

Úloha I.E ... brumlovo tajemství

8 bodů, průměr 4,50, řešilo 50 studentů

Změřte co nejvíc (alespoň 3) fyzikálních vlastností a charakteristik želatinových medvídků. Zkoumejte i rozdíly mezi jednotlivými barvami medvídků v pytlíku. Měřit můžete například teplotu tání, Youngův modul pružnosti, mez pevnosti, savost (změna objemu či hmotnosti medvídky po namočení po nějakou dobu), hustotu, vodivost, index lomu, rozpustnost (ve vodě, lihu), změnu některé z předcházejících vlastností při změně teploty či cokoliv jiného vás napadne.

Karel chtěl, aby medvídci trpěli.

Po bližším prozkoumání trhu jsme zjistili, že existují minimálně dva druhy, které se na první pohled v některých vlastnostech zásadně liší. Koupili jsme si tedy medvídky Jojo a Haribo a podrobili je zkoumání.

Změna objemu

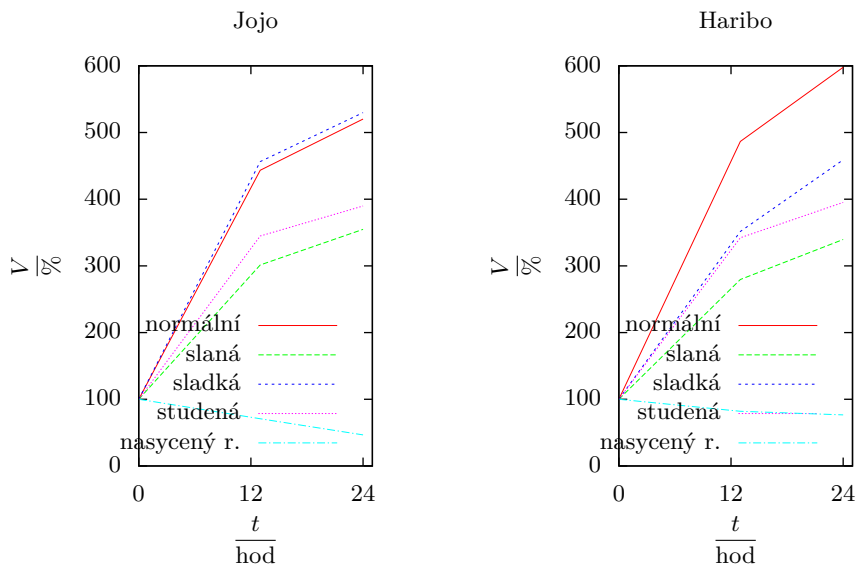
O medvídcích je známo, že když se dají do vody, zvětší svůj objem. Medvídky jsme považovali přibližně za kvádr a měřili jeho tři rozměry, se zanedbáním např. hodně vyčnívajících oušek. Zkoušeli jsme také medvídky ořezat na kvádr, ale ke zlepšení přesnosti to moc nepomohlo. Z těchto údajů jsme vypočítali objem medvídky – sice přibližný, ale pro podstatu pokusu – ukázání zvětšení v různých kapalinách – dostatečný. Medvídky jsme dali do vody z kohoutku, do vody v ledničce, do oslazené a osolené vody a do nasyceného solného roztoku a změřili je po 13 a 24 hodinách. Výsledky pro všechny tekutiny jsou v tabulce 1; medvídci naložení v nasyceném solném roztoku měli po 13 hodinách 82 % (Haribo) a 71 % (Jojo) původní velikosti, po 24 hodinách 77 % (Haribo) a 47 % (Jojo), tedy zmenšili se.

Prostředí		0 hod	13 hod					24 hod				
		<i>V</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>V</i>	%	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>V</i>	%
		mm ³	mm	mm	mm	mm ³		mm	mm	mm	mm ³	
Jojo	normální	2761	34	24	15	12240	443	38	21	18	14364	520
	slaná	2761	32	20	13	8320	301	35	20	14	9800	355
	sladká	2761	35	24	15	12600	456	39	25	15	14625	530
	studená	2761	34	20	14	9520	345	36	23	13	10764	390
	nasycený ☉	2761	23	13	7	1950	71	21	11	6	1283	47
Haribo	normální	2384	34	20	18	11603	487	36	22	18	14256	598
	slaná	2384	28	17	14	6664	280	30	18	15	8100	340
	sladká	2384	29	17	17	8381	352	32	19	18	10944	459
	studená	2384	30	17	16	8160	342	31	19	16	9424	395
	nasycený ☉	2384	18	9	9	1425	82	18	9	9	1331	77

Tabulka 1: Naměřené hodnoty (sloupec % udává poměr nového a původního objemu)

Z našeho pokusu vyplynulo několik věcí – medvídek se v ledničce moc nezvětší a zůstane i docela tvrdý. Zjistili jsme taky zásadní rozdíly ve zvětšování v různých kapalinách. Želatinový medvídek i slaná voda jsou stejnorodé směsi (roztoky) „něčeho“ – rozpuštěné látky a vody – rozpouštědla. Výroba medvídků začíná právě směsí želatiny a vody (a zbytku). Želatina je tvořená řetězovými molekulami, které se vzájemně proplétají, a jak směs chladne a voda se dostává ven, tvrdne a vznikne medvídek. Haribo zjevně obsahují méně vody než Jojo – jsou tužší a hůř se deformují. Slaný roztok, na rozdíl od želatinového, obsahuje mnohem méně pevně

látky, sůl navíc netvoří žádné propletené řetízky (to je taky částečně důvod, proč slaná voda zůstává tekutina a želatinový roztok tuhne).



Obr. 1: Rozpouštění medvídků

Když se dají dva roztoky k sobě, voda bude mít tendenci se přesouvat z hustšího do řidšího, tento jev se nazývá *osmóza*. Vodu pohání osmotický tlak. Když ponoříte medvídka do vody s nemnoha rozpuštěnými molekulami (např. do destilované), voda se nahrne do medvídka a zvětší ho. Když dáte medvídka do vody, která obsahuje hodně molekul něčeho rozpuštěného (více než medvídek), voda se z medvídka uvolní. Když voda putuje do medvídka, medvídek se zvětšuje; když se z něj uvolňuje, medvídek vypadá stejně. Pokud tedy namícháme hodně slaný roztok, který bude obsahovat víc částic než medvídek, medvídek se zmenší kvůli malému osmotickému tlaku.

Také jsme zjistili, že medvídci jsou potom hrozně oslzlí a upadávají jim uši; ve studené vodě drží trochu víc pohromadě.

Index lomu

Změřit index lomu třeba nějaké tekutiny nebo skla není moc složité – vystačí si s laserem a použitím Snellova zákona. Bohužel gumoví medvídci mají také tu vlastnost, že světlo značně rozptylují, a to i tenké kousky. Kvůli značnému rozptylu světla se nám nepodařilo index lomu změřit.

Měření měrného elektrického odporu

Další měření, které jsme prováděli, bylo měření elektrického odporu.

Měrná elektrická vodivost je

$$\varrho = \frac{RS}{l},$$

kde R je odpor medvídku průřezu S a tloušťky l , přičemž $R = U/I$, kde U je napětí zdroje, ke kterému je medvěd celou svou plochou připojen, a I je proud medvědem procházející. Tedy

$$\varrho = \frac{US}{lI}.$$

Postup měření byl následující. Do elektricky izolovaných čelistí svěraku byly umístěny dvě hliníkové desky a mezi ně byl vložen medvěd tak, aby utahováním svěraku docházelo k jeho deformování mezi rovnoběžnými měděnými destičkami. Medvěd byl takto stlačen na tloušťku $l = (1,00 \pm 0,05)$ mm, přičemž se mezi destičkami velmi roztáhl do strany. Při této tloušťce již bylo možné zanedbat nerovnost povrchu medvěda, jelikož byl z obou stran celou plochou přilepen k deskám.

Destičky byly později připojeny ke stabilizovanému zdroji napětí $U = 12$ V a byl změřen proud I procházející medvědem. Dále bylo třeba změřit i plochu S , kterou se medvěd dotýká desek. Z toho důvodu byla po měření proudu jedna z desek obarvena barvou a zdeformování medvěda na požadovanou tloušťku opakováno. Dále byl medvěd od desky opět odlepen a na desce byl jasně viditelný jeho původní obtisk, jehož obsah byl poté změřen pomocí spočítání čtverečků milimetrového papíru. Z několika měření byla určena průměrná hodnota této plochy na $\bar{S} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Stejně tak hodnota měřeného proudu se u jednotlivých medvídků příliš nelišila, průměrně byla asi $\bar{I} = 6,2 \cdot 10^{-5} \text{ A}$. Z těchto naměřených hodnot byl poté podle výše uvedeného vztahu určen měrný elektrický odpor na $5,0 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{m}$.

Pevnost

Medvídek je (alespoň se ze začátku snaží být) pevná látka. Jednou z možných charakteristik pevných látek je mez pevnosti, která vyjadřuje odolnost látky vůči vnějším silám. Je to nejvyšší hodnota normálového napětí σ_n , kdy látka ještě drží pohromadě, není porušena nebo přetržena. Normálové napětí lze určit jako podíl deformující síly F a kolmého průřezu S , na který tato síla působí.

$$\sigma_n = \frac{F}{S}$$

Při měření jsme medvídkovi změřili obvod a z něj vypočítali plochu; upevnili jsme ho do stojanu a zavěšováním závaží zjišťovali, při jak velké síle dojde k přetržení. Bohužel medvídek je z příliš kluzkého a špatně upevnitelného materiálu, které nedovoluje určit hledané konstanty příliš přesně – výsledkem našeho snažení je tedy řádový odhad. Mez pevnosti pro medvídku Haribo je řádově 250 kPa a 65 kPa pro Jojo. Jojo medvídci mají mez pevnosti menší, to jde poznat i bez měření – Jojo medvídek jde roztrhnout lépe.

Komentář k řešení

Téma experimentální úlohy bylo zřejmě dost zajímavé, protože vašich řešení došlo nemálo. Měřilo se hodně věcí. Vedle „profláklých“ vlastností jako hmotnost, objem, hustota, odpor, vodivost, změna objemu, modul pružnosti, rozpustnost, mez pevnosti, savost, index lomu a teplota tání se měřily i exotické vlastnosti jako faktor smykového tření, zmáčkutelnost, moment setrvačnosti, chuť nebo rozložení barev v pytlíku. Zvlášť nás potěšilo originální řešení Tomáše Axmana, který

měřil absorpci světla pomocí slunečního panelu. Je trochu škoda, že málokdo se zamyslel nad tím, proč mu výsledky vychází tak, jak vychází. Medvídci tedy opravdu trpěli – byli natahováni, mačkáni, řezáni na filety, namáčení do vody, různě sytých slaných roztoků, Alpy, octa, lihu, Sava nebo Coca-Coly i strkání do mikrovlnky. Medvídci taky rádi chytají plíseň a rozpouští se rychleji, než se provede měření. A někdo snědl medvídka dřív, než stihl měření dokončit. Takže medvídci i chutnali.

Dominika Kalasová
dominika@fykos.cz

Tomáš Pikálek
pikos@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.