

FYZIKA

Ideální plyn v gymnaziálním kurzu fyziky^{*)}

ALEŠ LACINA

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

„Netvrdím, že počet hodin vymezený pro výuku je jediným a tedy rozhodujícím prvkem určujícím její kvalitu. Zcela určitě však není prvkem zanedbatelným. Při minimální hodinové dotaci učitel fyziky brzy pozná, že není možné, aby vše, co by měl, naplnil. Začne hledat východisko a brzy dospěje k závěru, že musí něco ošidit. Kde začne, záleží na jeho mentalitě a svědomí. Bude to možná experiment, možná řešení úloh nebo prověřování vědomostí studentů či rozsah výkladu. A jde-li o poctivého učitele, začne mít výčitky. Neunese-li je, možná přestane i učit. Nebo, a to je pravděpodobnější, se začne pít po nových metodách výuky, někdy označovaných jako progresivní, které se v posledních letech začínají čím dál více uplatňovat a někdy vyúsťují přinejmenším v povrchnost výuky a následně i znalostí a dovedností.“

Těmito poměrně zdrženlivými, avšak zcela jednoznačnými, předvídatelnými slovy upozornil před několika lety krátký článek [1] na jedno z oči vidných nebezpečí, jimiž začaly na sklonku milénia hrozit českému gymnaziálnímu vzdělávání nezvládnuté liberalizační tendence.

1. Gymnaziální fyzika mezi rámcovým a školním vzdělávacím programem

Nutková potřeba novodobých aktivistů zásadně reformovat předlistopadové školství záhy přinesla jednak návrhy na drastické omezení minimální

^{*)} Věnováno RNDr. Jaroslavu Veverkovi k jeho 75. narozeninám.

časové dotace řady tradičních předmětů – v případě gymnaziální fyziky šlo o redukci z předchozího 3, 3, 3, 4 (1983) na 2, 2, 2, 0 (1999) vracející rozsah její výuky o sto let zpět [2] – jednak importované „moderní pedagogické trendy“ odmítající kázeň a řád [3]. Zpočátku celkem častý optimistický názor, že se tyto záměry svou absurditou brzy samy diskvalifikují, se bohužel ukázal jako mylný a revoluční změny v českém školství už začínají nést svoje trpké ovoce [4, 5].

Zákonem [6] zaštitěné, a dalšími politickými rozhodnutími protežované, reformní aktivity našly postupně [7] – za důsledného přehlížení nesouhlasných připomínek (např. [8]) – jedno ze svých aktuálních vyústění v *Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia* [9]¹⁾. Tento kontroverzní (např. [4, 5]) dokument především nastoluje modlu *klíčových kompetencí*, od nichž odvozuje jak *cíle vzdělávání*, tak *vzdělávací obsah* konkretizovaný *očekávanými výstupy a učivem*. Nastavené mantinely – jedny mlhavě obecné (klíčové kompetence, cíle vzdělávání), druhé mnohdy konkrétně zmatečné /alespoň v případě fyziky/ (očekávané výstupy, učivo) – pak doplňuje stejně vágně vymezenou časovou dotací: Dvěma *vzdělávacími oblastmi* *Člověk a příroda* (*Fyzika, Chemie, Biologie, Geografie, Geologie*) a *Člověk a společnost* (*Občanský a společenskovědní základ, Dějepis, /Geografie/*) je společně přiděleno minimum 36 týdenních hodin za čtyři roky, při čemž povinnost jejich výuky se ukládá jen v prvním dvouletí. A tak je velmi pravděpodobné, že při pochopitelném zájmu všech dílčích předmětů o vyučovací hodiny nebude fyzika na běžném gymnáziu – i přes možnost jistého přilepšení z fondu disponibilních hodin – dotována o mnoho více než likvidačním 2, 2, 2, 0.

S tímto šibeničním zadáním delegují iniciátoři současných změn v českém gymnaziálním vzdělávání nejen svoji zodpovědnost, ale také veškerou práci, jejíž erudované provedení by měli zajistit, na jednotlivé školy – tedy místa, která by nejen neměla být takto zatěžována, ale která k tomu ani nejsou dostatečně kompetentní. První, co se totiž mělo udělat před spuštěním tak rozsáhlé školské reformy, a co by se mělo udělat alespoň před vlastní tvorbou *Školních vzdělávacích programů*, je poctivá důkladná – věcná i didaktická – analýza konkrétního obsahu vzdělávání. Dokumenty reformy však o takovém rozboru neobsahují ani zmínku. Odpovědní činitelé by jistě tvrdili, buď že byl udělán, nebo že se naopak – z nějakého

¹⁾ Genezi vzdělávacích programů, některé jejich konkrétní nedostatky a další relevantní odkazy připomíná [10].

vyššího důvodu – nedělá. Skutečností však je, že udělán nebyl (rozhodně ne v potřebném rozsahu a kvalitě), že být udělán musí a že za jeho provedení garanti reformy odpovídají.²⁾

Všechna česká čtyřletá gymnázia (a vyšší stupně gymnázií víceletých) mají povinnost zahájit 1. září 2009 ve svých prvních ročnících výuku podle vlastních (školních) vzdělávacích programů. K jejich sestavení, které je nejdůležitějším, nejkvalifikovanějším – a ovšem také nejobtížnějším – úkolem celého inovačního procesu, přitom však nedostala od školské administrativy o mnoho větší podporu než problematický (závažný) materiál [9], myšlenkově chudou, víceméně propagandistickou, brožuru [12] a možnost vstupovat na portály typu [13], účastnit se diskusních fór či vyslat své učitele do návodných seminářů pojetím i úrovní zpravidla srovnatelných s dokumenty [9, 12]. Někdejší Pedagogická centra, jejichž posláním bývala konkrétní metodická podpora škol, byla zrušena. Jejich „zeštíhlený“ substitut – Národní institut dalšího vzdělávání – nabízí v době vrcholící přípravy ŠVP převážně jen kurzy manažerského typu nebo školení zaměřená na technicko-organizační problémy implementace vzdělávacích programů. A vysoké školy připravující budoucí učitele fyziky mají většinou tendenci věnovat se spíše grantově podporované tvorbě „progresivních metod výuky“ zmiňovaných v úvodním citátu, než nevděčné nápravě pochybení a opomenutí již probíhajících školské reformy.

Za této neutěšené situace – navíc bez jakýchkoli pracovních úlev (a finančního ohodnocení) – budou učitelské sbory běžných gymnázií při vytváření svých školních vzdělávacích programů zřejmě do značné míry vycházet z příkladu a zkušeností pilotních škol, které pochopily apel doby již dříve. Přirozeným vodítkem jejich úsilí se při tom s největší pravděpodobností stanou současné gymnaziální učebnice a jistě i vlastní názor na vyučovací předmět, jenž ovšem bývá používanou učebnicí zpravidla silně ovlivněn.

Jedním z nebezpečných úskalí takové inspirace je propastný rozdíl mezi časovou dotací gymnaziální fyziky na počátku devadesátých let (dnes již minulého) století, kdy osmidílná – tématicky členěná – řada jejích dnešních učebnic začala vznikat, a restriktivním trendem nastoleným Rámcovým vzdělávacím programem. Na drtivé většině škol tak půjde zřejmě o drastickou redukci fyzikálního učiva, která v sobě však skrývá značná

²⁾ Existuje, samozřejmě, i řada příkladů, jimiž bylo – a stále ještě je – možno se inspirovat: např. pečlivost přípravy podobně hlubokých změn vzdělávacích plánů typu anglického Nuffieldského kurzu či amerického PSSC. A také se ovšem poučit ze zkušeností získaných při jejich zavádění [3, 11].

rizika. Především ji není možné provést pouhým vynecháním některých partií, které by se snad – nahlíženo prizmatem RVP – mohly jevit jako málo důležité. Takový postup je totiž téměř jistou cestou k následkům skutečně fatálním, spočívajícím v narušení či dokonce pominutí podstatných vnitřních a vnějších souvislostí, díky nimž fyzika tvoří logicky provázanou myšlenkovou konstrukci vystihující základní řád okolního světa. Dalším, prakticky nevyhnutelným, důsledkem výrazného omezení obsahu gymnaziální fyziky je pak ztráta možnosti přímé podpory její výuky odlišně koncipovanými stávajícími učebnicemi. A zvažování jejich náhrady učebními texty – byť přepracovanými – původně určenými pro jiný (nižší) typ škol [14] je smutným svědectvím o faktickém směřování české školské reformy.

Ve zbývající části tohoto příspěvku je důvodnost předcházejících obav demonstrována na konkrétním příkladu nedávných úprav učebnicového výkladu jednoho důležitého tématu gymnaziální fyziky.

2. Ideální plyn

Ideální plyn je jedním z nejdůležitějších systémů vyšetřovaných termodynamikou a statistickou fyzikou. Jeho výlučnost spočívá v tom, že jeho fyzikální popis (jak makroskopický, tak mikroskopický) nevede jenom k vytvoření správné představy o reálných soustavách, které se dají tímto modelem reprezentovat³⁾, ale má také značný metodologický význam. Na jedné straně je totiž ideální plyn systémem natolik jednoduchým, že se při jeho studiu lze do značné míry opírat o názorné, intuitivně přijatelné představy a jeho vlastnosti lze poměrně snadno vyjádřit i matematicky. Na druhé straně je však současně i dostatečně komplikovaný, aby se u něj projevily rovněž podstatné rysy chování obecných makroskopických soustav. Díky těmto skutečnostem má model ideálního plynu – kromě svého bezprostředního fyzikálního významu – mimořádnou pedagogickou hodnotu, která jej činí nezastupitelným jak v úvodních, tak ve vyspělých fyzikálních kurzech.

Před jakýmkoli komentářem středoškolské prezentace tohoto důležitého tématu je vhodné připomenout jeho základní logickou strukturu na úrovni o stupeň vyšší.

³⁾ Kromě obligátně uváděných zředěných běžných plynů je to například i rovnovážné tepelné záření (/ultrarelativistický/fotonový plyn) nebo třeba soubory kvazičástic v některých pokročilých aplikacích fyziky kondenzovaných látek.

• Makroskopický (termodynamický) přístup

Z makroskopického hlediska je ideální plyn nejběžnějším reprezentantem tzv. *jednoduchých homogenních systémů*, tj. termodynamických soustav, k zadání jejichž rovnovážných stavů stačí znalost dvojice makroskopických veličin, obvykle nazývaných *určující* nebo také *stavové parametry*; zpravidla se za ně volí objem V a (termodynamická) teplota T . Soustavy tohoto druhu jsou jednoznačně identifikovány (definovány) dvojicí základních vztahů, tzv. *stavových rovnic*

$$p = p(V, T), \quad (\text{termická} \text{ stavová rovnice}) \quad (1)$$

$$E = E(V, T), \quad (\text{kalorická stavová rovnice})^{4)} \quad (2)$$

kde p je tlak a E vnitřní energie [15].

V nich je zakódována veškerá makroskopická informace o studovanému systému. Prakticky to znamená, že za pomoci těchto rovnic lze obecnými metodami termodynamiky vypočítat jeho libovolnou makroskopickou veličinu. Konkrétní tvary závislostí (1), (2), jejichž znalost je v tomto smyslu „nutnou a postačující podmínkou“ pro úplný makroskopický popis vyšetřované soustavy, však termodynamika svým teoretickým aparátem nalézt nedovede a je tak odkázána na pomoc „zvenčí“. Tu jí může poskytnout buď experiment nebo teoretická disciplína, která disponuje informací o mikroskopické struktuře systému.

• Experiment

Historicky teoretickému popisu makroskopických vlastností látek jejich empirická studia dokonce předcházela. Vůbec první kvantitativní zákonitost tohoto druhu, uvádějící do souvislosti tlak p a objem V plynového tělesa (při zafixované teplotě), vyslovili – nezávisle na sobě – na základě vlastního experimentování se vzduchem Robert Boyle (1662) a Edmé Mariotte (1676):

$$pV = \text{konst.} \quad (3)$$

⁴⁾ Jak je vyznačeno závorkami, terminologie zde není zcela jednotná. Teoretičtější zaměřené publikace preferují (např. [15]), nebo alespoň uvádějí (např. [16]), širší názvy, zatímco v učebnicové literatuře je zvykem nazývat *stavovou rovnici* (bez přívlastku) jednoduchého homogenního systému jen souvislost mezi jeho tlakem, objemem a teplotou; vyjádření vnitřní energie pomocí určujících parametrů se v ní pak zvláštním názvem neoznačuje.

Závislost objemu zředěných plynů na jejich teplotě (při zafixovaném tlaku) pak svými pokusy vyšetřili Jacques Charles (1787) a Joseph Gay-Lussac (1802):

$$\frac{V}{T} = \text{const.}^{5)} \quad (4)$$

Tyto dílčí závěry svých předchůdců spojil roku 1824 Sadi Carnot do embryonální – verbální – podoby (termické) stavové rovnice ideálního plynu. Carnotovu slovní formulaci souvislosti mezi jeho tlakem, objemem a teplotou matematicky vyjádřil o deset let později Émile Clapeyron. A konečně roku 1862 Rudolf Clausius zapsal poprvé tento vztah v dnešním tvaru

$$pV = \text{Konst. } T, \quad (1a)$$

kde $\text{Konst.} = nR$, n je látkové množství a R je experimentálně určená univerzální plynová konstanta (dnes někdy označovaná také R_m a nazývaná molární plynová konstanta).⁶⁾

O empirické nalezení závislosti $E = E(V, T)$ se rozhodujícím způsobem zasloužil James Prescott Joule. Pokusy konanými počátkem padesátých let devatenáctého století nejprve zjistil, že se teplota zředěného plynu při jeho adiabatické expanzi do vakua nemění, z čehož plyne, že jeho vnitřní energie nezávisí na objemu, ale je určena jen jeho teplotou [19]:

$$E = E(T).$$

Zkombinování tohoto výsledku s experimentálním poznatkem, že izochorické tepelné kapacity C_V zředěných plynů nezávisí na teplotě, následně přivedlo k závěru, že vnitřní energie ideálního plynu je přímo úměrná jeho termodynamické teplotě [20]:

$$E = C_V \cdot T.$$

Uvážení naměřených hodnot C_V ($\frac{3}{2}nR$ pro jednoatomový, $\frac{5}{2}nR$ pro dvouatomový ideální plyn, ...) pak umožňuje tento výsledek – kalorickou stavovou rovnici ideálního plynu – přepsat do tvaru

$$E = \alpha \cdot \text{Konst.} \cdot T, \quad (2a)$$

⁵⁾ Je namístě poznamenat, že nejde o autentické matematické vyjádření. Termodynamickou teplotní stupnici T totiž zavedl až o téměř půl století později (1848) William Thomson (lord Kelvin).

⁶⁾ Další fyzikálně-historické údaje a jejich podrobné komentáře vztahující se k celé této problematice lze najít např. v [17, 18].

kde α je konstanta, jejíž hodnota je určena druhem plynu (strukturou jeho molekul), zatímco koeficient *Konst.*, vystupující i v rovnici (1a), závisí jen na jeho množství.

• Mikroskopický (statistický) přístup

Z hlediska mikroskopického se ideálním plynem rozumí makroskopický soubor částic (zanedbatelných rozměrů), jejichž vzájemná interakce je tak slabá, že ji lze v celkové energiové bilanci zanedbat. Vnitřní energie E takového systému je prostým součtem energií ε_i všech jeho N stavebních částic (molekul)

$$E = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i .$$

V často – na středoškolské úrovni výhradně – uvažovaném případě jednoatomových plynů je energie jednotlivých molekul spojena jen s jejich postupným (chaotickým) pohybem a pro celkovou vnitřní energii uvažovaného plynového tělesa pak platí

$$E = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m v_i^2 = N \cdot \frac{1}{2} m v_k^2, \quad (2b)$$

kde m je hmotnost molekuly, v_i velikost okamžité rychlosti i -té molekuly a v_k střední kvadratická rychlost molekul.

Na základě úvah o pohybu jednotlivých molekul je možné vyjádřit rovněž tlakovou sílu, již uvažované plynové těleso působí na stěny nádoby, v níž je uzavřeno. Tento relativně jednoduchý postup – nezávislý na vnitřní struktuře molekul (jednoatomové, dvouatomové, ...) – poprvé formuloval roku 1857 Rudolf Clausius [21] a dospěl tak k výsledku

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m v_k^2 \quad (1b)$$

v učebnicové literatuře zpravidla nazývanému *základní rovnice pro tlak ideálního plynu*.⁷⁾

⁷⁾ Základní ideová linie tohoto odvození se záhy dostala i do českých gymnaziálních učebnic fyziky [22]. A v různých modifikacích (a stupních zjednodušení) je Clausiův postup užíván také v novějších učebních textech [24-28].

Střední kvadratickou rychlost v_k vystupující ve vztazích (1b), (2b) lze vypočítat pomocí Maxwellova rozdělení molekul podle rychlostí (odvozeného o tři roky později – 1860) (např. [18, 20]):

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \quad (5)$$

kde k je Boltzmannova konstanta.

A dosazením tohoto vyjádření do (1b), (2b) se dostane explicitní tvar obou stavových rovnic

$$pV = NkT, \quad (1c)$$

$$E = \frac{3}{2}NkT. \quad (2c)$$

Poněvadž při vyvození první z nich bylo kromě základních předpokladů molekulárně-kinetické teorie využito jen obecných úvah klasické mechaniky, platí tato rovnice pro libovolný klasický ideální plyn (bez ohledu na případnou vnitřní strukturu jeho molekul). Druhá rovnice, jejíž odvození využívá vztahu (2b) spočívajícího na předpokladu, že molekuly nemají vnitřní strukturu, vyjadřuje vnitřní energii klasického ideálního plynu, jehož molekuly jsou jednoatomové.

3. Úvodní výklad základních vlastností ideálního plynu

• Gymnaziální učebnicový obraz

Výklad základních vlastností ideálního plynu prezentovaný současnou českou učebnicí fyziky pro gymnázia [28] vychází z **mikroskopického pojetí**. Prakticky v témže tvaru byl formulován již v experimentální předchůdkyni [25] této publikace a od té doby – jen s malými změnami – využit i v [26, 27].

Logickou strukturu jeho původní verze [25, 26] lze – v označení použitém výše v tomto textu – shrnout do následujících bodů:

- sestavení vztahu (2b) – na základě fyzikální argumentace,
- odvození vztahu (1b) – Clausiovou metodou,
 - uvedení vztahu (5) v hotovém tvaru,
 - ▶ získání (1c) – dosazením (5) do (1b),
 - ▶ získání (2c) – dosazením (5) do (2b).

Ze tří fundamentálních vztahů (1b), (2b), (5) jsou tedy dva výchozí / (1b), (2b) / podloženy detailním fyzikálním zdůvodněním a jeden (5) – fungující ovšem jako „šém oživující Golema teoretického aparátu kinetické teorie“ – je předložen v hotovém tvaru. Obě základní charakteristiky ideálního plynu (1c), (2c) jsou tedy (téměř) uspokojivě vyvozeny. (Termická) stavová rovnice ideálního plynu je následně využita k odvození zákonů pro ideální plyn (Boyleova-Mariottova, Charlesova, Gay-Lussacova). Příslušné experimenty jsou při tom prezentovány ve své ověřovací funkci.

V učebnici [27] byla použita – z hlediska logických návazností – jen mírně odlišná varianta tohoto postupu:

- sestavení vztahu (2b) – na základě fyzikální argumentace,
- odvození vztahu (1b) – Clausiovou metodou,
 - uvedení vztahu (2c) v hotovém tvaru,
- získání (5) – zkombinováním (2b), (2c),
- získání (1c) – dosazením (5) do (1b).

Velmi podstatnou změnou je však přesun odvození vztahu (1b) do učiva tištěného petitem, „*kteřé ve třídách s menším počtem hodin věnovaných fyzice lze vynechat*“. Výklad v těchto třídách tak totiž přichází o druhý ze svých tří pilířů (na druhém řádku předchází tabulky • → ◦) a samo použití **čistě** mikroskopického přístupu tím ztrácí mnoho ze svého smyslu.

Redukce provedená v [28] je pak z tohoto hlediska již fatální: „*rozšiřujícím a doplňujícím učivem*“ se zde totiž stává nejen odvození vztahu (1b), ale i sám jeho tvar (a rovněž větší část komentáře pojmu střední kvadratická rychlost včetně matematické formulace směřující ke vztahu (2b)). Z původní verze postupu se tak stává pouhé torzo:

- uvedení vztahu (2b) /prakticky/ v hotovém tvaru,
- absence vztahu (1b),
 - uvedení vztahu (2c) v hotovém tvaru,
- získání (5) – zkombinováním (2b), (2c)
 - /tento vztah se však nikde v dalším textu, který není *doplňující* či *rozšiřující*, nepoužije/,
- nemožnost vyvození (1c).

Za těchto okolností tedy musí být i (termická) stavová rovnice ideálního plynu prezentována v hotovém tvaru. A Rámcovým vzdělávacím programem [9] *očekávaný výstup*: „žák využívá stavovou rovnici ideálního plynu stálé hmotnosti při předvídání stavových změn ideálního plynu“ tak může stěží spočívat v něčem jiném než ve víceméně mechanickém zacházení s tímto „vzorcem“.

Předcházející srovnání vede ke zřejmému „poučení z krizového vývoje“: jakékoli krácení – původně rozsáhlejšího – výkladu⁸⁾ má svoje meze, jejichž překročení jak jeho věcný, tak vzdělávací obsah značně poškodí či dokonce zcela znehodnotí.

• Alternativní způsob výkladu

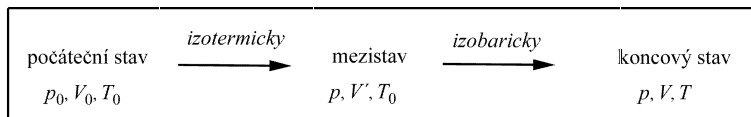
Nastíněný přehled různých přístupů k fyzikálnímu popisu ideálního plynu vybízí ke zvážení možnosti koncipovat výklad jeho základních vlastností odlišným způsobem. Skutečnost, že jak mikroskopické, tak makroskopické pojetí má kromě svých nesporných předností i určité rysy, které jsou z fyzikálně-pedagogického hlediska méně příhodné, dává naději, že vhodným zkombinováním obou těchto „čistokrevných“ variant bude možné vytvořit postup, který by v maximální míře využíval jejich předností a současně minimalizoval jejich nevýhody.⁹⁾

Nejjednodušší cestou vedoucí k (termické) stavové rovnici ideálního plynu je společné uvážení Boyleova-Mariottova a Charlesova (Gay-Lussacova) zákona připomínané v historických souvislostech ve druhé části tohoto textu. Prakticky takové spojení znamená, že se nejprve uvažuje o izotermickém přechodu studovaného plynového tělesa (n molů) z počátečního stavu, charakterizovaného hodnotami tlaku p_0 , objemu V_0 a tep-

⁸⁾ Při uvažování o důvodech popisované redukce je zajímavé provést orientační odhad s ní související „časové úspory“: Ze zhruba 33 stran kapitoly 3. *Struktura a vlastnosti plynného skupenství látek* [26-28], obsahující výklad diskutované problematiky, je v [28] jako *rozsířující a doplňující učivo* označen text v rozsahu asi 18 stránek, t.j. přibližně 55 % původního rozsahu. Tato hodnota velmi dobře odpovídá snížení celkové týdenní dotace gymnaziální fyziky – z předreformního $3 + 3 + 3 + 4 = 13$ na obávaných $2 + 2 + 2 + 0 = 6$ – připomínanému v první části tohoto článku.

⁹⁾ Koncepce kombinující v přiměřených proporcích mikroskopický a makroskopický pohled (a ovšem i odkaz na experiment) odpovídá modernímu přístupu ke studiu makroskopických systémů a v současných vysokoškolských kurzech termodynamiky a statistické fyziky (např. [18-20]) je preferována. V obecné formulaci je tato problematika samozřejmě komplikovanější, v konkrétním případě ideálního plynu lze však takový statisticko-termodynamický přístup realizovat i na středoškolské úrovni.

loty T_0 , do mezistavu (p', V', T') , z něhož je následně izobaricky převedeno do koncového stavu, ve kterém tyto veličiny mají hodnoty p, V, T . Z předpokládaného charakteru obou dílčích procesů při tom vyplývá, že popisované plynové těleso má v mezistavu stejnou teplotu T_0 jako ve stavu počátečním ($T' = T_0$) a též tlak p jako ve stavu koncovém ($p' = p$):



Užití (3), (4) postupně dává

$$p_0 V_0 = p V', \quad \frac{V'}{T_0} = \frac{V}{T},$$

odkud se vyloučením V' dostane rovnice (1a):

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p V}{T} = \text{Konst.}, \quad \text{resp.} \quad p V = \text{Konst.} T = n R T. \quad ^{10)}$$

(Je zřejmé, že fyzikálně-pedagogická hodnota tohoto postupu velmi závisí na způsobu uvedení obou výchozích zákonů (3), (4). Tato problematika je v novodobé české učebnicové literatuře [23-29] dobře zpracována a dokonce i v redukovaném textu [28] zůstala součástí základního učiva. Popisovaná organizace výkladu ovšem vyžaduje, aby příslušné experimenty byly prezentovány – na rozdíl od [25-28] – nikoli v ověřovací, ale ve své heuristické funkci.¹¹⁾

Druhým stěžejním bodem předkládaného alternativního postupu je odvození *základní rovnice pro tlak ideálního plynu* (1b):

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m v_k^2. \quad ^{7)}$$

Pouhé uvedení tohoto vztahu v hotovém tvaru (či dokonce jeho úplné vynechání) totiž studentům značně ztěžuje (případně zcela znemožňuje)

¹⁰⁾ Poznamenejme, že tento Carnotův-Clapeyronův-Clausiův způsob vyvození (termické) stavové rovnice ideálního plynu z empirických zákonitostí nalezených jejich předchůdci byl použit již v učebnici [22] (v tehdejší terminologii je ovšem vztah (1a) ještě nazýván „*spojeným zákonem Gay-Lussacovým a Mariottovým*“); frekventován je však i v novější učebnicové literatuře [23, 24, 29].

¹¹⁾ Na zajímavé nové možnosti v tomto směru upozorňuje pěkný metodický článek [30].

uvědomit si a pochopit podstatné fyzikální souvislosti takového úvodního výkladu základních vlastností ideálního plynu. Jeho zařazení/odvození naopak dává možnost – po zkombinování (1b) se snadno vyvoditelným (2b)

$$E = N \cdot \frac{1}{2}mv_k^2$$

– vyjádřit součin tlaku p a objemu V studovaného plynového tělesa jako

$$pV = \frac{2}{3}E. \quad (6)$$

Porovnání tohoto vztahu s (1a) vede přímo ke (kalorické) stavové rovnici ideálního plynu (2a):

$$E = \frac{2}{3}nRT$$

a po zavedení Boltzmannovy konstanty k vztahem $nR = \frac{N}{N_A}R = Nk$ (kde N_A je Avogadrova konstanta) i k jejímu tvaru (2c):

$$E = \frac{3}{2}NkT.^{12)}$$

Z dodatečného srovnání tohoto vztahu s (2b) pak bezprostředně vyplýne i výraz (5) pro střední kvadratickou rychlost.

Závěrem je vhodné zřehlednit logickou linii navrhovaného alternativního způsobu výkladu základních vlastností ideálního plynu ve formě heslovitých bodů:

- odvození vztahu (1a) – z empiricky zjištěných zákonů,¹²⁾
- odvození vztahu (1b) – Clausiovou metodou,
- sestavení vztahu (2b) – na základě fyzikální argumentace,
- ▶ získání (6) – zkombinováním (1b), (2b),
- ▶ získání (2a), (2c) – zkombinováním (1a), (6),
- ▶ získání (5) – zkombinováním (2b), (2c).

¹²⁾ Pomocí vztahu $nR = Nk$ lze samozřejmě dodatečně přepsat také rovnici (1a), vypočtenou výše na základě makroskopických úvah, do tvaru (1c).

Literatura

- [1] *Veverka, J.*: K hodinové dotaci gymnaziálního kurzu fyziky. Ve: Svoboda, E., (red.): Aktuální problémy výuky fyziky na gymnáziu (sborník ze semináře). MAFY, Hradec Králové 2002, str. 8. Školská fyzika VIII, č. 1 (2004) 95.
<http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/hoddot.pdf>
- [2] *Lepil, O.*: Fyzikální vzdělávání ve 20. století – a jak dále? Matematika – fyzika – informatika 10, č. 5 (2000/2001) 277.
- [3] *Lacina, A.*: Moderní trendy v českém fyzikálním vzdělávání. Školská fyzika VIII, č.3 (2005) 83. <http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/aktprobl.pdf>
- [4] *Bečvář, J.*: Naše žhavá současnost. Přednáška na konferenci „Matematika – základ evropské vzdělanosti.“ (Hradec Králové, září 2007).
<http://schol-methodicus.eu/Apel-k-verejnosti.htm>
- [5] *Piřha, P.*: Velká iluze českého školství. Přednáška na Pedagogických dnech na Univerzitě Hradec Králové, duben 2008.
<http://www.stolzova.cz/stolzova/view.php?cislocclanku=2008041701>
- [6] Zákon ze dne 24. září 2004 o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání (školský zákon).
- [7] Předchozí verze Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia – RVP G
<http://www.vuppraha.cz/sekcce/80>
- [8] *Svoboda, E., (red.)*: Aktuální problémy výuky fyziky na gymnáziu (sborník ze semináře). MAFY, Hradec Králové 2002.
- [9] Rámcový vzdělávací program pro gymnázia – RVP G. VÚP Praha, 2007.
http://www.vuppraha.cz/soubory/RVPG-2007-07_final.pdf
- [10] *Svoboda, E.*: Teorie a praxe tvorby vzdělávacích programů. Ve: Rauner, K., (red.): Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 3 – Rámcové vzdělávací programy (sborník z konference – dodatek). ZČU, Plzeň 2007.
- [11] *Arons, A.,B.*: Achieving Scientific Literacy. Deadulus, Spring 1983. (Český překlad: Cesty k přírodovědné gramotnosti. Školská fyzika VII, č. 3 (2001) 61.
<http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/arons.pdf>
- [12] Manuál pro tvorbu ŠVP na gymnáziích. VÚP Praha, 2007.
http://www.rvp.cz/soubor/Manual_G.pdf
- [13] Metodický portál RVP – portál vzdělávání. <http://www.rvp.cz/>
- [14] *Lepil, O.*: Současnost a budoucnost učebnic fyziky pro gymnázia. Matematika – fyzika – informatika 12, č. 2 (2002/2003) 84.
- [15] *Bazarov, I., P.*: Termodinamika. Vyššaja škola, Moskva 1983.
- [16] *Obdržálek, J., Vaněk, A.*: Termodinamika a molekulová fyzika. Pedagogická fakulta UJEP, Ústí nad Labem 1996.
- [17] *Zajac, R., Šebesta J.*: Historické pramene súčasnej fyziky 1. Alfa, Bratislava 1990.
- [18] *Zajac, R., Pišút, J.*: Štatistická fyzika. Univerzita Komenského, Bratislava 1995.
- [19] *Lawden, D., F.*: Principles of Thermodynamics and Statistical Mechanics. John Wiley & Sons, Chichester 1987.
- [20] *Lacina, A.*: Základy termodynamiky a statistické fyziky. SPN, Praha 1990.
- [21] *Lacina, A.*: Vznik a vývoj termodynamiky a statistické fyziky. Školská fyzika II, č. 4 (1994/1995) 13. <http://www.physics.muni.cz/kof/clanky/vzniikt.pdf>

- [22] Müller, P., J., Simonides, J.: Fysika pro vyšší třídy škol středních (vydání pro gymnasia). František Borový, Praha 1884.
- [23] Šoler, K., Fuka, J., Lehar, F.: Fysika pro desátý ročník. SPN, Praha 1958.
- [24] Vanovič, J. a kol.: Fyzika pro II. ročník střední všeobecně vzdělávací školy. SPN, Praha 1965.
- [25] Svoboda, E. a kol.: Fyzika. Experimentální učební text pro II. ročník gymnázia. SPN, Praha 1980.
- [26] Svoboda, E. a kol.: Fyzika pro II. ročník gymnázií. SPN, Praha 1985.
- [27] Bartuška, K., Svoboda, E.: Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika (1. vydání). Galaxie, Praha 1993. (2. a 3. vydání, Prometheus, Praha 1994 a 1996).
- [28] Bartuška, K., Svoboda, E.: Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termika (4. přepracované vydání). Prometheus, Praha 2000.
- [29] Lepil, O., Bednařík, M., Hýblová, R.: Fyzika pro střední školy I. Prometheus, Praha 2001.
- [30] Horváth, P.: Historický prístup k zavedeniu stavovej rovnice ideálneho plynu. Ve: Holubová, R., (red.): Veletrh nápadů učitelů fyziky XI (sborník z konference). UP, JČMF, Olomouc 2006, str. 189.

Příroda – zdroj motivace ve výuce fyziky (plování těles)

JANA PEKAŘOVÁ

Pedagogická fakulta UHK, Hradec Králové

Ve školním roce 2003/2004 prováděl Höfer a kol. [1] dotazníkové šetření, zjišťující názory žáků na výuku fyziky. Autoři v něm mimo jiné porovnávali, jaký stupeň oblíbenosti a obtížnosti žáci přidělí jednotlivým vyučovacím předmětům. Ze srovnání stupně oblíbenosti fyziky se stupněm oblíbenosti biologie (přírodopisu) vyvodili doporučení, aby didaktici a především autoři učebnic využili příznivého postoje žáků k biologii k zařazování příbuzných témat z biologie do fyziky a tím přispívali ke zlepšení pohledu žáků na fyziku.

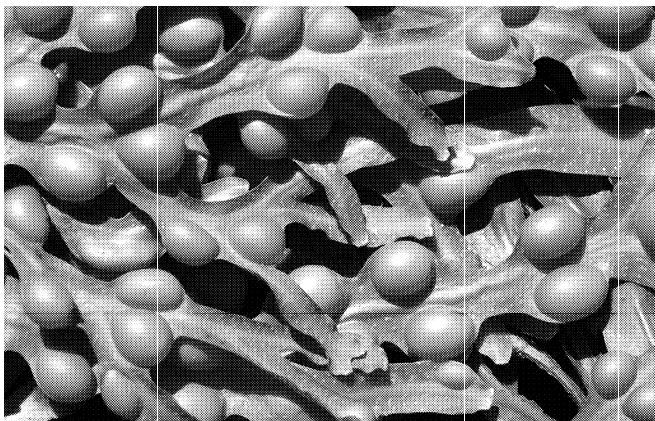
O zařazování mezipředmětových vztahů do vyučování jako motivačním prvku se více mluví již od poloviny minulého století [2]. Stále se však jeví jako aktuální problém, neboť k němu ještě nedochází v uspokojivé míře. Jeden z důvodů tohoto stavu je, že využívání mezipředmětových vztahů

klade vysoké nároky na učitelův „rozhled“ za hranicemi jeho aprobace. Učitelům fyziky by proto usnadnilo práci, kdyby existovala publikace obsahující „typy“ na zařazení biologické tematiky do výuky jejich předmětu. Podle apelu na didaktiky, uvedeného v [1], zatím taková publikace u nás neexistuje.

Uvádím několik biologických zajímavostí, které je možné jednoduchým způsobem prezentovat při probírání učiva o plování těles (Archimédův zákon) na gymnáziu, zčásti i na základní škole. Věřím, že si každý učitel fyziky, při čtení článků o přírodě či sledování přírodopisných dokumentů, všimne dalších zajímavostí, na které lze aplikovat fyzikální poznatky. Aplikace lze žákům předložit buď kvalitativní formou (vysvětlení, které fyzikální principy se při daném přírodním jevu uplatňují) nebo formou příkladu. Je dobré, aby příklad byl zvladatelný i pro žáky bez zájmu o fyziku. Jinak by totiž mohl ztratit svou motivační funkci.

Mořské řasy

V oblastech skalnatého mořského pobřeží jsou řasy vystaveny náročným životním podmínkám. Jsou zmítány prudkými příbojovými vlnami. Druhy řas rostoucí v klidných mělkých vodách by byly příbojovými vlnami rozdrceny. V mělčinách příbojových oblastí Severního a Baltského moře se vyskytuje např. chaluha bublinatá (*Fucus vesiculosus*), obr. 1. Stélky chaluh jsou tak pružné, že nápor vln vydrží. K jejich odolnosti přispívá i schopnost takřka bez odporu volně splývat na vlnách.



Obr. 1

Při přílivu se zvedá hladina. Kdyby chalupy zůstaly v původní hloubce, pronikalo by k nim v této části dne málo světla potřebného pro fotosyntézu. Aby k tomu nedošlo, je průměrná hustota stélek řas snížena měchýřky naplněnými plynem. Hustota stélky je tak menší než hustota mořské vody. Díky tomu chalupy zůstávají stále u hladiny, kde mají dostatek slunečního světla [3].

Viktorie královská

Viktorie královská (*Victoria amazonica*) roste v klidných zátokách Amazonky. Hladinu řeky pokrývají její v průměru až dva metry široké listy kruhového tvaru. Její květy o průměru až 35 centimetrů vylučují vůni obdobnou vůni ananasu, která je cítit i na velkou vzdálenost. Květ je rozvinut během noci, kdy je v něm teplota až o 11 °C vyšší než v okolí, což láká teplomilný hmyz, který květ opyluje [3].

I přes svoji nepatrnou tloušťku jsou listy viktorie královské značně pevné – udrží na své ploše až 50 kg. Tak vysoká nosnost listu je zajištěna tím, že jeho spodní strana je důmyslně vyztužena cévními svazky.*¹) Silné cévní svazky se paprscovitě rozbíhají ze středu listu a směrem k okraji se větví na čím dál plošší žilky. Jedna centrální žilka se tak rozvětví až na 36 menších žilek, které jsou navzájem propojeny příčnými spojkami [4].

A jak se i zatížený list viktorie královské udrží na hladině (obr. 2)? Cévní svazky na spodní straně listu jsou pokryty dlouhými šupinatými, červenými štětinkami, vázajícími vzduch.

Příklad

Plocha listu viktorie královské na vodní hladině má tvar kruhu o průměru dva metry. K ní kolmé listové okraje jsou vysoké 3 cm. Pro zjednodušení uvažujeme, že bez zátěže list plave zcela neponořen. Nosnost listu je 50 kg. Jak hluboko se list při takové zátěži ponoří, je-li rozložena na listu rovnoměrně? [1,6 cm]

Jakou maximální zátěž by list unesl na hladině, kdyby nebyl omezen mezí pevností? [94,2 kg]

*¹) Strukturou listů viktorie královské se nechal v polovině 19. století inspirovat Sir Joseph Paxton při projektování „Křišťálového paláce“ v Londýně, který je jednou ze staveb významných pro stavitelství.



Obr. 2

Plování ryb

Obecně je hustota tělních tkání ryb větší než hustota vody. Jak je tedy možné, že ryby ve vodě volně plavou a neklesají ke dnu?

Ryby z nadřádu kostnatí (*Teleostei*), žijící blízko vodní hladiny, mají v tělní dutině plynový měchýř, který je „nadlehčuje“ (zvětšuje statickou vztlakovou sílu). Plynový měchýř nemá konstantní objem. Upravuje průměrnou hustotu rybího těla tím, že vyrovnává tlak plynu uvnitř něho s vnějším tlakem vody. Součin objemu a tlaku plynu v měchýři je při dané teplotě konstantní (Boylův zákon $pV = \text{konst.}$). Když ryba plave do větší hloubky, kde je větší tlak, objem měchýře se zmenší a tím se zvýší průměrná hustota těla ryby. Tato regulace má samozřejmě své hranice, vymezené anatomií daného druhu ryby. Jednotlivé druhy ryb žijí v různých hloubkových pásmech, ve kterých je optimální průměrná hustota jejich těla rovna hustotě vodního prostředí. Ryby bez plynového měchýře mají zpravidla úzká hloubková pásma, v nichž se vyskytují.

U kaprovitých ryb je plynový měchýř dvoudílný. Dvoudílnost měchýře kaprovitým rybám umožňuje zaujmout polohu šikmo dolů nebo nahoru. Toho dosahují tím, že tlak v zadní komoře se zvýší, v přední sníží a naopak.

Nadřád žraloků má pro plování jiné anatomické řešení. Žraloci mají velká játra, která mají hustotu pouze $860 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a tvoří 20 procent jejich celkové hmotnosti.

Příklad (podle [5], upraveno)

Okoun říční (*Perca flavescens*), který žije v mělkých vodách, má průměrnou hustotu těla $1,005 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Flexibilní plynový měchýř zaujímá 7,5 % objemu jeho těla, je-li okoun při hladině.

- a) Zjistěte hustotu těla okouna, kdyby jeho plynový měchýř byl úplně poškozen. [$1,08 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
- b) Jaká bude průměrná hustota těla zdravého jedince, jestliže poplave do hloubky 5,15 m pod hladinou ($g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)? [$1,03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

„Neviditelní“ krokodýli

V žaludku některých krokodýlů byly nalezeny menší kameny. Není ještě zcela jasné, k čemu krokodýlům slouží. Někteří vědci se domnívají, že napomáhají trávení potravy, obdobně jako šrot či hrubší písek ve voleti ptáků. Jiní jsou zase přesvědčeni, že kameny fungují v žaludku nilských krokodýlů jako zátěž, díky které je jejich tělo více ponořeno do vody, a tak skryto před nic netušící kořistí.

Literatura

- [1] Höfer, G. a kol.: *Výuka fyziky v širších souvislostech – názory žáků*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2005. 215 s. ISBN 80-7043-436-8.
- [2] Janáš, J.: *Mezipředmětové vztahy a jejich uplatňování ve fyzice a chemii na základní škole*. Brno : Univerzita J. E. Purkyně v Brně, 1985. 88 s.
- [3] Čeman, R.: *Živý svět – rostliny*. Bratislava : MAPA Slovakia, 2001. 335 s. ISBN 80-8067-046-3.
- [4] Paturi, F.: *Rastjenija – genialnyje inženjery prirody*. Moskva : Progres, 1979. 312 s.
- [5] Strother, G. K.: *Physics with Applications in Life Sciences*. Boston : Houghton Mifflin Company, 1977. 474 s. ISBN 0-395-21718-0.

Odborná skupina pro vyučování fyziky na základní škole při Fyzikální pedagogické společnosti JČMF pořádá ve spolupráci s Katedrou didaktiky fyziky MFF UK **ve dnech 14. – 17. října 2009 v Daňkovicích** u Nového Města na Moravě v pořadí dvanáctý seminář s mezinárodní účastí na téma

„Jak učím fyziku?“

Hlavním cílem semináře je výměna zkušeností a prezentace nápadů, které umožňují zkvalitnění výuky. Seminář je určen pro učitele 2. stupně ZŠ a nižších ročníků gymnázií a bude probíhat formou přednášek a dílen. Program semináře zahrnuje okruhy: experimenty, hry ve fyzice, laboratorní práce, projekty, domácí práce, hodnocení žáků, fyzika v přírodě.

Akce je akreditována MŠMT. Podrobnější informace, kontakty a přihlášku naleznete na stránkách semináře: <http://www.dankovice2009.websnadno.cz/>
