

MGR. ZDENĚK POLÁK

# HRÁTKY S TEPLEM



SVĚT ENERGIE





MGR. ZDENĚK POLÁK

# HRÁTKY S TEPEM





Úvod	4
Kahánek	5
Jak cestuje teplo	6
Přenos tepla prouděním	9
Tepelné záření	13
Termoska	20
Teplo třením	22
Ochlazování plynu při expanzi	24
Mráz $-79^{\circ}\text{C}$	26
Mrazicí směs	28
Hřejivý polštářek	30
Roztažnost skla a vody	32
Bimetal	33
Teplotní délková roztažnost pevné látky – „vážení tepla“	35
Balón na teplý vzduch	36
Tepelné stroje	37
Lodička na páru	39
Zážehový motor	41
Pijící čáp	42
Termočlánek	43
Čerpání tepla	44
Závěr	46



# ÚVOD

Milí čtenáři,

knížka, kterou začínáte číst, je o pokusech s teplem. Určitě vás už mnohokrát napadla otázka: Co je teplo? Jaké má vlastnosti a kde vzniká? Co se stane s látkami, kterým teplo předáme, nebo naopak vezmeme? Najdete mnoho knížek, které vám to všechno přesně popíší. K úplnému porozumění je ale navíc moc dobrá vlastní zkušenost. Když si sáhnete na věci a sami budete pozorovat, co se s nimi děje, získáte nové informace. Poznání bude hlubší a osobnější. Zkuste si alespoň něco z toho, co knížka popisuje. Možná si více uvědomíte, že bez pochopení a využití všeho, co nám teplo umožňuje, by náš život nebyl vůbec možný. Prakticky veškerá energie, se kterou se setkáváme a kterou využíváme ke svému prospěchu, byla teplem nebo jako teplo končí. Jíme tepelně upravenou potravu, chráníme se před zimou i teplem, jezdíme autem a elektřina je nám samozřejmostí. Nic z toho by bez tepla nebylo. Ale jak to všechno probíhá? Není nic lepšího, než vlastníma rukama sami něco vytvořit a při tom pochopit, jak příroda funguje a jakými pravidly se řídí.

**Tak pojďte, budeme si s teplem hrát.**

Mgr. Zdeněk Polák

# KAHÁNEK



Základním zdrojem tepla pro řadu experimentů s teplem je kahan. Nejlepší je plynový hořák. Docela dobře ho nahradí i plynový turistický vaříč. Pro většinu drobných experimentů postačí také lihový kahan. Malé skleněné kahánky na líh lze koupit ve zdravotnických potřebách, můžete si je však také udělat sami, výroba není složitá.

## JAK NA TO?

Základem je malá sklenička od zavařeniny se šroubovacím víčkem. Do víčka vyvrtejte otvor, do kterého zapájíte cínem kousek měděné nebo mosazné trubičky. Její délka by měla být asi 2 cm a průměr 5 mm. Můžete ji odříznout z vypsané velkoobsahové náplně do propisovačky. Pokud nemáte možnost pájet, opatřete si trubičku s vnějším závitem a k víčku ji přišroubujte dvěma maticemi. Vhodnou trubičku lze získat třeba ze starého lustru. Vnitřkem protáhněte knot z bavlněného provázku. Dobrá je například rozpletená prádelní šňůra nebo do ruličky stočený kousek bavlněné látky. Naplňte skleničku lihem na pálení, prodává se v drogerii. Takto vyrobený lihový hořáček umožní většinu prací, ke kterým potřebujete otevřený oheň. Lze na něm ohřívat předměty, žíhat dráty, tavit olovo na lžičce nebo ohýbat skleněné trubičky. Pro větší výkony je potřeba použít širší trubičku s knotem o větším průměru, nebo vybavit kahan více trubičkami.

Práce s otevřeným ohněm představuje vždy zvýšené riziko. Při každé práci s kahanem postupujte s největší opatrností. Při jeho převržení se může líh vylít a dojít ke vzniku požáru nebo popálenin. Dobře si dopředu promyslete, co v takové situaci budete dělat. Pracujte na nehořlavé podložce a odstraňte z bezprostřední blízkosti všechny snadno vznětlivé předměty. Po skončení práce líh přelijte do zásobní láhve.

☛ Kahánky ze skleniček od různých zavařenin s objemem od 20 ml do 150 ml.

☛ Měděnou trubičku pro knot lze do víčka buď připájet cínem, nebo přišroubovat pomocí dvou matic.

## JAK CESTUJE TEPLA

Když umíme teplo vyrobit, je tu otázka, jak se šíří od místa kde vzniká. Ve své podstatě je teplo určeno energií, kterou teplejší těleso předává chladnějšímu. Pozorujete to denně. Horký čaj zahřeje původně chladný hrnek tak, že je příliš horký do ruky a můžete ho uchopit jen za ouško. Radiátor ohřívá vzduch pod oknem a v celé místnosti je teplo. Slunce příjemně ohřívá Zemi, a tak i když kolem nás je prázdný mrazivý vesmír, nám se tu žije docela dobře.

Uvedené příklady jsou ukázkami třech různých způsobů, jak teplo putuje z míst vyšší teploty do míst s nižší teplotou. Jak se mezi lidmi nesprávně ale výstižně často říká, z tepla do zimy.

### VEDENÍ TEPLA

Když teplo prostupuje látkou, mluvíme o vedení tepla. Je obtížné přímo sledovat, jak teplo putuje zahříványými předměty, ale můžeme využít třeba změny barvy citlivé na teplo na povrchu těles. Příkladem je černý hrneček na obrázku, který při zahřátí zbledá. Místo, kde si ho můžete koupit, naleznete na internetu, dáte-li vyhledat např. heslo „Hrnek magic“.



Hrneček s teplocitlivou vrstvou na povrchu umožní pozorovat, jak se šíří teplo po nalití horké vody. Černá barva se změní ve světlou přibližně při teplotě 45 °C. Vzduchem ochlazené ouško zůstane tmavé. Druhý a třetí obrázek následují asi po 10 s, čtvrtý po minutě a pátý po čtyřech minutách.



## RŮZNÁ TEPELNÁ VODIVOST KOVŮ

Zkuste to. Do hrnku vložte tři lžičky – nerezovou, hliníkovou a plastovou. Nalijte vroucí vodu tak, aby byly ze tří čtvrtin potopené. Konce kovových lžiček uchopte do prstů a sledujte, jak roste jejich teplota. Jak teplo postupuje z horké části do chladné. Kterou lžičku upustíte jako první? A když upustíte i druhou, jak teplý je konec plastové lžičky? Kovy dobře vedou teplo, plast špatně.

Rozdílnost vedení tepla u hliníku a oceli můžete vyzkoušet i jinak. Vezměte padesátihalérovou a korunovou minci. Uchopte je do konečků prstů a přibližte je stejně k plameni svíčky nebo kahánku. Kterou pustíte dříve? Proč?

Kovy výborně vedou teplo, a to tím lépe, čím lépe vedou elektrický proud. Proto mezi nejlepší vodiče tepla patří také hliník a měď. Naopak, ocel vede proud i teplo podstatně hůř. Zkuste následující experiment. Opatřete si dvě trubičky, jednu ocelovou a druhou měděnou. Rozměry mohou mít prakticky jakékoli, ale stejné (průměr třeba 10 mm a délku 10 cm). Vezměte je za konce do prstů a druhý konec vložte do plamene kahanu. Jakmile se jedna z nich zahřeje tak, že ji už nebude možné udržet, položte obě na teplocitlivý papír z faxové tiskárny. Shora je k papíru přitlačte dřevěnou destičkou a pod mírným tlakem ji posunujte, aby se trubičky několikrát převalily. Tam, kde se papíru dotkla látka o vysoké teplotě, papír zčerná. Pozorujete zajímavý jev. Měděná trubička, kterou jste museli upustit, jak byla horká, nezanechává žádnou výraznou stopu. Naopak ocelová, jejíž konec v prstech byl docela chladný, zanechává za sebou výrazně zčernalý papír. Ale jen malý kousek od zahřívání konce. Ocel vede teplo špatně, a tak se prohřeje jen malý kousek trubičky na vysokou teplotu, což způsobí zčernání papíru. Měděná trubička dobře vede teplo, a tak se prohřeje celá, ale na teplotu podstatně nižší.



Měděná a ocelová trubička byly zahřívány kahanem na koncích, které jsou u sebe (uprostřed obrázku) a drženy v prstech na krajích. Po zahřátí byly položeny na teplocitlivý papír a valeny (na obrázku shora dolů). Měděná trubička velmi mírně zbarvuje papír, je teplá po celé délce. Ocelová trubička je horká jen u zahřívání konce, kde papír zčerná.

## VODIČE TEPLA A TEPELNÉ IZOLANTY

Velmi názorný je také experiment s kovovou a dřevěnou destičkou. Budete potřebovat dvě přibližně stejné destičky. Jednu z dobrého vodiče tepla, například z hliníku nebo mědi, a druhou naopak z tepelného izolantu. Dobré je dřevo nebo polystyrén. Dejte je na nějaké chladné místo, třeba na chvíli do chladničky, aby měly nižší teplotu než okolí. Když se jich pak dotknete lehce rukou, kovová destička je velmi chladná a naopak dřevěná dává pocit tepla. Pak na ně položte dva stejné kousky ledu. Na kovové destičce led okamžitě začne tát a během několika desítek sekund zcela roztaje. Led na dřevěné destičce zůstane prakticky nedotčen.



Kousek ledu na hliníkové desce takřka okamžitě začne tát a během půl minuty roztaje. Na dřevěné destičce zůstává celý a za tuto dobu na něm není patrná žádná změna. Černá barva destiček není podstatná, jen sjednocuje vzhled.

# PŘENOS TEPLA PROUDĚNÍM

Teplu nemusí putovat samo, může se nechat přenášet. Například, když se v kotli ústředního topení ohřívá voda, přijímá teplo. Poté se voda žene čerpadlem trubkami k radiátorům a zahřívá je. Od nich se ohřívá vzduch a stoupá vzhůru ke stropu. Naopak, studený vzduch klesá dolů k podlaze, dostává se k topení a tak dokola. Zkuste, jak proudí vzduch u dveří. Nejprve se přesvědčte, že v místnosti jsou zavřená okna, aby nevznikal průvan. Pak pootevřete dveře na úzkou škvíru. Zapalte svíčku a přidržte ji u mezery dveří u podlahy, pak asi u kliky a nakonec až nahoře. Plamen svíčky se odchyluje ve směru proudu vzduchu. U podlahy vždy ve směru do teplejší místnosti, nahoře směrem opačným.

Ve všech případech dochází k tomu, že určitou látku v jednom místě ohřejeme, přeneseme ji jinam a tam látka získané teplo odevzdá. Jak můžeme takové proudění sledovat?

## PAPÍROVÝ HÁDEK

Ze čtvrtky vystříhnete kolečko o průměru asi 10 cm. Načrtnete na něj spirálu asi se třemi závity a prostříhnete nůžkami. Do středu zacvaknete malou patentku jako ložisko. Pak si připravte špendlík, špejli a prkénko jako podstavec. Do něj vyvrtejte díru o průměru jako má špejle, tj. asi 3 mm. Na dřevěnou špejli připevníte nití nebo lepicí páskou špendlík bez hlavičky. Nejjednodušší je vzít špendlík se skleněnou hlavičkou a tu lehkým úderem těžšího předmětu rozbít. Špejli zalepte do otvoru v prkénku. Na hrot špendlíku položte vystříženou spirálku z papíru. Takto vyrobenou šroubovici postavte na zdroj tepla, např. na radiátor. Stoupající vzduch ji roztočí. Jako zdroj tepla může posloužit i malá svíčka.

Jestliže naopak dáte v zimě spirálku těsně k oknu nebo ke chladné zdi, bude se točit opačně. Bude roztáčená klesajícím ochlazovaným vzduchem.



Papírový hádek točící se nad svíčkou, která je zdrojem tepla. Hádek se otáčí na hrotu špendlíku, jako ložisko slouží malá patentka.

## VĚTRNÍK NA TEPLÝ VZDUCH

Z tenkého hliníkového plechu si vyrobte malý větrníček. Jako materiál můžete použít tenký plech z tácků na potraviny, které zakoupíte v papírnictví. Lze také použít víčko od jogurtu nebo tenký plech z plechovky od nápoje. Platí, že čím lehčí materiál budete mít, tím lépe se bude větrníček otáčet, ale bude mechanicky choulostivější. Z měkkého hliníkového plechu vystřihnete obyčejnými nůžkami kolečko o průměru asi 8 cm. Obvod rozdělíte nejméně na 16 stejných dílů. Více je lépe. Nakreslete obrysy lopatek a nůžkami nastříhnete na délku asi 2,5 cm až 3 cm. Tak, aby uprostřed zůstalo kolečko neporušeného materiálu o průměru 2 cm až 3 cm. Do středu zavakněte nejmenší patentku jako ložisko a nastříhnuté lopatky mírně natočte, aby vytvořily turbínové kolo. Je dobré je také mírně nahnout dolů, aby těžiště bylo pod bodem zavěšení a turbínka byla stabilní.

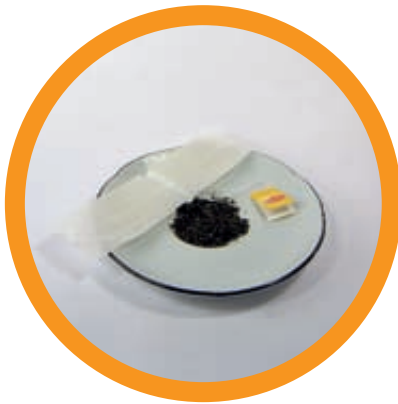
Pak odřízněte spodek z dvoulitrové PET láhve o výšce 8 cm. Do dna vyřízněte otvory, aby mohl volně proudit vzduch. Větší jehlu, asi 5 cm dlouhou, uchopte do kleští, nahřejte nad kahanem nebo nad svíčkou a protlačte středem dna. Je potřeba, aby po zatuhnutí nahřátého plastu jehla pevně a rovně seděla. Nasadte větrníček na jehlu a turbínka je připravena k provozu. Máte-li dostatečně teplé dlaně a v místnosti je naopak nepřilíš teplý vzduch, stačí uchopit oběma rukama plastový obal. Tím, že ho zahřejete, vzduch uvnitř začne stoupat jako v komíně a roztočí turbínku. Nebo stačí dát turbínku nad zdroj tepla, třeba nad ústřední topení, a také se roztočí.



**Turbínka z hliníkové plechovky od nápoje. Ve dně nádoby z PET láhve jsou vyříznuty otvory, kterými proudí vzduch roztácející turbínu. Jako ložisko opět poslouží malá patentka na jehle. Listy turbíny je dobré mírně ohnout dolů, aby její těžiště bylo pod bodem podepření, tedy o něco níž, než je střed patentky.**

## HOŘÍCÍ ČAJOVÝ SÁČEK

Teplý proud vzduchu může vynést vzhůru některé lehounké předměty. Sáček s kvalitnějším druhem čaje, ve kterém je obsah rozdělen do dvou částí oddělených pouze přehnutím, vysypte. Z prázdného pytlíčku vytvarujte komínek a postavte jej na nehořlavou podložku, třeba na porcelánový talířek. Sáček u horního kraje zapalte. Oheň postupuje dolů a celý sáček shoří. Při tom se vytvoří intenzivní stoupavý proud teplého vzduchu. Těsně před dohořením je zbytek sáčku uchvácen tímto proudem a vznese se vzhůru. Při svém letu dohoří a zpět padají jen kousky popela.



**Vhodný čajový sáček pro experiment se stoupavým proudem vzduchu. Hořící zbytky sáčku mohou zasáhnout okolí, proto provádějte tento pokus s maximální opatrností!**

## ZVIDITELNĚNÍ TEPLÉHO VZDUCHU

Teplý stoupající vzduch sice může roztočit malý větrník, ale jak ho zviditelnit? Možná, že jste si už všimli, že v zimě, když je venku mrazivo a do místnosti svítí slunce, tak při pootvření okna pozorujete mihotání paprsků dopadajících na podlahu. Čím to je? Sluneční paprsky procházejí místy, kudy do místnosti proudí studený vzduch, který se mísí s teplým. Protože se liší indexem lomu, tak při jejich míchání světlo mění trochu směr a na podlaze se chvílemi paprsky soustředí a vznikne více osvětlené místo, naopak chvílemi míří jinam a vzniká stín. Abyste podobný jev viděli, není nutno čekat na zimu. Potřebujete jen silný zdroj světla, například zmíněné sluneční paprsky, nebo diaprojektor. Paprsky v zatemnělé místnosti nechte dopadat na stěnu a do cesty jim dejte zapálenou svíčku. Pozorujte její stín na stěně. Samotný plamen stín nevytváří. Světlá a tmavá místa vznikají ohybem paprsků při přechodu mezi různě teplými vrstvami vzduchu.



**Stín dvou svíček vytvořený diaprojektorem na stěně. Je vidět, jak se ve stoupavém proudu teplého vzduchu střídají různě horké vrstvy vzduchu.**

# TEPELNÉ ZÁŘENÍ

Někdy teplo nemá čím postupovat, ani ho nic nepřenáší. A přesto se dostává z teplejších těles k chladnějším. Všechny předměty totiž neustále vydávají a pohlcují elektromagnetické záření. Čím jsou teplejší, tím intenzivněji září. Jak výdej, tak příjem zářivé energie závisí na povrchu. Čím větší, drsnější a tmavší povrch, tím je výměna rychlejší. Znáte spoustu těles, která září tak, že to vidíte. Tak je prozkoumejte.

## ŽÁROVKA

Budete potřebovat běžnou stolní lampičku s nezakrytou obyčejnou žárovkou. Přesvědčte se, že je vypnutá (delší dobu) a dotkněte se prsty skla baňky žárovky. Je chladné. Pak ruku oddalte na několik centimetrů a zapněte lampičku. Ucítíte teplo vyzařované vláknem. Lampičku vypněte a znova se dotkněte skla. Pokud žárovka svítila jen několik sekund, zůstala na povrchu chladná. Záření vlákna se přeneslo prostorem baňky, prošlo chladným sklem, pohltilo se až ve vaší ruce a zahřálo ji. Stejně, jako záření Slunce zahřívá Zemi. Teplo se může šířit zářením. Je to jeho jediný způsob přenosu ve vakuu.

## INFRALAMPA

K dalšímu pokusu budete potřebovat infralampu. Je to v podstatě výkonná žárovka s vláknem o relativně nízké teplotě, která vyzařuje především tepelné záření a málo světla. Aby se vyzařování světla potlačilo co nejvíce, mívá žárovka červeně zbarvené sklo. Takovým filtrem pak projde jen červená složka světla a tepelné (infračervené) záření.



Světlo prochází jak vrstvou vody v plastové krabici, tak silnou vrstvou skla. Po průchodu paprsků vodou však už neucítíte žár lampy, zatímco za sklem ano. Tepelné záření prochází sklem, ale značně se pohlcuje ve vodě. Tento jev se ještě více zesílí, pokud do vody přidáte modrou skalici.

Zapněte lampu a nastavte tvář nebo dlaň ruky. Cítíte teplo. Vezměte velkou lupu a soustředte záření na dlaň. Pocítíte žár. Infračervené paprsky procházejí silným chladným sklem čočky a lámou se podobně jako světlo. Vložte skleněnou desku mezi lampu a tvář. Stále budete cítit teplo. Deskou paprsky projdou. Provedte stejný pokus s listem alobalu. Jako by někdo žárovku vypnul. Paprsky tenkou vrstvou hliníku neprocházejí. Naopak se odrážejí. Proto se termosky uvnitř postříbřují a dálková vedení tepla pokrývají lesklou vrstvou hliníkového nebo nerezového plechu. Zkuste vkládat mezi lampu a dlaň různé překážky. Vezměte plastovou průhlednou nádobu a naplňte ji vodou. Prochází jí tepelné záření? Cítíte, že prakticky všechno teplo bylo pohlceno. Velmi zajímavá situace nastane, když vložíte záření z lampy do cesty tmavé sklo. U sklenáře můžete zakoupit velmi tmavé sklo, které vypadá jako černé. Dává se do vitrín nebo třeba na desku stolu. Když se skrze něj podíváte na svítící žárovku, vidíte, že sklo vlastně není černé, je jen hodně tmavé s fialovým zabarvením. Pohlcuje prakticky veškeré světlo. Ale když ho dáte mezi dlaň a lampu, cítíte sálavé teplo. Tepelné záření, na rozdíl od světla, tmavě fialovým sklem projde. Ukazuje se, že pohlcování různými látkami je pro světlo a tepelné záření různé. Vlastnosti obou záření jsou podobné, ale ne stejné.

## SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Záření přicházející od Slunce, které projde atmosférou a dopadne na povrch Země, vykazuje poměrně široké složité spektrum. Jsou v něm přítomny nejrůznější složky záření. Největší intenzitu má ve viditelné oblasti, v menší míře v infračervené a minimální v ultrafialové. Každý jistě ví, že velkou spojnou čočkou ho lze soustředit na malou plošku. Pokud jej necháme dopadnout na snadno zápalný materiál, vznítí se. Běžně použijeme čočku ze skla, ale to není jediná možnost. Jako čočku lze použít i velkou kulovou baňku naplněnou kapalinou, například vodou.



**Kulová baňka plná vody působí jako silná čočka. Soustředěné sluneční paprsky zahřejí papír, až vzplane.**



V předchozím pokusu jste viděli, že voda sice významně pohlcuje některé složky tepelného záření, které vnímáme jako sálavé teplo, ale energie přicházející ve světle a na vlnových délkách, které voda propustí, je stále ještě dost velká. Vezměte baňku o objemu nejméně 1 l. Naplňte ji čistou, nejlépe destilovanou nebo převařenou přefiltrovanou vodou bez bublinek. Upevněte ji do stojanu nebo postavte na úzký podstavec a vystavte přímému dopadu slunečních paprsků. Na tenkostěnné skleněné kouli plné vody se paprsky lámou a soustředí ují do ohniska ve vzdálenosti rovné průměru baňky od jejího středu. Litrová baňka má průměr asi 13 cm, takže paprsky se setkají 6,5 cm za baňkou. Do ohniska dejte zmuchlané suché noviny nejlépe nějakým tmavým obrázkem navrch tak, aby se záření co nejlépe pohlcovalo. Po několika sekundách začne z papíru stoupat dým a po chvíli vzplane. Při pokusu se dívejte do místa ohniska jen po nezbytnou dobu a chraňte si oči hodně tmavými brýlemi. Přemíra světla by vám mohla poškodit zrak. Pokus jasně ukazuje, jak některé lázy s vodou vystavené slunci mohou být zdrojem požáru a jsou tedy potenciálně nebezpečné.

## POHLCOVÁNÍ A VYZAŘOVÁNÍ TEPLA

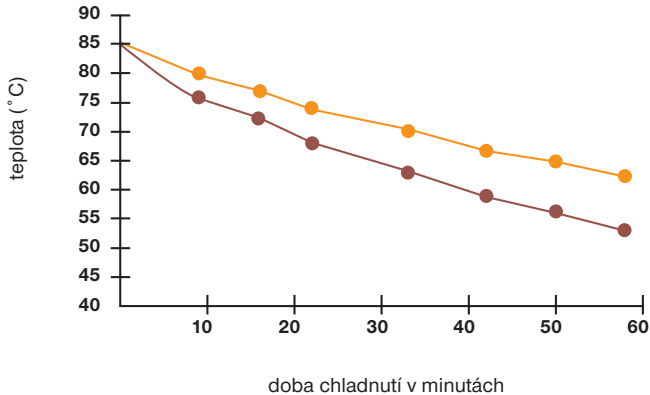
V předchozím pokusu se zapálením papíru bylo užitečné vystavit dopadajícímu záření tmavou plochu. Proč? Tmavá matná členitá plocha velmi účinně pohlcuje dopadající záření a stejně dobře jej i vydává. Vyzkoušejte si to. Připravte si dvě větší plechovky od konzerv. Nejméně o objemu 0,75 litru. Jednu z nich natřete matnou černou barvou, druhou nechte stříbrolesklou. Položte je na izolační podložky, třeba z polystyrenu, a umístěte asi půl metru od sebe, případně mezi ně umístěte izolační vložku, aby se neovlivňovaly. Nalijte do nich horkou vodu. Přiblížte k nim tvář asi na 10 cm. Tmavá plechovka sálá teplo podstatně více než lesklá. Do každé plechovky zasuňte teploměr a měřte pokles teploty v závislosti na čase. Ve které klesá teplota rychleji?



Uspořádání plechovek s teplou vodou při experimentu.

Pak opatrně vodu vylijte a naplňte plechovky směsí soli a ledu. Tím uvnitř docílíte velmi nízké teploty. Opět přiblížte tvář. Z plechovek čiší chlad. Zase více od černé než od lesklé. Tmavý matný povrch nejen lépe vyzařuje, ale také lépe pohlcuje teplo než lesklý. Chlad, který cítíme, není nic jiného než absence tepelného záření dopadajícího na naši pokožku.

Teplota černé a kovově lesklé nádoby v závislosti na čase



## TERMOSKOP

Dá se nějak lépe měřit vyzařování těles, než jen pocitem tepla na tváři či dlani ruky? A jde to nějak jednoduše? Zkuste to. Vyrobtě si termoskop. V podstatě půjde o přístroj, který rychle reaguje na zvýšení teploty způsobené zářením. Něco jako plynový teploměr bez kalibrované stupnice. První, kdo takový přístroj sestrojil a v praxi použil, byl Galileo Galilei. Do skleněné baňky utěsnil dlouhou tenkou trubicí. Konec ponořil do nádoby s obarvenou kapalinou. Když uchopil baňku do rukou, trochu se ohřála. Uzavřený vzduch uvnitř zvětšil s teplotou objem a unikl přes kapalinu ven. Při ochlazení baňky a poklesu tlaku plynu uvnitř byla kapalina nasáta do trubice. Výška hladiny závisela na poklesu teploty.

- ❖ Při experimentu byly obě plechovky naplněny 0,75l vody o teplotě 85°C. Z grafu lze vyčíst, že za hodinu klesla teplota nenabarvené plechovky o 23°C (horní křivka) a plechovky natřené černou barvou o 32°C (dolní křivka). Teplota v místnosti byla 22°C.

- ❖ Funkční model vzduchového termoskopu podle Galileia Galileiho.



Vyrobte si takový historický přístroj. Potřebujete tenkostěnnou baňku, ke které se dá natěsno připojit průhledná trubička. Baňku můžete vyrobit ze staré spálené žárovky. Ale pozor. Se sklem pracujte s nejvyšší opatrností! Na oči si nasad'te ochranné brýle a na ruce pracovní rukavice. Nejprve opatrně sejměte kovovou část se závitem. Ke sklu je připevněna tvrdým tmelem. Někdy stačí závit uchopit kleštěmi a baňku vykroutit. Jindy pomůže plech závitu navrtat a citlivě odstranit štípacími kleštěmi. Máte-li oddělenou skleněnou část, vidíte zatavený konec skleněné rourky. Zatavení je nutno opatrně oddělit, aby se obnovila průchodnost k vnitřku žárovky. Lze ho třeba ubrousit brouskem na kosu. Brousek zvlhčete a opatrnými pohyby při mírném tlaku zatavení ubrousíte. Na zbylou část navlékněte plastovou hadičku. Tím se spojí baňka se skleněnou trubicí a termoskop je hotový. Hadičku i skleněnou trubici koupíte v potřebách pro akvaristy. Pokud se vám nepodaří sehnat skleněnou trubičku, nevádí. Nechte místo ní delší konec plastové hadičky. Termoskop připevněte nad nádobku s obarvenou vodou, do které je zasunut volný konec trubice, a je hotovo.



**Postup při výrobě baňky termoskopu. Po odstranění kovového závitu z baňky žárovky je třeba ubrousit koncové zatavení trubičky, aby dovnitř mohl vniknout vzduch.**

Provedení termoskopu není kritické a lze hodně experimentovat. Trubice nemusí být ponořena do kapaliny, stačí malá kapka uvnitř. Její poloha se bude měnit podle objemu vzduchu v baňce. Můžete použít i jinou nádobku. Nejlepší nádobka je sice z tenkého skla, ale lze použít i plastovou. Může být průhledná, nebo naopak natřená tmavou barvou. Můžete do průhledné nádoby vložit kousek tmavé fólie, třeba z kopírovacího papíru. Jestliže budete chtít, aby byl termoskop citlivý jen na záření přicházející z jedné strany, můžete ho z druhé strany pokrýt alobalem a vložit do polystyrénové izolace. Můžete také sledovat nikoli změny objemu ale tlaku, když trubičku s kapkou nahradíte trubičkou zahnutou ve tvaru písmene U s kapalinou. Pak budete sledovat rozdíl výšek hladin a v podstatě tak určovat rozdíl tlaků na hladiny v jednotlivých ramenech manometru. Aby termoskop dobře fungoval, musí být všechny spoje dokonale těsné, nikde nesmí unikat vzduch.



Termoskop se dvěma baňkami, které jsou spojeny s rameny kapalinového manometru hadičkami používanými akvaristy při vzduchování. Skleněná trubička byla ohýbána nad plamenem lihového kahánku. Voda uvnitř je barvena potravinářským barvivem na vajíčka. Při osvětlení obou baněk žárovkou ze stejné vzdálenosti se černá prohřívá rychleji a uvnitř je díky větší teplotě také větší tlak.

## CROOKESŮV RADIOMETR

Tepelné záření však můžete zjišťovat řadou dalších způsobů. V prodejnách s vědeckými hračkami lze zakoupit velmi dekorativní předmět, který se nazývá Crookesův radiometr. Jde o skleněnou baňku, ze které je takřka vyčerpán vzduch, takže je v ní velmi nízký tlak. Uprostřed je na tenké ocelové jehle zavěšen lehounký větrníček se čtyřmi svislými lopatkami ze slídy. Mají vždy jednu stranu matně černou a druhou lesklou. Když na větrníček dopadne tepelné záření, tmavá strana lopatek se zahřívá více než lesklá. Molekuly plynu v těsné blízkosti tím získávají větší kinetickou energii a při nárazech na její stěnu se odrážejí s větší hybností než od lesklé. Výsledkem je síla na lopatky ve směru od tmavé strany, která roztáčí větrníček. Kdyby v baňce bylo vakuum, zůstal by stát. Nejde tedy, jak se někdy mylně uvádí, o tlak záření na stěny lopatek, ale o projev různého pohybu molekul plynu.



Když na radiometr dopadá silný tok tepelného záření, tak se mlýnek intenzivně točí. Když se však celý prohřeje, otáčky postupně klesají, až se mlýnek zcela zastaví. Nestačí tedy, aby byl v teplém prostředí, musí se nacházet mezi teplým a chladným prostorem. Když už se vyhřátím sám zastaví, lze ho uvést znovu do pohybu přiblížením velmi studeného předmětu. Použijte vaničku s podchlazeným ledem z mrazáku nebo plechovku s mrazicí směsí z tajícího ledu a soli. Mlýnek se pak bude točit na druhou stranu! Hlavní roli zde má převaha vyzařování tepla z tmavé plošky nad světlou. Tmavá strana lopatek se rychleji ochlazuje a tlak plynu v jejich těsné blízkosti je menší než u lesklé světlé strany.

- ❖ Za neprůhledným tmavým fialovým sklem se mlýnek svižně otáčí, za nádobou s vodou je v klidu. Pohlcování tepelného záření u vody je zvýšeno rozpuštěním modré skalice.
- ❖ Když k vyhřátému radiometru přiblížíte předmět o nízké teplotě, obnoví se tok tepla a mlýnek se roztočí opačným směrem.



## TERMOSKA



Občas potřebujete uchovat nějakou věc tak, aby k ní nepřicházelo teplo z okolí, nebo naopak, aby z ní teplo neodcházelo pryč. Chcete ji tepelně izolovat. K takovému účelu se nejlépe hodí termoska. Už víte, že se teplo může šířit vedením, prouděním a zářením. A právě termoska je udělána tak, aby bránila všem způsobům přenosu tepla. Je to dvojitá nádoba ze skla nebo nerezového ocelového plechu. Mezi nádobami je vyčerpán vzduch, takže jsou odděleny prázdným prostorem, který teplo může překonávat jen zářením. Aby i tato cesta byla pro teplo co nejtěžší, ocelové stěny jsou vyleštěny a sklo postříbřeno tak, aby vysílání a pohlcování záření bylo co nejmenší. Hrdlo je uzavřeno zátkou z korku či plastu. Zase něčím, co špatně vede teplo.

## KALORIMETR

Termosku si sami neuděláte, ale tepelně izolovanou nádobu si vyrobit můžete. Bude se hodit například na pokusy s tepelnou výměnou.

Na vnitřní část použijte plechovku od nápoje nebo odstříženou dolní část PET láhve o objemu 0,5 l až 1 l. Na vnější obal odstříhnete z PET láhve o větším objemu spodní

- ❖ Skleněné termosky. Vlevo je plastový obal menší z nich. Na velké termosce vpravo dole je vidět konec zatavené trubičky, kterou byl vyčerpán vzduch z prostoru mezi stěnami.
- ❖ Materiál potřebný ke zhotovení kalorimetru ze seříznutých PET lahví, molitanu a polystyrenu.



část o výšce asi 15 cm. Vnitřní, menší nádobu obalte slabým molitanem a vsuňte do větší. Vhodné molitanové pásy vám rádi dají v obchodech s ovocem. Prokládají se jimi hrozny vína při dopravě. Takto vytvoříte nádobu s dvojitými stěnami – kalorimetr. Ze silného polystyrenu vyříznete zátku a vytvarujte ji tak, aby šla těsně zasunout do vnitřní nádoby. Budete-li potřebovat měřit teplotu, vytlačte v zátku špičatým předmětem otvor pro teploměr. Můžete experimentovat a měnit jak materiál nádobek, tak i materiál tepelné izolace. Použit se dá polystyrén, bublinková fólie, korek a podobně. Vyroberte co nejlépe tepelně izolovanou nádobu. Kvalitu své nádoby můžete vyzkoušet porovnáním s jinými. Nejlépe tak, že do kalorimetrů nalijete stejné množství vody o stejné teplotě a budete sledovat, jak teplota uvnitř klesá s časem.

## TEPELNÁ VÝMĚNA

Máte představu, kolik tepla mohou přijmout různá tělesa, když je zahříváme? Postavte si dva kalorimetry. Opatřete si dva stejně těžké předměty z různých materiálů, třeba kus kovu a kámen nebo dva různé kovy. Tak velké, aby se vešly do vámi vyrobených izolovaných nádob. Do nádobek nalijte stejné množství vody, přibližně tolik, kolik váží předměty. Stačí odměřit skleničkou. Není důležité kolik vody tam bude, musí jí být ale v obou nádobách stejně. Předměty přivažte na tenký provázek a dejte vařit do hrnce s vodou na vařiči. Po několika minutách varu budete mít jistotu, že obě tělesa jsou prohřátá na teplotu varu vody. Obě přijala teplo od vroucí vody a stejně se ohřála. Rychle je přeneste do připravených nádob a uzavřete. Počkejte asi pět minut, až se teploty uvnitř vyrovnají. Po tu dobu mírně s nádobkami pohybuje, aby voda uvnitř omývala tělesa a stejnoměrně se ohřivala. Po otevření nádob porovnejte teploty vody. Vyšší teplota znamená, že těleso odevzdalo více tepla při menším poklesu teploty. Takové těleso má větší tepelnou kapacitu a látka, která ho tvoří, má větší měrnou tepelnou kapacitu. Také můžeme porovnat měrnou tepelnou kapacitu vody a vkládaných látek. Kdyby byly stejné, tak by výsledná teplota vody v nádobě byla uprostřed mezi původní teplotou vody a teplotou vkládaných těles (v případě stejné hmotnosti vody a vkládaného tělesa). Vyzkoušejte to. Budete překvapeni, jak velká je měrná tepelná kapacita vody ve srovnání s ostatními látkami. Jak málo se voda ohřeje vkládáním teplých těles.

**Vlevo je termoska s teploměrem, uprostřed kalorimetr popsaný v článku a vpravo nerezový hrneček s dvojitými stěnami. Ve všech těchto izolovaných nádobách můžete sledovat tepelnou výměnu mezi tělesy uvnitř.**



# TEPLO TŘENÍM

## ZAHŘEJEME SE PRACÍ?

Zahřát těleso lze různě, ale v podstatě jsou dvě možnosti. Buď přijme teplo od teplejšího tělesa, nebo mu zvýší teplotu dodání práce. Určitě jste si už všimli, že vrták se při vrtání silně zahřívá, pilka na železo je při práci horká, od pneumatik ve smyku se kouří a když sjedete po laně z výšky, tak si můžete nepříjemně spálit ruce. Podobně se silně zahřeje meteorit dopadající na Zemi při pronikání atmosférou. Proto se také zahřívá pumpička při pumpování kola a kompresor u ledničky.

## ZAHŘÁTÍ TŘENÍM

Znáte to z obrázků. Člověk oděný kusem kůže rozdělává oheň třením dřev. Myslíte, že byste to také dokázali? Zkuste něco jednoduššího. Jen zahřát těleso na co nejvyšší teplotu.

Ocelovou hladkou tenkostěnnou trubičku upevněte do prkénka tak, aby nad něj čněla asi 8 cm. Prkénko připevněte ke stolu svorkami, aby drželo pevně a neklouzalo. Do trubičky vložte teploměr se stupnicí nejméně do 200 °C. Silnější bavlněný provaz (šňůru na prádlo) obtočte kolem trubičky jedním závitem, uchopte konce do rukou, pevně stáhněte a tahejte a tahejte. Nejlépe když budete pracovat dva proti sobě, jako při řezání pilou. Provaz musí být napjatý, pevně přitážený k trubičce. Nesmí se volně smýkat. K jeho pohybu je třeba vyvíjet značnou sílu. Trubička musí být hladká, aby se provázek nepředřel příliš brzy. Nejlepší je ocelová s tenkými stěnami, protože takový materiál špatně odvádí teplo vzniklé třením. Navíc je dobré, když bude horní konec trubice rozšířen, aby při tahání provaz nesjel z trubičky a nedošlo k poškození teploměru. Bez velkých problémů dosáhnete v několika sekundách teplotu přes 100 °C. A pak už to záleží jen na vašem úsilí a šikovnosti. Dá se dosáhnout teploty až okolo 200 °C, ale to už se začíná pálit provázek. Určitě se výrazně zahřejete sami (i když teplota vašeho těla zůstane nezměněná 37 °C). Rozhodně však na horkou trubičku nesahejte holou rukou. Hrozí, že se spálíte.

Ocelová trubička v prkénku. Sonda digitálního teploměru je v ocelové trubičce utěsněna alobalem pro dobré předávání tepla. Svorkou připevníte prkénko k desce stolu. Jedna postačí, ale dvě jsou lepší.





## LZE PSÁT BEZ TUŽKY A PERA?

Teplo vzniklé třením je příčinou i dalšího zajímavého jevu. Vezměte kousek termocitlivého papíru. To je papír, na který se tisknou např. některé autobusové jízdenky či stvrzenky z bankomatů. Lze jej zakoupit v rolích po 50 metrech jako termocitlivý papír pro faxové tiskárny. Při zvýšení teploty ztmavne až zčerná. Vyzkoušejte to zahřátím kousku papíru třeba nad svíčkou, plotýnkou vařiče, položením horké mince apod. Když přejetete po takovém papíru kovovým předmětem, třeba lžičkou, nechá za sebou šedivou šmouhu. Jestliže ale přejetete po papíru umělou hmotou, například propiskou se zasunutou náplní nebo dřevěnou špejlí, utvoří se výrazná šedočerná čára. Při tření vzniká teplo. Kov stačí teplo odvést, a proto se na povrchu zahřeje jen málo. Umělá hmota a dřevo odvádějí teplo špatně, papír se silně zahřeje a výrazně ztmavne.



## PROČ JE PUMPIČKA HORKÁ?

Dodávat práci lze ale i jinak než jen třením. Když silně a hlavně rychle stlačíte plyn, tak se vaše práce změní na vnitřní energii plynu a ten se výrazně zahřeje. Proto jsou dolní konec pumpičky a hadička při pumpování duše kola horké. Proto se také silně zahřívají kompresory stlačující plyn. Určitě máte doma chladničku nebo mrazák s kompresorem. To je ta černá kulatá věc vzadu dole, která při chodu vrčí a je tak horká, že se na ni nedá sáhnout.

Zkuste, jak moc se zahřívá vzduch v běžné pumpičce. Vezměte hustilku na kolo s volnou hadičkou. Několikrát zapumpujte. Píst jde lehko, a protože se pod ním nestlačuje vzduch, nedochází k zahřátí. Pak konec hadičky utěsněte co nejlépe prstem a nechte někoho druhého, ať pumpuje. Při intenzivním pumpování vždy trochu stlačeného vzduchu unikne a vy cítíte jak je horký. Při rychlém a výrazném stlačení vzduchu výrazně roste teplota. V naftovém motoru se při prudkém stlačení vzduch zahřeje natolik, že vstříknutá nafta se sama vznítí a není třeba ji zapalovat elektrickým výbojem jako u motoru benzínového.

**Rolička termocitlivého faxového papíru o šířce 21 cm a délce 50 m. Nápis je vytvořen pohybem tyčinky z umělé hmoty. Třením se papír zahřeje a ztmavne.**

# OCHLAZOVÁNÍ PLYNU PŘI EXPANZI

Při předchozím pokusu jste si vyzkoušeli, že se při stlačování plyn zahřívá. Co se děje při jeho rozpínání? Jak plyn zvětšuje svůj objem, vykoná značné množství práce a tím přijde o energii. Proto se ochladí a jeho teplota klesne. Jak si to vyzkoušet a přitom vidět něco zajímavého? Sestrojte si raketu na stlačený vzduch z plastové PET láhve.

## JAK NA TO

Potřebujete stlačit vzduch a uzavřít ho v láhvi. Aby neutekl, potřebujete ventilek. Ze staré duše do jízdního kola vystříhnete těleso ventilku. Budete potřebovat takový typ duše, kde se ventilek zajišťuje převlečnou maticí. Do plastového víčka láhve vyvrtejte díru o stejném nebo maličko menším průměru než je průměr ventilku. Zatlačte do ní ventilek a zajistěte jej maticí s podložkou. Víčko našroubujte na 2l PET láhev od limonády a dobře utáhněte.



Vhodný typ ventilku pro konstrukci rakety na stlačený vzduch. Vlevo dole je ventilek rozebraný na jednotlivé části, nahoře pak našroubovaný ve víčku. Pro experimenty se stlačeným vzduchem je možné použít i automobilový ventilek do bezdušových pneumatik, ale ten nelze použít ke stavbě rakety (na obrázku úplně vpravo).

Hustilkou pumpováním natlakujte láhev na přetlak asi 0,3 MPa. Pro obyčejnou pumpičku na kolo je to asi 50 šouchů při dráze pístu 20 cm. Při pumpování se můžete přesvědčit o nárůstu tlaku v láhvi pohmatem a poklepáváním. Jak uvnitř roste tlak, úměrně tomu je láhev tvrdší. Když na ni poklepeme, vydává vyšší zvuk. Je dobré se přesvědčit o tlaku vzduchu uvnitř láhve vážením. Každé zvýšení tlaku o desetinu MPa, tj. o jeden bar (jednu atmosféru), odpovídá zvýšení hmotnosti láhve asi o 2,5 g. To znamená, že dobře natlakovaná 2 l PET láhev váží o 7,5 g více než prázdná. Pro srovnání, tento přírůstek hmotnosti odpovídá váze desetikoruny. Rozhodně nezkoušejte, co láhev vydrží a s tlakováním dále nepokračujte. Při příliš velkém tlaku se láhev může roztrhnout a někoho zranit nebo způsobit škodu. Nepoužívejte kompresor. Tlaku, který vyvine, láhev neodolá.

Když povolíte ventilek a vzduch z láhve rychle unikne, ucítíte jak se ochladí. Čím více klesne tlak a čím větší práci plyn vykoná, tím více klesne jeho teplota. Můžete ho vypustit tak rychle, že volná láhev vyletí jako raketa. Při vypouštění jednou rukou držte láhev a druhou opatrně odšroubujte kroužek držící ventilek, který přidržujete přitisknutý, aby vzduch neunikal. Pak láhev pusťte. Stlačený vzduch vyfoukne nezajištěný ventilek a láhev vyletí na druhou stranu. Rozpínající se vzduch koná práci a jeho teplota klesá.



**Natlakovaná láhev s ventilkem. Stačí vyšroubovat převlečnou matici přidržující ventilek a láhev letí vzhůru.**

## MRÁZ $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$

Nejnižších teplot doma dosáhnete při vytvoření pevného oxidu uhličitého. To se dělá tak, že se plynný oxid uhličitý vypouští z tlakové nádoby. Při tom se prudce rozpíná, vykonává práci, ztrácí vnitřní energii a tím se ochlazuje. Ochlazení je tak výrazné, že se část plynu desublimací změní v pevný oxid uhličitý, kterému se také říká suchý led.

### JAK NA TO

V prodejnách s domácími potřebami se prodávají sifonové láhve a sifonové bombičky pro přípravu sodovky. Jsou to malé ocelové nádoby o vlastním objemu  $10\text{ cm}^3$ . V každé je v průměru  $7,5\text{ g CO}_2$  pod nesmírným tlakem desítek MPa. To představuje při vypuštění do místnosti za normálního atmosférického tlaku a normální pokojové teploty přibližně 5 l plynu. Bombičky jsou uzavřené našroubovaným mosazným víčkem, ve kterém je otvor překrytý tenkým hliníkovým plechem. Plyn se vypouští jeho proražením. Jak ho vypustit rozumně ven? Jedna cesta je využít původní sifonovou láhev, nebo spíše jen její hlavici. K ní místo láhve připevníte gumičkou mikrotenový sáček o rozměrech nejméně  $30\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ . Našroubujete držák s bombičkou na své místo a obsah vypustíte do sáčku. V sáčku se kromě plynu objeví i malé množství bílých krystalků připomínajících sněh. Při opatrném stisknutí mezi prsty přes stěnu sáčku cítíte mrazivý chlad. Krystalky velmi rychle sublimují a při teplotě  $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$  se mění v plyn. Protože se nemění na kapalinu, sáček po nich zůstane suchý. To je důvod, proč se říká tuhému oxidu uhličitému suchý led. Nezkoušejte krystalky stisknout přímo. Při bezprostředním kontaktu s pokožkou mohou způsobit omrzliny. Můžete je také vysypat na papír a pozorovat, jak se mění jejich povrch a tvar při sublimaci. Množství krystalků se dá výrazně zvýšit tím, že bombičku před vyprázdněním podchladíte v mrazáku. Při vypouštění plynu ji držte ve svislé poloze otvorem dolů, aby všechn plyn unikl ven.



Sifonové bombičky. Horní, s připevněným připínáčkem, je připravená k vypuštění plynu.

Plyn lze vypustit i bez sifonové láhve. V tom případě pokus provádějte jen při dohledu dospělé osoby. K ústí bombičky přichyťte lepicí hmotou (v nouzi postačí i kousek plastelíny) velký připínáček. Bombičku vložte dolním koncem do ústí mikrotentového sáčku, pevně stiskněte v dlani a položte hlavičkou připínáčku na stůl. Druhou rukou uhoďte do volného oblého konce bombičky. Tím ji narazíte na hrot, dojde k proražení hliníkového uzávěru a plyn s prudkým syčením unikne do sáčku. Hlavně pevně držte bombičku, ať vám nevyletí reaktivním působením z ruky. Takto získaný plyný  $\text{CO}_2$  pak můžete použít k dalším experimentům s plyny. Prázdné bombičky je možné měnit za poplatek za nové jak v místech, kde se prodávají sifonové láhve, tak i v některých prodejnách s potravinami.



Suchý led vysypaný ze sáčku na černý papír. Vlevo je porovnání s bombičkou a připínáčkem. Vpravo je detail dvou větších shluků krystalků.

## MRAZICÍ SMĚS

Suchým ledem se sice dostanete na velmi nízké teploty, ale ze sifonových bombiček ho dostanete příliš málo. Pro účinné mražení to nestačí.

Do teplot hlubokých mrazů se ale dá dostat i jinak. Stačí k tomu tající led z ledničky. Určitě máte zkušenost, že se led po vyjmutí z ledničky rychle zahřeje na teplotu tání  $0^{\circ}\text{C}$  a při ní poměrně dlouho setrvává, než se celý změní ve vodu. Podobně se chová většina látek. Při přeměně skupenství látky spotřebovávají značné množství tepla a přitom jejich teplota neroste, dokud není přeměna dokonána. Nízká teplota suchého ledu je také zajištěna jen tím, že při teplotě  $-79^{\circ}\text{C}$  se mění v plyn.



V plechovém hrníčku je směs tajícího ledu o původní teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  a dvou vrchovatých polévkových lžic kuchyňské soli. Směs má teplotu  $-21^{\circ}\text{C}$ . Pod hrnečkem je přimrzlý kousek skla. Povrch plecháčku je pokryt zkondenzovanou vzdušnou vlhkostí, v místech chlazených směsí zmrzlou na led.

## JAK NA TO

Nejdřív si připravte led. Do mrazáku dejte plastovou PET láhev s vodou. Je dobré, aby nebyla úplně plná. Při mrznutí voda zvětšuje svůj objem. Po zmrznutí opatrně rozřízněte plast, vyjutý led zabalte do kusu látky a na větším prkénku paličkou nebo kladivem roztlučte. Mrazicí směs vyrobíte smísením drceného ledu s obyčejnou kuchyňskou solí. Působením soli se led mění na vodu, na tání se spotřebovává teplo a teplota směsi klesá. Při vhodném poměru hmotností ledu a soli asi 3:1 můžete dosáhnout teplotu až  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Pro pokusy s nízkými teplotami jsou vhodné plastové nádoby. Seřízněte plastový 5l kanystr od pracího prostředku nebo podobnou velkou plastovou láhev. Do takto získané nádoby nasypete asi dva kilogramy drceného ledu a přisypte něco přes půl kilogramu soli. Dobře promíchejte vařečkou. Do této směsi ponořte malou plastovou nádobku s vodou. Použijte třeba malou PET láhev nebo kelímek. Vše uložte do velké krabice z pěnového polystyrénu nebo jinak tepelně izolujte od okolí. Voda uvnitř kelímku se postupně změní v kus ledu, zatím co okolo bude slaná břečka. Stejným postupem si můžete místo ledu v kelímku vyrobit zmrzlinu. Jen dbejte na to, aby se vám slaná voda nedostala do připravované dobroty. Počítejte s tím, že vychlazování a odnámání tepla probíhá pomalu a pokus může trvat i několik hodin.

Rychlejší a překvapivější je zmrazování malého množství kapaliny. Do plechového hrnečku s rovným dnem dejte mrazicí směs a položte ho na mokrou podložku, která špatně vede teplo. Nejlépe na kousek skla nebo na prkénko. Po několika minutách voda pod dnem začne mrznout a hrneček přimrzne k podložce. Pokud necháme hrneček stát na stole déle, celý jeho povrch se pokryje krystalky ledu. Kde se vzal? Cožpak led prolezl z vnitřku ven? Ne, to jen na chladných stěnách kondenzuje vzdušná vlhkost, kapičky vody mrznou, až je hrneček celý bílý.

# HŘEJIVÝ POLŠTÁŘEK

Už jste si vyzkoušeli, jak se při změně skupenství dá dosáhnout nízké teploty. Ale co naopak? Dá se tímto způsobem něco zahřát? Jak se vůbec dá docílit toho, aby se něco zahřálo a abychom tomu nemuseli dodávat teplo zvenčí?

Třeba lidské tělo se také musí vyhřívat, aby pokrylo tepelné ztráty a udrželo si svou stálou teplotu. Naše vlastní energetická spotřeba velmi závisí na vnějších podmínkách, činnosti, váze, stáří a pohlaví. Velmi zhruba činí asi 10 MJ za den, což odpovídá řádově 100 W průměrného výkonu. Energie spotřebováváme asi tak stejně jako silná žárovka. Získáváme ji z cukrů a tuků změnami chemických vazeb.

Látka může měnit teplotu, když v ní vznikají nebo zanikají vazby mezi částicemi. Nalijete-li vodu do koncentrované kyseliny nebo louhu, prudce se zahřeje až k varu a může vás postříkat a poleptat. Sádra smíšená s vodou se při tuhnutí zahřívá. Stejně se při tuhnutí zahřívají epoxidové pryskyřice nebo podobné hmoty. Při vytváření vazeb mezi částicemi se uvolňuje energie a látka se může zahřívát.



- ❖ Hřejivé polštářky různého provedení.
- Teplota při ztuhnutí dosahuje skutečně až 55 °C.



## JAK NA TO

Na tomto principu fungují hřejivé polštářky, které lze koupit v prodejnách se sportovními potřebami. Jde o plastové váčky naplněné vazkou kapalinou. Uvnitř je vidět malý ocelový kruhový plíšek. Při promáčknutí plíšku začne kapalina kolem něj tuhnout a rychle se zahřívá. Můžete pozorovat, jak se šíří zóna krystalizace. Během několika sekund se celý obsah váčku změní v měkkou, až 55 °C teplou hmotu. Proč došlo k zahřátí a co se uvnitř skrývá? Uvnitř je přesycený vodní roztok octanu sodného. Překlapnutí plíšku vyvolá krystalizaci, krystaly octanu sodného vážou molekuly vody a při vytváření těchto vazeb se uvolňuje energie, která způsobí zahřátí látky. Po vychladnutí je polštářek zaplněn ztuhlou krystalickou látkou. Co je ale důležité, že proces je vratný! Když váček ponoříme do vroucí vody, látka bude přijímat teplo, uvolní se krystalická voda a octan se v ní rozpustí. Tuhá látka se opět změní v kapalinu. Rozpuštění musí být naprosto dokonalé, uvnitř nesmí zůstat ani nejmenší krystalek. Proto zahřívání ve vroucí vodě musí trvat nejméně 20 minut. Pak váček obsahuje jen tekutinu a tento stav přetrvává i po ochlazení. Polštářek je takovým akumulátorem na vnitřní energii, kterou ve vhodné chvíli uvolníte a ve formě tepla ji můžete předat čemu je potřeba.



Detail plíšku pro startování krystalizace.

# ROZTAŽNOST SKLA A VODY

Tělesa při zahřátí obvykle zvětšují svoje rozměry a tedy i svůj objem. Jak si to vyzkoušet? Sestavte si model teploměru.

## JAK NA TO

Skleněnou litrovou láhev naplňte obarvenou vodou. K barvení jsou nejlepší potravinářské barvy, které nezanechávají trvalé stopy a jdou docela dobře vyprat. Láhev uzavřete zátkou se skleněnou trubičkou, kterou zatlačte tak, aby voda dosahovala asi doprostřed délky trubičky. Při změně teploty se mění objem kapaliny a hladina v trubičce stoupá a klesá podle toho, jak se se změnou teploty mění objem kapaliny. Skutečné teploměry mají malou baňku zakončenou uzavřenou kapilárou. V našem modelu jsou nahrazeny láhví a trubičkou.

Nyní ponořte láhev do kbelíku s teplou vodou. Hladina vody v trubičce by se měla začít zvedat. V rozporu s očekáváním ale hladina nejprve rychle klesne a pak teprve začne pomalu stoupat. Co je příčinou? Při ponoření láhve do teplé lázně se nejprve rychle ohřeje sklo a zvětší svůj objem. Při zahřívání těles se objem dutin mění stejně jako vnější objem tělesa – roste. Vnitřní objem láhve se zvětší, a proto hladina klesne. Při dalším zahřívání se již zvětšuje objem vody, hladina stoupá a voda i při nevelkém zahřátí z trubičky vytéká. Kapaliny při stejném zahřátí zvětší svůj objem mnohem víc než pevné látky. Tento princip využívají běžné kapalinové teploměry. Pokud k tomuto pokusu použijete láhev oválného průřezu, můžete si vyzkoušet ještě jeden zajímavý jev. Když stisknete láhev v prstech ve směru menší šířky, hladina v trubici stoupá. Naopak, při stisku láhve ve směru větší šířky, hladina klesá. Proč tomu tak je? Sklo je sice velmi křehké, ale v malých mezích deformace pružné. V prvním případě stisknutím objem láhve zmenšíte, ve druhém naopak zvětšíte.



Láhev s kapalinou jako model teploměru.

# BIMETAL

Rozdílné roztažnosti kovů se využívá k jednoduché regulaci. Jestliže pevně spojíme dva pásy kovů s rozdílnou teplotní roztažností, vznikne dvojkovový pásek – bimetal. Při zahřívání se rozdílné kovy různě roztahují a pásek se deformuje. Ohýbá se tak, že kov s větší délkovou roztažností je na vnější části prohnutého pásku. Při ochlazování je tomu naopak. Kov s větší roztažností se více smrští a pásek se ohne tak, že tento kov bude na vnitřní straně pásku. Při ohýbání může pásek ovládat spínač a tak při zahřátí vypnout proud v obvodu a zahřívání přerušit.



❖ Regulovatelný bimetalový termostat z žehličky. Vlastní bimetalový pásek je vpravo na kraji.

⚙️ Bimetalové kroužky, které se překlápou při zahřátí na předem danou teplotu. Kroužky ovládají mikrosplínače a tím vypínají přívod proudu. Zobrazené díly jsou z varné konvice.

Pro vypínání po zahřátí se využívá dvojího způsobu. Při prvním se pásek při zahřívání ohýbá úměrně teplotě a při určité hodnotě tlaku na mikrospínač jej vypne. Tento okamžik se dá nastavit otáčením regulačního kolečka. Takto se zapíná a vypíná třeba žehlička, plotýnka vařiče, toustovač apod. Při druhém způsobu se bimetalový plíšek vytvaruje předem tak, že při zahřátí na požadovanou teplotu rázem změní tvar. Obvykle jde o malý kotouček prohnutý do miskového tvaru. Při zahřátí se promáčkne a se slyšitelným cvaknutím se vymění jeho vnitřní a vnější strana. Při tom přepne polohu mikrospínače a vypne proud. Při ochlazení se promáčkne zpět do původní polohy.

Určitě pro vás není problém sehnat si vysloužilou nefunkční varnou konvici a podívat se do jejího vypínacího systému. Nebudete litovat. Po rozebrání zde obvykle naleznete dva až tři bimetalové „skokové“ spínače. Jak slouží? Při zapnutí konvice jsou všechny v takové poloze, že mikrospínače jsou sepnuty. Konvice má uzavřené víko a voda se ohřívá. Jakmile se začne vařit, uvolněná pára vniká držadlem k hlavnímu bimetalu, na kterém kondenzuje. Tím jej zahřeje, bimetal přepne mikrospínač a konvice se vypne. Při otevřeném víku konvice uvedený vypínací systém nefunguje a voda by se mohla úplně vyvařit. Aby se zabránilo případným škodám, jsou v konvici instalovány další pojistné bimetalové vypínače, které vypnou proud, pokud teplota topné spirály překročí stanovenou mez.

Pokud ze spínačů vymontujete bimetalové kotoučky, můžete s nimi provést jednoduchý experiment. Chladný kotouček položte na horký plech, nebo na mírně zahřátou plotýnku vařiče. Po chvíli se kotouček promáčkne a vyskočí. Nechte ho vychladnout. Při ochlazování zaujme s cvaknutím původní tvar a vyskočí znova. Jde o jednoduchý stroj, kde se mění teplo na práci. Při zahřívání a ochlazování plíšek skáče.

# TEPLOTNÍ DÉLKOVÁ ROZTAŽNOST PEVNÉ LÁTKY – „VÁŽENÍ TEPLA“



Jsou změny rozměrů těles při změnách teploty významné a pozorovatelné? Může zahřátí tělesa porušit rovnováhu? Zkuste si sestavit tento experiment.

## JAK NA TO

Budete potřebovat lehkou hliníkovou trubičku o délce nejméně 60 cm a průměru asi 6 mm. Hliník je vhodný pro svou velkou teplotní roztažnost. Provrtejte ji uprostřed vrtákem o průměru 1 mm. Připravte si vhodný stojánek. Postačí tyčka v prkénku, na hoře zakončená korkovou zátkou. Tenkým ocelovým špendlíkem připevněte trubku k zátku tak, aby se lehce otáčela. Pečlivě ji vyvažte, aby byla ve vodorovné poloze. Vyvážení můžete provést zatížením lehčího konce kouskem drátku nebo páskem alobalu. Nastavení vám půjde snadněji, pokud otvor pro osu otáčení nebude přesně uprostřed, ale asi 1 mm nad těžištěm. Toho lze dosáhnout tím, že konce vahadla nepatrně prohnete dolů.

Vyváženou trubku začněte na jednom rameni zahřívát. Pomalu pohybujte kahanem po celé jeho délce. Po chvíli začne zahřívávané rameno klesat dolů. Při prvním pohledu to vypadá, jako by bylo těžší. Pokud budete tento experiment předvádět méně známému publiku, můžete je přesvědčit, že podle teorie relativity má těleso s větší energií větší hmotnost. „Tyč přijala teplo a teplejší konec je tedy těžší a proto klesá dolů.“ Samozřejmě, pak byste měli přiznat pravdu. Vůbec nejde o problém zvýšené hmotnosti. Zahřátím tyče vzroste její délka a těžiště už není v místě otvoru, ale posune se ve směru zahřáté části tyče. Proto se rovnováha poruší a teplé rameno klesá dolů.

- ❖ Celkové uspořádání pokusu. Vahadlo z hliníkové trubičky bylo původně ve vodorovné poloze a po zahřátí kleslo teplejší rameno dolů.
- ❖ Detail osičky vahadla z ocelového špendlíku se skleněnou hlavičkou.



# BALÓN NA TEPLÝ VZDUCH



Určitě jste už viděli velké vznášející se balóny naplněné teplým vzduchem. Určitě jste zatoužili vypustit si svůj vlastní. Přitom nejde o nic náročného.

## JAK NA TO

Potřebujete dva velké mikrotenové pytle na odpadky z tenké mikrotenové fólie o objemu aspoň 60 l. Spojte je svařením tak, aby vznikl uzavřený válec. Svařování při troše trpělivosti není problém. Protože jde ale o práci s ohněm, je nezbytné, aby byla přítomna dospělá osoba. Pytle vsuňte do sebe, okraje přitiskněte k sobě a sevřete mezi dvě kovová pravítka nebo skleněné desky tak, aby okraje pytlů přesahovaly 4 až 5 mm. Práci je dobré dělat ve dvou. Jeden přidržuje pravítka se sevřeným mikrotenem a druhý opatrně plamenem svíčky nahřívá kraje fólie. Mikroten se taví a smršťuje až k chladným hranám pravítka. Stisknuté natavené fólie se spojí a po zchladnutí spoje pevně drží. Pravítka musí opravdu být z kovu nebo skla. Nelze použít plastová, k fólii by se přilepila. Pozor, nesahejte na roztavený mikroten, mohli byste se ošklivě spálit. Mikroten je hořlavý a snadno se vznítí. Jestliže se vznítí, odkapávají z něj hořící kapky, které mohou způsobit zranění nebo požár. Při tavení pracujte s nejvyšší opatrností.

Do válce z pytlů udělejte při jednom konci otvor pro zasunutí fény na sušení vlasů. Zapněte ho na maximální výkon, balón naplňte horkým vzduchem a pusťte. V chladné místnosti se ihned vznese ke stropu.

Ohřátý vzduch má menší hustotu než studený, protože při zahřátí zvětšuje svůj objem. Aby se balón vznese, musí být celková hmotnost mikrotenu a teplého vzduchu uvnitř menší než hmotnost okolního vzduchu o stejném objemu. Pokud se vám pokus nedaří a balón se nechce vznést, je příliš těžký. K nápravě vedou různé cesty. Zvýšit teplotu uvnitř, pokus provést v chladnějším prostředí, použít tenčí mikroten, a nebo při stejném materiálu zvětšit objem balónu.

**Balón ze dvou svařených mikrotenových pytlů na odpadky naplněný teplým vzduchem se vznášá u stropu místnosti mezi zářivkovými tělesy. Jeho vnitřní objem je 120 l.**

# TEPELNÉ STROJE

Snad nejužasnější na teple je, že může pracovat za nás a pro nás. Lidé už velmi dávno poznali, že teplo nejen upraví potravu, ale dokáže mnohem víc. Například tvrdá skála popraská, když se rozpálí ohněm a pak zchladí vodou. Pak ji lze mnohem snadněji rozdrtit. Na počátku našeho letopočtu slavný vynálezce Herón poprvé použil tepla k práci, když využil rozpínání vzduchu při zahřátí k přečerpání vody z jedné nádoby do druhé. A také poprvé roztočil baňku s unikající párou a postavil tak zatím ještě nedokonalého předchůdce turbíny. O tisíc let později v Číně poháněly horké spaliny rakety při ohňostrojích. Ke skutečnému využití tepla k užitečné práci ale dochází až na přelomu 17. a 18. století po objevení principů fungování výbušného motoru a parního stroje.

Tepelný stroj je zařízení, které mění teplo nějakým způsobem na práci a dává něco do pohybu. S těmi nejjednoduššími jste se už seznámili (větrníček na teplý vzduch, bimetalový pásek nebo radiometr). Prozkoumejte další, zajímavější a hlavně mnohem výkonnější. A co je hlavní, pokuste se některé z nich udělat. Tak nejlépe poznáte, jak fungují.

## HERÓNOVA PARNÍ BAŇKA

Začněte tím nejjednodušším parním strojem, který postavil Herón. Jde o kovovou uzavřenou volně otáčivou baňku, ze které vycházejí dvě zahnuté trubice. Uvnitř baňky je voda, pod baňkou se topí. Voda se vaří a pára prudce uniká zahnutými trubicemi. Baňka se roztočí opačným směrem na principu akce a reakce. Udělat doma těsnou baňku tohoto tvaru není snadné, ale stroj lze ještě zjednodušit.

### JAK NA TO

Vezměte prázdnou hliníkovou plechovku od piva nebo jiného nápoje. Pomocí nože a pilníku vytvarujte korkovou zátku tak, aby se jí dal uzavřít napevno otvor v plechovce. Je nutné, aby byl zcela utěsněn. Pokud špunt dostatečně omačkáte kleštěmi, nemusíte ho ani moc okrajovat. V horní části, asi 2 cm pod okrajem plechovky, vytvořte jehlou několik otvorů (2 až 5) ve směru tečny k obvodu. Tenký plech z tvrdého hliníku se dá jehlou docela dobře propíchnout. Každý vpich musí být veden prakticky rovnoběžně s povrchem. Plech v okolí vpichu je na vnitřní straně vtlačen do plechovky, na druhé straně odtažen. Použitá jehla nesmí být příliš silná. Otvory musí být velmi malé, menší než 1 mm v průměru. Kolem horního okraje obtočte drát a vytvarujte háček, na který lze plechovku zavěsit. Pro uskutečnění pokusu musí být plechovka volně otáčivá kolem svislé osy. Můžete ji zavěsit na tenký provázek, ale je

třeba počítat s tím, že při otáčení se bude zkrucovat a po určité době se plechovka zastaví a začne otáčet proti směru unikání páry. Lepší zavěšení je na tenký kuličkový řetízek používaný k různým přívěskům. Když už plechovka visí, je potřeba do ní dát vodu. V lékárně koupíte za několik korun plastovou injekční stříkačku o objemu 20 ml a vhodnou jehlu. Do stříkačky nasajte vodu a vstříkněte ji dovnitř. Pro začátek 20 ml vody zcela postačí. Po uklidnění pod plechovkou zapalte výkonný kahan (svíčka nestačí). Pokud jste si neudělali lihový kahan s velkým průměrem knotu, budete muset použít plynový vařič. Za několik sekund se voda začne vařit a vznikající pára unikající podél stěn plechovku roztočí. Pokud se pokus nedaří a plechovka se neotáčí, může to být z několika příčin. Váš záves má příliš velký odpor proti otáčení, výkon tepelného zdroje je příliš malý, otvory jsou příliš velké nebo jich je příliš mnoho.



- ❖ Celková sestava s dostatečně výkonným kahanem. Za pozornost stojí jednoduchá konstrukce stojanu z prkénka, trubky od lustru, korkové zátky a dřevěné tyčky s nalepeným kolíčkem na prádlo. Kovovou trubku můžete nahradit dřevěnou tyčkou a máte stojan takřka zadarmo.
- Detail zavěšení plechovky na kuličkový řetízek, který jí umožňuje hladké otáčení.



# LODIČKA NA PÁRU

Pokud vás mrzí, že se Herónova baňka točí aniž by něco poháněla, udělejte si lodičku na páru.

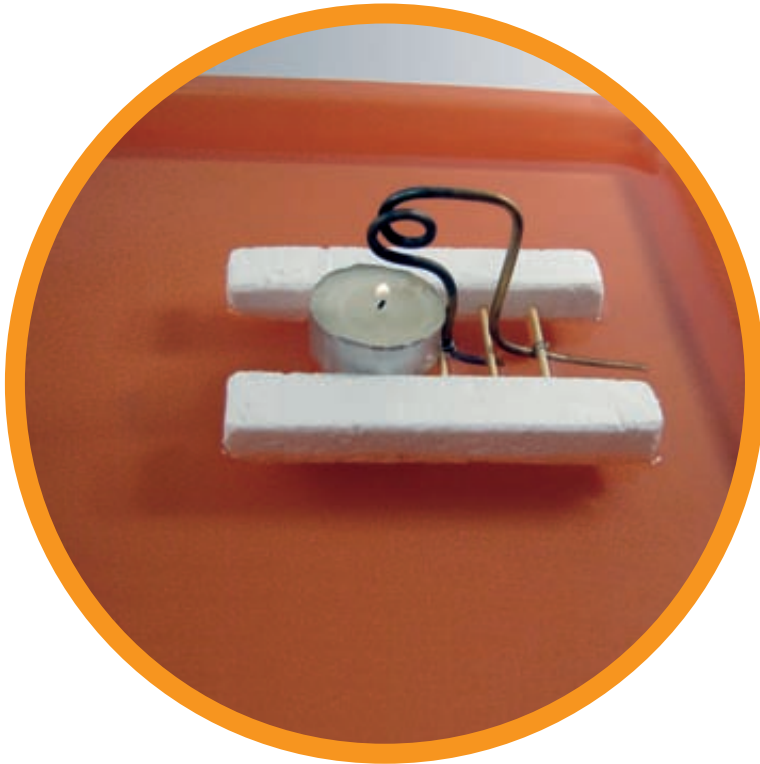
## JAK NA TO

Nejdříve potřebujete vlastní plavidlo. Nesmí být příliš těžké, výkon motoru nebude velký. Nejjednodušší bude udělat ho jako katamarán. Dva plováky z polystyrenu (stačí hranolky 2 cm × 2 cm × 10 cm) spojte několika špejlemi nebo kulatými párátky. Motorem bude tenkostěnná mosazná nebo měděná trubička o průměru 3 mm dlouhá asi 20 až 25 cm. Koupíte ji v prodejně s hutním materiálem nebo v potřebách pro řemeslníky. Trubičku uprostřed dobře vyžehčete v plameni kahanu. I po vychladnutí bude měkká a překvapivě tvárná. Opatrně ji obtočte kolem držadla vařečky nebo jiného dřevěného kolíku o průměru asi jeden centimetr tak, aby vznikla alespoň jedna smyčka. Máte-li delší trubičku, můžete vytvořit závitů dva. Konce trubičky zmáčkněte kleštěmi až na úzkou škvírku. Vytvarovanou trubičku připevněte drátkem k lodičce tak, aby konce byly pod dolní úroveň plováků a směřovaly dozadu. Závitů jsou asi 3 cm nad plošinkou ze špejlí, kam umístíte malou čajovou svíčku, která bude zdrojem tepla pro motor.



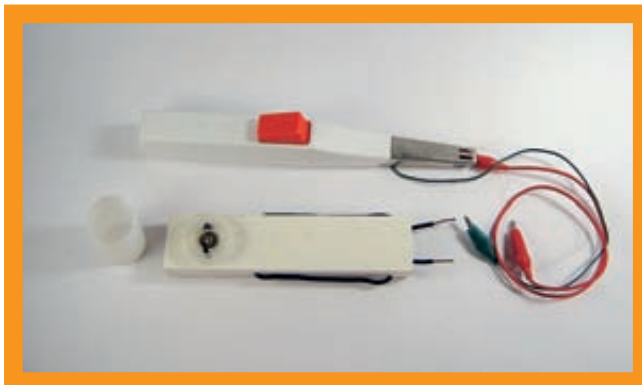
**Materiál na výrobu lodičky. Polystyrénové plováky, bambusová párátka a zahnutá trubička.**

Před startem je důležité naplnit trubičku vodou. Nejlépe tak, že na jeden konec trubičky nasadíte plastovou hadičku, druhý ponoříte do vody a podtlakem v ústech vodu nasajete. Svíčku uložte pod zatočenou část trubičky a zapalte. Plamen bude prohřívat trubičku a voda v ní se rychle začne vařit. Vzniklá pára pod tlakem vystřikuje vodu ven. Tím se ale vnitřek trochu ochladí, tlak páry klesne a nasaje se trochu chladné vody zpět. Voda způsobí zkondenzování vodní páry uvnitř a tím se jí dovnitř nasaje ještě víc. Přijme teplo od rozpálených stěn trubičky, rychle se ohřeje, část se přemění na páru a trochu jí opět vystříkne. Z trubičky se stane pulsní motor. Při provozu slyšíte vrnivý zvuk. V ustáleném stavu nastává až deset mikrovýstřiků za sekundu. Záleží na výkonu tepelného zdroje a průměru trubičky.



**Sestavená lodička v provozu. Při malém plamínku svíčky dochází asi k jednomu výstřiku za sekundu, ale i to stačí k pohybu rychlostí několika centimetrů za sekundu.**

# ZÁŽEHOVÝ MOTOR



Parní pohon je hezká věc, ale jak pracuje benzínový motor v autě? Udělejte si malý model.

## JAK NA TO

Budete potřebovat 20 cm plastové elektrikářské lišty o šířce 5 cm, 40 cm izolovaného měděného drátu o průřezu  $1,5 \text{ mm}^2$ , krabičku od filmu a upravený elektronický zapalovač plynu. Úprava spočívá v tom, že k vodičům tvořícím jiskřiště připájíte dva 30 cm dlouhé vodiče s krokosvorkami a vzájemně je odizolujete tak, aby nemohly přeskokovat jiskry v jiskřišti zapalovače. Víčko krabičky od filmu připevníte šroubkem k elektrikářské liště. Skrz víčko provrtejte dva otvory, kterými těsně protáhnete dva kousky měděného vodiče o délce 20 cm. Vodiče vedete pod lištou a u druhého konce je vyvedete ven. Vodiče nad víčkem odizolujte, konce zahroťte a přihněte na vzdálenost asi 3 mm až 4 mm proti sobě. Do krabičky nalijte trochu čerstvého líhu na pálení. Protřepejte s ní a líh zpět vylijte tak, aby její vnitřek zůstal vlhký. Přimáčkněte krabičku na víčko a chvíli počkejte, až se líh uvnitř vypaří. Vypařování urychlíte, když krabičku zahřejete v dlaních. Asi po minutě připojte k vývodům upravený zapalovač plynu. Po stisknutí zapalovače přeskočí mezi hroty v krabičce jiskra, která zapálí vypařený etanol. Dojde k malé explozi a krabička vyletí vzhůru.

Místo elektronického zapalovače plynu lze také použít piezoelektrický zapalovač. Jiskra z něj je ale slabší a občas dojde k zážehu až po několikanásobném stisku zapalovače.

**Model zážehového motoru s piezoelektrickým zapalovačem plynu.**

## PIJÍCÍ ČÁP

Perpetuum mobile. Dávný sen mnoha generací. Kdo by nechtěl stroj, který by stále jen pracoval a nepotřeboval žádný zdroj energie? Nebo aspoň měnil teplo přímo na práci. Co vynálezců mělo pocit, že stačí udělat už jen málo a stroj bude fungovat. Ne, nikdy nikomu se to nepodařilo a nepodaří. Přesto, když vidíte skleněnou hračku „píjícího čápa“, máte pocit, že to je přece ono.

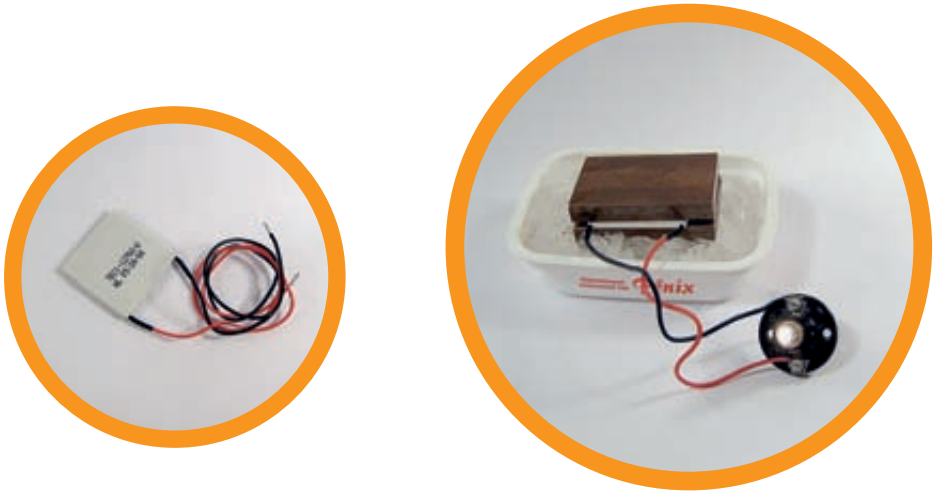
Určitě jste to už viděli. Malá skleněná kývající se figurka čápa. Jak se kýve, stále více se předklání, až se dlouhý červený zobák ponoří do hladiny vody ve skleničce. Figurka se napřímí a opět se stále více rozkývává, až se dotkne zobákem hladiny. Odkud se bere ten „věčný“ pohyb? Jak to funguje?

Předpokládejme, že čáp se již chvíli kýve. Zobák je navlhčený vodou ze skleničky. Tělíčko je vlastně zatavená skleněná baňka s éterem, zakončená hlavičkou s dutým zobákem. Éter se za pokojové teploty silně vypařuje. V chladnější hlavičce páry éteru kondenzují, je zde menší tlak. Větší tlak sytých par v dolní části figurky způsobuje, že kapalný éter stoupá vzhůru, páry konají práci. Poloha těžiště figurky stoupá. Jakmile dosáhne takové polohy, že rovnovážná poloha stálá se stane vratkou, čáp se převáží. Zobáček se zvlhčí vodou a éter se přelije zpět dolů do zásobníku. Vypařováním vody se udržuje teplota zobáku nižší, než je teplota spodní části. V zásobníku se éter vypařuje a v zobáku kondenzuje. Jde o typický tepelný stroj, který pracuje s teplotním rozdílem několika °C. Hračka bude v pohybu tak dlouho, pokud mezi výparníkem (zásobníkem éteru) a kondenzátorem (zobákem) bude vhodný teplotní rozdíl umožňující vypařování a kondenzaci. Žádné perpetuum mobile, jen stroj poháněný přecházením tepla z teplejší části do chladnější.



Hračka „Píjící čáp“, která se zdánlivě chová jako perpetuum mobile. Hladina obarveného éteru uvnitř stoupá, až se hračka překlopí a zobák se dotkne hladiny.

# TERMOČLÁNEK



Proces, kdy teplejší těleso předává teplo chladnějšímu, lze využít k získání práce. Toho využívá, jak jste si už mohli zkusit, třeba parní stroj, turbína nebo spalovací motor. Jsou ale i takové stroje, které mohou z předávání tepla získat energii a konat práci, aniž by se nějaké věci hýbaly. Tak pracují termočláanky. Termočlánek je tvořen dvojicí vodičů z různých kovů. Jestliže budete zahřívát místo, kde jsou spojeny, vytvoří se mezi nimi napětí. Při zahřátí o stovky °C jsou to obvykle jen milivoly a muselo by jich být spojeno v sérii opravdu hodně, abychom dostali využitelný zdroj napětí. Mnohem větší napětí vznikne mezi dvěma polovodiči. A to už za pokus stojí. V obchodě s polovodičovými součástkami lze zakoupit Peltierův článek. Jde o dvě tenké keramické destičky, mezi kterými je v sérii několik desítek polovodičových článků. Ven vycházejí dva drátky. Když budete jednu stranu článku chladit a druhou ohřívát, naměříte mezi vývody napětí. Čím větší článek použijete, tím lepší budete mít výsledky. K tomu, aby článek dobře fungoval, musíte zajistit účinný přívod a odvod tepla. Vhodné jsou silné hliníkové nebo měděné destičky. Důležité je, aby z té strany, kterou je přitisknete na článek, byly hladké. Máte-li k dispozici silikonovou vazelinu, namažte jí styčné plochy, aby byl přenos tepla co nejdokonalejší. Měděné destičky lze docela dobře nahradit dvěma chladiči z mikroprocesoru PC. Jednu desku (chladič) položte na led, na ni dejte Peltierův článek a navrch položte druhou desku ohřátou v horké vodě. Máte-li plecháček s rovným dnem, můžete ho naplnit teplou vodou a použít jako zdroj tepla. Článek mezi dvěma rozdílnými teplotami je zdrojem proudu. Když připojíte k vývodům malý motorek, tak se roztočí. Již při teplotním rozdílu 50 °C lze jediným článkem rozsvítit naplno žárovku 2,5V/0,2A.

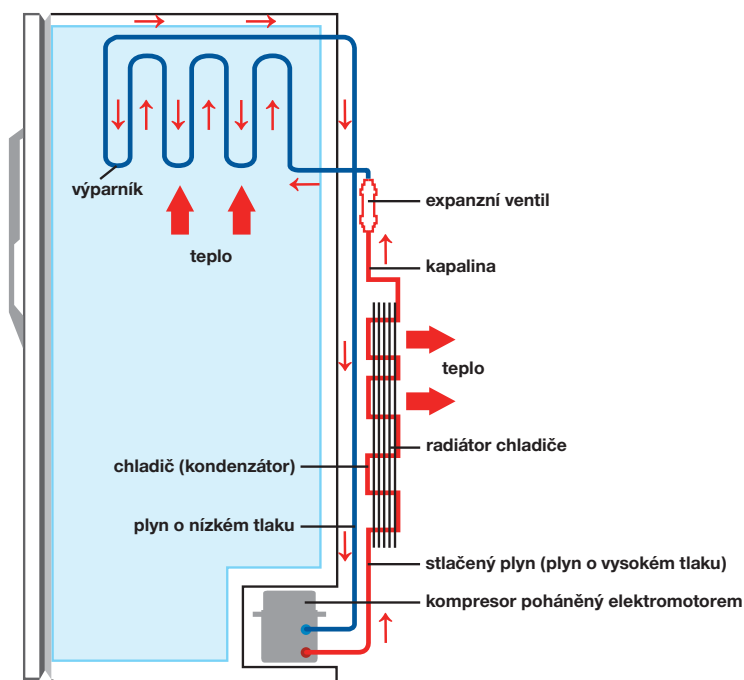
❖ Peltierův článek v detailu.

⚠ Peltierův článek mezi dvěma měděnými destičkami. Dolní spočívá na tajícím ledu, horní je ohřívána v horké vodě na 50 °C.

# ČERPÁNÍ TEPLA

## CHLADNIČKA

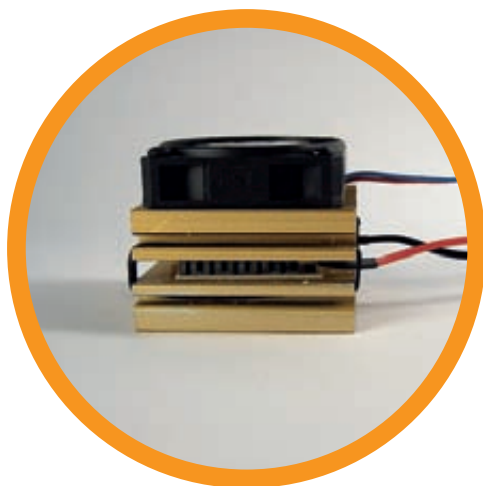
Tepelný stroj nemusí jen konat práci. Může fungovat i úplně obráceně. Tím, že mu budeme práci dodávat, bude čerpat teplo. Obráceně pracující tepelný motor je tepelným čerpadlem. Takový stroj je asi v každé domácnosti. Jde o obyčejnou chladničku či mrazák. Jak pracuje? U kompresorové chladničky elektrický proud pohání kompresor, který stlačuje a tlakem zkapalňuje vhodný plyn. Při tom se uvolní skupenské teplo kondenzace. Teplá kapalina se ochladí na teplotu místnosti v chladiči. To je taková černá trubička na zadní stěně chladničky. Pak proudí kapilárou do výparníku, kde se za nízkého tlaku vypařuje a při tom spotřebovává skupenské teplo vypařování. Výparník má nízkou teplotu a ochlazuje vnitřek chladničky. Plyn je následně kompresorem stlačen a cyklus se opakuje.



Udělejte si malé tepelné čerpadlo. Bez kompresoru a zcela jednoduše. Pomocí Peltierova článku. Už jste si mohli vyzkoušet, že když ho budete z jedné strany chladit a z druhé ohřívat, stane se zdrojem proudu. Ale můžete ho zapojit i obráceně. Když jím necháte protékat proud, tak se na jedné straně bude zahřívat a na druhé ochlázovat. Sestavte si minichladničku.

## JAK NA TO

Budete potřebovat Peltierův článek, dva chladiče z procesoru počítače (jeden s větráčkem), zdroj stejnosměrného napětí 12V, žárovku 12V/10W a krabičku z pěnového polystyrénu o vnitřním objemu několika desetín litru. Zdroj je možné použít jakýkoli, který dodá proud asi 2 A. Dobrý je akumulátor nebo zdroj z PC. Při koupi článku požadujte typ s maximálním napětím okolo 15V a výkonem 30W. Má dva vývody, červený a černý. Připojte k nim plochou baterii kladným pólem na červený vodič. Jedna strana se začne zahřívat. Označte si ji. Článek vložte mezi dva chladiče, teplou stranou ke chladiči s větráčkem. Vše pevně k sobě stáhněte. Provizorně postačí dvě gumičky. Do polystyrénové krabičky vyřízněte otvor pro těsné vložení studeného chladiče. Ohřívavý chladič s větráčkem musí být celý nad povrchem krabičky. Do krabičky udělejte ještě otvor pro teploměr. Na zdroj napětí 12V připojte článek v sérii se žárovkou a větráček. Žárovka omezí proud článkem na hodnotu menší než 1 A. Dejte pozor, aby červený vodič od větráčku i článku byl připojen na kladný pól zdroje. Zkontrolujte, zda se vnitřní chladič ochlazuje a zda vnější není příliš horký. Maximální teplota uvnitř článku nesmí přesáhnout 70° C. Chlazená část dosahuje teplot pod bodem mrazu. Sledujte, jak klesá teplota v krabičce. Pokud k napájení použijete počítačový zdroj, využijte napětí 5V a můžete článek připojit přímo. Pak nebudete potřebovat žádnou žárovku k omezení proudu.



- ❖ Peltierův článek mezi dvěma chladiči z PC. Při průchodu proudu se dolní ochlazuje a horní ohřívá. Proto musí být chlazen větráčkem.
- Vpravo je připravená krabice na chladničku o vnitřním objemu asi 1l.

## ZÁVĚR

Experimenty popsané v této knížce rozhodně nepokrývají všechno, co s teplem souvisí, a jsou jen stručným výběrem z těch nejjednodušších. Na internetu nebo v dalších publikacích najdete mnohé jiné a možná i zajímavější. Přesto věřím, že jste si některé z uvedených vyzkoušeli a že se řada z vás, čtenářů této knížečky, inspirovala k provádění dalších experimentů.



# LITERATURA

Pokud se chcete o teple dozvědět víc, můžete kromě svých učebnic nahlédnout také do následujících knih, článků a internetových odkazů:

- Bilimovič B. F.: Fyzikální kvízy, Mir, Moskva 1981
- Krutina J.: Stokrát proč z fyziky, Práce, Praha 1976
- Macháček M.: Proč je na Sahaře sucho a na Islandu prší?, ve sborníku: Dílny Heuréky 2003–2004, Sborník konferencí projektu Heuréka (Náchod 26.–28. 9. 2003, 24.–26. 9. 2004), Prometheus, Praha 2005
- Reichl J.: Fyzikální hračky a hrátky s fyzikou, ve sborníku: Dílny Heuréky 2003–2004, Sborník konferencí projektu Heuréka (Náchod 26.–28. 9. 2003, 24.–26. 9. 2004), Prometheus, Praha 2005
- Černá M.: Svíčka ve fyzice, ve sborníku: Dílny Heuréky 2005, Sborník konference projektu Heuréka (Náchod 23.–25. 9. 2005), Prometheus, Praha 2006
- Polák Z.: Teplo a teplota, ve sborníku: Dílny Heuréky 2005, Sborník konference projektu Heuréka (Náchod 23.–25. 9. 2005), Prometheus, Praha 2006
- Vícha V., Formánek P.: Termováček, ve sborníku: Veletrh Nápadů učitelů fyziky XI, sborník z konference, UP Olomouc 2006
- Spoustu námětů naleznete ve sbornících Veletrhu nápadů učitelů fyziky. Výběr nejlepších příspěvků naleznete na adrese: [www.kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/](http://www.kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/).
- Další rozmanité náměty na experimenty naleznete na adrese: [www.fyzweb.cuni.cz](http://www.fyzweb.cuni.cz).

