

## Postrecenze učebnice

### „Fyzika pro gymnázia – Mechanické kmitání a vlnění“

Jana Musilová, Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Přestože lze mechanické kmity a vlnění snadno zahrnout už do základního výkladu mechaniky, současné fyzikální kurzy nejčastěji tuto problematiku vyčleňují. Zpravidla ji zařazují v jistém odstupu za mechanikou, bezprostředně před kapitolami o elektromagnetickém vlnění a optice. Přednost takového uspořádání spočívá jednak v těsnější vazbě této části mechaniky na abstraktnější disciplíny, jednak v možnosti její prezentace jako relativně samostatného celku, který je přirozeným východiskem pro výklad jiných druhů vlnění. Dalším argumentem ve prospěch takového řazení je i větší fyzikální vyspělost a matematická vybavenost studentů v okamžiku, kdy se s touto náročnou tematikou setkávají.

Recenzovaný soubor učebnic tuto moderní koncepci respektuje: mechanickým kmitům a vlnění je v něm věnován samostatný svazek stejného názvu [1]. (Tato organizace učiva se již osvědčila i v předcházející čtyřdílné řadě *Fyzika pro I. až IV. ročník gymnázií*, v němž byly kmity a vlnění – mechanické i elektromagnetické – zařazeny společně až do třetího dílu [2].) Tématické členění samotné učebnice *Fyzika pro gymnázia – Mechanické kmitání a vlnění* [1] je dobré. Po obšírné první kapitole o pohybu mechanických oscilátorů následuje kapitola věnovaná vlnění a kratší aplikační kapitola o vlnění zvukovém. Stejně jako v ostatních částech souboru patří závěr knihy teoretickým a laboratorním úlohám.

Při obsahové realizaci dobrého záměru však autor, bohužel, zůstal v polovině cesty. Slibovaná *těsná obsahová návaznost* dílu na *kinematiku a dynamiku hmotného bodu* (strana 5/řádek 4) spočívá pouze ve využití základních znalostí o kinematických veličinách a v podstatě jediné citaci druhého Newtonova zákona (28/20), nikoli v podobě zákona pohybového, ale pouze pro vyjádření tzv. harmonické síly. Není využito skutečnosti, že student, jemuž je text určen (viz (5/12)), je již k zvládnutí problematiky (harmonických) kmitů jako jedné z úloh dynamiky hmotného bodu dobře připraven. Osvoji si pojmy rychlost a zrychlení a porozuměl Newtonovým zákonům. Setkal se i s řadou silových zákonů (vztahy pro tíhovou, třecí a odporovou sílu [3], Newtonův gravitační zákon [3], Coulombův zákon [4]). Je tedy schopen zvládnout i Hookův zákon pro sílu pružnou, např. ve tvaru  $\vec{F} = (0, -k \cdot \Delta l, 0)$ , zejména při výkladu podloženém jednoduchým experimentem. Aplikací druhého Newtonova zákona pak již snadno dokáže získat pohybovou rovnici  $\vec{a} = \left( 0, -\left(\frac{k}{m}\right) \cdot y, 0 \right)$ , kde  $y = \Delta l - \left(\frac{m \cdot g}{k}\right)$ . Její řešení na základě analogie s kteroukoli ze složek vektorové rovnice vyjadřující druhý Newtonův zákon pro rovnoměrný pohyb po kružnici je evidentní.

Možnost tohoto aplikačního, dle mého názoru jedině rozumného, pojetí výkladu o harmonických kmitech však autor, bohužel, promarnil tím, že se neodpoutal od zavedených zvyklostí: napřed kinematika, pak úvahy o silovém působení a nakonec o energii. Uplatňování tohoto postupu při každé jednotlivé aplikaci je však nerozumné. V posuzovaném textu vedlo nejprve k zdoluhavému a motivačně nepodloženému porovnávání kmitů pružiny s průmětem rovnoměrného pohybu po kružnici (co kdyby se pružina třeba neřídila Hookovým zákonem?) a teprve nakonec, prostřednictvím druhého Newtonova zákona, k „objevu“ zákona pružné síly.

I kdybychom však autorovu představu o způsobu výuky tématu přijali, museli bychom trvat na fyzikální správnosti všech tvrzení a argumentů, pojmové ujasněnosti, jednotnosti a důslednosti terminologie a přiměřené přesnosti výkladu. Žádný z těchto samozřejmých požadavků ovšem není uspokojivě splněn. Pro ilustraci uveďme několik příkladů:

### **Fyzikálně chybná tvrzení nebo tvrzení nepřesná, jejichž přibližnost není komentována**

*Při nuceném kmitání oscilátor kmitá vždy s frekvencí vnějšího působení. Tím se liší nucené kmitání od kmitání vlastního, kterému přísluší jen jediná frekvence. (41/25)*

*Vlastnosti objektu při nuceném kmitání sice nemají vliv na frekvenci nuceného kmitání, avšak značně ovlivňují amplitudu výchylky popř. fázi nuceného kmitání. (42/5)*

Autor zcela opomíjí, že v případě působení periodické vynucující síly je pohyb jak harmonického oscilátoru, tak oscilátoru s tlumením superpozicí kmitů, které by oscilátor konal bez její přítomnosti, a kmitů s periodou vynucující síly. U tlumeného oscilátoru lze kmity prvního typu po jisté době, dané velikostí tlumení, považovat za zanedbatelné. U harmonického oscilátoru však mohou hrát podstatnou roli. Je zřejmé, že tyto skutečnosti, které plynou ze struktury pohybové rovnice oscilátoru, nelze studentovi gymnázia předkládat. Komentář týkající se jejího řešení by však měl být o to důkladnější.

### **Správné výpočty podložené nesprávnou fyzikální argumentací**

*Příčinou kmitavého pohybu kyvadla je pohybová složka  $\vec{F}$  tíhové síly  $\vec{F}_G$ , která vzniká při vychýlení kyvadla z rovnovážné polohy (obr. 1-21). (33/1)*

V obrázku 1-21 (kyvadlo) chybí tahová síla vlákna.

Předchozí formulace a ignorování druhé složky výslednice sil působících na kuličku kyvadla vedou u drtivé většiny studentů k představě, že výslednice sil působících na kyvadlo je tečná k trajektorii a že normálová složka tíhové síly je kompenzována tahovou silou vlákna.

### **Terminologická nedůslednost, nepořádek v označení**

*...můžeme na základě 2. Newtonova zákona ( $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ) obecně vyjádřit velikost síly, která způsobuje harmonické kmitání:  $F = -m \cdot \omega^2 \cdot y$ . (28/17)*

*...deformovat silou o velikosti  $F = k \cdot \Delta l$ . (29/2)*

*V rovnovážné poloze působí na těleso síla pružnosti  $F_p = k \cdot \Delta l$ , která má stejnou velikost, ale opačný směr než tíhová síla  $F_G = m \cdot g$ . (29/9)*

*Pro souřadnici  $F$  výsledné síly  $\vec{F} = \vec{F}_p + \vec{F}_G$  dostaneme: ... (30/2)*

*Na těleso mechanického oscilátoru působí proměnlivá síla o souřadnici  $F = -k \cdot y$ , která směřuje do rovnovážné polohy ... (30/5)*

$$F = \dots = \left( \frac{m \cdot g}{l} \right) \cdot y \quad (33/6)$$

Skutečnost, že v rozpětí tří stran (28 až 30) je veličina označená stejným symbolem  $F$  prohlašována střídavě za velikost síly (někdy s kladným, jindy dokonce se záporným(!) znaménkem), sílu a souřadnici síly, nepotřebuje další komentář.

*U tělesa zavěšeného na pružině je to potenciální energie pružnosti, u kyvadla potenciální energie polohy. (35/7)*

Potenciální (neboli polohová) energie je vždy energií související se vzájemnou polohou částic soustavy. U kyvadla jde o potenciální energii tíhovou.

Veličina  $E_{km}$  vyjadřuje energii kmitání a má dvě složky: energii kinetickou ... a energii potenciální ... (36/13)

Pojem „složka“ má přesný matematický význam. Proto u skalárních veličin nemůžeme hovořit o složkách.

### Nevyjasněnost pojmů

Zařízení, které volně, tzn. bez vnějšího působení, kmitá, je mechanický oscilátor (obr. 1-2). (8/1)

Úhlová frekvence volně kmitajícího mechanického oscilátoru závisí jen na jeho parametrech, tj. na hmotnosti  $m$  tělesa a tuhosti  $k$  pružiny. Takové kmitání nazýváme vlastní kmitání oscilátoru a jeho úhlovou frekvenci značíme  $\omega_0$ :  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ . (30/15)

Student učiní závěr, že volné, vlastní a harmonické kmitání je totéž. Teprve na straně 37(!) se objevuje poznámka:

*Předcházející úvahy jsme provedli za předpokladu, že mechanický oscilátor kmitá volně, tzn. že na něj v průběhu kmitání nepůsobí žádné vnější vlivy.* (37/17)

*...vznikají ztráty energie oscilátoru, kterým nelze u skutečného oscilátoru nikdy zabránit a vzniká tlumené kmitání.* (37/24)

Student uvažuje: Ve skutečnosti neexistuje volně kmitající oscilátor.

*...kdy těleso na pružině necháme nejprve volně kmitat ve vzduchu a pak ho ponoříme do vody (obr. 1-25). V obou případech vzniká třecí síla způsobená pohybem tělesa ve vzduchu popř. ve vodě ...* (38/2, 39/1)

*Vlastní kmitání oscilátoru je vždy tlumené.* (39/13)

*Tlumený oscilátor volně kmitá ...* (39/16)

Student musí konstatovat rozpor v použití pojmů vlastní a volné kmitání v této a předchozí části textu.

Velmi vhodným doplňkem textu jsou grafy získané výpočtem v programu FAMULUS. Tento nesporný klad však nemůže vyvážit nedostatky, reprezentované předchozími ukázkami.

Na rozdíl od problematiky (harmonických) kmitů nelze středoškolský výklad o vlnění založit na dynamických úvahách. K popisu základních vlastností vlnění je třeba použít výsledků získaných pro kmity a principu superpozice a přidat některé empirické poznatky (Huygensův princip). Dalo by se tedy očekávat, že se v textu neobjeví nedostatky závažnějšího rázu a že autor konečně využije znalostí studentů o goniometrických funkcích, jak avizoval v předmluvě (5/9). Žádné z obou očekávání není beze zbytku naplněno, i když na druhé straně lze konstatovat, že obě kapitoly o vlnění dopadly z fyzikálního hlediska i formulačně lépe než kapitola o kmitech. Uspokojivý je například způsob získání vztahu pro výchylku postupného vlnění (odst. 2.2) pomocí známého výrazu pro výchylku harmonického pohybu, založený na bezchybné definici fáze kmitů (14/8 a odst. 1.4) a rozumně zavedené terminologii *kmitání se stejnou, resp. opačnou fází* (22/10).

Za značný nedostatek textu považují, že se v odstavcích 2.3 a 2.4 o interferenci vlnění neobjevil ani jediný výpočet, při němž by studenti mohli využít svých znalostí o goniometrických funkcích. Odvození vztahů pro výchylku složeného vlnění by bylo nenáročné a výsledky jsou velmi názorné.

Podrobněji měl být komentován Huygensův princip, přes který vede na středoškolské úrovni jediná cesta k získání zákona odrazu a zákona lomu vlnění. Student se měl dozvědět, že historicky se jedná o princip formulovaný na základě empirických poznatků, jehož platnost však úzce souvisí se strukturou pohybových rovnic pro vlnění. Podrobnější komentář o principu samotném by také mohl odstranit případnou pochybnost studenta o způsobu konstrukce

výsledné vlnoplochy na obrázcích 2-22, 2-23 a 2-25 jako obálky elementárních vlnoploch vzniklých v *různých* okamžicích, poté co byla formulace Huygensova principu vyslovena pro elementární vlnoplochy vzniklé v *tomtéž* okamžiku (69/8) a obrázek 2-21.

Zařazení kapitoly o zvukovém vlnění je užitečné, i když výklad zůstává na poněkud povrchní popisné úrovni. Mohl být doplněn o problematiku Dopplerova jevu, zejména pro možnost jeho dokumentace pěknými jednoduchými pokusy.

Úlohy, které je student schopen na základě studia textu poměrně snadno řešit, jsou tradičně nenápadité. Na řešení několika málo úloh, které mají jistý vtíp, naopak není, podle mého názoru, předchozím výkladem dost připraven.

V části věnované vlnění již autor ke škodě věci nedoplnil text ukázkami výpočtů pomocí programu FAMULUS, přestože tematika nabízí v tomto ohledu daleko více možností než problematika kmitů (interference vlnění, chvění membrán, ilustrace ohybu vlnění, atd.).

Závěrem opět malá ukázka formulačních nepřesností, které by se v učebnicích pro začátečníky neměly objevovat:

*Všechny veličiny popisující vlnění jsou jak funkcemi času, tak funkcemi polohy (souřadnice) bodu, kterým vlnění prochází. (56/1)*

Vzhledem k tomu, že student (správně) považuje za veličiny popisující vlnění i periodu, rychlost šíření, vlnovou délku, může být pro něj toto tvrzení nepochopitelné.

*Vlnoplocha postupného vlnění je plocha, jejíž body kmitají se stejnou fází. (68/14)*

Vzhledem k definici kmitání se stejnou fází (22/10) není tato formulace vhodná. Množina bodů kmitajících se stejnou fází ve smyslu (22/10) je souborem vlnoploch.

Obrázky 2-24 a 2-25 a výklad k nim mohou vyvolat dojem, že po dopadu vlnění na rozhraní dvou prostředí nastává buď jen odraz nebo jen lom vlnění. Chybí vhodný komentář.

*...veličina intenzita zvuku  $I$ . Je definována vztahem  $I = \frac{P}{S}$ , kde  $P$  je výkon zvukového vlnění ... (87/9)*

Výkon vlnění nebyl nikde definován.

Svůj názor na posuzovanou učebnici *Fyzika pro gymnázia – Mechanické kmitání a vlnění* nemohu, bohužel, uzavřít jinak, než zopakováním závěru postrecenze dílu *Mechanika* [5]: Úroveň oficiálních (opatřených ministerskou doložkou) učebnic fyziky pro gymnázia neodpovídá samozřejměmu požadavku, kladenému na výuku středoškolské fyziky: nejen rozvíjet znalosti studentů o klíčových zákonitostech přírody až po poznatky moderní vědy, ale především jim představit fyziku jako způsob myšlení, jako metodu poznávání přírodních zákonů. Východisko z tohoto stavu je jediné: vznik nových autorských kolektivů a alternativních učebnic.

## Literatura:

- [1] Lepil O.: *Fyzika pro gymnázia, Mechanické kmitání a vlnění*. Prometheus, Praha 1993.
- [2] Lepil O. a kol.: *Fyzika pro III. ročník gymnázií*. SPN, Praha 1986.
- [3] Bednařík M., Šíroková M., Bujok P.: *Fyzika pro gymnázia, Mechanika*. Prometheus, Praha 1993.
- [4] Lepil O., Šedivý P.: *Fyzika pro gymnázia, Elektřina a magnetismus*. Prometheus, Praha 1993.
- [5] Musilová J.: Postrecenze učebnice „*Fyzika pro gymnázia – Mechanika*“. *Školská fyzika VI*, č. 2 (2000) 80.