

## Pozor! Pozor! Pozor!

Vyhlašujeme jedinečnou soutěž, která nemá v historii semináře obdoby. Vy sami máte možnost změnit image vašeho (jak doufáme) oblíbeného korespondenčního semináře. O co jde?

Již před časem jsme dospěli k názoru, že by bylo vhodné spojit aktivity semináře pod nějaký ústřední motiv neboli logo. Současný rozmach FKS změnil tyto ideje v nutnost. Nicméně kreslířské schopnosti se skupině organizátorů jaksí vyhnuly, a tak se obracíme na vás, naše řešitele. Možnost získat 1–5 bodů podle kvality a rozsáhlosti provedení má každý, kdo spolu s řešením této (případně i příští) série pošle návrh na nový znak semináře. Námět je vesměs libovolný, ať už abstraktní nebo konkrétní (třeba nějaké zvířátko nebo postavička), měl by však mít něco společného s fyzikou a dopisováním, proto ke svým návrhům připojte krátké vysvětlení. Můžete se nechat inspirovat naší krásnou a sličnou veverkou. Provedení žádáme černobílé s možností kopírování a zmenšení na velikost cca 3×3 cm (žádné rozsáhlé stínování). Tři nejlepší návrháři získají dalších pět bodů, pokud rozpracují svůj návrh do zhruba pěti variant (s motivem SNP, pořadí, soustředění, atd. – upřesníme později). Pamatujte na tuto možnost už při zpracování návrhu – co když právě vy vyhraje?

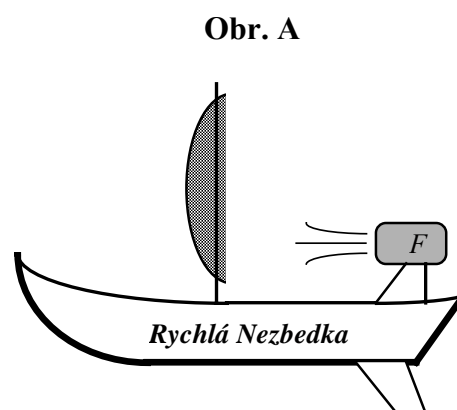
*Pohov!*

## Zadání 2. série

Termín odeslání: 27. listopadu 1995

### Úloha II. 1 ... *Nezbedova Nezbedka*

Na obrázku 1 plave loďka. Její majitel, známý vynálezce a kutil Nezbeda, vyřešil problém bezvětrného počasí následujícím způsobem: na zád' lodi připevnil výkonný fén značky *Fukar* a nasměroval jej vpřed přímo na malou lodní plachtu. Na vás teď je, abyste usoudili, za jakých podmínek se loďka rozjede vpřed či vzad. Můžete se také zamyslet nad tím, jaké zlepšovací návrhy byste Nezbedovi poradili, aby jeho pohon pracoval za bezvětrí co nejefektivněji.



### Úloha II. 2 ... *jádro hélia*

Spočítejte střední vzdálenost mezi nukleony v jádře  ${}^3_2\text{He}$ . Zadány máte hmotnosti těchto částic:

jádro	neutron	proton	deuterium	tritium	helium ${}^3_2\text{He}$
hmotnost [ $10^{-27}$ kg]	1,674 929	1,672 623	3,343 590	5,008 271	5,008 239

*Poznámka:* Silná interakce je invariantní vůči záměně protonů a neutronů v jádře. Také platí, že na vzdálenostech  $\sim 10^{-15}$  m jsou jaderné síly daleko intenzivnější než elektromagnetické působení.

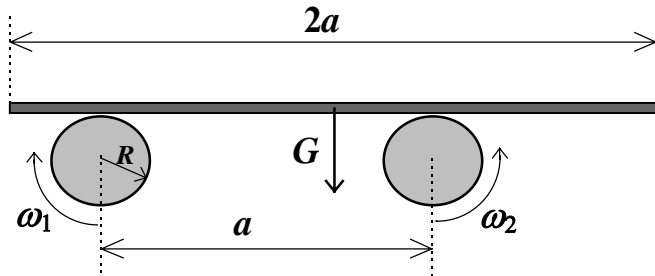
### Úloha II . 2 ... válcovací stolice

Dva stejné válce o poloměru  $R$ , jejichž osy jsou rovnoběžné a leží ve vodorovné rovině ve vzdálenosti  $a$ , rotují opačnými směry. Na tyto válce položíme vodorovně desku délky  $2a$  o hmotnosti  $m$  tak, že přečnává vpravo více než vlevo (viz obr. 2). Mezi deskou a válcem působí tření s koeficientem  $\mu$ .

Co se bude dít s deskou,

- pokud jsou obvodové rychlosti stejně veliké,
- pokud je obvodová rychlost levého válce dvakrát větší než obvodová rychlost pravého?

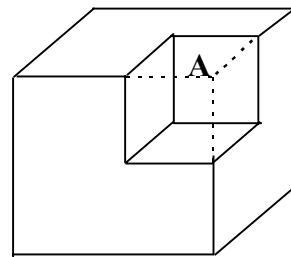
Obr. B



### Úloha II . 4 ... elektrická krychle

Představme si krychli s rovnoměrně rozloženým nábojem o hustotě  $\rho$  v celém jejím objemu. Ve vrcholu A jsme naměřili intenzitu elektrického pole  $E$ . Jakou intenzitu naměříme v bodě A, jestliže vyřízneme z krychle krychličku o poloviční délce hrany, jak je znázorněno na obr. 3?

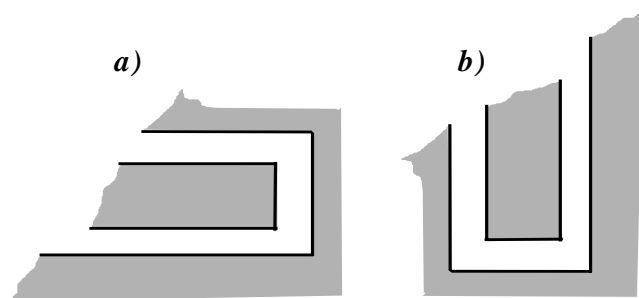
Obr. C



### Úloha II . 5 ... Lomonosovův průvan

Velký přírodovědec M. V. Lomonosov studoval ve své světově proslulé práci „O volném pohybu vzduchu v dolech“ závislost směru proudění vzduchu na ročním období. Po dlouhém a strastiplném bádání dospěl k závěru, že teplota vzduchu je v dole stále stejná po celý rok. (V jeho době byly doly ještě poměrně mělké.) Určete, jakými směry bude vzduch proudit v létě a v zimě v dolech umístěných podle obr. 4.

Obr. D



### Úloha II . 6 ... odpolední čajček

Pokuste se změřit odpor spirály elektrického vařiče.

*Návod:* Ohřívejte vodu vařičem a sledujte závislost její teploty na čase. Z této závislosti zjistěte výkon vařiče, ze kterého už snadno naleznete odpor spirály.

Zřejmě vám už došlo, že tato úloha je takzvaně **experimentální**. Naše zkušenosti ukazují, že jen málo řešitelů má správnou představu, jak má vypadat zpracování fyzikálního měření, proto bude záhodno rozepsat se o tom více:

Nejprve je dobré si ujasnit, jaké fyzikální děje během pokusu probíhají [v našem případě přeměna elektřiny na teplo, předávání tepla lázni] a jaké vztahy lze mezi zadanými a měřenými veličinami použít [vzorce pro energii spotřebovanou v odporu atd.]. S jejich pomocí se pokusíte odhadnout, jaké jsou očekávané výsledky vašich měření [vyhledáte si hodnoty konstant v tabulkách a dosadíte do vzorců]. Tyto úvahy tvoří první část vámi sepsaného protokolu, **teoretickou**. Poté se budete věnovat experimentálnímu zařízení: popíšete aparaturu a uvedete i ostatní parametry [materiál nádoby, teplota okolí], které by mohly výsledky ovlivnit. Stanovíte **postup měření** a jeho rozsah [jak často hodnoty odečítat, kolikrát se měření opakuje] – v prvním přiblížení platí: „čím více výsledků, tím lépe“ – máte takzvaně lepší statistiku. Nyní dojde na vlastní **provedení**; záznam naměřených hodnot je vhodné také přiložit [tabulka]. Následuje **zpracování**: spočtete hledané hodnoty a máte-li více měření pro danou veličinu, stanovíte průměr a směrodatnou odchylku (tu možná někteří neznají – je dána průměrem čtverců rozdílů naměřených hodnot a aritmetického průměru,  $\sigma = \sqrt{\left(\sum (x_i - \bar{x})^2\right)/n}$ ). Spočtené odchylky jsou základem pro určení chyby;

přidáte k nim ještě chyby zadaných veličin (rozměry měřených prvků apod.) a celkovou relativní chybu pak stanovíte většinou jako kvadratický průměr všech možných relativních chyb (relativní chyba  $\delta A$  je dána podílem absolutní chyby  $\Delta A$  a velikosti veličiny  $A$ ). Ve skutečnosti je to všechno složitější, zájemce můžeme odkázat např. na knihu Jaromíra Brože, *Základy fyzikálních měření*. Raději připomeneme, že chyba se stanovuje maximálně na dvě platné cifry (ale spíše na jednu, pokud neměříte soubor okolo tisíce hodnot) a výsledek pak zaokrouhlujeme na stejný počet desetinných míst, jako má chyba. Měříte-li nějaké závislosti, jsou nedílnou součástí vyhodnocení především **grafy**, neboť obrazovou informaci je čtenář schopen mnohem lépe strávit než dlouhé sloupce čísel.

*Závěrem* protokolu je diskuse získaných výsledků, potvrzení souhlasu či zdůvodnění nesouhlasu s teoretickou nebo tabulkovou předpovědí [ztráty tepla do okolí, nestejně podmínky opakovaných měření]. Dokladem úspěchu je, když se teorie a experiment liší maximálně o spočtenou chybu, proto nebuďte při jejím určování příliš optimističtí.

Tento popis byl pro vás zřejmě až příliš vyčerpávající; budete-li se ho však alespoň zhruba držet, máte velkou šanci při řešení experimentálních úloh, které jsou značně bodově dotovány, uspět.

## *Seriál na pokračování*

Vraťme se nejprve k první úloze tohoto ročníku, úloze **S. 1**, která vás měla přimět k tomu, abyste se více zamysleli nad tím, jaký vztah má fyzikální teorie k okolnímu světu a především lidem v něm, co si můžeme na základě našich vědeckých poznatků dovolit tvrdit a co ne. Odtud také plyne, že odpovědi nebyly úplně jednoznačné ve smyslu ano/ne, záleželo především na tom, jak své „správné“ odpovědi obhájíte. Mnohdy stačí podívat se na daný problém z více stran a hned pocítíme, jak je „pravda“ relativním pojmem. Vezmu postupně nabídnuté odpovědi našemu příteli – vynálezci, první diskutuji vždy tu možnost podle mého názoru správnější.

*1. Termodynamika dokáže na základě svých principů, že perpetuum mobile neexistuje.*

*Ano:* Úmyslně jsem v zadání úlohy neuváděl, o jaké perpetuum mobile vlastně jde, jestli prvního či druhého druhu. Na tom totiž až tak nezáleželo. Jako každá teorie i termodynamika stojí na jistých základech, postulátech, o jejichž pravdivosti se nepochybuje, prostě se z nich vychází. Tvrzení o neexistenci perpetua mobile druhého druhu pak dokážeme například za použití postulátu, že nemůže samovolně přecházet teplo ze studenějšího tělesa na teplejší hraním si s nejrůznějšími Carnoutovými cykly.

*Ne:* Pokud ale vezmeme za jeden z principů právě tvrzení o neexistenci periodicky pracujícího stroje, který by všechno získané teplo měnil plně na práci, aniž by nějaké teplo odevzdával chladiči, stává se toto tvrzení v rámci teorie nedokazatelným. Je to prostě postulát, o jehož platnosti se nemůžeme přít. Je tu však ještě jeden důležitý pohled na naši první odpověď. Cokoliv dokážeme uvnitř nějaké teorie, je skutečně stoprocentně pravdivé, ale jenom v té konkrétní teorii. Vůbec to neznamena, že to tak ve světě kolem nás platí, vědecká teorie nikdy nedokáže, že se svět podle ní řídí, tomu můžeme jen věřit. Termodynamické principy platí prostě proto, že jsme zatím nepozorovali jev, kdy by byly narušeny. Můžeme mít nějaké tvrzení ověřené milióny pokusy a vůbec to neznamena, že je toto tvrzení pravdivé, ale naopak stačí jeden jediný pokus a *celá* teorie je špatně.

2. *Normálka, vždyť už Golem byl jedno velký perpetuum mobile.*

*Ne:* Tak tohle by skutečný a seriózní vědec neměl vypustit z úst. Proč? Protože k existenci Golema se prostě nemůžeme vědecky vyjadřovat, v Golema buď věříme, anebo ne.

*Ano:* Pokud vás chudák přítel moc otravuje, můžete jej takto odbít, ale to je psychologie a ne fyzika. Chcete mu snad pomoci nebo ne?

3. *Odmalička nám vtloukají, že to nejde...*

*Ne:* Tady budu rozhodně a kategoricky proti. Přesně tento přístup nejlépe symbolizuje tmářství, které do vědy nepatří. Za správné se budu vždycky snažit uznat to, o čem jsem se sám přesvědčil, a ne něco, co mě někdo někdy učil recitovat nazpaměť. Pokrok spočíval a pořád spočívá v bourání předsudků, které svazují naše myšlení. A pokud vědec něco vytvořil a dokázal, musí stát za svým, i kdyby měl být jediný na světě, jako třeba Albert Einstein na počátku 20. století.

*Ano:* S takovýmto přístupem je život o dost jednodušší (ale co zněj pak máme?).

4. *Nevím, neboť se zabývám kinetickou teorií látek.*

Tato otázka se mi jeví býti velice spornou, nejsem úplně rozhodnut pro či proti.

*Ano:* Pravdou je, že jedna teorie se nemůže vyjadřovat k pojmům, které v ní nejsou smysluplně nadeřinované. Jak by se nám asi líbilo, kdyby sociolog kafral do fyziky a naopak? Ve fyzice to tak jednoznačné není, tam souvisí všechno se vším, zkuste však dokázat neexistenci perpetua pomocí elektrických obvodů.

*Ne:* Na druhou stranu pokud se někdo nazývá fyzikem (ať už se zabývá čímkoli) a neví, co to je perpetuum mobile, je to dost divný, že?

5. *To je skvělé, protože pak je celá termodynamika špatně.*

*Ano:* Pokud prasknou základy, zřítí se celá budova.

*Ne:* Ovšem pokud ty základy praskají třeba za takových podmínek, které na Zemi nejsou dosažitelné, je pevnost naší budovy dobrou aproximací. Co tím mám na mysli? Ve fyzice děláme vždycky model a myslím si, že podchytit naprosto přesně okolní svět se nám nikdy nepodaří. Newtonovská fyzika platí v našich podmínkách, protože korekce Obecné relativity jsou prostě neměřitelné. S termodynamikou a zákonem zachování energie je to trochu složitější, protože těm se snažíme věřit. Kdyby se věci nezachovávaly a z ničeho vznikalo něco, mohli bychom svoji fyzikální zástěru pověsit na hřebík.

6. *Mám sám jedno doma.*

*Ne:* To je lež (jinak ho přines ukázat, rád se podívám).

*Ano:* Dobrý tah, jak se kamaráda zbavit, hmm; ale co když náhodou přišel na něco kardinálního a po takové odpovědi, místo aby si šel pro nobelovku, skončí všelijak. Když už dáváme takové odpovědi (každý z nás alespoň jednou „kecal“), měli bychom si být také vědomi důsledků a případných následků, které z toho plynou. Kamarád mohl strávit půl života výrobou zázračného stroje a teď aby ho hodil do koše?

Tolik asi k první úloze, která byla (a přiznám to bez mučení) více filozoficko-vědeckého rázu, než čistě fyzikálního. Nebojte se o světě kolem sebe přemýšlet, ale

potom zase s mírou. Jak tvrdí profesor Formánek, filozofovat o fyzice můžeme až tehdy, pokud jsme daný obor skutečně a dostatečně technicky zvládli, jinak je to jen mlácení prázdné slámy a k ničemu rozumnému to nevede. Pojdme tedy dělat tu fyziku a za deset dvacet let se o výše zmíněných otázkách pobavíme více.

*Halef*

Než přejdeme k prvnímu termodynamickému principu (též 1. věta termodynamická), řekneme si něco více o práci plynu. Všichni znáte označení malé změny veličiny  $\Delta$  (např.  $v = \Delta x / \Delta t$ ). Pokud místo této značky napíšeme  $\delta$  či  $d$ , rozumíme tím fyzikálně taktéž malou změnu veličiny; rozdíl mezi označením  $\delta$  a  $d$  má hlubší fyzikální důvody, kterými se nyní zabývat nebudeme.\* Když spleteíte  $\delta$  a  $d$ , zatím se tak moc neděje.

Bude-li tedy plyn konat práci, bude práce na malé dráze  $ds$  rovna

$$\delta W = F \cdot dx = p \cdot S \cdot dx = p \cdot dV .$$

Celkovou práci pak dostaneme součtem (učeně integrací) všech těchto elementárních prací  $\delta W$ ,

$$W = \int_{zač.}^{kon.} \delta W .$$

První větu termodynamickou, která vlastně vyjadřuje zákon zachování energie termodynamické soustavy, můžeme zapsat takto:

$$dU = \delta Q - \delta W , \text{ a tedy}$$

$$\delta Q = dU + p \cdot dV .$$

kde  $U$  značí vnitřní energii soustavy,  $Q$  je dodané teplo.

Dále definujeme molární tepelnou kapacitu  $c$ , což je veličina popisující, kolik tepla je třeba k ohřátí jednoho molu látky o 1 K,

$$c = \frac{1}{n} \cdot \frac{\delta Q}{dT} ,$$

kde  $n$  je látkové množství. Tato veličina je závislá na ději, který právě probíhá (při konstantním tlaku ji značíme  $c_p$ , při konstantním objemu  $c_V$ ).

1) Děj při konstantním tlaku  $p$  nazýváme **izobarickým**. Konstantní tlak znamená  $dp = 0$ . Dosadíme-li do 1. věty termodynamické vztah odvozený ze stavové rovnice

$$p \cdot dV = n \cdot R_m \cdot dT ,$$

dostaneme

$$c_p = \frac{1}{n} \cdot \frac{dU}{dT} + R_m .$$

Význam prvního výrazu na pravé straně naleznete při řešení dnešní úlohy.

2) Děj při konstantní teplotě  $T$  nazýváme **izotermickým**. Zase můžeme napsat  $\delta T = 0$ . Jelikož vnitřní energie plynu  $U$  je úměrná pouze teplotě  $T$ , platí i  $\delta U = 0$ . První věta termodynamická se změní na

$$\delta Q = p \cdot dV .$$

Pro ty, kteří znají pojem derivace a umí zderivovat alespoň funkci  $y = x^n$ , jsou další řádky. **Adiabatický** je děj, při kterém soustava ani nepřijímá ani nedodává teplo,  $\delta Q = 0$ .

První věta termodynamická přejde na

$$n \cdot c_V \cdot dT + p \cdot dV = 0 .$$

Ze stavové rovnice ideálního plynu dostaneme diferencováním

\* Pro zájemce:  $\delta$  značí takovou změnu, která závisí na jejím průběhu, naopak  $d$  značí změnu, která závisí pouze na počátečním a koncovém stavu.

$$dT = \frac{p \cdot dV + V \cdot dp}{n \cdot R_m},$$

což dosadíme do 1. termodynamické věty. Další úpravou získáme

$$(c_V + R_m) \cdot p \cdot dV = -c_V \cdot V \cdot dp.$$

Jelikož  $c_V + R = c_p$ , můžeme psát

$$\frac{dp}{dV} = -\kappa \cdot \frac{p}{V},$$

kde jsme označili  $\kappa = c_p/c_V$ , což je to samé jako

$$\frac{dy}{dx} = -\kappa \cdot \frac{y}{x}.$$

Derivací funkce  $y = cx^{-\kappa}$  zjistíme, že vyhovuje této rovnici, tedy můžeme uzavřít, že pro adiabatický děj platí

$$p \cdot V^\kappa = \text{const.}$$

Pro ty, co si rovnici

$$\frac{dp}{dV} = -\kappa \cdot \frac{p}{V}$$

chtijí vyřešit a umí integrovat, upravíme rovnici na tvar

$$\frac{dp}{p} = -\kappa \cdot \frac{dV}{V}$$

a zintegrujeme na  $\ln p = -\kappa \cdot \ln V + \ln c$ , kde  $\ln c$  je integrační konstanta; odtud pak odlogaritmováním dostaneme výše uvedený vztah.

### Úloha S.2:

Jde o úlohu jednoduchou, ale pokud ji budete chtít řešit, radši si ještě jednou přečtete text seriálu (i když vás možná trochu nudí) a pokud příklad zdárně vyřešíte, určíte pochopíte, o co v tomto díle seriálu šlo. Tedy:

Odvoďte, jak vypadá 1. věta termodynamická pro izochorický děj ( $V = \text{const.}$ ) a určete tím, co znamená výraz

$$c_V = \frac{1}{n} \cdot \frac{dU}{dT}.$$

Výsledek po dosazení do jedné z výše uvedených rovnic (snadno naleznete které), nazýváme **Mayerovým vztahem**.

**Historická poznámka (pro pobavení):** Na historii fyziky i jiných přírodních věd je zajímavé třeba to, že vědecký vývoj se neděje tak jednoduchým a přímočarým způsobem, jako nás učí ve škole. K našemu tématu *SNP* můžeme poznamenat toto.

Dověděli jste se matematicky (a snad i fyzikálně) trochu více o prvním termodynamickém principu. Říkám důsledně principu, neboť pod větou rozumíme v matematice i fyzice tvrzení, které se dá v teorii dokázat, kdežto termodynamické věty jsou postuláty, výchozí principy teorie. Určitě jste slyšeli o druhé termodynamické větě, o které se zmínit by bylo matematicky o hodně složitější, než jsme se zmínili výše o prvním principu. Historicky je zajímavé právě to, že ač cítíme první princip daleko fundamentálnější fyzikálním zákonem (zákon zachování energie), fyzikové přišli dříve na druhý princip (zákon entropie), který byl objevený Carnotem (známá Carnotova formulace přes tepelné stroje a jejich účinnost). A takovýchto „kuriozit“ je ve fyzice více!

**Naše adresa: FKS, KTF MFF UK**  
**V Holešovičkách 2, 180 00 Praha**

