základě podnětů ze seminářů pro učitele fyziky. Výběr témat je tedy omezený a subjektivní. V některých případech se jedná o přílišná zjednodušení fyzikální podstaty, někdy můžeme mluvit přímo o fyzikálních omylech, jindy jde spíše o prezentování učiva nevhodným způsobem (např. není upozorněno na důležitý předpoklad). Všechny tyto případy zde budeme označovat souhrnně jako *fyzikální neadekvátnosti*. Pokud jde o souvislost s výzkumným nástrojem ZAKVAF (viz kapitola 2), je možné odkázat k parametru *využití fyzikální odbornosti učitele* (viz Příloha 2, 1.1) a *práce s textem* (2.10). K těmto parametrům se ještě vrátíme v podkapitole 5.10.

Předem je vhodné uvést, že nelze z jednoho nebo několika málo problematických momentů z hlediska fyzikálního obsahu usuzovat na celkovou nekvalitu („nehodnotnost“) daných učebnic. To považujeme za neopodstatněné. Upozornění na fyzikální neadekvátnosti v učebnicích vnímáme ale jako mimořádně důležité.

5.2 FORMÁLNÍ ZACHÁZENÍ S VELIČINOVÝMI VZTAHY

V učebnici Lepila, Bednaříka a Hýblové (2014, s. 162) je v souvislosti s popisem proudění ideální kapaliny uvedeno následující:

„...vyjádříme potenciální energii, která závisí na hloubce pod povrchem kapaliny a pro jednotkový objem kapaliny je určena hydrostatickým tlakem.

Tlaková potenciální energie

$$\frac{E_p}{V} = \frac{mgh}{V} = \rho gh = p.$$
⁶⁹

Na první pohled se může zdát, že odvození je adekvátní, protože je vystavěno ze známých vztahů: $E_p = mgh$, $\rho = \frac{m}{V}$, $p = \rho gh$. Podstatné ovšem je, které veličiny použité symboly (písmena) označují. Zaměřme pozornost na symbol h .

69 Veličina označená symbolem h je oproti citované publikaci tučně vyznačena, protože na ní bude v dalším zaměřena pozornost.

Zatímco v rámci výrazu mgh má zřejmě význam výšky (nad zvolenou hladinou nulové tíhové potenciální energie), tak ve výrazu ρgh má význam hloubky pod povrchem (hladinou) kapaliny. Z uvedených vztahů a úsporného komentáře v citované učebnici není ovšem zřejmé, odkud kam se měří výška h (čeho je to výška?). Obdobné rozpaky může vyvolávat hloubka h . Není jasné, proč by se výška a hloubka měly obecně rovnat a proč je tedy možné provést výše uvedené odvození.

Předložené odvození proto považujeme za neadekvátní. Obdobně je uvedeno také ve starším vydání této učebnice (Lepil, Bednařík, & Hýblová, 1994, s. 157). Vzhledem k tomu, že v uvedených dvou učebnicích není uveden podrobnější komentář, nemáme bližší doklady o tom, jak autoři těchto textů uvažovali. Snad byli motivováni snahou doložit, že tlak je možné vyjádřit pomocí stejných fyzikálních jednotek jako objemovou hustotu energie; možná byly jejich záměry jiné.

Při odvozování Bernoulliovy rovnice je možné doporučit postup uvedený Havránkem (1995, s. 123–125), který „tlakovou potenciální energii“ v této souvislosti nezavádí.

5.3 ZKRESLUJÍCÍ PŘEDSTAVA O SOUVISLOSTI SÍLY A POHYBU

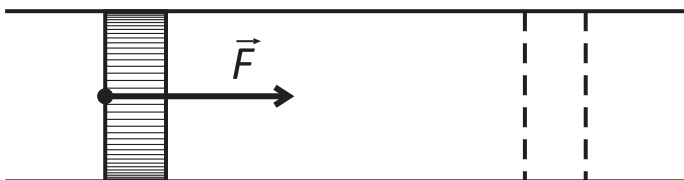
Také následující fyzikální neadekvátnost se týká proudění ideální kapaliny, konkrétně ustáleného proudění ve vodorovné trubici. V učebnici Svobody, Bednaříka a Široké (2013, s. 217) je uvedeno, že „... Působením síly \vec{F}_1 na průřez o obsahu S_1 se tento průřez posune za dobu Δt o vzdálenost $\Delta x_1 = v_1 \Delta t \dots$ “. Z obrázku (v téže učebnici na s. 216) a dalšího textu je pak patrné, že se jedná o část trubice, ve které se obsah průřezu nemění.

Pokud by síla \vec{F}_1 byla jediná nenulová síla, která na zkoumanou část kapaliny působí, pak by měla kapalina v této (nezužující se, ani nerozšiřující se) části trubice nenulové zrychlení. Zrychlování kapaliny v části trubice, ve které se obsah průřezu nemění, je ale v rozporu s předpokladem ustáleného proudění. Zkoumaná část ideální kapaliny se totiž v trubici s neměnným průřezem musí pohybovat v ustáleném případě rovnoměrně přímočaře, tj. s nulovým zrychlením, a tudíž podle druhého Newtonova pohybového zákona musí být výsledná vnější síla na ni působící nulová (kromě síly \vec{F}_1 , kterou na zkoumanou část kapaliny působí např. okolní kapalina zleva, působí ještě opačná síla $-\vec{F}_1$, kterou působí okolní kapalina zprava).

V další části textu (tamtéž, s. 217) je sice uvedena síla \vec{F}_2 , která je opačně orientovaná a působí v širším průřezu, nicméně výše uvedená myšlenka, že

„působením síly se průřez posune“⁷⁰ zůstává i tak fyzikálně neadekvátní. Síla \vec{F}_1 totiž není příčinou popsání pohybu.

V souvislosti s ustáleným prouděním ideální kapaliny ve vodorovné trubici je v některých učebnicích uvedena ilustrace podobná Obrázku 1 (Bednařík, Široká, & Bujok, 1993, s. 230; Svoboda et al., 2006, s. 115). Autoři těchto textů na základě uvedené ilustrace a úvahy o posunujícím se pístu při stálé tlakové síle \vec{F} dospívají k pojmu „tlaková potenciální energie“ (viz komentář na konci podkapitoly 5.2). V kontextu ustáleného proudění považujeme tento obrázek za fyzikálně neadekvátní (viz výše uvedená argumentace).



Obrázek 1: Ilustrace využívaná v učebnicích v souvislosti s ustáleným prouděním ideální kapaliny

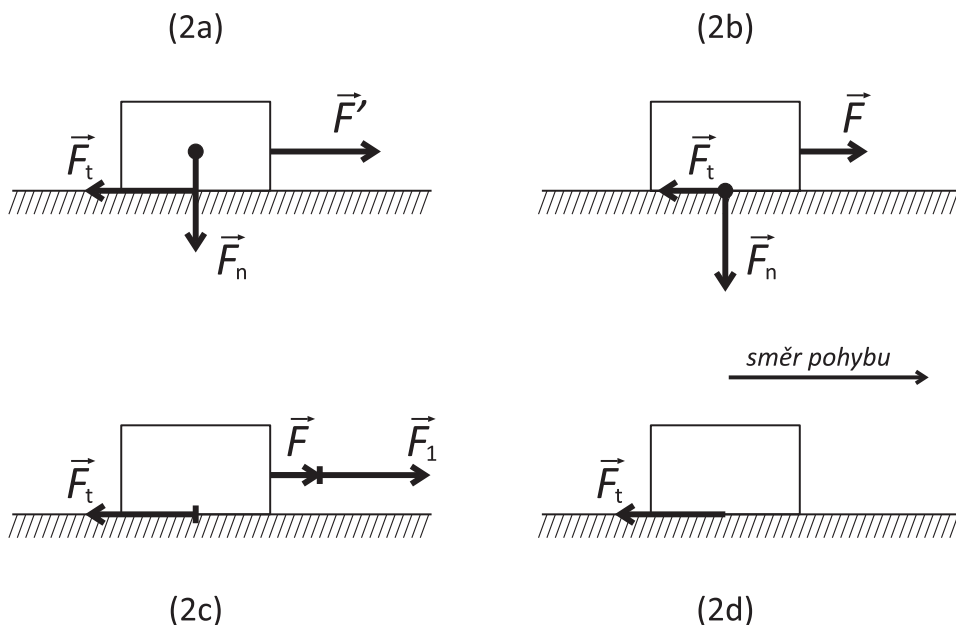
Z uvedené analýzy učebnic vyplývá, že některé učebnice mohou podporovat častou miskoncepci uvedenou a diskutovanou Mandíkovou a Trnou (2011, s. 78), že *při každém pohybu (i rovnoměrném přímočarém) je nezbytné, aby na těleso působila síla ve směru tohoto pohybu.*

5.4 NEKONZISTENTNÍ ZOBRAZOVÁNÍ SIL PŮSOBÍCÍCH NA TĚLESO

Na fyzikální neadekvátnosti v souvislosti s diagramy sil, které působí na posunující se těleso se třením (ale i obecně na další tělesa), upozornila v poslední době Musilová (2016, s. 395). Pomocí Obrázku 2 a komentářů níže se také my pokusíme upozornit na některé neadekvátnosti v silových diagramech, které jsou převzaty z různých českých učebnic (a námi upravené). Pokud přijmeme, že cílem silového diagramu je napomoci zjednodušeným nákresem tomu, aby si žák uvědomil, jaké objekty na zkoumané těleso působí (všechny vnější síly, které vystupují v druhém Newtonově pohybovém zákoně), můžeme za neadekvátnost v uvedených diagramech považovat to, že chybí znázorněna tíhová síla, kterou působí Země na zkoumané těleso. Síla \vec{F}_n v Obrázku 2a je interpretována jako tlaková síla, kterou kvádr působí na podložku, nikoli jako tíhová

⁷⁰ Z fyzikálního hlediska lze považovat za vhodnější mluvit o pohybu (posunování) vrstvy kapaliny místo o posunování průřezu, což není striktně vzato část tělesa vyplněná látkou, ale spíše geometricky vymezená množina bodů.

síla, kterou působí Země na kvádr (Bednařík & Šíroková, 2000, s. 86). Stejně je interpretována síla \vec{F}_n v Obrázku 2b. Síla \vec{F}_n je tedy v diagramech navíc; tou nepůsobí okolní objekty na zkoumané těleso, ale naopak zkoumané těleso na okolní objekty. V diagramech na Obrázku 2 chybí tlaková síla, kterou působí na těleso podložka.

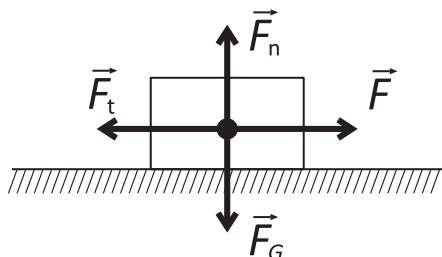


Obrázek 2: Různé diagramy sil, které působí na těleso posunující se se třením: (2a) Převzato z učebnic Bednaříka a Šírokové (2000, s. 85) a upraveno; (2b) převzato z učebnice Lepila et al. (2014, s. 53) a upraveno; (2c) převzato z učebnice Svobody et al. (2006, s. 99) a upraveno; (2d) převzato z učebnice Lepila et al. (1994, s. 55) a upraveno

Jako fyzikálně adekvátnější navrhuje silový diagram na Obrázku 3. Jsou v něm uvedeny všechny vnější síly, které působí na zkoumané těleso (pohybující se rovnoměrným přímočarým pohybem): tíhová síla \vec{F}_G , kterou působí Země na těleso; tlaková síla \vec{F}_n , kterou působí podložka; třecí síla \vec{F}_t , kterou působí podložka ve styku s tělesem; tahová síla \vec{F} , kterou působí další těleso (např. prostřednictvím provázku). Případnému zbytečnému dilematu, kde znázornit působíště jednotlivých sil, se můžeme vyhnout tak, že působíště všech sil umístíme do jediného bodu.⁷¹ Skutečná působíště vnějších sil a další síly,

71 Jedná se o hmotný střed; v našem obrázku (těleso znázorněno homogenním obdélníkem, resp. kvádrem) jde zároveň o geometrický střed. Těleso tak vlastně nahrazujeme hmotným bodem.

kterými zkoumané těleso působí na základě třetího Newtonova pohybového zákona na okolní tělesa, stačí slovně okomentovat.



Obrázek 3: Návrh fyzikálně adekvátního diagramu sil, které působí na těleso posouvající se se třením rovnoměrným přímočarým pohybem

Dalšímu silovému diagramu, tentokrát v souvislosti s matematickým kyvadlem, se dále podrobně věnuje podkapitola 5.6.

5.5 ZAVÁDĚJÍCÍ TVAR SLOVESA PODPORUJÍCÍ MISKONCEPCI (VZNÁŠEJÍCÍ SE KROUŽEK)

V učebnici Lepila a Šedivého (2017, s. 131–132) je v oddílu Lenzův zákon popsán a vysvětlen experiment následujícími slovy: „Vodivý kroužek je nasunut na prodloužené jádro elektromagnetu, kterým prochází střídavý proud.⁷² V kroužku se indukuje poměrně velký proud, jehož magnetické pole je svými účinky namířeno proti magnetickému poli elektromagnetu.⁷³ Vzniká odpudivá magnetická síla, která je větší než tíha kroužku, a ten se v magnetickém poli vznáší.“

Poslední souvětí může vyvolávat fyzikálně neadekvátní představu spočívající v tom, že k tomu, aby se kroužek *vznášel*, je třeba, aby na něj působila výsledná nenulová síla směrem vzhůru. Pokud *vznášením* v popsaném experimentu rozumíme stav, kdy je kroužek v klidu v určité nenulové výšce nad původní polohou, pak podle druhého Newtonova pohybového zákona musí být výsledná síla, kterou na něj okolí působí, nulová. Z toho plyne, že magnetická síla musí být stejně velká jako tíhová síla (pokud jsou případné ostatní působící síly zanedbatelně malé).

72 V tomto místě je v textu v učebnici uveden odkaz na fotografii vztahující se k experimentu.

73 Tato věta může vyvolat dojem, že situaci si můžeme představit jako působení dvou odpuzujících se magnetů. Tato představa je fyzikálně neadekvátní; situace je složitější. Také připomeňme, že cívkou elektromagnetu prochází střídavý proud, takže působící magnetická síla není konstantní.

Situace, kdy je magnetická síla větší než tíhová, odpovídá počáteční fázi pokusu, kdy se kroužek začne pohybovat směrem vzhůru z původní polohy, ve které byl v klidu. V tomto případě by mělo být slovo *vznáší* (nedokonavé sloveso) nahrazeno slovem *vznes* (dokonavé sloveso). Snad ještě názornější by bylo tuto situaci opsat tak, že se *kroužek dá do pohybu směrem vzhůru*.

5.6 ZAVÁDĚJÍCÍ SILOVÉ DIAGRAMY MATEMATICKÉHO KYVADLA

5.6.1 ÚVOD

Podkladovou studii, ze které tato část knihy vychází, je časopisecký článek autora knihy (Žák, 2016b). Nejprve se zaměříme na neadekvátnosti spojené se silami působícími na matematické kyvadlo, které se objevují v česky psaných učebnicích, dále rozebereme problémy v zahraničních učebnicích a konečně bude navržen alternativní silový diagram. Na rozdíl od ostatních neadekvátností prezentovaných v této kapitole je matematickému kyvadlu věnován výrazně větší prostor.

Kyvadlo patří k tématům, se kterými se můžeme v České republice setkat ve výuce fyziky jak na základních, tak středních školách, a to přesto, že v obecných kurikulárních dokumentech – rámcových vzdělávacích programech (RVP ZV, 2013; RVP G, 2007) explicitně kyvadlo v rámci učiva uvedeno není. Na druhou stranu v učebnicích fyziky kyvadlo tematizováno bývá (kromě současných českých učebnic také např. v jedné z nejstarších česky psaných učebnic – Smetana, 1852, s. 68–71). Zvláštní pozornost bývá věnována tzv. matematickému kyvadlu, tj. hmotnému bodu upevněnému na konci tuhého vlákna, které má konstantní délku a zanedbatelnou hmotnost, a na které nepůsobí žádné disipativní síly (např. Mechlová & Košťál et al., 1999, s. 104)⁷⁴.

Přestože je matematické kyvadlo tématem tradičním a fyzikou jako vědou dostatečně podrobně zvládnutým, objevují se různé zkreslené představy o něm a jeho pohybu. Typickou chybnou představu o silách působících na kuličku zavěšenou na niti uvádí Mandíková a Trna (2011, s. 19, 81). Ukázalo se, že mnozí čeští studenti dokončující studium učitelství fyziky měli chybnou představu spočívající v tom, že při průchodu rovnovážnou polohou působí na kuličku nenulová síla ve směru tečny k příslušné kružnicové trajektorii (Mandíková & Trna, 2011, s. 19).⁷⁵ V českém prostředí na problémy s úvahou o silách působících na závaží matematického kyvadla upozorňují podrobněji Rojko (1999), Musilová a Czudková (2008, s. 104), resp. Musilová (2012, s. 346),

74 V charakteristice by se dalo pokračovat dále, např. kyvadlo se pohybuje v homogenním tíhovém poli.

75 Tento výzkum byl proveden v 80. letech 20. století.

závaží znázorněno v krajní poloze (kde má nulovou rychlost), pak můžeme takové znázornění pokládat za adekvátní. V tomto případě je totiž dostředivá síla, přesněji řečeno dostředivá složka výsledné síly, nulová (díky nulové rychlosti), a výslednice má tedy směr tečny k trajektorii. Obdobné silové diagramy, které ale budí dojem, že závaží není v krajní poloze, příp. je z nich zcela zřejmé, že závaží je zachyceno v obecné poloze, musíme považovat za fyzikálně neadekvátní. Výslednice v tomto případě nemá směr tečny k trajektorii. Při průchodu rovnovážnou polohou je výsledná síla dokonce silou „čistě“ dostředivou.

5.6.4 ANALÝZA VYBRANÝCH ZAHRANIČNÍCH UČEBNIC

Zajímavou otázkou v souvislosti s analýzou česky psaných učebnic je, zda se neadekvátnosti v silových diagramech matematického kyvadla objevují také v zahraničních učebnicích. Abychom na ni aspoň částečně odpověděli, analyzovali jsme nám dostupné zahraniční učebnice fyziky.⁷⁸ Nakonec bylo do analýzy zahrnuto 21 učebnic. Většinu z nich tvoří učebnice fyziky určené pro úvodní vysokoškolský kurz; v některých případech se jednalo přímo o učebnice klasické vektorové mechaniky (učebnice teoretické mechaniky a učebnice vyskytující se jen v elektronické podobě nebyly zahrnuty). Jedná se zároveň o učebnice psané anglicky, vydané mezinárodními nakladateli, a tudíž používané v mezinárodním prostředí. Opět byla řešena otázka (viz obdobně v oddílu 5.6.1), *kteří síly, jakého směru a jaké relativní velikosti jsou v učebnicích zobrazeny v silovém diagramu závaží matematického kyvadla.*

TYPOLOGIE SILOVÝCH DIAGRAMŮ MATEMATICKÉHO KYVADLA, KTERÉ SE OBJEVUJÍ V ZAHRANIČNÍCH UČEBNICÍCH

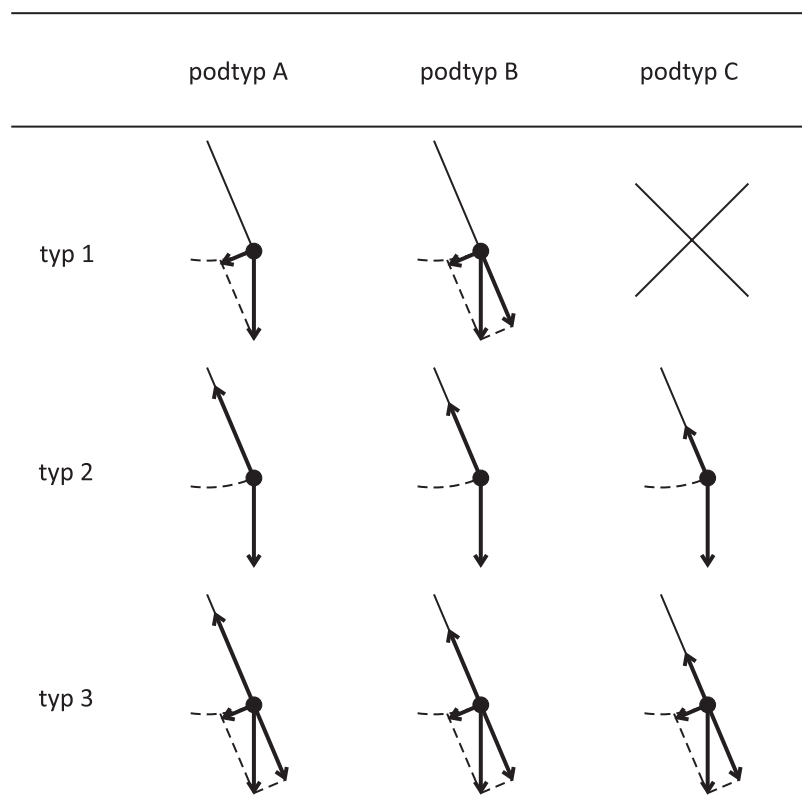
Silové diagramy, které byly v učebnicích identifikovány, byly na základě podobnosti sdruženy do několika typů a podtypů (viz Obrázek 8).⁷⁹

Typ 1, podtypy A a B: Tíhová síla a její složky. Silové diagramy spadající do typu 1 znázorňují tíhovou sílu působící na závaží kyvadla a její složky. Konkrétně byly identifikovány dva různé případy – podtypy A a B. Podtyp A zahrnuje kromě tíhové síly ještě její složku, která je kolmá k vláknu (závěsu) kyvadla, tedy tečná k trajektorii závaží (typ 1, podtyp A v Obrázku 8; viz např. Greiner, 2004, s. 229). V podtypu B je tíhová síla rozložena do dvou složek – složky ve směru vlákna a složky k němu kolmé (viz např. Benenson et al., 2002, s. 261; Physical Science Study Committee, 1968, s. 250). Typ 1, podtyp B odpovídá Obrázku 4 výše.

78 Nejedná se tedy v žádném smyslu o reprezentativní výběr učebnic, jak ale bude zřejmé z dalšího, výběr učebnic je poměrně bohatý vzhledem k výsledkům analýzy.

79 Zatímco charakteristika jednotlivých typů bude zřejmá z následujícího textu, jednotlivé podtypy nelze jednotně charakterizovat.

Typ 2, podtypy A, B a C: Tíhová síla bez složek a síla vlákna. Druhý typ silových diagramů je do určité míry obohacením předchozího, protože je v něm znázorněna nejen tíhová síla, ale také síla vlákna. Síla vlákna je ale zobrazována jako různě velká v porovnání s radiální složkou tíhové síly (složka ve směru vlákna). Identifikovány byly tři rozdílné případy.



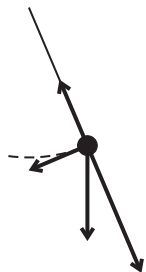
Obrázek 8: Typologie silových diagramů matematického kyvadla (ze zahraničních učebnic)

Podtyp A zahrnuje případ, kdy je síla vlákna větší než radiální složka tíhové síly (viz např. Rutherford, 1964, s. 77; Finn, 2010, s. 41; Kleppner & Kolenkow, 2014, s. 105, 262), což je fyzikálně adekvátní (srov. oddíl 5.6.5). V podtypu B má síla vlákna stejnou velikost jako radiální složka tíhové síly (viz např. Smith & Smith, 1990, s. 105). Tento silový diagram může být považován za fyzikálně adekvátní, pokud bude kyvadlo znázorněno v krajní poloze (ne v obecné poloze). Konečně podtyp C zobrazuje sílu vlákna menší, než je radiální složka tíhové síly (viz např. Halliday, Resnick, & Walker, 2007, s. 223). Tento silový diagram musíme považovat za fyzikálně neadekvátní, ať už je kyvadlo v jakékoli poloze. Typ 2 v česky psaných publikacích nebyl identifikován (srov. oddíl 5.6.3).

Typ 3, podtypy A, B a C: Tíhová síla se složkami a síla vlákna. Typ 3 zahrnuje mnoho silových diagramů matematického kyvadla, kde jsou znázorněny čtyři síly – síla vlákna, tíhová síla působící na závaží kyvadla a její dvě složky (ve směru vlákna a kolmá k vláknu, tj. radiální a tečná). V podstatě jsou zde tedy spojeny výše uvedené typy 1 a 2. Analogicky k typu 2 také zde byly identifikovány tři podtypy.

V podtypu A je síla vlákna větší než radiální složka tíhové síly (viz např. Young, Freedman, & Ford, 2011, s. 424; Serway, 2008, s. 439; Halliday et al., 2007, s. 402; Serway, 2007, s. 337).⁸⁰ Tento silový diagram můžeme považovat za fyzikálně adekvátní. V česky psaných publikacích nebyl nalezen. Podtyp B zobrazuje sílu vlákna a radiální složku tíhové síly jako stejně velké síly (viz např. Hecht, 1998, s. 364; Giancoli, 2000, s. 372; Giordano, 2013, s. 361; Etkina et al., 2014, s. 710, 711). Tento podtyp byl v česky psaných publikacích identifikován (viz Obrázek 5, vlevo). Jak bylo obdobně zmíněno výše, tento typ silového diagramu může být považován za fyzikálně adekvátní, zobrazuje-li kyvadlo v krajní poloze (zřejmě viz Giancoli, 2000, s. 372; Giordano, 2013, s. 361; Etkina et al., 2014, s. 710, 711). Na druhou stranu diagram v učebnici Hechta (1998, s. 364) jasně zobrazuje kyvadlo v obecné poloze mezi krajní a rovnovážnou polohou, takže tento silový diagram musí být považován za fyzikálně neadekvátní. Podtyp C se vyznačuje tím, že síla vlákna je menší než radiální složka tíhové síly (viz např. Strauch, 2009, s. 35; Walker, Halliday, & Resnick, 2014, s. 425). Také tento silový diagram je fyzikálně neadekvátní. Mezi česky psanými učebnicemi byl tento diagram identifikován v učebnici Hallidaye et al. (2013a, s. 412; viz Obrázek 5, vpravo).

Můžeme považovat za překvapivé, že v analyzovaných učebnicích byly identifikovány snad všechny myslitelné silové diagramy (viz Obrázek 8). Ani tak ale Obrázek 8 nezahrnuje všechny nalezené silové diagramy matematického



Obrázek 9: Ještě jeden typ silového diagramu matematického kyvadla (navíc k typologii uvedené na Obrázku 8)

80 Nicméně v učebnicích Serwaye (2007, s. 337; 2008, s. 439) je rozdíl ve velikostech zobrazených sil nepatrný, takže je otázkou, co bylo záměrem autora – znázornit sílu vlákna větší, nebo stejně velkou jako radiální složku tíhové síly?

kyvadla; v učebnicích byl identifikován ještě jeden případ (Martin & Hewett, 1975, s. 193; Davis, 1986, s. 71; Hans & Puri, 2003, s. 274; Srinivasa Rao, 2003, s. 67; viz Obrázek 9). Jako zajímavost uvedme ještě případ učebnice Hallidaye et al. (2007), kde na s. 402 je uveden diagram, který může být považován za fyzikálně adekvátní, zatímco na s. 223 téže učebnice je vyobrazen diagram, který musíme považovat za neadekvátní (obojí viz výše).

5.6.5 NÁVRH ADEKVÁTNÍHO SILOVÉHO DIAGRAMU

Pokud jsme během analýzy silových diagramů v učebnicích identifikovali určité problematické prvky, považujeme za konstruktivní uvést vlastní návrh, jak silový diagram znázornit a diskutovat. Vytvoření silového diagramu by podle našeho názoru mělo sledovat jasnou myšlenku, která bude objasňovat jeho postupný vznik (ačkoliv výsledkem v tištěné knize je statický obrázek).

Hlavním problémem nalezených silových diagramů je fakt, že nedávají uspokojivou odpověď na otázku, jaká je (zejména jaký směr má) výslednice sil. V některých případech je sice výslednice zakreslena, ale správně pouze pro závaží v krajní poloze. Tento moment budeme brát jako výchozí při tvorbě diagramu a tím se vyhneme situaci, kdy po složení jednotlivých sil vzniká nerealistická výslednice. Navrhujeme, aby konstrukce (náčrtek) silového diagramu probíhala tímto způsobem: Na základě vlastností pohybu závaží kyvadla bude určen (alespoň kvalitativně) směr celkového zrychlení a podle druhého Newtonova pohybového zákona také směr výsledné síly. Ta bude následně rozložena do složek, které odpovídají působení okolních těles na závaží.

Je jasné, že se závaží kyvadla po vychýlení do krajní polohy a uvolnění z ní (počáteční rychlost je nulová) pohybuje po části kružnice. Závaží kyvadla má tedy ve všech bodech svojí trajektorie *nenulové dostředivé* (normálové) *zrychlení* (kromě krajních poloh, kdy má nulovou rychlost).

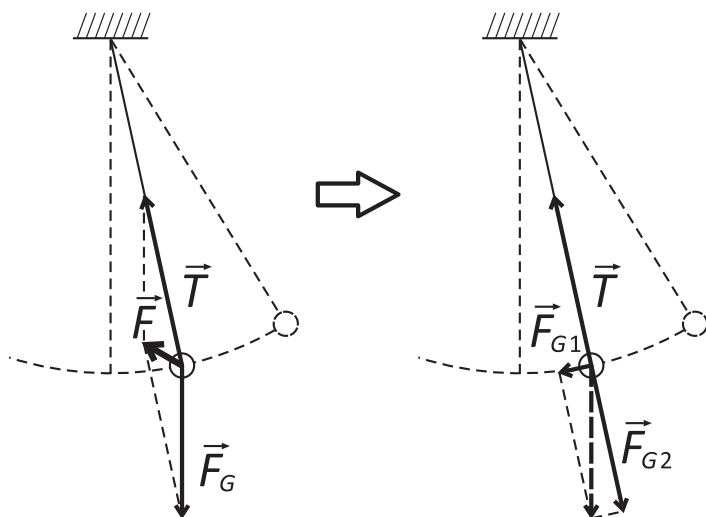
Dále je zřejmé, že se velikost rychlosti závaží při pohybu z krajní polohy do rovnovážné polohy zvětšuje a z rovnovážné polohy do druhé krajní polohy se symetricky velikost rychlosti zmenšuje. Závaží má tedy *nenulové zrychlení ve směru pohybu* (tj. tečné zrychlení), a to s výjimkou rovnovážné polohy, kde dosahuje rychlost maximální velikosti.

Celkové zrychlení závaží je tedy v obecné poloze (mimo krajní polohy a rovnovážnou polohu) tvořeno nenulovým tečným a nenulovým dostředivým zrychlením, tj. má směr „šikmo do vnitřní oblasti kružnice“. Stejný směr má podle druhého Newtonova pohybového zákona výsledná síla (označena \vec{F} v Obrázku 10, vlevo).

Nyní je vhodné položit si otázku, která tělesa na závaží kyvadla působí. Je zřejmé, že je to jednak Země, která působí na závaží prostřednictvím tíhového pole, a tudíž na závaží působí tíhová síla \vec{F}_G . Závaží je ale zároveň připevněno na vlákně stálé délky (niti, provázku apod.), tj. působí síla přenášená

vlákem \vec{T} (jedná se o tahovou sílu, kterou prostřednictvím vlákna na závaží působí bod úchytu, např. část stojanu, na kterém je kyvadlo upevněno). V souladu s těmito zjištěními rozložíme výslednici do svislého směru a do směru vlákna (zkonstruuujeme příslušný rovnoběžník sil). Je zřejmé, že daná výslednice jde takto rozložit jednoznačným způsobem, tj. nevzniká dilema, jakou má mít síla přenášená vlákem velikost vůči tíhové síle apod.

Tíhovou sílu je dále vhodné rozložit do tečného a radiálního směru (složky \vec{F}_{G1} a \vec{F}_{G2} v Obrázku 10, vpravo). Pro další popis pohybu matematického kyvadla a zejména pro odvození vztahu pro jeho periodu má největší význam tečná složka tíhové síly, která je v případě kmitů s malou výchylkou téměř vodorovná.⁸¹



Obrázek 10: Fyzikálně adekvátní silové diagramy matematického kyvadla (vlevo – výslednice rozložená do tíhové a tahové síly, vpravo – složky tíhové síly a tahová síla)

5.6.6 OHLASY STUDIE SILOVÉHO DIAGRAMU KYVADLA

Podkladová studie (Žák, 2016b), z níž podkapitola 5.6 vychází, nezůstala bez odezvy. Ještě v tomtéž čísle časopisu *Matematika-fyzika-informatika*, kde byla studie uveřejněna, byl publikován příspěvek Lepila (2016) a ve stejném roce

81 Je samozřejmě možné jít v úvaze a diskuzi do větších podrobností a provést odvození vztahu pro složky výslednice sil (což umožní určit směr výslednice přesně). Kromě vztahu pro dostředivou sílu a zákona zachování mechanické energie je třeba využít již jen poměrně jednoduchou trigonometrii. Souřadnice výslednice kromě hmotnosti tělesa a velikosti tíhového zrychlení závisí na počáteční a okamžité úhlové výchylce kyvadla.

VOJTĚCH ŽÁK

KVALITA FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ V RUKOU UČITELE

Vydala Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum
Ovocný trh 560/5, 116 36 Praha I
www.karolinum.cz
Praha 2018
Grafická úprava Jan Šerých
Sazba Nakladatelství Karolinum
Vytiskla tiskárna Nakladatelství Karolinum
Vydání první

ISBN 978-80-246-4126-3

ISBN 978-80-246-4145-4 (pdf)