

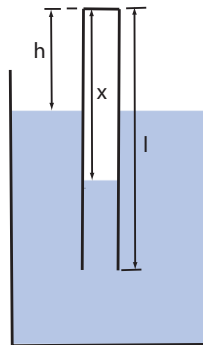
Sbírka pro předmět Středoškolská fyzika v příkladech 1 a 2

Termodynamika a statistická fyzika: ideální plyn – zadání

Řešení

1. Válec délky $l = 60$ cm, naplněný vzduchem atmosférického tlaku $p = 72$ cm Hg, byl ponořen dnem vzhůru do rtuti. Jak dlouhý je vzdušný sloupec, je-li dno válce $h = 4$ cm nad hladinou rtuti (viz obrázek 1)?

Obrázek 1:



[40 cm]

2. * Působí-li 1 g slitiny zinku a kadmia na kyselinu sírovou, vyvine se při teplotě $t = 26^\circ$ C vodík objemu $V = 230$ cm³. Určete složení slitiny.

[Zn 0,074 g, Cd 0,926 g]

3. * Kolik litrů vodíku teploty $t = 36,44^\circ$ C a tlaku $p = 1,6$ at vznikne, působí-li 14 g zinku na kyselinu sírovou?

[3,41]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

4. Kolikrát musíme stlačit píst hustilky, která má objem 40 cm^3 , abychom naplnili vzduchem prázdnou pneumatiku jízdního kola tak, aby styčná plocha pneumatiky s vozovkou byla 60 cm^2 ? Zatížení kola je 35 N , objem pneumatiky 2000 cm^3 . Tuhost pneumatiky zanedbejte. Předpokládejte, že atmosférický tlak je $100\,000 \text{ Pa}$.

[73 krát]

5. Dva balóny jsou spojeny trubkou s kohoutkem.

- (a) V prvním baloně je plyn při tlaku $p_1 = 760 \text{ mm Hg}$, tlak plynu ve druhém baloně je velmi malý ($p_2 = 0$). Objem prvního balónu je $V_1 = 21$, objem druhého balónu je $V_2 = 71$. Jaký bude výsledný tlak v balónech, jestliže je otevřením kohoutku spojíme? Teplota je konstantní.
- (b) Řešte tuto úlohu, je-li ve druhém baloně tlak $p_2 = 400 \text{ mm Hg}$.

$$[p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} \text{ (a) } 169 \text{ mm Hg} \text{ (b) } 480 \text{ mm Hg}]$$

6. ** Do rtuťového manometru se dostala bublinka vzduchu, a proto barometr ukazuje menší tlak, než je ve skutečnosti. Pro srovnání se správným barometrem se ukázalo, že při tlaku 768 mm Hg barometr ukazoval 748 mm Hg , přičemž vzdálenost horní hladiny rtuti od horního konce trubice byla 80 mm . Jaký je správný tlak, ukazuje-li barometr (se vzduchem nad rtuť) 734 mm Hg (při stálé teplotě)?

[751 mm Hg]

7. ** V trubici dlouhé $l = 70 \text{ cm}$, postavené zataveným koncem dolů, je sloupec vzduchu uzavřený shora sloupcem rtuti o výšce $h = 20 \text{ cm}$. Rtuť dosahuje až k hornímu okraji trubice (viz obrázek 2). Trubicí opatrně obrátíme. Část rtuti vyteče.

- (a) Jak vysoký sloupec rtuti zůstane v kapiláře, je-li barometrický tlak 750 mm Hg ?
- (b) Za jaké podmínky vyteče rtuť z kapiláry úplně?

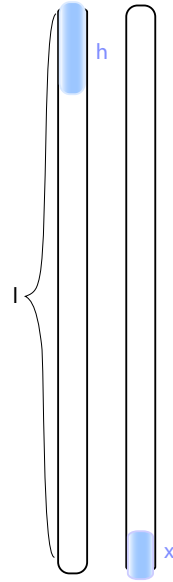
$$[(\text{a}) x = \frac{H+l}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{(H+l)^2 - 4h(H+h-l)} = 3,5 \text{ cm} \text{ (b) } l - h \geq H]$$

8. ** Bomba o objemu 20 l je naplněna stlačeným vzduchem. Při teplotě $t = 20^\circ \text{C}$ ukazuje manometr tlak 12 MPa . Jaký objem vody je možné vytěsnit z komory ponorky vzduchem z této bomby, jestliže je ponorka 30 m pod hladinou a teplota je 5°C ? Počítejte, že sloupec vody výšky deset metrů působí tlakem $100\,000 \text{ Pa}$ a že atmosférický tlak je $100\,000 \text{ Pa}$.

[554 l]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obrázek 2:



9. ★ Plynovodním potrubím teče oxid uhličitý při tlaku $p = 400\,000\text{ Pa}$ a při teplotě 7°C . Jaká je rychlost plynu v potrubí, jestliže za dobu $\tau = 10\text{ min}$ proteče $m = 2\text{ kg}$ oxidu uhličitého, je-li plocha průřezu potrubí $S = 5\text{ cm}^2$?

$$[u = \frac{mRT}{M_m p S \tau} = 0,9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}]$$

10. Načrtněte přibližně grafy izochorického, izobarického, adiabatického a izotermického děje v diagramech: (a) T, p (b) T, V (c) T, U (d) V, U .

[viz obrázek 3]

11. ★ Jaké měrné tepelné kapacity c_p a c_V má směs $m_1 = 2\text{ g}$ oxidu uhličitého a $m_2 = 3\text{ g}$ dusíku?

$$[c_V = \frac{c_{V1}m_1 + c_{V2}m_2}{m_1 + m_2} = 707\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1} \quad c_p = 963\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}]$$

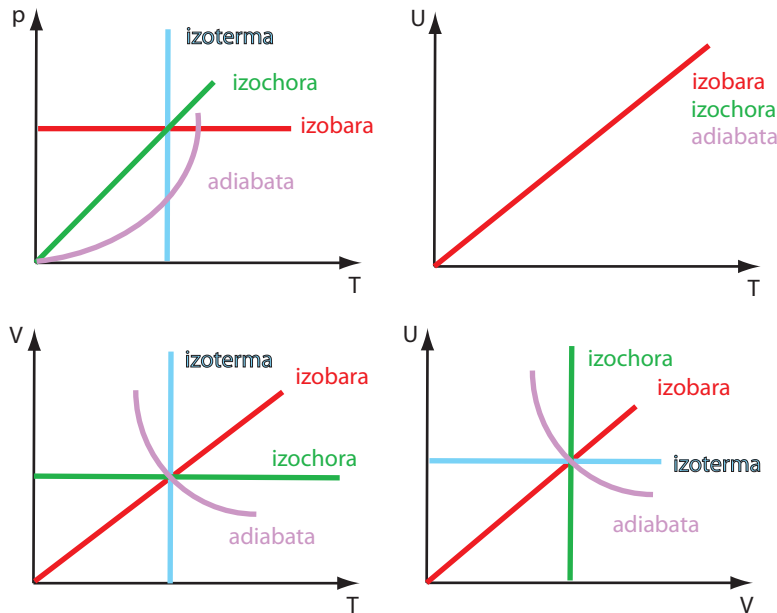
12. ★ Určete podíl $\kappa = \frac{c_p}{c_V}$ pro směs 3 molů argonu a 5 molů kyslíku.

$$[\kappa = 1,47]$$

13. ★★ Ve válci spalovacího motoru vybuchne hořlavá směs. Jaká teplota t_2 a jaký tlak p_2 se vyvine při výbuchu při těchto podmínkách: Objem válce je 10l, tlak před

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obrázek 3:



výbuchem je $p_1 = 500\,000\text{ Pa}$ a teplota $t_1 = 210^\circ\text{ C}$; množství petroleje ve směsi je $m = 0,9\text{ g}$ měrná tepelná kapacita spalin je $c_V = 712\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, podíl molární plynové konstanty a molární hmotnosti je $B = \frac{R}{M_m} = 280\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ a měrné spalné teplo petroleje je $q = 41,7\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Poznámka: Považujte zahřátí při výbuchu za izochorický děj, neuvažujte změnu objemu při výbuchu.

[1600° C, 2 MPa]

14. Počáteční tlak dvouatomového plynu byl $p_0 = 12\text{ MPa}$ a objem $V_0 = 1\text{ l}$. Jaké byly tlaky plynu při objemech $V_1 = 2\text{ l}$, $V_2 = 3\text{ l}$, $V_3 = 4\text{ l}$ a $V_4 = 5\text{ l}$,
- jestliže se plyn rozpínal adiabaticky
 - jestliže se plyn rozpínal izotermicky?
 - řešte tuto úlohu pro jednoatomový plyn.

Pro první dvě situace zakreslete změnu tlaku v diagramu V,p.

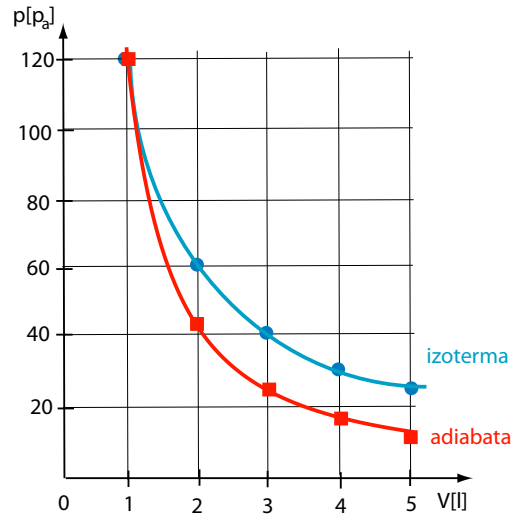
[(a) (b) viz obrázek 4]

15. * Na obrázku 5 je nakreslen diagram děje v ideálním plynu. Co se děje s plynem, když přejde ze stavu 1 do stavu 2? Jaká je měrná tepelná kapacita plynu při tom ději?

[tlak roste s \sqrt{T} , $c_V + \frac{R}{2M_m}$]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obrázek 4:



16. ** Na počátku určitého polytropického děje tlak a objem dané hmotnosti kyslíku byly 2,31 a 1 atm, na konci děje byly 4,11 a 0,5 atm. Teplota na začátku děje byla 26° C. Určete:

- exponent v polytropické rovnici
- práci vykonanou rozpínajícím se kyslíkem
- množství tepla, které obdrží kyslík od okolního prostředí
- změnu vnitřní energie kyslíku.

[(a) 1,2 (b) 127 J (c) 63,5 J (d) -63,5 J]

17. * Ve válci pod pístem je v uzavřeném objemu vzduch (viz obrázek 6). Jaká práce se musí vynaložit, aby byl stlačen píst o $h_1 = 10$ cm, je-li počáteční výška sloupce vzduchu $h_0 = 15$ cm a vnější tlak $p_0 = 760$ mm Hg. Plocha pístu $S = 10$ cm². Hmotnost pístu zanedbejte. Teplota se nemění.

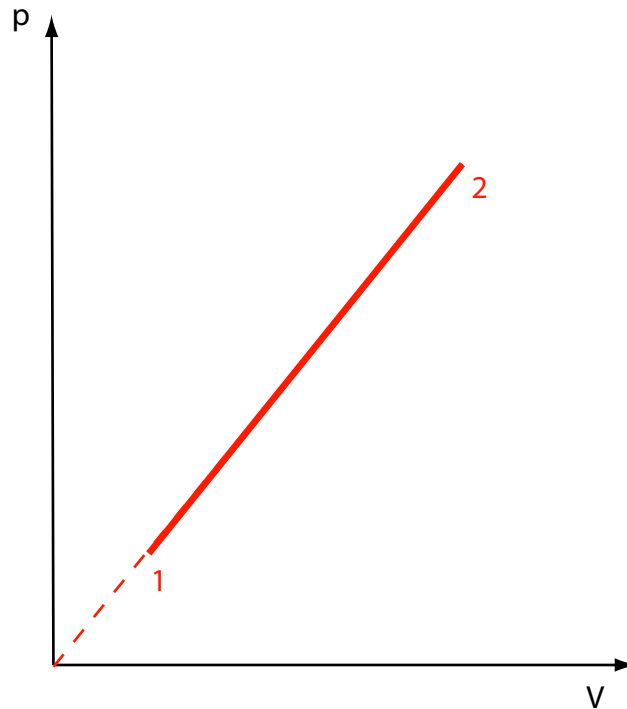
$$[W = p_0 S \left(h_1 - h_0 \ln \frac{h_0 + h_1}{h_0} \right) = 2,37 \text{ J}]$$

18. * 1 kg vzduchu při počátečním tlaku 100 000 Pa je stlačován na tlak 1 000 000 Pa. Určete práci, která se vykoná při stlačování vzduchu, jestliže

- stlačování se děje při stálé teplotě,
- stlačování se děje adiabaticky.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obrázek 5:



[(a) 193 kJ (b) 195 kJ]

19. Příklad zakreslený na obrázku 7 – vzduchové křesadlo – slouží k demonstraci zahřátí vzduchu při adiabatickém stlačení. Určete teplotu vzduchu v křesadle při rychlém zmenšení objemu na $\frac{1}{10}$ původního objemu, byla-li počáteční teplota 15°C .

[450°C]

20. * 8 g kyslíku při teplotě 27°C zaujímá objem 0,4 l. Vypočítejte práci plynu v těchto případech:

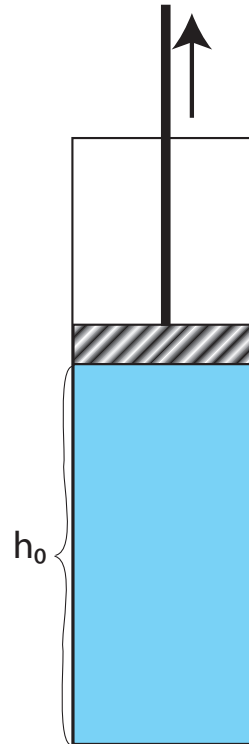
- Plyn se rozeprne adiabaticky na objem 4,1 l.
- Plyn se rozeprne izotermicky na objem 4,1 l a potom se ochladí při nezměněném objemu na takovou teplotu, která vznikla na konci adiabatického rozeprnutí.

Jak se vyloží rozdíl mezi prací v případě (a) a mezi prací v případě (b)?

[(a) 938 J (b) 1436 J]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obrázek 6:



21. ** Ve válci uzavřeném na obou koncích a naplněném vzduchem je píst, který rozděluje objem válce na dva stejné díly (viz obrázek 8). Tlak vzduchu na obě strany pístu je $p_0 = 100\,000\text{ Pa}$. Píst je vychýlen nepatrně z rovnovážné polohy a puštěn. Začne kmitat, při čemž děje v plynu můžeme pokládat za adiabatické (izotermické). Vypočítejte periodu těchto kmitů, jestliže hmotnost pístu je $m = 1,5\text{ kg}$, vzdálenost pístu od stěny je $l = 20\text{ cm}$ a plocha pístu je $S = 100\text{ cm}^2$. Tření je zanedbatelné.

$$[T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{2Sp_0(\kappa)}} = 0,05\text{ s} (=0,036\text{ s})]$$

22. * Dokažte, že pro jednoatomové plyny je součin pV přibližně roven $\frac{2}{3}$ vnitřní energie plynu, pro dvouatomové plyny $\frac{2}{5}$ vnitřní energie plynu!

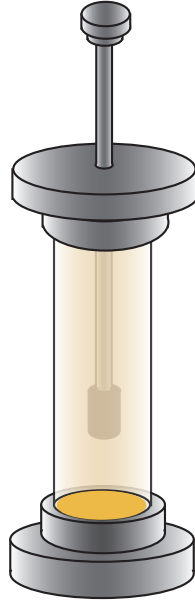
[vyjděte z ekvipartičního teorému]

23. * Jaká je změna vnitřní energie dusíku, který má při normálním tlaku objem $V_1 = 10\text{ l}$, jestliže se rozepne na objem $V_2 = 12\text{ l}$

- (a) izobaricky?
(b) adiabaticky?

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obrázek 7:



$$[(a) \Delta U = \frac{p(V_2 - V_1)}{\kappa - 1} = 494 \text{ J} \quad (b) \Delta U = \frac{pV_1}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa - 1} \right] = -178 \text{ J}]$$

24. ** Jakési množství suchého vzduchu stoupá v atmosféře.

- (a) Předpokládejme, že rozpínání vzduchu při stoupaní se děje izotermicky. Dokažte, že za tohoto předpokladu se výška h , do které vzduch vystoupil, vypočte podle vzorce

$$h = \frac{c_p T_0}{g} \cdot \frac{\kappa - 1}{\kappa} \cdot \ln \frac{p_0}{p},$$

kde T_0 je teplota a p_0 tlak na povrchu zemském, p je tlak ve výšce h .

- (b) Předpokládejte, že rozpínání vzduchu se při stoupaní děje adiabaticky. Dokažte, že to vede k barometrickému vzorci tohoto tvaru:

$$h = \frac{c_p T_0}{g} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right].$$

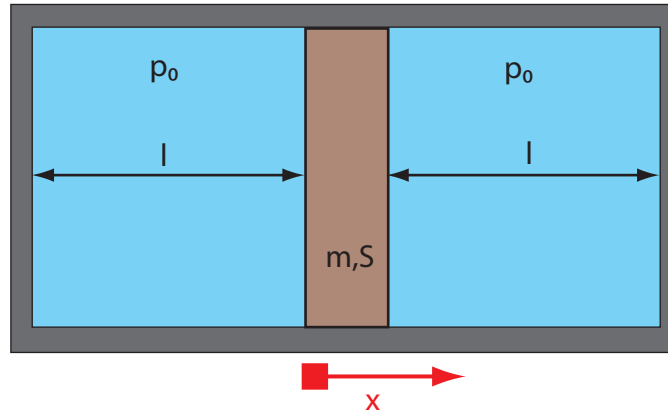
- (c) Vypočítejte, vycházejícíce jednou z prvního a po druhé z druhého předpokladu, v jaké výšce je tlak vzduchu dvakrát menší než na povrchu zemském. Teplota na povrchu zemském je 14°C .

[5900 m a 5350 m]

25. ** Bomby, jejichž objemy jsou V_1 a V_2 , obsahují dva plyny, které mají tlak p_1 a p_2 a teplotu T_1 a T_2 . Bomby jsou spojeny trubicí opatřenou kohoutkem. Když kohoutek otevřeme, nastane smíšení plynů a ustálí se výsledný tlak p a výsledná

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obrázek 8:



teplota T . Dokažte: V případě, že poměr $\frac{c_p}{c_v}$ je u obou plynů stejný, platí rovnice

$$p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

$$T = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2}}$$

Bomby jsou z materiálu, který nevede teplo.

[uvažujte o vnitřní energii plynů]

26. Na obrázku 9 je „teoretický“ pracovní diagram komprese (při experimentálních měřeních jsou rohy zakulacené). Část AB odpovídá izotermickému stlačení vzduchu, BC protékání vzduchu do rezervoáru kompresoru (tlak zůstává konstantní), CD okamžitému snížení tlaku ve válci kompresoru při uzavření výpustného otvoru a otevření otvoru sacího, DA sání vzduchu při tlaku jedné atmosféry. Dokažte, že celková práce kompresoru v jednom cyklu se rovná práci vykonané při izotermickém stlačení vzduchu a její velikost je dána plochou ABGF.

27. * Kompresor má dodávat za jednu hodinu 50 m^3 stlačeného vzduchu o tlaku $800\,000 \text{ Pa}$. Kompresor je ochlazován protékající vodou, takže stlačování můžeme považovat za děj izotermický.

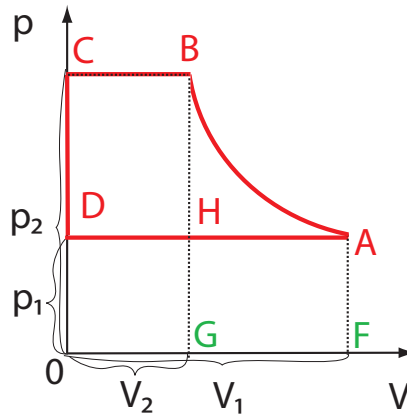
(a) Jaký výkon musí mít motor pohánějící kompresor, je-li účinnost kompresoru 60%?

(b) Jaké množství chladicí vody protéklo kompresorem, ohřeje-li se voda v chladiči z 11°C na 17°C ? Vnější tlak je roven tlaku atmosférickému.

[(a) $37,8 \text{ kW}$ (b) $3250 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$]

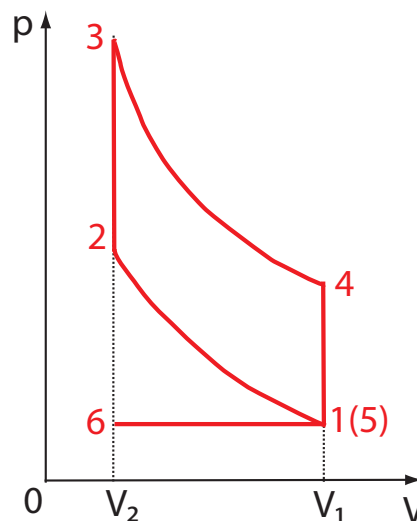
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obrázek 9:



28. Na obrázku 10 je „teoretický“ pracovní diagram cyklu výbušného motoru. Děj 1-2 je stlačení hořlavé směsi, 2-3 je výbuch, 3-4 pracovní chod, 4-5 pokles tlaku při otevření výpustního ventilu; 5-6 je výfuk plynů, které vykonaly práci, 6-1 je sání hořlavé směsi. Za předpokladu, že děje 1-2, 3-4 mohou být považovány za adiabatické a že děje 2-3, 4-5 mohou být zaměněny izochorickými ději, vypočítejte teoretickou účinnost stroje, je-li známo, že $\frac{V_1}{V_2} = 4$; $\frac{c_p}{c_v}$ pro hořlavou směs a pro produkty hoření je 1,3.

Obrázek 10:



$$[\eta = 0,34]$$

Literatura a prameny k dalšímu procvičování

- [1] Kolářová Růžena, Salach S., Plazak T., Sanok S., Pralovszký, B., 500 testových úloh z fyziky pro studenty středních škol a uchazeče o studium na vysokých školách. Prome-

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- theus, Praha 2004, 2.vydání.
- [2] Široká Miroslava, Bednařík Milan, Ordelt Svatopluk *Testy ze středoškolské fyziky*. Prometheus, Praha 2004, 2. vydání
- [3] Lepil Oldřich, Široká Miroslava *Sbírka testových úloh k maturitě z fyziky*. Prometheus, Praha 2001, 1. vydání
- [4] Ostrý Metoděj, *Fysika v úlohách 516 rozřešených příkladů*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1958
- [5] Гурьев Л. Г., Кортнев А. В., Куценко А. Н., Латьев Б. В., Минкова С. Е., Протопопов Р. В., Рублев Ю. В., Тищенко В. В., Шепетуря М. И., *Сборник задач по общему курсу физики*, Высшая школа, Москва 1966
- [6] Болькенштейн, В. С., *Сборник задач по общему курсу физики*, Наука, Москва 1967
- [7] Sacharov, D. I., Kosminkov, I. S., *Sbírka úloh z fyziky*, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1953
- [8] Бендриков Г.А., Бучовцев Б.Б., Керженцев В. В., Мякишев Г.Я., *Задачи по физике для поступающих в вузы*, Наука, Москва 1987
- [9] Koubek Václav, Lepil Oldřich, Pišút Ján, Rakovská Mária, Široký Jaromír, Tománová Eva, *Sbírka úloh z fyziky II.díl pro gymnázia*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1989
- [10] Ungermann Zdeněk, Simerský Mojmír, Kluvanec Daniel, Volf Ivo, *27. ročník Fyzikální olympiády brožura*, Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1991
- [11] Klepl Václav, *Elektrotechnika v příkladech*, Práce, Praha 1962
- [12] Říman Evžen, Slavík Josef B., Šoler Kliment, *Fyzika s příklady a úlohami, příručka pro přípravu na vysokou školu*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1966
- [13] Bartuška Karel, *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy I*, Prometheus, Praha 2007
- [14] Bartuška Karel, *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy II*, Prometheus, Praha 2008
- [15] Bartuška Karel, *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy III*, Prometheus, Praha 2008
- [16] Bartuška Karel, *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy IV*, Prometheus, Praha 2008
- [17] vlastní tvorba