

Z KUCHYNĚ DO VESMÍRU

Petr Kulhánek
2016

Text © Petr Kulháněk
Obálka a grafika © Ivan Havlíček

ISBN 978-80-904582-9-1

Z KUCHYNĚ DO VESMÍRU

aneb třináctero příběhů neobvykle obvyklých



Petr Kulháněk

2016

Obsah

Předmluva	10
1. Jak se klouže na ledu	12
<i>Mnoho podob ledu</i>	14
<i>Regelace ledu</i>	17
<i>Pohyby ledovců</i>	19
<i>Brslíme, aneb proč je led kluzký?</i>	22
<i>Víte, že</i>	25
2. Kapky se koulí	28
<i>Povrchové napětí</i>	29
<i>Tvar kapky a její rychlost</i>	33
<i>Od rozpálené plotny k antihmotě ve vesmíru</i>	35
<i>Duha na scéně</i>	38
<i>Víte, že</i>	39
3. Když si voda klovatá	42
<i>Ohřev vody</i>	43
<i>Přenos tepla prouděním</i>	47
<i>Zvukové vlny</i>	50
<i>Konvektivní polévka</i>	53
<i>Víte, že</i>	53
4. Od mikrovlnky k Velkému třesku	56
<i>Historie mikrovlnky</i>	58
<i>Experimenty v mikrovlnné troubě</i>	61
<i>Spektrum elektromagnetického záření</i>	63
<i>Vlny delší než světlo</i>	65
<i>Velký třesk a reliktní záření</i>	68
<i>Víte, že</i>	71

5. Ušatej magnet	72
<i>Magnety a zase magnety</i>	73
<i>Siločáry</i>	80
<i>Magnety ve vesmíru</i>	83
<i>Víte, že</i>	85
6. O teplotě	86
<i>O teplotě</i>	86
<i>Odkud přichází mráz?</i>	91
<i>A kde je výheň pekelná?</i>	94
<i>Víte, že</i>	96
7. O teple	98
<i>O teple</i>	100
<i>Entropie</i>	102
<i>Perpetuum mobile</i>	105
<i>Vedení tepla</i>	108
<i>Víte, že</i>	110
8. Až vylétnou pojistky	112
<i>Elektrický proud</i>	114
<i>Z elektrárny do domácnosti</i>	119
<i>Měříme</i>	120
<i>Pojistky a jističe</i>	122
<i>Elektrické proudy ve vesmíru</i>	124
<i>Víte, že</i>	126
Barevná příloha	128

9. Točí se, točí (od mixéru k tekutinovému dynamu)	146
<i>Podivná síla</i>	147
<i>Ampér</i>	150
<i>Elektromagnetická indukce</i>	152
<i>Tekutinové dynamo</i>	156
<i>Víte, že</i>	158
10. Točí se, točí (od lístků čaje k Newtonovu vědru)	160
<i>Paradox čajových lístků</i>	162
<i>Setrvačnost</i>	165
<i>Od Newtonova vědra k relativitě</i>	166
<i>Prokleté skoky</i>	170
<i>Víte, že</i>	172
11. Zrcadlo, zrcadlo, kdo je na světě nejkrásnější?	174
<i>Lom a odraz</i>	176
<i>Vlny na rozhraní</i>	180
<i>Stavíme velké dalekohledy</i>	181
<i>Hrátky se rtutí</i>	185
<i>Víte, že</i>	186
12. Zalepená huba	188
<i>První lepidla</i>	190
<i>Jak lepidla fungují</i>	192
<i>Jak lepidla dělíme</i>	194
<i>Gluonové pojivo</i>	196
<i>Víte, že</i>	199

13. Propadneš se do pekel	200
<i>Objev atomu</i>	202
<i>Cihly a malta</i>	205
<i>Nosiče sil a Higgsova částice</i>	208
<i>Jak se rodily atomy</i>	210
<i>Víte, že</i>	212

Literatura	215
1. <i>Jak se klouže na ledu</i>	215
2. <i>Kapky se koulí</i>	216
3. <i>Když si voda klokotá</i>	217
4. <i>Od mikrovlnky k Velkému třesku</i>	217
5. <i>Ušatej magnet</i>	218
6. <i>O teplotě</i>	219
7. <i>O teple</i>	220
8. <i>Až vylétnou pojistky</i>	220
9. <i>Točí se, točí (od mixéru k tekutinovému dynamu)</i>	221
10. <i>Točí se, točí (od lístků čaje k Newtonovu vědru)</i>	222
11. <i>Zrcadlo, zrcadlo, kdo je na světě nejkrásnější?</i>	222
12. <i>Zalepená huba</i>	223
13. <i>Propadneš se do pekel</i>	224

Rejstřík	225
----------------	-----

Rejstřík osob	230
---------------------	-----

Předmluva

Když jsem v roce 2011 psal knížku *Blýskání*, aneb třináctero příběhů o plazmatu, nemohl jsem tušit, že již za pouhých pět let se narodí její volné pokračování. Tentokrát není věnováno plazmatu, ale těm nejobyčejnějším jevům, na které jsme si natolik zvykli, že je už ani nevnímáme. Jevy, které probíhají všude kolem nás. Na cestě do školy, do práce, v obýváku, v koupelně a třeba i v kuchyni, která je pro fyzikální pozorování jako stvořená.

A že spolu kuchyně a vesmír nijak nesouvisí? Omyl, naše kuchyně je součástí vesmíru a platí v ní tytéž zákony, jimiž se řídí chování těles ve Sluneční soustavě i v nejvzdálenějších hlubinách vesmíru. Pro většinu jevů platí škálovatelnost. To, co v kuchyni probíhá na milimetrech, centimetrech a metrech, se ve vesmíru odehrává na škálách světelných roků, jejich tisíců až miliard. Stejně útvary nalezneme v hrnci vařící se vody i na povrchu Slunce, stejná síla řídí pád kamene, oběh Měsíce i pohyby hvězd ve vzdálených hvězdokupách. Jednotnost světa a platnost několika základních principů na nejrůznějších úrovních patří k největším divům přírody.

Kdysi jsem byl na přednášce Jakuba Rozehnalů, vedoucího Štefánikovy hvězdárny. Poutavě tam líčil, jak vznikají planety ve Sluneční soustavě. Chuchvalce prachu se v okolí hvězdy spojují elektrostatickými silami do větších celků. Z nich po milionech let vznikají planetesimály – zárodky budoucích planet. Teprve mnohem později dá těmto tělesům gravitace do vínku jejich kulový tvar. Jakub na oné přednášce připodobnil vznik planet k prachu, který se postupně houlí v rozích kuchyně patřící líné a nepořádné hospodyňce.

Dokonce tenkrát předpověděl, že kdyby ona hospodyňka posečkala miliardu let a stále neuklízela, v její zanedbané kuchyni by se chuchvalce prachu změnily v zárodky budoucích planet. Není to krásný příklad souvislosti dějů ve vesmíru a v kuchyni?

Po několika letech jsme s Jakubem vymysleli tuto knihu – Z kuchyně do vesmíru. Věděli jsme, že by bylo krásné ukázat, jak se běžné jevy v kuchyni odehrávají i ve vesmíru. Vedení hvězdárny je ovšem velmi náročná činnost, a tak Jakub neměl na psaní čas. Pokusil jsem se tedy naše vznešené myšlenky převést do knižní podoby sám. Doufám, že se mně to alespoň trochu podařilo.

Nakonec nezůstalo jen u kuchyně, které jsou věnovány kapitoly o vaření, mikrovlnce i některé další. Vždyť náš domov netvoří jen kuchyně. Všude je tolik zajímavých jevů! Elektřina pohání domácí spotřebiče, lepidlo v rukou domácího kutila slepí i předměty, jichž by se dotknout nikdy nemělo, magnetická guma drží dveře od lednice, teplo se line z topení a prohřívá naše zkrchlé kosti po návratu z mrazivého exteriéru a v grogu, který jsme si pro zahřátí udělali přilitím rumu do čaje, podivně krouží čajové lístky. Každá drobnost, na kterou se zaměříme, nějak souvisí s fyzikou. Ne nadarmo se říká, že fyzika je základem pochopení jevů v přírodě a chemie a biologie jsou sice samostatné vědy, ale bez fyzikálního základu by byly bezzubé.

Knížka, kterou jste právě otevřeli, má stejnou strukturu jako Blýskání. Úvodní citát, který má navodit problematiku, úvodní příběh a vlastní text. Každá kapitola končí pasáží „Víte, že?“, kde jsou různé zajímavosti nebo souvislosti, jež by nás běžně nenapadly. A na konci kapitoly samozřejmě nesmí chybět poučení na závěr. O grafiku knihy a kresby se postaral Ing. arch. Ivan Havlíček, za což mu patří můj velký dík. Mgr. Jakubovi Rozehnalovi děkuji za skvělý nápad na knihu a Ing. Radku Beňovi za trpělivost při sazbě. A že jí bylo třeba. Naše pokyny, zda by sazba nevypadala lépe, kdyby se právě tenhle obrázek o půl milimetru posunul a ten další o milimetr zvětšil, byly nekonečné. Obavy, že inženýr hrající si na sazeče založí odbory a vstoupí do časově neomezené stávky, byly naštěstí liché. A tak se zrodila kniha. Čtenářům přeji, aby v ní našli poučení a při jejím čtení je nikdo nerušil.

1. Jak se klouže na ledu



*Je lepší uklouznout nohama než jazykem.
Německé přísloví*

Znaší kuchyně je výhled do zahrady a za jejím plotem je malý rybníček. Jako dítě jsem sem chodíval plavat a domů nosil k nelibosti rodičů čolky a jinou havěť. Zahrádkářská kolonie za rybníkem s polorozpadlými ploty byla častým cílem našich dětských her. A vrba vedle rybníka byla místem našich srazů ráno před školou. Na ní se konaly bojové porady a podepisovali jsme tu namísto rodičů špatné známky v žákovských knížkách a jízlivé poznámky našich učitelů. Sám jsem mistrně ovládal podpisy rodičů mnoha spolužáků. Snad už tady se rodil můj vztah ke grafice všeho druhu a možná zde má kořeny i má pozdější obliba různých grafických programů. Ještě dnes dokážu různé dokumenty upravit tak, aby byl akurátní úředník zcela spokojen.

Rybník spolu s okolím byl součástí našeho dětského života. Když přišla zima a rybník zamrzl, stal se rejdištěm kroužících bruslařů všeho druhu. Zažil jsem zde první krůčky na bruslích, první bolestivé pády i první posměch. Led byl kluzký, brusle si jely, kam chtěly, a já se neustále válel po zemi. Tehdy jsem netušil, že bruslení je velmi zajímavý fyzikální problém a že podstata bruslení souvisí i s pohyby ledovců, brzděním automobilu na zledovatělé cestě nebo dělením obřích mramorových bloků. Bruslení mě nakonec nijak nenadchlo. Mnohem později se mně ale zalíbilo lyžování a místo na ledu jsem si modřiny pořizoval při rychlé jízdě z příkrých svahů. Z hlediska fyziky je lyžování na sněhu velmi podobné bruslení na ledu.

A ten rybník za naší zahradou? Hliněná cesta vedoucí mezi zahradou a rybníkem se změnila na asfaltku. Jednou se objevili dělníci a kolem rybníka a jeho okolí postavili vysokou zeď. Uvnitř vyrostla dřevěná sauna, kde jsme se jako studenti vysoké školy scházeli každý pátek k nekonečným a vznešeným diskuzím o podstatě světa, smyslu života a významu čehokoli, co nás v té době trápilo. Naivitu dětství vystřídala zvědavost dospívání. Sauna i s přilehlým okolím patřila ČVUT (netuším, jak je škola získala do vlastnictví) a studenti

měli vstup za pakatel. V roce 1989 přišla revoluce a představitelé školy snad ve vidině vysokých zisků pronajali saunu i s rybníkem a pozemky na desítky let erotickému klubu. Namísto malých rošťáků ovládli území našich her novodobí zbohatlíci a prodejné dívky. Po několika letech tenhle nevěstinec naštěstí zkrachoval. Neudržívaná budova sauny začala chátrat, rybník zarostl rákosím, voda se zakalila bahnem a okolí zpustlo. Svět za zdí je pro mě dnes cizí a odtazitý. Jen rozeklaná vrba ožívuje staré vzpomínky.

Mnoho podob ledu

Snad každý si někdy v mrazáku připravoval kostky ledu do limonády. Voda se za normálního tlaku při 0 °C mění na pevnou fázi, tedy led. Jde o fázový přechod, při němž se uvolňuje teplo, které je třeba odebrat. V mrazničce to má na starosti chladicí systém. Pokud chceme naopak led změnit ve vodu, musíme stejné množství tepla dodat. Toto teplo se spotřebuje na rozrušení krystalických vazeb přítomných v ledu. Běžný led krystalizuje v šesterečné soustavě a vyskytuje se v mnoha podobách: jako kompaktní minerál vzniká tuhnutím vody nejen v mrazničce, ale i na povrchu rybníku, v rampouchách a za špatného počasí nám na okno mohou bubnovat ledové kroupy. Nalezneme ho a ale i v „načechranějších“ formách, například jako jinovatku nebo sněhové vločky. Běžnou šesterečnou



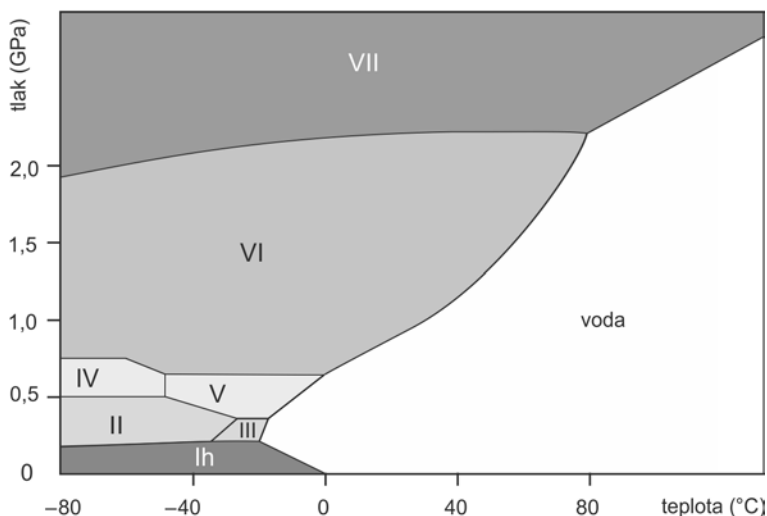
podobu ledu označují fyzikové Ih a setkáváme se s ní za normálního atmosférického tlaku. Existují ale i další, pro nás exotické druhy (fáze) ledu, které mohou vznikat za extrémních podmínek a mohou být hustší (tzv. těžký led) i řidší (tzv. lehký led) než led Ih. Písmenko

h za označením fáze je zkratkou ze slova hexagonální (šesterečná). U ostatních fází je tomu obdobně, *c* znamená cubic (kubická) atd. V současnosti známe celkem 23 fází ledu (tři nejsou dosud objevené), ale pravděpodobně nejde o číslo konečné. Některé z nich jsou zaneseny ve fázovém diagramu na obrázku na následující stránce. Dá se z něho snadno zjistit, za jakého tlaku a jaké teploty se který druh ledu může vyskytovat.

Kromě běžného ledu *I_h* existuje led *I_c*, který krystalizuje v kubické mřížce a má strukturu podobnou diamantu. Jde o metastabilní fázi, která se dlouhodobě neudrží. Další fáze následují jedna za druhou: *II* má klencovou mřížku, *III* čtverečnou, *IV* je metastabilní klencová forma, fáze *V* má jednoklonnou mřížku atd. Existují specializované postupy, jak kterou exotickou formu ledu připravit. Zatím poslední s označením *XVI* byla vytvořena uměle v roce 2014 z tzv. neonového hydroklatrátu. Hydroklatráty jsou látky, jejichž krystalická mříž je tvořena vodíkovými vazbami vodních molekul (to je ono slůvko *hydro*) a v dutinách mříže je uzavřena jako vetřelec nějaká jednoduchá molekula či atom (to označuje slůvko *klatrát*). Hydroklatráty se často vyskytují na dnech oceánů a v permafrostu, trvale zmrzlé zemině, kde jsou v dutinách krystalické mříže uzavřeny metanové molekuly. V roce 2013 se v Japonsku poprvé podařilo metan



z hydroklatrátů těžit. Očekává se, že se hydroklatráty mohou hojně vyskytovat i ve vesmíru. Vědci z Univerzity v Göttingenu připravili v Laueho-Langevionově institutu (ILL) v Grenoblu hydroklatrát neonu, který ochladili na 140 K. Ve vakuové komoře z něho



Fázový diagram H_2O . Je zobrazeno pouze prvních sedm fází ledu, další jsou směrem k vyšším tlakům vodorovně vrstveny. Nad sedmou fází existují i fáze další.

Zdroj: Robert Rosenberg.

pět dní postupně odsávali neonové atomy. V ILL je experimentální jaderný reaktor, který je zdrojem neutronů. Tyto neutrony byly pomocí neutronovodů přivedeny k experimentu a z jejich ohybu na krystalické mřížce se vyhodnocovalo, kolik neonových atomů je v mřížce ještě přítomno. Po pěti dnech bylo jasné, že připravená látka je neonu zcela prostá. Zůstala jen krystalická kostra vodíkových vazeb vodních molekul. Vědci tak připravili zcela novou formu ledu, která získala označení XVI. Jde o nejřidší známý led, jeho hustota je pouhých $0,81 \text{ g/cm}^3$.

Další tři formy ledu jsou amorfí. Takový led připomíná spíše tekoucí sklo. Nejnižší hustotu má lehký amorfí led LDA (*Low Density Amorphous*), který vzniká postupným naparováním ledu na kovovou podložku za nízké teploty. Tato forma ledu by mohla být přítomna v podpovrchových vrstvách komet. Těžký amorfí led HDA (*High Density Amorphous*) vzniká z obyčejného ledu při působení tlaku nad $1,6 \text{ GPa}$ za teploty nižší než 140 K . Ohřátím HDA za tlaku 1 až 2 GPa vznikne velmi těžký amorfí led s označením VHDA (*Very High Density Amorphous*). Jeho hustota je $1,26 \text{ g/cm}^3$.

Za extrémně vysokých tlaků nad 50 GPa by se měly vyskytovat tři další fáze ledu, kterým se říká *superionický led*. Jejich existence byla předpovězena na základě numerických simulací prováděných v letech 1999 až 2015. Superionický led by měl být tvořen kompaktní krystalickou mříží z iontů kyslíku, kterou se volně pohybují vodíkové ionty. Má některé vlastnosti pevné látky a některé vlastnosti kapaliny. Tato mimořádně exotická forma látky by mohla být přítomna v nitrech obřích planet. Zatím poslední (třetí) modifikace superionického ledu byla předpovězena při simulacích prováděných v Princetonu v roce 2015.

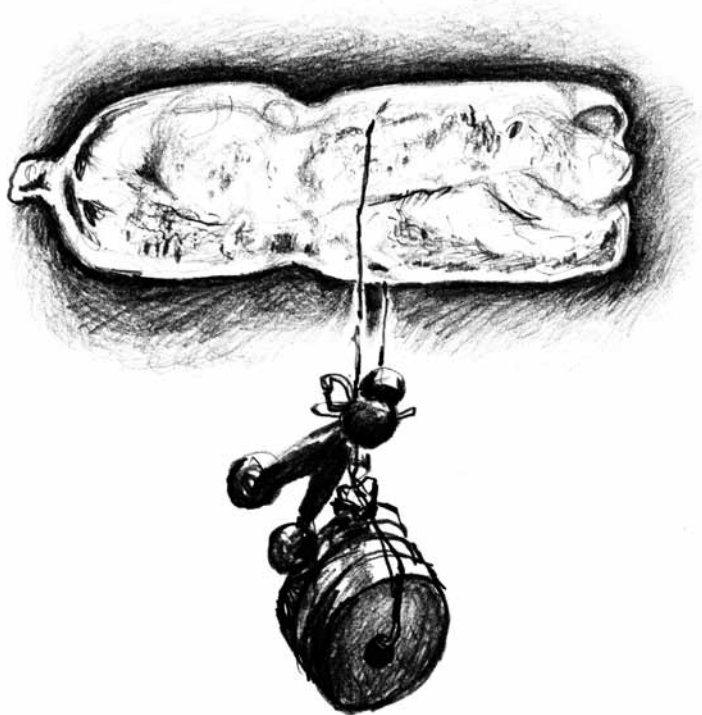
Regelace ledu

Obyčejný led (označovaný jako fáze Ih) má hustotu nižší než voda. To je pro většinu pevných látek atypické, zpravidla bývá pevná fáze hustší než kapalná. S touto zvláštností je spojena celá řada zajímavých jevů v přírodě. Jakmile udeří mrazy, objeví se na rybnících led. Ten má nižší hustotu než voda, proto plave na vodní hladině a rybník postupně zamrzá odshora dolů. To umožňuje mnohým živočichům, včetně ryb, přežít zimu v bahně na dně rybníku. S nižší hustotou ledu také souvisí jeho větší objem. Po zamrznutí vody je objem vzniklého ledu větší, než byl původní objem vody. Proto křehká nádoba při zmrznutí vody praskne. Tohoto jevu lze využít například při štípání velkých mramorových bloků, do nichž za mrazu navrtáme otvory, které zalijeme vodou. Po zamrznutí vody se mramorový blok rozlomí, a pokud byly otvory navrtány ve správných místech, získáme menší bloky žádaného tvaru. Voda zamrzající v malých prasklinách může být ale i nežádoucí, například v povrchu vozovky, který se při mrazech snadno zničí.

S nižší hustotou ledu souvisí i další jev: působíme-li na ledový blok tlakem (snažíme se zmenšit jeho objem), změní se v kapalinu i při teplotě pod 0 °C. Zkrátka led pod tlakem snadněji zkapalní. Vznik kapalně fáze působením tlaku nazýváme *regelace*. Jev je dobře patrný na fázovém diagramu H₂O: rozhraní mezi vodou a fází ledu Ih má zápornou směrnici. Při jakékoli teplotě mezi -22 °C až 0 °C vede zvýšení tlaku na vznik kapalně fáze. Zkuste někdy za teploty slabě

pod nulou přitlačit dva bloky ledu k sobě. Na rozhraní bloků se tlakem vytvoří tenká vrstva vody. Po uvolnění tlaku vrstva zamrzne a bloky se spojí dohromady. Tento jev poněkud připomíná sváření a nebo pájení.

Regelace umožňuje zajímavý experiment s dělením ledu. Nejprve si připravíme blok ledu. Do umělohmotné láhve od limonády nalijeme vodu a necháme ji zmraznout v mrazničce. Poté odstraníme PET láhev a blok ledu je hotov. Přes takto připravený blok ledu natáhneme drát a na obou stranách ho zatížíme závažím. Drát postupně prochází ledovým blokem, v dolní části dochází k neustálému tání ledu pod tlakem (regelaci způsobené zavěšenými závažími). Vznikající voda protéká vzhůru, kde opětovně tuhne na led. Při tání se



Průchod drátu ledem, který si připravíme z pet lahve uložené do mrazáku.
Experiment je souhrou regelace a vedení tepla drátem z okolí.

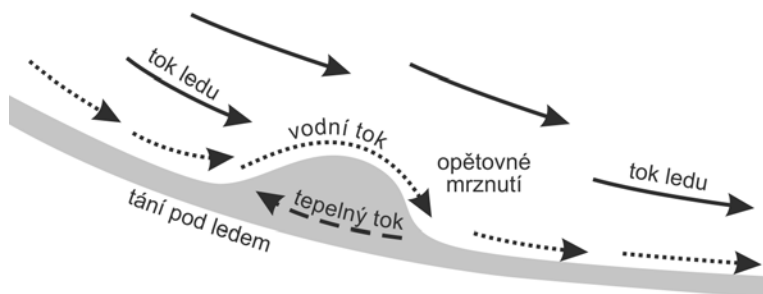
spotřebovává teplo a při tuhnutí se teplo uvolňuje, takže shora dolů proudí teplo (vznikne tepelný tok). Experiment se proto provádí lépe s drátem, který dobře vede teplo, než například s provázkem, i když i to je možné. Prošlý drát led tedy nepřetrhne, blok zůstane celistvý. Vzniklý spoj je nicméně horší kvality, a pokud s blokem udeříte o zem, rozlomí se v místě, kudy prošel drát. Experiment je možné provádět jen při teplotách slabě pod nulou (cca do $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$), při nižších teplotách tlak, kterým působí drát na led, není dostatečný a při teplotách pod $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ fázový diagram taková kouzla neumožňuje při jakémkoli tlaku. Led by se působením tlaku změnil na jinou fázi ledu (III nebo II), nikoli na vodu. Je třeba dodat, že jev není při pokojové teplotě způsoben jen regelací, ale k „přetržení“ ledového bloku také přispěje teplo přiváděné drátem z boku (z teplého vzduchu v okolí).

Pochopení regelace má kořeny v polovině 19. století. V roce 1850 skotský fyzik James Thomson teoreticky odvodil vztah pro lineární pokles teploty tání s rostoucím tlakem. Při vyšších tlacích dochází k tání i pod teplotou $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (viz obrázek fázového diagramu na straně 16). Odvozený vztah experimentálně potvrdil jeho bratr William Thomson, který by později za své výzkumy na poli termodynamiky povýšen do šlechtického stavu a stal se lordem Kelvinem¹. V roce 1859 využil tento výsledek anglický fyzik Michael Faraday k vysvětlení regelace ledu (tehdy se tímto slovem začalo označovat spojení dvou bloků ledu). Michael Faraday předpokládal, že i nepatrný tlak dvou bloků způsobí vznik tenké vrstvy vody, která po odvedení uvolněného tepla zamrzne a oba bloky spojí.

Pohyby ledovců

Regelace má i celoplanetární význam. Je totiž zodpovědná za pohyby ledovců. Tíha velké masy ledu způsobuje vznik vodní vrstvy mezi

¹ **Po lordu Kelvinovi** máme pojmenován teplotní stupeň. Jeho jméno je spojeno i s nestabilitou na rozhraní dvou různě se pohybujících prostředí, kterou dnes nazýváme Kelvinova-Helmholtzova nestabilita. Dále jeho jméno nese Kelvinův (Thomsonův) můstek pro měření malých odporů. William Thomson napsal přes 600 vědeckých prací a byl za to povýšen do šlechtického stavu a stal se baronem (lordem) Kelvinem. Pojmenován byl podle říčky Kelvin tekoucí kolem Glasgowské univerzity, kde dlouhodobě působil.



Ledovec sunoucí se přes terénní nerovnost.

ledovcem a povrchem země. Tato vrstva vody umožňuje pohyb ledovce. V proláklínách pod ledovcem se pod velkým tlakem tvoří jezera. Pokud je pod ledovcem terénní nerovnost, vytvoří před ní zvýšený tlak vodní kapsu, která působením tlaku teče přes nerovnost a za ní tuhne zpět na led. Procesy tání a tuhnutí vytvoří trvalý tepelný tok z oblasti za nerovností do oblasti před ní. Vznikající voda umožňuje pohyb ledovce i přes nerovnosti.



Poloha jezera Vostok v Antarktidě.

Jezera vznikající za vyššího tlaku pod ledovci jsou velmi častá. Nejznámější jsou pod antarktickým ledem, kde jich je dodnes objevených přes 400. Největší z těchto jezer bylo nalezeno pod sovětskou polární stanicí Vostok. Jeho existence byla předpovězena v roce

1959 z analýzy odrazů uměle vyvolaných seismických vln. Jezero má délku 250 km a šířku 50 km. Průměrná hloubka je 430 metrů, nad jezerem je 3,5 kilometru tlustá vrstva ledu. Dne 5. února 2012 se týmu ruských vědců podařilo provrtat antarktický led a v hloubce 3 768 m narazili na povrch jezera. Jde o unikátní systém o objemu 5 400 km³, odhaduje se, že voda byla v jezeru izolována po dlouhých 20 milionů roků. Pokud je v jezeře život, jde o zcela unikátní ekosystém. V současnosti se vedou spory o to, zda bakterie objevené v jezeře jsou původní nebo zanesené při provádění vrtu. Nový „čistý“ vrt byl proveden v lednu 2015. Jezero bylo pojmenováno Vostok (podle stanice ležící nad ním). V jezeře byla naměřena teplota –3,5 °C. V roce 1983 byla na stanici Vostok ležící nad jezerem naměřena teplota –89 °C. Jde o nejnižší naměřenou teplotu na Zemi vůbec. V jezeře Vostok mohou panovat podmínky podobné těm, jaké jsou v jezerech skrytých pod ledem na Jupiterově měsíci Europa nebo na Saturnově Enceladu.

Bruslíme, aneb proč je led kluzký?

Bruslení dal do souvislosti s regelací v roce 1886 irský fyzik John Joly. Předpokládal, že působením tlaku vzniká pod bruslí tenká vrstvička vody, která slouží jako lubrikant a umožňuje pohyb s minimálním třením. V roce 1899 dospěl ke stejnému závěru anglický fyzik a průkopník teorie tekutin Osborn Reynolds (1842–1912). To, že působením tlaku vzniká pod bruslí vrstvička vody, odvodil z analogie mezi bruslením a pájením kovů. S tímto vysvětlením se fyzikové spokojili až do roku 1939, přestože mechanismus navržený Jolyem funguje jen do $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pod touto teplotou tlak vyvinutý průměrným člověkem k vytvoření potřebné vrstvičky vody v žádném případě nedostačuje.

Vrstva vody mezi bruslí a ledem může vzniknout tlakem jen při teplotách slabě pod nulou. Ale bruslaři bez nejmenších problémů bruslí i při teplotách pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. U lyžařů je problém ještě markantnější. Větší plocha lyží znamená nižší tlak, který umožní vznik klouzavé vodní vrstvy jen ve velmi omezeném rozsahu teplot. První výpočty tohoto druhu provedl až v roce 1939 v Cambridge chemik a fyzik tasamánského původu Frank Philip Bowden (1903–1968). Výsledek byl překvapivý: vrstva vody pod lyží může při průměrné hmotnosti člověka vzniknout pouze do teploty $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$! To je v příkrém rozporu se zkušenostmi polárních expedic. Například Robert Falcon Scott při expedici z let 1910 až 1913 používal lyže i při teplotě pod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na expedici byl přítomen i lékař Edward Adrian Wilson (1872–1912), který zjistil, že sníh a led ztrácí klouzavost až při teplotách kolem $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy se začínají chovat jako hrubý písek. V průběhu expedice dosáhla teplota až $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wilson se zúčastnil dvou polárních expedic, během druhé při několik dní trvající vánici ve stanu umrzl.

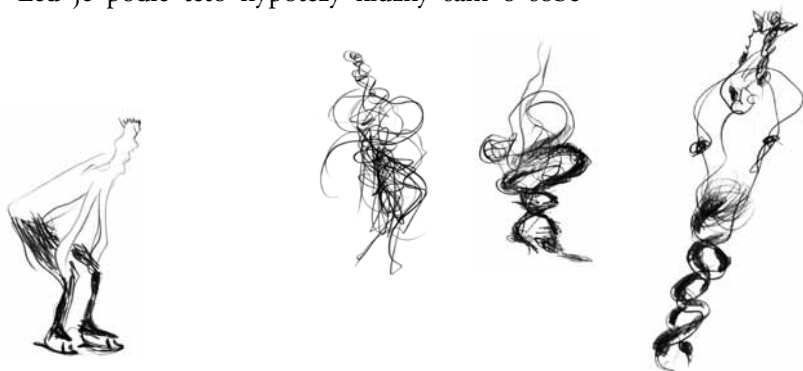
Frank Philip Bowden konal spolu s T. Hughesem (nacionále se autorovi nepodařilo dohledat) v Cambridge řadu experimentů. K rozluštění záhady klouzavosti ledu se dokonce vydali do Švýcarska, kde konali experimenty v ledové jeskyni Jungfrauoch v nadmořské výšce 3 346 metrů. Teplota nikdy nestoupala nad $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. K dispozici

měli třecí aparaturu, jejímž základem byla rotující podložka umístěná ve vakuové aparatuře. O ní se třely předměty upevněné k radiálně pohyblivému rameni. Třecí sílu měřili za pomoci pružinového mechanismu. Při experimentech používali obyčejný led, suchý led (pevný CO_2), různé kovy a další materiály. Dospěli k jednoznačnému závěru, který publikovali v přelomovém článku z roku 1939: při nízkých teplotách není nejdůležitějším jevem regelace, ale ohřev ledu způsobený třením. Právě díky ohřevu třením vzniká tenká vrstva vody mezi sněhem (ledem) a lyží (bruslí). Je to podobné, jako když si v chladném počasí ohříváte ruce třením jedné o druhou.

V posledních letech byly provedeny další výzkumy, z nichž je patrné, že tání pod tlakem a ohřev třením nejsou jediné mechanismy uplatňující se při bruslení a lyžování a že fyzikální pozadí obou sportů je mnohem složitější, než se po více než 150 let zdálo. V roce 2015 publikoval v časopise *Journal of Chemical Physics* výsledky svých experimentů německý chemik a fyzik Bo Persson z Výzkumného ústavu pevných látek (*Institut für Festkörperforschung*) v německém Jülichu. Ve svých experimentech měřil závislost součinitele smykového tření² ledu při skluzu na rychlosti klouzajícího tělesa při různých teplotách. Změna skupenství pevného v kapalném patří k tzv. fázovým přechodům³ prvního druhu, při nichž jsou charakteristické skokové změny veličin a při rozjíždění by mělo dojít i ke skokové změně součinitele smykového tření. Persson ale ukázal, že závislost součinitele smykového tření na rychlosti je plynulá i při velmi malých rychlostech. Ve svém článku dochází k závěru, že takové chování je při rozjíždění (nízkých rychlostech) bruslaře v rozporu s mechanismem vzniku vodní vrstvičky teplem uvolněným při tření

-
- 2 **Součinitel smykového tření** – koeficient úměrnosti mezi třecí silou a tlakovou silou působící kolmo na podložku. Součinitel smykového tření je podílem vzniklé třecí síly a kolmé tlakové síly, jeho hodnota je vždy mezi 0 a 1.
 - 3 **Fázový přechod** – změna chování systému v závislosti na nějakém vnějším parametru, například teplotě nebo magnetickém poli. Rozlišujeme fázové přechody prvního druhu, při nichž se skokem mění vnitřní energie, hustota a další parametry (například tání ledu), a fázové přechody druhého druhu, u nichž se energie mění spojitě, ale skokem se mění až první derivace energie, například měrné teplo, susceptibilita atd. Typickým příkladem fázového přechodu druhého druhu je přechod na feromagnetikum při Curieově teplotě, kdy se chaotická fáze mění na fázi s orientovanými Weissovými doménami.

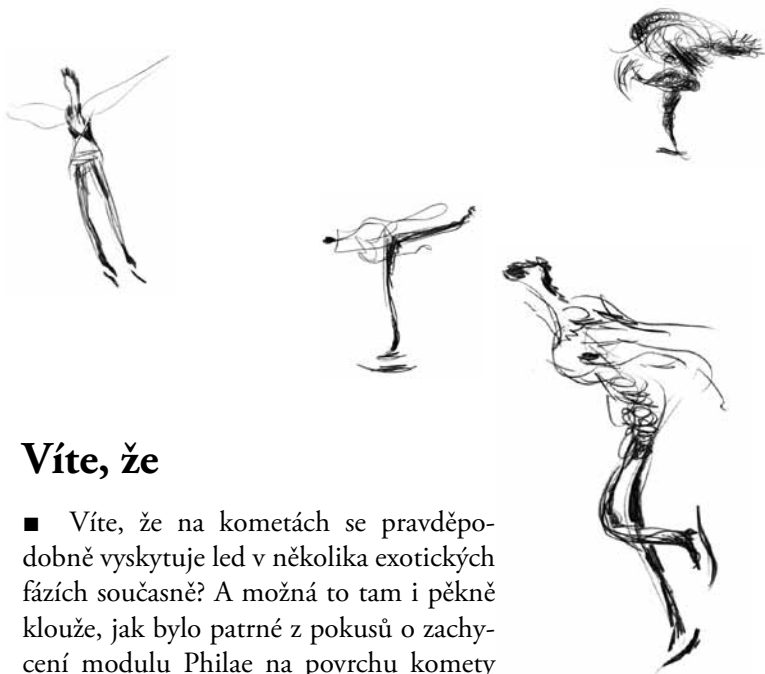
a argumentuje, že musí existovat další jevy umožňující snížení součinitele smykového tření. Navrhuje dokonce dva možné mechanismy. První z nich je založen na předpokladu, že mezi ledem a tělesem musí nejprve (tj. při rozjíždění) vzniknout fáze ledu s neuspořádanou orientací krystalů (fázový přechod do takové fáze je přechodem druhého druhu a nevzniká při něm skok součinitele tření). Druhý navržený mechanismus předpokládá vznik mezivrstvy složené z domén ledu a vody, jejichž procentuální zastoupení se postupně mění od čistého ledu při nulové rychlosti až po čistou vodu při běžné rychlosti skluzu. Jedině další experimenty mohou ukázat, zda je některý z navržených mechanismů pro rozjíždění bruslaře relevantní. Zcela odlišný mechanismus navrhl v únoru 2015 Chang Q. Sun z NTU (*Nanyang Technological University*) v Singapuru. Předpokládá, že za klzkost ledu je zodpovědná pevná polarizovaná vrstva, která vznikne na povrchu změnou uspořádání a délek vazeb mezi vodíkem a kyslíkem, k níž dojde v důsledku plošné geometrie povrchu ledu. Taková vrstva by byla tepelně stabilní a její vlastnosti by odpovídaly měřeným hodnotám součinitele smykového tření. Led je podle této hypotézy klzký sám o sobě



a nezáleží na tom, zda se vytvoří nanovrstva vody či nikoli. Pokud je tato vize správná, za klzkost ledu by byla zodpovědná Coulombova síla, Chang Sun dokonce hovoří o tzv. coulombické levitaci. Hypotézu mohou potvrdit nebo vyvrátit jedině další experimenty.

Lyžaři lyžují, bruslaři bruslí. A je jim jedno, že fyzikové ani v roce 2016 přesně nevědí proč. Je jasné, že při teplotách blízkých $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

hraje svou roli tání způsobené tlakem (regelace) a při nižších teplotách je podstatný ohřev třením. Nicméně při samotném rozjíždění musí působit i další, zatím neznámé mechanismy. Není ani jisté, jakou roli hrají jevy na povrchu ledu. Ty by mohly vysvětlit kluzkost i při teplotách, za nichž už ke vzniku vrstvičky vody dojít nemůže. Mechanizmů vysvětlujících kluzkost ledu známe tedy několik. Jak se ale který z nich uplatňuje při různých teplotách, dodnes nevíme. A tak až jednou zase uklouznete na ledu, vzpomeňte si, jak málo o procesech, které způsobily modřinu na vašem těle, víme.



Víte, že

■ Víte, že na kometách se pravděpodobně vyskytuje led v několika exotických fázích současně? A možná to tam i pěkně klouže, jak bylo patrné z pokusů o zachycení modulu Philae na povrchu komety Čurjumov-Gerasimenko.

■ Víte, že v antarktickém ledu je největší detektor neutrin na světě IceCube? Vyrostl v blízkosti Amundsenovy-Scottovy základny, zprovozněn byl na konci roku 2010. V kilometru krychlovém ledu je zamrzlých 5 160 fotonásobičů, které detekují Čerenkovovo záření nabitých částic vznikajících interakcí neutrin s atomovými jádry v molekulách ledu.

■ Víte, že v hydroklatrátech na dně moří je obrovské množství nevyužitého metanu? Molekuly metanu jsou uvězněny v krystalech ledu, celkový chemický vzorec je $\text{CH}_4 \cdot 5,75 \text{ H}_2\text{O}$, tedy jeden mol metanu je vázán na 5,75 molů vody. Velké zásoby metanu byly nalezeny i na dně jezera Bajkal. Průmyslová těžba je ale zatím velmi obtížná.

■ Víte, že se na trouchnivějících větvích některých stromů může v zimě objevit podivná forma ledu připomínající tvarem bílé vlasy? V roce 2015 ukázala švýcarsko-německá skupina vědců, že za tento atypický tvar je zodpovědná houba *Exidiopsis effusa*. Fotografie vlasatého ledu naleznete na prvním snímku barevné přílohy.

■ Víte, že hlavním zdrojem vody na Zemi nebyl led z komet, jak se dosud soudilo? Komety mají většinou jiný poměr deuteria a obyčejného vodíku, než je v pozemských oceánech. Voda se na Zemi nejspíše dostala hlavně z planetárních embryí, která vznikla za sněžnou čarou nacházející se v několikanásobku vzdálenosti Země od Slunce.

■ Víte, že tloušťka vodní vrstvy mezi bruslí a ledem byla přesně změřena až v 70. letech dvacátého století? Při teplotách pod -30°C jde o jediný nanometr, slabě pod nulou je vrstvička vody tlustá několik desítek nanometrů.

Poučení na závěr: *Až uklouznete na zledovatělém chodníku, nezlobte se na jeho majitele. Myslel to dobře: připravil vám mimořádně zajímavý a poučný fyzikální experiment, na jehož hlubší analýzu budete mít v nemocničním pokoji dostatek času.*

2. Kapky se koulí



*Kolik stojí kapka benzínu?
Kapka? Nic.
Tak mi nakapejte dvacet litrů.*

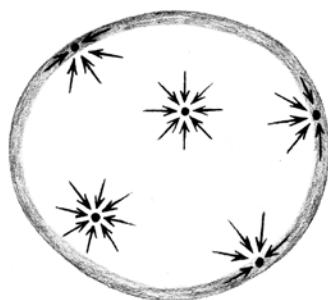
Občas se mně, tak asi jako každému, nechce nic dělat a jen tak tupě zírám z okna. Stokrát viděný obraz je jen vzdálenou kulisou myšlenek bloudících kdesi na hranici polospánku. Vše se ale změní, začne-li pršet. Kapky se koulí po okeních tabulkách a původně nehybné kulisy se stávají živým obrazem. Kapky rychle mění svůj tvar, kloužou dolů, rozpadají se a spojují. V jejich podivném lesku lze zahlédnout miniaturní pokřivený obraz zahrady za oknem. Odraz a lom vykouzlí v každé kapce zmenšenou podobiznu vnějšího světa. Bezcílné bloumání se najednou mění v aktivní sledování děje za oknem. A v mysli se rodí jedna otázka za druhou: Proč se vlastně tvoří kapky? A jaký mají tvar, když padají za deště atmosférou? A jaká je jejich rychlost? Jak by vypadala kapka ve stavu beztláče? A jak velká kapka vůbec může být?

Náhle vysvitne slunce a na obzoru se objeví duha. I toto nebeské divadlo je důsledkem podivné hry kapek, lomu a odrazu slunečního světla na jejich povrchu. Déšť ustal, kapky na okně rychle osychají a na chvíli oživlý obraz se opět stává nehybnou kulisou. Je čas přestat snít a začít připravovat večeři. Zapínám elektrickou plotýnku. Když je pěkně rozzhavená do červena, přináším hrnec s vodou. Několik kapek dopadlo na rozpálenou plotnu. Namísto aby zasyčely a zmizely, tancují a poskakují na plotně desítky sekund. Jako by chtěly říct: To jsme my, podivné kapky, o kterých se ti dnes bude celou noc zdát!

Povrchové napětí

Zjednodušeně lze říci, že za existenci kapek stojí povrchové napětí. Ale pojďme si věc vysvětlit popořadě. Nabité částice na sebe působí Coulombovou silou. Ta je přitažlivá pro opačně nabitě částice a odpudivá pro stejně nabitě částice. Například proton s elektronem se

přitahují, a proto tak mohou vytvořit vázaný stav – atom vodíku. Coulombova síla ubývá s druhou mocninou vzdálenosti, takže se příliš vzdálené náboje už moc neovlivňují. Molekuly vody jsou navenek neutrální, obsahují stejný počet kladných i záporných nábojů. To ale neznamená, že by se neovlivňovaly vůbec. Rozložení náboje je v molekule nesymetrické, zkrátka jeden konec má kladnější a druhý zápornější náboj. Říkáme, že molekula tvoří elektrický dipól. A kladnější část molekuly se přitahuje se zápornější částí sousední molekuly. Náboje z neutrální molekuly prosakují do nejbližšího okolí a způsobují přitažlivost molekul. Tato síla ubývá se vzdáleností rychleji než Coulombova síla, minimálně se třetí mocninou vzdálenosti. Takovým silám obecně říkáme van der Waalovy síly, v kapalině hovoříme o tzv. *kohezní síle*¹.



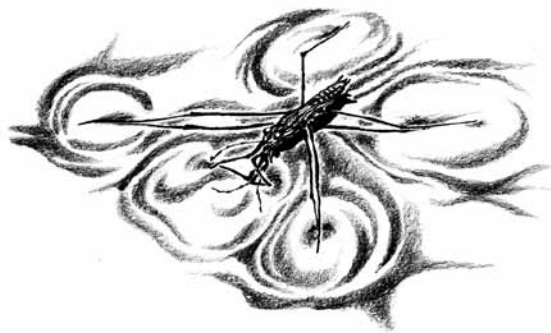
Síly, kterými působí molekuly na své okolí. Uvnitř kapaliny se tyto síly vyruší, na povrchu způsobí povrchové napětí kapaliny.

Uvnitř kapaliny na každou molekulu působí síly od okolních molekul, a ty se v průměru vyrovnají. Na povrchu kapaliny je tomu ale jinak. Nad kapalinou žádné podobné molekuly nejsou, a kohezní síly se proto nevyruší. Povrchová vrstvička kapaliny vytvoří jakousi obtížně proniknutelnou slupku, jejíž molekuly jsou přitahovány nevyrovnanými kohezními silami. Sílu, kterou musíme vynaložit k proniknutí této vrstvy na jednotku její délky, nazýváme *povrchové napětí*. Jednotkou povrchového napětí je newton na metr. Voda má

¹ **Kohezní síla** – přitažlivá síla mezi stejnými molekulami, která je způsobena nerovnoměrným rozložením náboje v molekule a jeho prosakováním mimo molekulu.

za normálních podmínek při 20 °C povrchové napětí 0,73 mN/cm. K průniku povrchovou vrstvičkou v délce jednoho centimetru tedy musíme vynaložit sílu 0,73 milinewtonu. U lihu je povrchové napětí 0,22 mN/cm a u rtuti 4,65 mN/cm. Povrchové napětí můžeme interpretovat také jako energii vázanou na jednotkovou plochu povrchové vrstvy kapaliny, jednotkou je potom J/m², což je ale stejná jednotka, neboť energii (vykonanou práci) můžeme v mechanice vyjádřit jako sílu násobenou dráhou, tedy $J = N \cdot m$.

Ale už dosti čísel. Zkrátka na povrchu kapaliny vzniká malá vrstvička molekul, která se chová jako obtížně proniknutelná blanka. Tato vrstvička může na povrchu udržet i lehké předměty. Budete-li šikovní, můžete za pomoci pinzety (někdy stačí obyčejná vidlička) umístit na kapalinu jehlu, malou sponku nebo dokonce žiletku. Tyto předměty budou na hladině plavat, protože jejich tíže nepostačí k proniknutí vytvořené pružné povrchové vrstvy. Stejný jev využívá i některý drobný hmyz pohybující se po vodní hladině, nejznámější je vodoměrka (*Hydrometra stagnorum*), není ale jediným hmyzem pohybujícím se po vodních hladinách klidných rybníků. Z dalších připomeňme například vodního pavouka nebo bruslařku obecnou.

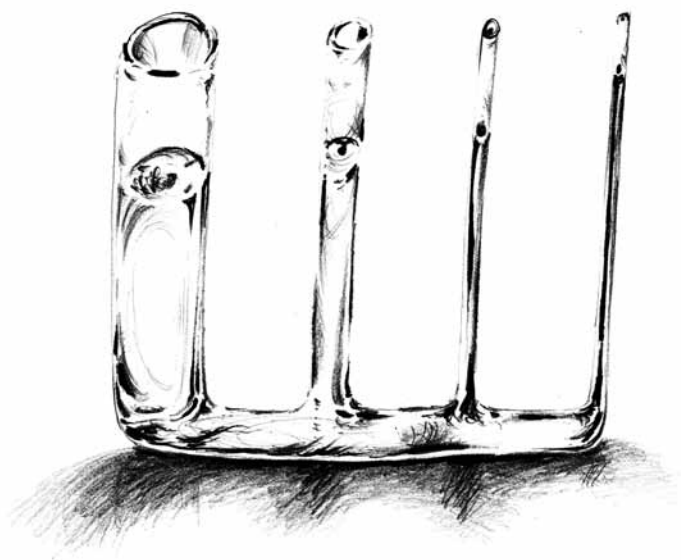


Předměty i zvířata mohou díky povrchovému napětí plout na vodní hladině.
Nalevo: sponka na hladině, napravo: vodoměrka na rybníku.

Velikost povrchového napětí závisí na teplotě. S rostoucí teplotou povrchové napětí klesá, neboť molekuly se tepelným pohybem více hemží a soudržnost povrchové vrstvičky klesá. Zatímco při 20 °C je

k proniknutí jednoho centimetru povrchové vrstvy třeba síly 0,73 milinewtonu, při 100 °C je to už jen 0,58 milinewtonu. Také proto se teplou vodou snadněji umyjeme než chladnou. Teplá voda lépe proniká do pórů a prasklinek omývaného předmětu. Mýdlo a saponáty také povrchové napětí snižují, a to podstatnou měrou.

Pokud se kapalina dotýká pevné látky, například nádoby, nejsou opět síly působící na molekuly kapaliny vyrovnány tak, jako v jejím nitru. Na jedné straně rozhraní interagují molekuly se stejnými molekulami kapaliny, na druhé straně s odlišnými molekulami pevné látky. Vznikající sílu nazýváme *adhezní síla*². Adhezní síla způsobí zdvihnutí okrajů kapaliny ve sklenici vody – na první pohled vidíme, jakoby voda přilnula ke stěnám skleničky. Vložíme-li do skleničky nějakou průhlednou trubičku, voda v ní vystoupá do určité výše nad hladinou. Je to tím, že adhezní síly přitahují



Kapilární elevace vody ve skleněné trubičce (kapiláře).

2 **Adhezní síla** – přitažlivá síla mezi různými molekulami, která působí napříč rozhraní mezi kapalinou a pevnou látkou. Je způsobena nerovnoměrným rozložením náboje v molekule a jeho prosakováním mimo molekulu.

vodu k povrchu trubičky. Tyto síly jsou větší než kohezní síly (síla odpovídající povrchovému napětí na obvodu trubičky) a vyzdvihnou vodní sloupec do určité výšky. Ta je nepřímo úměrná průměru trubičky. V tenkých trubičkách je možné kompenzovat tíži vodního sloupce do vyšší výšky. Celému jevu se říká *kapilarita* neboli *kapilární elevace*. Je zodpovědná za pronikání vody tenkými prasklinkami a póry i proti směru působení tíže. U rtuti, kde jsou kohezní síly větší než adhezní, dochází ke *kapilární depresi*, v trubičce je povrch kapaliny nižší než okolní hladina.

Povrchové napětí umožňuje také vznik bublin, u nichž je rozdíl mezi vnitřním a vnějším tlakem kompenzován povrchovým napětím tenké vrstvičky formující bublinu. Čím menší je povrchové napětí, tím větší mohou být rozměry bubliny (U velké bubliny je malý rozdíl mezi vnějším a vnitřním tlakem). Proto různé bublifuky využívají saponáty snižující povrchové napětí. Vraťme se ale zpět k naší kapce vody z úvodního vyprávění.

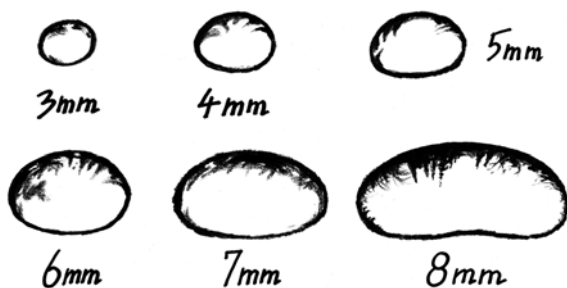
Tvar kapky a její rychlost

Za tvar kapiček vody je zodpovědné povrchové napětí. Vodní kapky jsou sice snadno deformovatelné, ale kohezní síly se snaží zachovat kulový tvar kapky, při němž je povrchové napětí minimální. Ideální kulový tvar získá kapka tam, kde další síly nepůsobí. Známe jsou záběry velkých kapek různých tekutin z Mezinárodní kosmické stanice, kde panuje stav beztlíže, a pokud kosmonaut do kapky nešťouchá, udrží si svůj kulový tvar. Jenže aby bylo natočené video atraktivní, kosmonaut do kapky většinou šťourá, kapka se různě deformuje, třísťá na více kapek a ty se zase spojují. Při těchto experimentech se nemálo drobných kapek dostane do různých skulin pod panely ovládacích přístrojů. Tam poté začne bujet nevídaný život, kterého se přes veškerou snahu už kosmonauti nikdy nezbaví a musí se smířit s faktem, že již nejsou jedinými obyvateli stanice.

Kulový tvar kapek může být deformován přítomností dalších sil. Například kapky tvořící se za deště na spodních stranách větví mají tvar způsobený kombinací kohezních sil (povrchového napětí),

adhezních sil (přilnavosti k větvi) a tíže. Takové kapky mají daleko do ideálního kulového tvaru. Také kapky klouzající po povrchu okna mají tvar poznamenaný adhezivními silami mezi skleněnou tabulkou a koulejší se kapkou. Jaký tvar má ale volně padající kapka? Pokud by padala ve vakuu, ponechá si svůj kulový tvar, neboť bude v tzv. lokálně inerciální soustavě, kde nepůsobí žádné síly a tělesa buď stojí, nebo se pohybují po přímkách. Pokud by se s vámi utrhl výtah, zažijete na krátkou chvíli dokonalou inerciální soustavu. A pokud budete mít chuť experimentovat, hodte před sebe třeba malou kuličku, bude se pohybovat po přímce konstantní rychlostí. Nicméně se obávám, že člověk v utrženém výtahu nebude mít náladu na nějaké experimentování a inerciální soustavu, v níž se právě ocitl, příliš neocení.

Naše padající kapka ale padá v atmosféře, a to je něco jiného. Proti pohybu kapky působí síly tření o atmosféru (odpor atmosféry) a kapka se na spodní straně zplošťuje. Míra zploštění závisí především na její velikosti (a tím samozřejmě i na její rychlosti). Milimetrová kapka si udržuje téměř kulový tvar, šestimilimetrová kapka má spodní část výrazně zploštělou. Kapky větší než 7 milimetrů v průměru mají ve spodní části medúzovitý tvar, což přispívá k jejich rozpadu na menší kapky.



Tvar padajících dešťových kapek počítaný z numerických simulací.

Rychlost padající kapky je zpočátku dána zákony volného pádu. Kapka podléhá pouze tíhovému zrychlení a její rychlost nejprve roste lineárně s časem. Úměrně zvyšující se rychlosti kapky začne také působit odpor vzduchu. Při určité rychlosti dojde k rovnováze

mezi tíhovou silou a odporem vzduchu a kapka se dále bude snášet k zemi s konstantní rychlostí. Pro čtyřmilimetrovou kapku je tato výsledná rovnovážná rychlost 1 m/s, nejvyšší je pro šestimilimetrové kapky, u nichž dosahuje 9 m/s. Větší kapky proud vzduchu pod nimi rozbije na menší. Stejný mechanismus funguje při stříkání zahrady: odpor vzduchu dělí velké kapky na menší. V roce 2009 prováděl kolektiv vědců vedený Guillermem Montero-Martínezem z Národní mexické univerzity (*Universidad Nacional Autónoma de México*) unikátní měření rychlostí mnoha miliónů dešťových kapek. Při tomto experimentu zjistili, že určitá část kapek má vyšší rychlost, než vychází z rovnováhy mezi tíží a odporem vzduchu. Vysvětlení bylo nakonec jednoduché. Některé kapky vznikaly roztržtím větších kapek a po určitou dobu si ponechávaly rychlost původní (mateřské) kapky. Původní kapka byla ovšem hmotnější, a proto měla vyšší rovnovážnou rychlost než rozpadlí potomci.

Starořecký filosof Stratón z Lampsaku (asi 340 př. n. l – asi 268 př. n. l.) pozoroval vodní kapky padající ze střechy. Takové kapky ještě nedosáhly rovnovážné rychlosti a jejich rychlost mezi střechou a zemí narůstala. Stratón pozoroval, že se při pádu vzdálenost mezi dvěma padajícími kapkami s časem zvětšuje. Z toho usoudil, že se kapky musí pohybovat se zrychlením a zevšeobecnil toto pozorování na všechna padající tělesa. Podrobně Stratónovo pozorování rozebírá Steven Weinberg ve své knize *To Explain the World*, která vyšla česky pod názvem *Jak vyložit svět*. Vidíme, že padající dešťové kapky inspirovaly vědce už i v dávných dobách.

Od rozpálené plotny k antihmotě ve vesmíru

Pokud má plotna teplotu pod bodem varu, vydrží na ní kapky vody relativně dlouhou dobu. Nad bodem varu to ale jen zasyčí a kapky jsou rychle pryč. Zvyšujeme-li dále teplotu plotny nebo pánve, chování kapek se od určité teploty prudce změní. Kapky začnou poskakovat po povrchu a vydrží zde i dlouhé desítky sekund. Jev je způsobený tím, že pod kapkou se vytvoří tenká vrstva izolující

páry. Pára má velmi nízkou tepelnou vodivost a kapka se prohřívá jen velmi pomalu. Tento zajímavý jev poprvé popsal německý lékař a teolog Johann Gottlob Leidenfrost (1715–1794) v roce 1756. Proto mu dnes říkáme Leidenfrostův jev a teplotu, při které je tepelný tok mezi kapkou a podložkou minimální, nazýváme Leidenfrostovou teplotou. Pro vodní kapky je tato teplota kolem 200 °C. Skutečná hodnota dosti závisí na druhu rozpáleného povrchu a na nečistotách přítomných v kapce. Při teplotách výrazně nižších ani výrazně vyšších k Leidenfrostovu jevu nedojde. Při vyšších teplotách je tepelný tok, který mj. závisí na rozdílu teplot, dostatečný k prohřátí kapky; při nižších teplotách se nevytvoří potřebná izolující vrstvička páry. Docela zajímavou hříčkou je pohyb kapky po rozpáleném povrchu s drobnými pilovitými žlábků. Tok páry pod kapkou je díky pilovitým žlábkům asymetrický a způsobuje zrychlený pohyb kapky po rozpáleném povrchu. Kapka se dokonce může po takovém povrchu pohybovat bez problémů i do kopce.

O Leidenfrostově jevu uvažoval v souvislosti s chováním antihmoty i švédský fyzik Hannes Alfvén (1908–1995). Alfvén se především věnoval fyzice plazmatu, je otcem magnetohydrodynamiky³, za níž získal Nobelovu cenu za fyziku v roce 1970. Ale vraťme se k antihmotě. Existence pozitronu, antičástice k elektronu, byla předpovězena anglickým fyzikem Paulem Adrianem Mauricem Diracem (1902–1984) v roce 1928. Americký fyzik Carl Anderson (1905–1991) ji objevil v sekundárních sprškách kosmického záření⁴ v roce 1932. Od té doby známe stovky antičástic a víme, že ke každé elementární částici existuje také antičástice, u níž mají

3 **Magnetohydrodynamika** – popis plazmatu jakožto tekutiny v přítomnosti magnetického pole. Přesnější popis lze získat za pomoci více prolínajících se tekutin (například tekutiny elektronů, iontů a neutrálních částic). Magnetohydrodynamiku poprvé použil k popisu plazmatu švédský fyzik Hannes Alfvén v polovině 20. století.

4 **Kosmické záření** – proud urychlených částic přicházejících z vesmíru. Při interakci s atmosférou vzniká sprška milionů i miliard částic. Kosmické záření je majoritním zdrojem antihmoty na naší planetě. Může vznikat v supernovách, pulzarech, aktivních galaktických jádrech atd. Naprostá většina částic kosmického záření, okolo 88 %, jsou protony, přibližně 10 % jsou jádra hélia (alfa záření), 1 % elektrony a pozitrony a 1 % těžké prvky. Kosmické záření bylo objeveno v roce 1912 rakouským fyzikem Viktorem Hessem při balónových experimentech ve výšce až 5 500 metrů. S rostoucí výškou stoupala ionizace atmosféry a tím byl prokázán kosmický původ záření.



Kapka vydrží na rozpálené pánvi poskakovat i desítky sekund.

Zdroj: Thoughts Mix.

veškeré kvantové náboje opačné znaménko. Umíme dokonce uměle vyrobit antivodík a antihélium, u nichž jsou v jádře záporně nabitě antiprotony a v obalu kladně nabitě pozitrony. Ve sci-fi povídkách se brzy po objevu antičástic začaly rojit pasáže o antihmotě, ve kterých autoři děšili čtenáře gigantickými explozemi nastávajícími při setkání hmoty s antihmotou.

Pokud se setká částice s antičásticí, anihilují a jejich energie se přemění na elektromagnetické záření. Hannes Alfvén ale přišel na to, že při setkání dvou oblaků, jednoho z hmoty a druhého z antihmoty, k explozi nedojde. Jak je to možné? Elektromagnetické záření vznikající v místě styku hmoty s antihmotou působí tlakem jak na hmotu, tak na antihmotu. Mezi nimi vznikne vrstva elektromagnetického záření, která obě oblasti od sebe oddělí. Anihilace tak probíhá relativně pomalu, a to jen na styčné ploše, nikoli grandiózní objemovou explozí. Elektromagnetické záření vznikající mezi oblastmi hmoty a antihmoty má podobnou funkci jako Leidenfrostova vrstva pod rozpálenou kapkou. Izoluje obě oblasti od sebe.

Hannes Alfvén věřil, že někde ve vesmíru existují rozsáhlé oblasti z antihmoty. Podobně, jako jsou v našem okolí hvězdy a galaxie z hmoty, mohly by v odlehlém koutě vesmíru být hvězdy a galaxie

z antihmoty. Dnes víme, že to není možné. Mezi oblastmi hmoty a antihmoty by muselo docházet k plošné anihilaci, která by byla zdrojem charakteristického záření s fotony o energii 511 keV, které vznikají při anihilaci elektronu a pozitronu. Takové záření ale nebylo ve vesmíru pozorováno. Občas jsou fotony s touto energií nalezeny kolem jader galaxií nebo v blízkosti černých děr, kde mohou za vysokých energií samovolně vznikat páry elektronů a pozitronů, které následně anihilují. To je ale jiný proces než Alfvénova anihilace mezi oblastí vesmíru z hmoty a jinou oblastí z antihmoty. Antihmoty je ve vesmíru velmi málo a astronomové se usilovně snaží přijít na kloub nerovnováze mezi hmotou a antihmotou. Ať už je důvod malého množství antihmoty ve vesmíru jakýkoli, jedno je jisté. Autoři sci-fi románů nemají pravdu, pokud tvrdí, že při setkání hmoty a antihmoty by došlo k mimořádně silné explozi.

Duha na scéně

Kapka vody je také nesmírně zajímavá z optického hlediska. Zkuste si někdy pozorně prohlédnout kapku na okně. Její zakřivený povrch funguje jako jednoduchá zobrazovací soustava a když se podrobně podíváte, v jedné jediné kapce uvidíte celé široké okolí. Stačí nepatrně změnit úhel pohledu a obraz v kapce se ihned přizpůsobí.

Pokud vysvitne za deště nebo těsně po něm Slunce, můžete spatřit na opačné straně, než je Slunce, duhu. Duha vzniká na vodních kapkách v atmosféře. Sluneční paprsky vcházejí do kapky, lámou se směrem k jejímu středu, uvnitř kapky dopadají na její zadní stěnu, kde se odrazí a poté se paprsek láme ještě jednou, když opouští kapku. Dvojitý lom a jeden odraz – to je vše, co způsobuje barevnou duhu na obloze. Při odrazu se pro všechny vlnové délky rovná úhel dopadu úhlu odrazu. Ale lom je na vlnové délce slabě závislý. Modré paprsky se lámou více než červené. Výsledkem je, že do kapky vchází bílé sluneční světlo a z kapky vylétá vějíř paprsků různých barev. Červený paprsek, který se lámal nejméně, svírá s původním paprskem úhel 42° a modrý paprsek jen 40° . Proto má duha úhlový průměr 42° a vnější okraj bude vždy červený. Dobře je to patrné na třetím obrázku barevné přílohy.

Duha odjakživa člověka fascinovala a není divu. Nádherná souhra barev na podstatné části oblohy je nepřehlédnutelná. Podstatu duhy se pokoušel objasnit již Aristotelés ze Stageiry (384–322 př. n. l.), mnohem později se duhou zabýval i arabský učenec Alhazin (965–1040), který se narodil v Basře, ale po pozvání káhirského panovníka al-Hákima žil a pracoval v Egyptě. Korektní vysvětlení vzniku duhy na základě lomu a odrazu slunečních paprsků na kapkách vody našel až perský matematik a optik al Farisi (celým jménem Kamal al Din al Farisi, 1267–1319). V našich krajích nezávisle na al Farisim provedl obdobný výpočet německý člen Dominikánského řádu, teolog, fyzik a učenec s mimořádně širokým záběrem Dietrich von Freiburg (1250–1310).

Duha, která se obvykle objevila na obloze v závěrečné fázi deště, představovala pro většinu národů symbol naděje do budoucnosti a usmíření. V knize *GENESIS* je duha objevivší se po potopě symbolem smlouvy mezi Bohem a všemi živými tvory na Zemi. Kdykoli se duha objeví, má tuto smlouvu připomenout. U některých etnik vzbuzovala duha záporné emoce. Například pro barmské Kareny byla spojována s démony pohlcujícími lidskou duši. Některé severské národy spatřovaly v oblouku duhy luk, kterým bůh hromu střílí blesky namísto šípů. V dnešní době už je duha jen příjemným estetickým zážitkem, který nám za deště připravily obyčejné kapky neobyčejné vody.

Víte, že

■ Víte, že za silnějšího deště a příznivých meteorologických podmínek může vzniknout i slabší sekundární duha? Její oblouk má poloměr přibližně 51° , sled barev je oproti primární duze opačný a vzniká díky dvojnásobnému odrazu paprsku na zadní straně kapky. Prohlédnout si ji můžete na čtvrtém obrázku barevné přílohy.

■ Víte, že dotýkat se stanu za deště není moudré? Látka stanu je impregnována a povrchové napětí vody jí nedovolí vniknout do struktury látky. Dotykem prstu narušíte povrchovou vrstvu a voda začne protékat.

■ Víte, že nejjednodušší test na žloutenku využívá povrchové napětí? Na vzorek moči v laboratoři nasypou práškovou síru. Pokud plave, je člověk zdravý. Pokud klesne ke dnu, byla v moči přítomna žluč, jejíž soli snižují povrchové napětí z 0,66 mN/cm na 0,55 mN/cm.

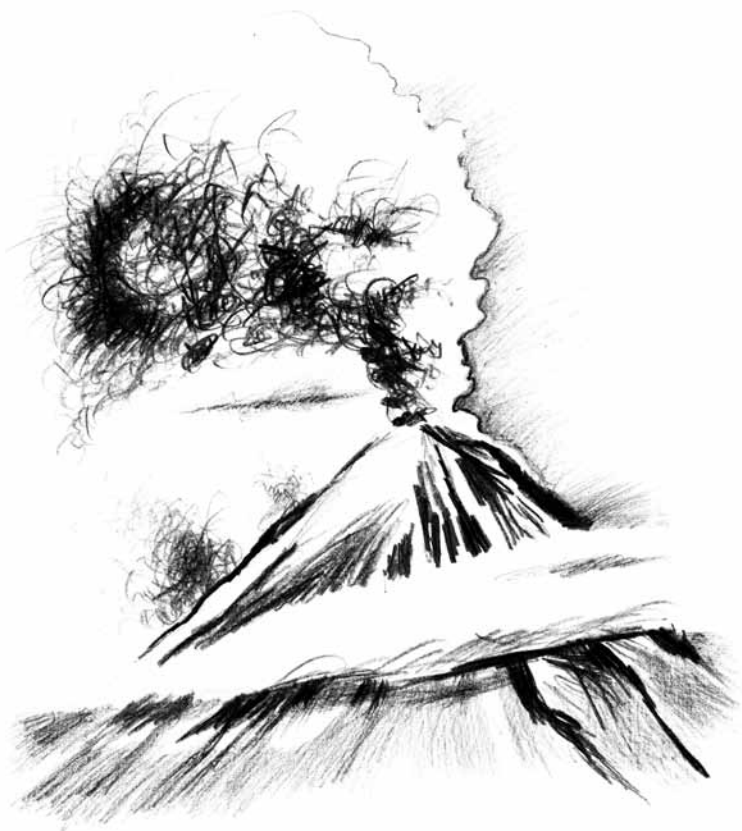
■ Víte, že desinfekční roztoky mají vždy velmi nízké povrchové napětí? Jedině tak mohou proniknout až k buněčným stěnám bakterií a poškodit je.

■ Víte, že klasická kresba kapky s horní špičatou hranou neplatí pro dešť? Takové kapky vznikají těsně před opuštěním kapajícího kohoutku, ale po krátké chvíli pádu zaujmou stejný tvar jako dešťové kapky, tedy nahoře kulaté a dole zploštělé.

■ Víte, že se za deště můžete přesvědčit i o platnosti Dopplerova jevu? Pokud se pozorovatel pohybuje směrem ke zdroji periodického signálu, jeho frekvence se zvyšuje a pokud se pohybuje od zdroje, frekvence se snižuje. Padání dešťových kapek můžeme v určitém přiblížení chápat jako kvaziperiodický děj. Pokud kapky padají šikmo a běžíte proti nim, zmoknete více, než když budete utíkat po směru deště.

Poučení na závěr: *Nepodceňujte vodní kapky. Jsou nejen krásné, ale můžete v nich nalézt i mnohé poučení. A je-li kapek mnoho, dokážou vyhloubit v balvanech i obří prohlubně, jak se stalo například v kaňonu řeky Blyde v Jižní Africe (obrázek 5 barevné přílohy). Každá kapka má tak svůj okamžitý i dlouhodobý význam.*

3. Když si voda klokotá



Ano, vajíčka, to je, oč tu běží. Když byla má dcera Zuzanka malé robě, rozhodl jsem se jednou odbýt večeri vařenými vajíčky. Ne že bych neuměl uvařit, vaření mě docela baví a pokud nemusím vykonávat tuto činnost denně, nacházím v ní i jisté zalíbení. Onen večer jsem ale spěchal, a tak se vajíčka zdála být rychlou alternativou. Do osolené vody jsem vložil několik vajec, zapálil plynový hořák a probíhající fyzikální experiment přiklopil pokličkou. S přibývajícím teplotou se měnil zvuk, teplá voda ohřívána u dna stoupala vzhůru a množství bublinek se zvětšovalo. A pak to přišlo. Objevily se turbulence, voda začala kolotat a ve velkých bublinách z ní unikala pára. Nádherný příklad fázového přechodu prvního druhu ze skupenství kapalného do plynného. Snížil jsem přívod plynu, protože v této fázi již nelze dále zvyšovat teplotu vařící se vody a není třeba tolik žhavit pod kotlem, vlastně pod kastrůlkem. Pár minut varu a je hotovo. Slévám opatrně vodu do dřezu, když tu do mě zezadu strčí hladová Zuzana tak nešťastně, že se instinktivně otáčím a vroucí voda vykoná na Zuzčině nártu dílo zkázy.

Dál už je vše velmi rychlé: ledová voda, ponožka srolovaná i s kůží, auto, dekou přikrytá třesoucí se Zuzana, nemocnice. Ošetření proběhlo rychle a profesionálně, dnes je vše bez následků zahojeno, a když vařím, Zuzka se občas potměšile ptá, zda budou vajíčka. Ale jedna genderově nevyvážená poznámka z oné doby se mně nesmazatelně vryla do paměti. Když se lékař ptal sestry, jak se to stalo, zamrkala zmalovanými kukadly, zdvihla oči v sloup a pronesla s dikcí naznačující, že vedle ní stojí úplný hňup: „Ále, pane doktore, to nemohlo dopadnout jinak, to se jen tatínek pokoušel uvařit vajíčka!“

Ohřev vody

Molekula vody je složena ze dvou vodíkových a jednoho kyslíkového atomu. Jako celek je neutrální, tj. nemá elektrický náboj, nicméně elektrický náboj je ve vodní molekule rozdělen značně nesymetricky,

proto říkáme, že má velký dipólový moment. Kladné části molekuly jsou ve vodě vázány k záporným částem sousedních molekul. Pokud chceme přeměnit vodu na páru, musíme jí dodat teplo, které tuto vazbu naruší.



Var vody – jev v kuchyni velmi obvyklý.

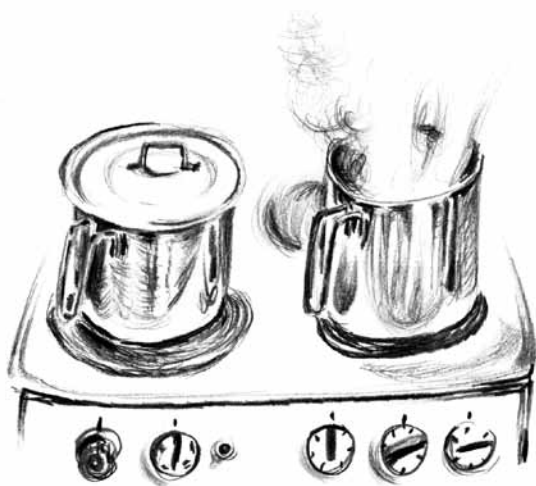
Změnu vody na páru můžeme popsat jako dva postupné děje. Prvním z nich je ohřívání vody k bodu varu. Při tomto ději vodě dodáváme teplo, a tím zvyšujeme její teplotu. Za normálních podmínek v naší kuchyni je třeba dodat přibližně 0,42 MJ tepelné energie, aby se kilogram vody ohřál o jeden stupeň Celsia. Jakmile se voda zahřeje na 100 °C (373 K), začíná druhý proces – vlastní přeměna vody na páru. Při této přeměně se teplota vody nemění. Je jedno, zda plameny pod sporákem budou žhnout naplno, nebo zda plamen zmenšíme na minimum. Více než sto stupňů voda mít nebude, ať pod hrncem topíme, jak chceme. Proto dříve hospodyňky po dosažení varu ztlumily plamen, aby tím šetřily drahý plyn. Možná to některé dělají dodnes, v mém okolí se ale žádná taková nevyskytuje.

Vodu přivedete k varu za několik minut, ale její kompletní vyvaření může trvat velmi dlouho, půl hodiny i více. To je způsobeno tím, že dipólový moment¹ molekul vody je docela veliký, a vazba vodních molekul je proto velmi silná. Na přeměnu jednoho kilogramu vody na vodní páru je zapotřebí energie 2,26 MJ. Pro srovnání: na převedení stejného množství ledu na vodu je zapotřebí „jen“ 0,33 MJ. Vodní molekuly jsou v tomto ohledu velmi zvláštní a mimořádně soudržné. Teplota varu je u vody pětinasobně vyšší než u jiných lehkých molekul srovnatelné hmotnosti. Například dusíkové molekuly N₂ mají bod varu –196 °C (77 K). Teplota varu vody je dokonce vyšší než u kapalin s těžšími molekulami, jako jsou CO₂, SO₂, CH₄. Dokonce i etanol, jehož molekuly jsou složeny z devíti atomů (chemický vzorec je C₂H₅OH) má nižší teplotu varu než voda. Voda je zcela výjimečnou látkou, jejíž molekuly jsou vázány mnohem silněji než u jiných obdobných kapalin.

Bod varu závisí na tlaku, a proto se mění s nadmořskou výškou. Za nižšího tlaku má bod varu nižší hodnotu, únik molekul z kapaliny je snazší. Na výškovém rozdílu 1 000 metrů klesne teplota varu přibližně o 3,5 °C. Na Sněžce se voda začne vařit při 95 °C a na Kitzbühel Hornu (2000 m nad mořem) při 93 °C. Na první pohled by se zdálo, že naše vajíčko z úvodního příběhu na horách uvaříme rychleji. Je tomu ale přesně naopak. Pokud chceme udělat vajíčko na hniličku, musí teplota okraje žloutku vystoupat na 63 °C. Při této teplotě začíná žloutek měnit svou strukturu. Ohřev povrchu žloutku je dán tepelným tokem mezi skořápkou a žloutkem. A tento tepelný tok je úměrný rozdílu teplot na povrchu vajíčka a v cílové destinaci, v našem případě na povrchu žloutku. Nižší teplota varu tedy znamená nižší tepelný tok a delší dobu potřebnou k tomu, aby povrch žloutku dosáhl kýžených 63 °C.

1 **Dipólový moment** – veličina popisující nerovnoměrné rozložení náboje v objektu, v tomto případě molekule. Elektrický dipól si zjednodušeně můžeme představit jako objekt, na jehož jednom konci je lokalizován kladný náboj a na druhém konci náboj záporný. Dipólový moment je v tomto případě roven součinu náboje a velikosti objektu (resp. vzdálenosti separovaných nábojů). Pro vodní molekuly je vzdálenost mezi kladným a záporným centrem 4×10^{-12} m a dipólový moment činí 6×10^{-30} C·m.

V obchodech lze k hrnci zakoupit i pokličku. Jaká je její role při vaření? V první části procesu, kdy vodu jen ohříváme, je role pokličky nezastupitelná. Omezuje tepelné ztráty² nad hrncem a značně zkrátí dobu ohřevu vody. Samozřejmě, že s pokličkou na hrnci také šetříme drahou energii, ať už jde o plyn, nebo o elektřinu. Při samotném varu můžeme snížit příkon energie na minimum, vyšší teplotu už nemůžeme dosáhnout. I v tomto případě má poklička důležitou roli při snižování tepelných ztrát.



Představme si ale, že naším úkolem není vaření, ale přeměna veškeré vody v hrnci na páru. Jaká je role pokličky při tomto úkolu? Pokud nebudeme měnit velikost plamenů pod hrncem, zdálo by se, že bude lepší pokličku odstranit, aby mohla pára lépe unikat. Pokud pokličku ponecháme na hrnci, bude pára na jejím spodním okraji kondenzovat a vracet se zpět do hrnce. Ale ouha, tato úvaha není správná. Změna skupenství kapalného na plynné probíhá při jedné jediné teplotě, teplotě varu. Množství vytvořené páry je úměrné pouze dodané energii a nezáleží na tom, zda je nad hrncem poklička, či nikoli. Veškeré teplo se spotřebovává na tvorbu páry, nikoli na zvyšování teploty. U hrnce s pokličkou bude na okrajích mezi

² **Tepelné ztráty** – teplo dodané nechtěně mimo náš systém. V případě ohřevu vody jde o veškerou energii, která nezůstane uvnitř hrnce.

pokličkou a hrncem unikat stejné množství páry jako při nezakrytém hrnci, kdy pára uniká celou horní plochou hrnce. Můžete klidně experimentovat. Nejprve ohřívejte stejné množství vody v hrnci k bodu varu s pokličkou a bez pokličky. Rozdíl bude markantní, v hrnci s pokličkou se bude voda vařit podstatně dříve. A pak zkuste druhý experiment. Vyvařit vodu v hrnci úplně. Tady bude rozdíl mezi případy s pokličkou a bez pokličky minimální.

Při odpařování (ať už při vlastním varu, nebo při nižší teplotě) odnášejí molekuly z kapaliny energii. Díky velkému dipólovému momentu molekul vody (a tím velké vazebné energii) je tento únik energie podstatný a při teplotách nižších, než je bod varu, vede odpařování vody k intenzivnímu ochlazování. Proto se za velkých veder potíme. Pot se mění na vodní páru a tento proces účinně ochlazuje naše tělo. Chcete-li si v létě vychladit pivo a nemáte k dispozici ledničku, stačí ho zabalit do mokrého hadru a odpařující se molekuly vody alespoň trochu sníží teplotu nápoje.

Přenos tepla prouděním

Při skupenské změně vody na páru dodáváme vodě tepelnou energii. Jen malá její část jde na kinetickou energii molekul. Většina se spotřebovává na snížení potenciální energie vazby molekul (ta klesá s rostoucí teplotou), část jde také na rotační a vibrační pohyby molekul. Vodu většinou ohříváme u dna nádoby a teplo se ode dna dostává do vyšších vrstev jevem, kterému říkáme vedení tepla. Molekuly si předávají chaotickou složku pohybu, a tím dochází k vedení tepla. Při vyšším rozdílu teplot je ale účinnější, pokud se látka dá do pohybu a tepelná energie se přenáší prouděním (tomuto jevu říkáme *konvekce*). Vznikají charakteristické vzestupné a sestupné proudy. Vzestupné proudy nesou horkou vodu ode dna směrem vzhůru a sestupné proudy transportují ochlazenou kapalinu dolů.

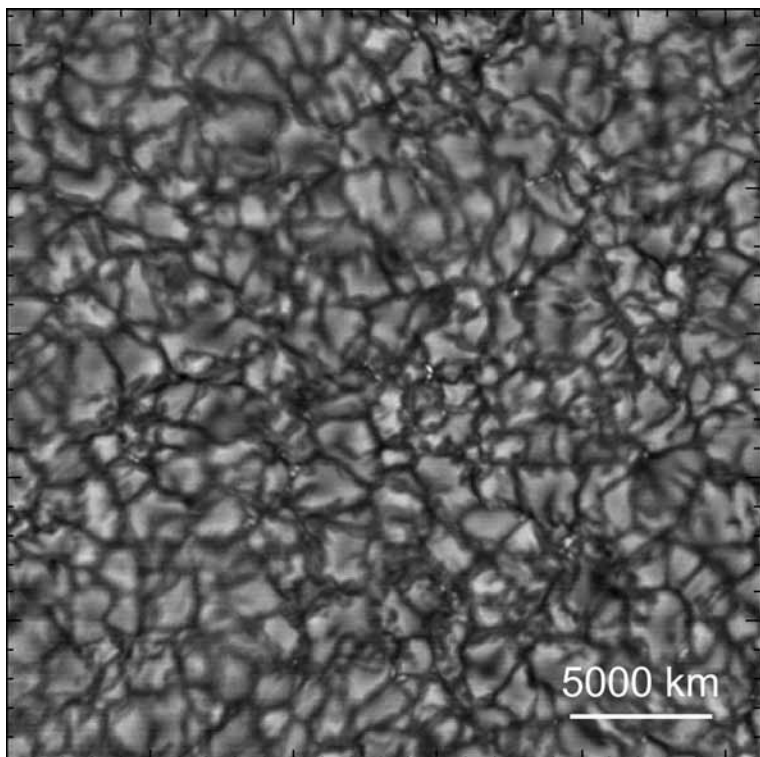
Ke stejnému jevu může dojít v nitru hvězd, kde teplo vzniká v termojaderném kotli v jádru hvězdy a je přenášeno směrem k povrchu hvězdy. Podrobně se podmínkami přenosu tepla prouděním zabýval německý matematik a fyzik Karl Schwarzschild (1873–1916).

Je to tentýž Schwarzschild, který jako první z Einsteinových rovnic obecné relativity spočítal pokřivení času a prostoru v okolí hmotné kuličky. Schwarzschild uvažoval takto: Představme si, že se v nitru hvězdy část její látky (tzv. element látky) nějakým náhodným procesem pohne náhodným směrem, například vzhůru. Tato část látky se dostane do oblasti nižšího tlaku, poněkud se rozpne a ochladí (aby se vyrovnal tlak okolnímu tlaku). Takové rozpnutí a ochlazení proběhne adiabaticky³, tj. natolik rychle, že se nestačí vyměnit tepelná energie s okolím a náš sledovaný element látky má sice stejný tlak jako okolí, ale teplotu bude mít odlišnou. A zde mohou nastat dvě možnosti. Při první z nich klesá teplota ve hvězdě směrem od jádra vzhůru natolik rychle, že náš element látky, který se posunul z dolní oblasti má nyní vyšší teplotu než okolí. V takovém případě bude mít námi sledovaný element horkého plynu nižší hustotu než okolí a bude hydrostatickým tlakem tažen směrem vzhůru. Náhodný pohyb tedy bude pokračovat, což znamená, že ve hvězdě jsou správné podmínky pro přenos tepla prouděním. V opačném případě je spád teploty směrem k povrchu ve hvězdě malý a může nastat opačná situace. Po rozpnutí se náš element látky ochladí natolik, že bude mít teplotu nižší než okolí. Nyní ale bude mít vyšší hustotu než okolí a bude tažen zpět do místa, ze kterého se náhodně posunul vzhůru. V tomto případě nejsou ve hvězdě podmínky ke vzniku proudění a teplota se z nitra bude přenášet zářivými procesy.

Takto uvažující Karl Schwarzschild našel kritérium pro vznik proudění, v němž je rozhodující spád teploty (změna teploty se vzdáleností od centra hvězdy). Pokud spád teploty překročí určitou mez, rozvine se z náhodných fluktuací proudění a vzniknou vzestupné a sestupné proudy podobně jako v hrnci s vodou na žhavé plotně.

V nitru našeho Slunce je zdrojem energie tzv. protono-protonový řetězec, v němž se postupně čtyři protony přemění na jádro hélia složené ze dvou protonů a dvou neutronů. Při tomto procesu není

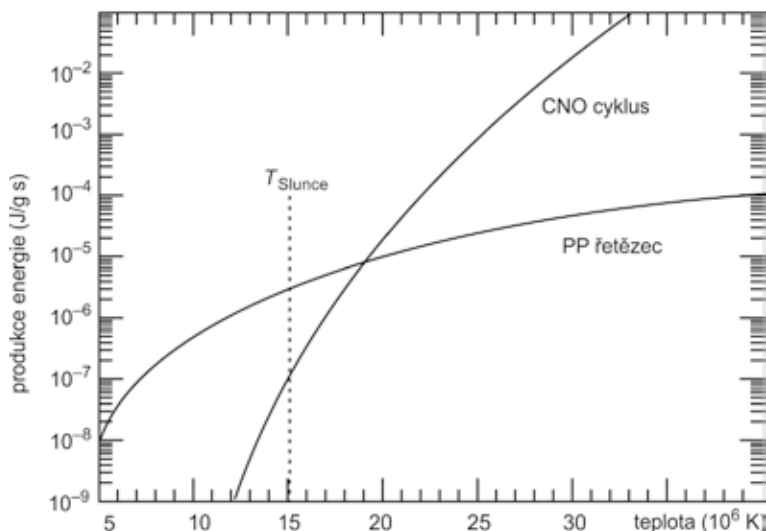
3 **Adiabatický děj** – termodynamický děj, při kterém nedochází k výměně tepla s okolím. Systém je buď dobře tepelně izolovaný, nebo děj probíhá tak rychle, že se teplo s okolím nestačí vyměnit. Příkladem může být zvuková vlna nebo přesun části látky hvězdy popísaný v textu. Za adiabatický systém lze považovat i vesmír jako celek, neboť vesmír žádné okolí nemá, a tudíž nemá s čím vyměňovat energii.



Granulace slunečního povrchu. Dobře patrné jsou vrcholky vzestupných a sestupných proudů. Zdroj: T. Rimmele/NOAO/AURA/NSF

v jádře Slunce dostatečný spád teploty na to, aby se rozvinulo proudění, a energie se přenáší zářením. Teprve od hloubky zhruba 220 000 kilometrů pod povrchem je spád teploty dostatečný k tomu, aby se vytvořila konvektivní zóna a vzestupné proudy vynášely horké plazma ze spodních vrstev k povrchu. Opačným směrem míří sestupné proudy. Na povrchu Slunce vzniká charakteristický obrazec, kterému říkáme granulace.

Pokud je hvězda podobná Slunci o něco hmotnější, například 1,3 hmoty sluneční, situace se změní. V jádře je díky vyššímu tlaku i vyšší teplota a k uvolňování energie dochází poněkud jiným procesem, kterému se říká CNO cyklus. Opět se při něm sloučí čtyři protony na jádro hélia, ale jako meziprodukty se zde vyskytují



Porovnání produkce energie v nitru hvězdy při pp řetězci a při CNO cyklu. Ten se dominantně uplatňuje u hvězd s vyšší teplotou jádra, než má naše Slunce. U nich se konvektivní zóna vyvine v blízkosti jádra hvězdy. Zdroj: Amanda Karakas, Mount Stromlo Observatory.

jádra uhlíku, dusíku a kyslíku. Tento proces je při vyšších teplotách mnohem účinnější (u pp řetězce roste uvolněná energie se čtvrtou mocninou teploty, zatímco u CNO cyklu se sedmnáctou mocninou teploty). U těchto hvězd je teplotní gradient v jádře natolik veliký, že konvektivní zóna (s přenosem tepla prouděním) vzniká hned v okolí jádra hvězdy a naopak ve vnějších oblastech se uplatňuje přenos tepla zářením. U některých hvězd velkých rozměrů se může rozvinout jen konvektivní zóna.

Zvukové vlny

To, že uslyšíte lidský hlas, je způsobeno zvukovou vlnou. Hlasivky rozechvívají atomy a molekuly vzduchu kolem sebe, ty předávají tyto kmity dalším a dalším atomům a molekulám a nakonec toto jemné chvění dopadne na ušní bubínek a vy uslyšíte kamaráda, který právě promluvil. Zvukové vlny v kapalinách a plynech jsou

tzv. *podélné vlny*. To znamená, že jednotlivé částice kmitají ve směru podél šíření vlny. V pevných látkách mohou mít vlny i příčnou složku, tj. částice mohou kmitat jak ve směru podél šíření vlny, tak ve směru příčném. Příkladem takového vlnění jsou seismické vlny šířící se zemským pláštěm.

Ve vodě se zvuková vlna šíří rychleji než ve vzduchu. Těsnější uspořádání molekul umožňuje efektivnější předávání vibrací. Zatímco ve vzduchu se zvuková vlna šíří za pokojové teploty rychlostí 340 m/s, ve vodě je to 1 480 m/s. Pokud by si dvě klevetnice chtěly vyměňovat novinky ze života co nejrychleji, bylo by nejlepší, kdyby komunikovaly pod vodou.

Určitě jste si všimli, že když pustíte horkou vodu v kuchyni, mění se její zvuk. Zpočátku přitéká trubkou studená voda a zvuk má jinou frekvenci, než když trubkou doteče skutečně horká voda. Čím to je? Vodní molekuly mají tvar bumerangu, uprostřed je atom kyslíku a na koncích atomy vodíku. Kyslík si elektrony vodíkových atomů přitáhne poněkud na svou stranu. Výsledkem je nesymetrické rozložení náboje, v okolí kyslíku je záporný náboj a vodíkové konce jsou kladné. Tento nenulový dipólový moment způsobuje vazbu molekul v kapalině. Kladné konce molekul přitahují záporné konce sousedních molekul. Interakce sousedních molekul vede na nenulovou viskozitu⁴ vody. Viskozita velmi silně závisí na teplotě. S rostoucí teplotou se mění kinetická energie molekul, pohybují se stále rychleji a vazba mezi nimi se zmenšuje. Voda o teplotě 90 °C má desetkrát nižší viskozitu než voda s teplotou 20 °C. Při vyšší teplotě jsou vazby molekul méně „pevné“. Pevnost vazby si můžeme představit jako tuhost nějaké kmitající pružiny spojující atomy v molekule. Méně pevné vazby (méně tuhé pružiny) vedou při pohybu vody v potrubí ke generování nižších zvukových frekvencí.

Zvukový doprovod má i samotné ohřívání vody k varu, ať už v rychlovarné konvici nebo v kovové konvici na sporáku. Kovová konvice je k těmto experimentům vhodnější, neboť kov vede zvukové vlny

4 **Viskozita neboli vazkost** – fyzikální veličina popisující odpor kladený tekutinou pohybujícímu se tělesu. Například viskozita medu je větší než viskozita lihu.

lépe. Při ohřevu je zpočátku nejteplejší oblast v dolní části nádoby a vznikají zde drobné bublinky páry. Je zajímavé, že tyto bublinky obsahují určité procento vzduchu rozpuštěného ve vodě, teprve při vyšších teplotách roste výrazně podíl vodní páry. Osud těchto malých bublinek je docela zajímavý. Vzhledem k nižší hustotě jsou nadnášeny a pohybují se směrem vzhůru do chladnějších oblastí kapaliny. Tam se bublinky ochladí a pára v nich opětovně kondenzuje na vodu. Okolní kapalina prudce zaplní bublinu a právě to vydá charakteristický zvuk, který slyšíme při ohřevu vody a který postupně sílí tak, jak přibývá množství kolabujících bublinek. V okamžiku, kdy se voda svou teplotou blíží varu, bublinky už stoupají až k povrchu a při samotném varu se tvoří velké bubliny unikající povrchem kapaliny. Neexistence kolabujících bublinek znamená výrazné snížení hluku kapaliny těsně před dosažením varu.

Pokud do ohřívání vody nasypete sůl, zvýší se bod varu, ale teplota vody se nezmění. Výsledkem je, že na chvíli ustane tvorba bublinek a charakteristický hluk zmizí.

Možný je i opačný proces, tedy namísto vytváření zvuku při ohřevu vody naopak vodu ohřívat za pomoci zvukových vln. Komerčně vyráběné ohřívače vody založené na tomto principu využívají ultrazvuk⁵. Ultrazvukové vlny předávají energii molekulám vody. Vibrující molekuly mění svou energii postupně na chaotický pohyb, tedy na teplo. Ultrazvuk může v kapalině způsobit další zajímavý jev, tzv. *kavitaci*. Ultrazvuková vlna vytváří v kapalině periodické změny tlaku. Lokální pokles tlaku může vést ke vzniku dutin (latinsky *cavitas*). Ty jsou nejprve prázdné a teprve později se zaplní párou z okolní kapaliny. Pomine-li lokální snížení tlaku, bublina zkolabuje za vzniku rázové vlny. Ke kavitaci dochází nejenom při působení ultrazvuku, ale i na lopatkách turbíny, která se otáčí vysokou rychlostí a fluktuace vedou k lokálnímu snížení tlaku. Rázové vlny od zanikajících bublin poškozují povrchový materiál lopatky a konstruktéři s nimi musí počítat.

5 **Ultrazvuk** – zvukové vlny, jejichž frekvence leží nad hranicí slyšitelnosti lidským uchem. Zpravidla tak označujeme zvuk s frekvencí vyšší než 20 000 hertzů.

Mnohem účinnější a v domácnosti častější je nicméně ohřev vody elektromagnetickými vlnami. Mikrovlnná trouba vytváří elektromagnetickou vlnu, která prostupuje kapalinu. Kolmo na směr šíření vlny kmitá jak elektrická, tak magnetická složka elektromagnetického pole. A právě elektrická složka je důležitá pro ohřev. Měnící se elektrické pole tahá za kladně a záporně nabitě části vodní molekuly a rozkmitává je vůči sobě. Molekula se rozvibruje a energie těchto vibrací se, podobně jako u ohřevu ultrazvukem, mění postupně na teplo. Pokud by vodní molekuly neměly velký dipólový moment a jejich náboj byl sféricky symetricky rozložen, jejich ohřev v mikrovlnné troubě by měl minimální účinnost, neboť by elektrické pole nemělo v cestě náboje, které by mohlo rozkmitat.

Konvektivní polévka

Ve $\frac{3}{4}$ litru vody rozmíchejte vajíčko, přihodte hrst či dvě krupice, rozpustě masoxovou kostku a přiveďte k varu. Vařte jen krátce, stačí, aby krupice měla sklovitý vzhled. Krmi pořádně osolte, aby voda měla co nejvyšší hustotu a krupice se nechala snáze unášet konvektivními proudy. Úloha vejce a masoxu je sice nejasná, ale s těmito ingrediencemi dopadne – co se týče fyziky – kulinářský experiment lépe.

Když přidáte bramboru, kukuřici, nudle, maso, česnek, nic moc se nezmění, ale je to alespoň trochu k jídlu. Porovnejte váš výtvar s granulací kolem sluneční skvrny na šestém obrázku barevné přílohy. Pokud nebude barva odpovídat, vsypte něco málo kari, ale pak bych pokrm raději už nejedl. Autorem receptu je Ing. Rudolf Mentzl a mohu potvrdit, že konzumaci této vybrané lahůdky přežil.

Víte, že

■ Víte, že umístíte-li na mráz nádoby s chladnou a horkou vodou, zmrzne v některých případech jako první voda horká? Tento podivný jev poprvé pozoroval tasvánský student Erasto Mpemba v roce 1966. Pravděpodobně je to způsobeno vedením tepla prouděním, k jehož vzniku dojde snadněji v horké vodě, kde je rozdíl teplot mezi dolní a horní částí podstatně vyšší.

■ Víte, že var v mikrogravitaci probíhá úplně jinak než v normální tíži? U dna nádoby vznikne namísto mnoha klokotajících bublin jedna jediná velká bublina. Poprvé byl tento experiment proveden na palubě raketoplánu v roce 1992.

■ Víte, že vyšpláchnete-li vroucí vodu z hrnku za třeskutého mrazu, stane se z ní okamžitě sníh? Je to proto, že chladný vzduch je téměř nasycen vodními parami a pro další páry už zde není místo. Pára uvolňující se ze stovek kapiček horké vody se na kondenzačních centrech (nečistotách v ovzduší) okamžitě mění na ledové krystalky. Po vychrstnutí hrnku horké vody se proto za mrazu objeví bílý sněhový obláček ještě dříve, než dopadne voda na zem.

■ Víte, že ohřev vody v mikrovlnné troubě je umožněn nenulovým dipólovým momentem jejích molekul? Právě dipóly reagují na mikrovlny a přebírají jejich energii. Pokud by vodní molekuly měly nulový dipólový moment, nebylo by možné vodu v mikrovlnné troubě ohřát.

■ Víte, že vzdálenost atomu kyslíku a vodíku je ve vodní molekule 0,096 nm a úhel mezi spojnicemi těžišť atomů vodíku a atomu kyslíku činí 104,5°? Vodní molekula není v této pozici uzamčena, ale vykonává neustálé rotační a vibrační pohyby, jejichž množství je dáno teplotou vody.

■ Víte, že kouř ze soptících vulkánů obsahuje především vodní páru a vznikl únikem vroucí vody? Jde o uvolňování podzemních vod, které byly vázány zejména v uhličitanech po mnoho desítek milionů roků. Obdobný jev není možný například na Venuši, neboť zde voda v této podobě dávno není. Prohlédněte si úvodní kresbu kapitoly a fotografii na sedmém obrázku barevné přílohy.

Poučení na závěr: *Při pokusech s ohřevem vody u plotny se vždy soustřeďte jen na to, co právě děláte, a buďte opatrní, abyste se neopařili a nemuseli v nemocnici poslouchat jízlivé poznámky sestřiček, které pro fyzikální experimenty nemají pražádné pochopení.*

4. Od mikrovlnky k Velkému třesku



*Dostatečně pokročilou technologii
nelze odlišit od magie.
Arthur Charles Clarke*

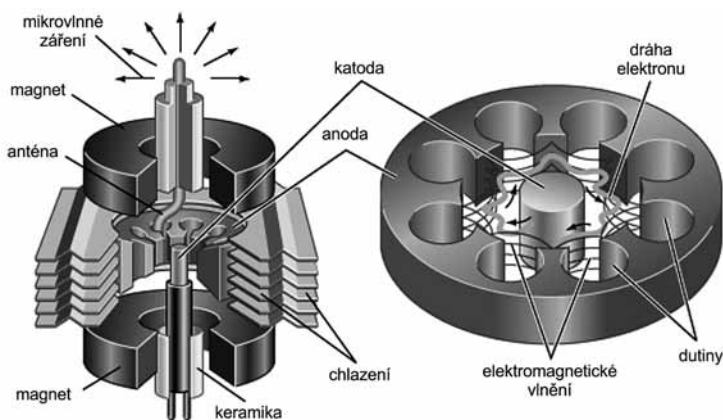
Už jste někdy slyšeli zaručenou zprávu, jak ve Spojených státech panička sušila kočku v mikrovlnné troubě a poté, co kočka posla, tak se soudila s výrobcem mikrovlnky a spor vyhrála, protože v návodě nebylo uvedeno, že mikrovlnka je nevhodná k sušení domácích mazlíčků? Tenhle příběh se s železnou pravidelností objevuje na internetových stránkách už desítky let. Občas je okrášlen miliony dolarů, které dotyčná naivka vysoudila, občas nejde o kočku ale malého psíka, tu a tam je text doveden do realistických podrobností, které bych raději vynechal. Někteří autoři dodávají zprávě na pikantnosti tím, že nebohého mazlíčka nechají v mikrovlnce dokonce explodovat. Příběhy jsou stejně věrohodné jako zprávy, že Američané nebyli na Měsíci a vše natočili v Hollywoodu, že odborníci z NASA zjistili, že zítra přestane svítit Slunce, nebo že náš prezident je natolik slušný člověk, že dokonce ani nekouří a nepije.

Skutečnost je taková, že v žádném návodě k mikrovlnné troubě nenajdete text o tom, že zařízení není vhodné k sušení domácích mazlíčků. Pokud by takový soud skutečně proběhl, byla by pasáž o pečení mazlíčků k našemu obveselení součástí každého návodu. Dají se dohledat soudní kauzy, v nichž konkrétní lidé ubližovali různým zvířatům a nechali je po nějaký čas v zapnuté mikrovlnce. Tyto procesy ale dopadly vždy tak, že protagonista příběhu byl souzen za týrání zvířat. Dokážu si představit, že by šlo bez újmy na zdraví zvíře usušit v běžné elektrické troubě, pokud by byla zapnuta na minimální výkon. Taková trouba vytváří teplo, které může být i blahodárné. Mikrovlnná trouba je ale něco jiného. Elektromagnetické vlnění přímo rozkmitává vodní molekuly v celém objemu ohřívaného tělesa a takový ohřev je se životem neslučitelný. Mikrovlnka je nicméně velmi užitečné zařízení a do naší kuchyně nepochybně právem patří.

Historie mikrovlnky

V průběhu druhé světové války došlo k bouřlivému rozvoji rádiové a mikrovlnné techniky. Umožňovala totiž nejen pozemskou komunikaci, ale i komunikaci s letadly v průběhu leteckých bitev. Objev odrazu rádiových vln, který vedl na vývoj radaru, je bezděčným produktem pokusů s rádiovou komunikací. Zdrojem krátkých rádiových vln a mikrovln v tehdejších i současných zařízeních je magnetron. V podstatě jde o speciální elektronku, v jejímž centru je katoda, ze které vyletují elektrony a míří k anodě. Ta je tvořena velkým blokem kovu, zpravidla mědí, a na jejím vnitřním povrchu je tvarována do řady dutin. Elektron je na cestě k anodě ovlivněn silným magnetickým polem, které ho uvede na zvlněnou dráhu mezi katodou a anodou. A každá nabitá částice, která mění periodicky svou rychlost, vyzařuje elektromagnetické vlnění. Elektrony nacházející se mezi katodou a anodou jsou zdrojem mikrovlnného elektromagnetického signálu, který vzniká v dutině mezi katodou a anodou a vychází ven z magnetronu vyzařovací anténou.

Pocit tepla v blízkosti mikrovlnných zdrojů vnímal každý, kdo s nimi pracoval. Vypráví se, že Percy Spencerovi, který mikrovlnnou troubu patentoval, se v kapse v blízkosti mikrovlnného zdroje rozehrála čokoládová tyčinka. Elektromagnetické pole je příčné vlnění, to znamená, že kolmo na směr jeho šíření kmitá jak elektrická, tak magnetická složka pole. A právě elektrická složka kmitajícího pole rozhýbe každý náboj, který na své cestě potká. Atomy a molekuly jsou jako celky neutrální a elektrické pole by na ně nemělo mít vliv. Jenže tato „neutralita“ není dokonalá. Většina molekul má oblast, v níž je soustředěn záporný náboj a jinou oblast, v níž je soustředěn kladný náboj. Navenek jsou tedy molekuly neutrální, ale při pohledu zblízka objevíme jedno centrum kladného náboje a jedno centrum náboje záporného. Takovému uspořádání říkáme elektrický dipól a elektromagnetická vlna procházející v jeho blízkosti rozkmitá jak kladnou, tak zápornou část molekuly. K dipólovým molekulám patří i molekula vody, proto ji lze snadno elektrickým polem rozkmitat. Uspořádané kmity molekul se ale postupně změni na chaotické pohyby, tedy teplo.



Princip magnetronu, mikrovlnného zdroje. Zdroj: Encyclopedia Britannica.

Po druhé světové válce začala řada firem uvažovat o využití mikrovlnného ohřevu v praxi. Magnetrony patřily v té době k docela drahým zařízením, proto se úvahy o ohřevu týkaly zejména průmyslových aplikací, například ohřevu barev, lepidel nebo pneumatik při jejich výrobě. Takové technologie zkoumali například ve společnosti *General Electric*. Paralelně se uvažovalo o využití v medicíně, například v chirurgii k likvidaci nežádoucích tkání nebo k zastavení krvácení. V mnoha zemích se zvažovalo i využití mikrovln k ohřevu potravin, ale opět šlo především o průmyslovou výrobu.

Dnes se vedou sáhodlouhé diskuze o tom, koho jako prvního napadlo využít mikrovlny pro ohřev potravin v domácnosti. Experimenty tohoto druhu se po druhé světové válce prováděly jak na západě, tak na východě tehdejšího polarizovaného světa. Neoddiskutovatelným faktem ale je, že patentovou přihlášku na mikrovlnný ohřev potravin podal americký fyzik a vynálezce Percy Spencer (1894–1969) v roce 1945 a patent mu byl udělen v roce 1950. Jeho vynález byl v obecné rovině a neřešil, jak se budou potraviny do mikrovlnné dutiny vkládat, ani jak bude oddělena od okolí. V roce 1947 ale Spencer podal druhou patentovou přihlášku (patent mu byl udělen v roce 1949), která navrhovala konkrétní zařízení pro výrobu popcornu z kukuřice. Třetí Spencerova patentová přihláška je z roku 1948 (patent udělen v roce 1951). V tomto případě už šlo



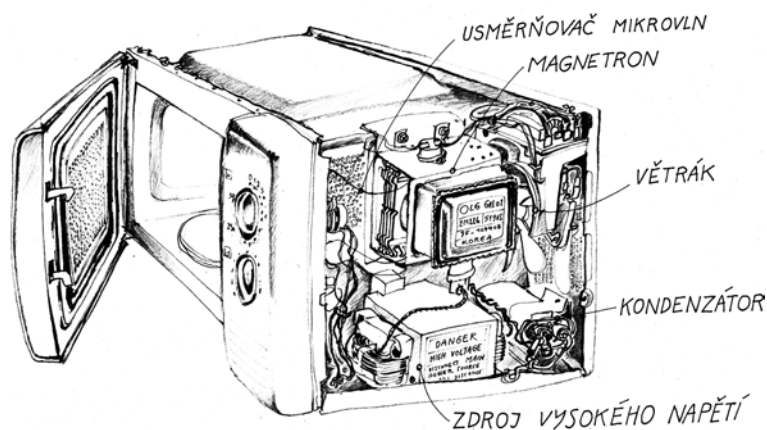
Jedna z variant mikrovlnné trouby z roku 1959. Zdroj vlnění je pod pečicí deskou. Horní děrovaný zvon je kryt, který brání mikrovlnám v průniku ven. Mikrovlnný zdroj lze zapnout jedině tehdy, když je zvon spuštěn a zcela kryje prostor s ohříváním jídlem. Zdroj: Sogou.

o přístroj k mikrovlnnému vaření, který koresponduje se současnou mikrovlnnou troubou. Percy Spencer byl zaměstnancem společnosti *Raytheon Company* založené v roce 1922, která byla specializována zejména na vojenskou radarovou techniku. První zařízení pro ohřev potravin společnost vyvinula v roce 1947 a veřejnosti ho předvedla pod názvem *Radar Range*. Od roku 1954 začal komerční prodej trouby s názvem *Radarange*. Zařízení mělo příkon 1 600 wattů a využívalo mikrovlny s vlnovou délkou přibližně 12 cm. Svou velikostí připomínalo spíše obrovskou skříň velikosti dveří než současnou mikrovlnku, a bylo natolik drahé, že si ho mohly dovolit jen velké restaurace a výrobní jídl. Mikrovlnná trouba pro domácí použití byla společností představena až v roce 1967. Prodej byl zpočátku velmi pomalý, na vině byla zejména vysoká cena a nedůvěra lidí k novému zařízení. V sedmdesátých letech 20. století začala cena mikrovlnné trouby klesat a nové zařízení se postupně rozšířilo do všech koutů světa.

Experimenty v mikrovlnné troubě

Mikrovlnná trouba je skvělým zařízením pro fyzikální pokusy. Pro tuto činnost je ideální stará vyřazená mikrovlnka, které už nemůžete ublížit. Při pokusech buďte maximálně opatrní a raději si přizvěte někoho, kdo věci rozumí.

Čokoláda a rychlost elektromagnetického signálu. První experiment je relativně jednoduchý a bezpečný. V mikrovlnce vzniká vlivem odrazů od stěn stojaté vlnění, které má kmitny a uzly. V kmitnách je amplituda elektromagnetického pole nejvyšší a potraviny jsou ohřívány nejvíce. Proto je v mikrovlnce otočný skleněný talíř, který zajistí rovnoměrný ohřev vložené potraviny. Pro náš experiment musíme nejprve zamezit otáčení skleněného talíře. Stačí ho podložit třemi plastovými špunty z PET láhve nebo jinými plastovými či skleněnými předměty. Na talíř nasype trochu rozstrouhané čokolády a na chvíli zapnete mikrovlnku. Čokoláda se speče v kmitnách vlnění, které jsou od sebe vzdálené polovinu vlnové délky. Pokud víte, že rychlost šíření signálu je rovna součinu vlnové délky a frekvence, máte vyhráno. Vlnovou délku si změříte ze vzdálenosti kmiten na rozteklé čokoládě a frekvenci mikrovlnky si přečtete na jejím štítku (je to 2,45 GHz). Vynásobením obou čísel



Současná mikrovlnná trouba a její základní komponenty.

získáte rychlost šíření elektromagnetických vln. Místo čokolády je možné použít i jiný materiál, vhodný je například navlhčený papírový ubrousek, který v místě kmiten zčerná.

Cédéčko a vířivé proudy. V mikrovlnce opět zamezíme pohybu skleněného talíře a poté na něj položíme cédéčko tak, aby pokovená strana směřovala vzhůru. A nyní už jen zapneme mikrovlnku na plný výkon a kocháme se. Magnetická složka mikrovlnného pole způsobí proměnný magnetický tok tenkou kovovou vrstvou cédéčka. Tím se v něm indukují vířivé elektrické proudy, které hliník prudce ohřejí. Hliníková vrstva popraská do charakteristických obrazců, vířivé proudy navíc způsobí krásné jiskření. Pokud budete mít štěstí a z povrchu kovu unikne dostatek elektronů, rozkmitají se v elektrickém poli a budou ionizovat vzduch v mikrovlnce. Výsledkem bude krátkodobý plazmový výboj v celém prostoru mikrovlnky. K tomuto jevu ale nedojde vždy. Experiment je vhodné provádět ve staré vyřazené troubě, které už nijak nevadí znečištění hliníkem.

Plazmový výboj. Tento experiment provádějte mimořádně opatrně a jen po krátkou dobu. Znehybňte otočný talíř a zjistěte pomocí prvního experimentu, kde je nějaká kmitna. Do ní připevněte například plastelínou svisle tuhu z mikrotužky. Tuhu potom překryjte skleněným krytem, v ideálním případě kulovým. Z tuhy se odpařují uhlíkové atomy a elektrony, které ionizují a excitují atomy a molekuly vzduchu. Vznikne krásný plazmový výboj. Experiment provádějte jen krátce, jinak se skleněný kryt nad experimentem může zahřát a prasknout. Vznikající exotické sloučeniny dusíku nejsou rozhodně zdravé, proto mějte otevřené okno.

Žárovka v mikrovlnce. Opět platí to, co při předchozím experimentu. Žárovku v mikrovlnce trapte jen krátce, aby se její sklo nezahřálo a neprasklo. Vlákně žárovky se rozsvítí a nezáleží na tom, zda je přerušené, či nikoli. Elektrony kmitající ve vlákně vlivem přítomných mikrovln spolehlivě vlákno rozžhaví. Pokud experiment okamžitě nepřerušíte, budou elektrony unikat z vlákna a způsobí ionizaci plynu v žárovce, a ten se rozsvítí plazmovým výbojem. Nyní ale už mikrovlnku opravdu vypněte, jinak zničíte žárovku i mikrovlnku.



Typické obrazce vzniklé v kovové vrstvě cédéčka vlivem vířivých proudů.
Zdroj: David Newman, University of Alaska.

Na čtyřech popsaných experimentech vidíme, že v mikrovlnce můžeme relativně snadno sledovat různé fyzikální děje, opatrnosti ale není nikdy nazbyt. Vraťme se nyní k samotnému mikrovlnnému záření, o kterém už víme, že je jen malou částí elektromagnetického spektra.

Spektrum elektromagnetického záření

Lidé odjakživa vnímají světlo. To, že jde o část elektromagnetického vlnění, jsme se ale dozvěděli až v 19. století. K poznávání dějů elektrických a magnetických přispěla celá řada vynikajících experimentátorů, jmenujme alespoň Michaela Faradaye, André-Marie Ampère, Hanse Christiana Ørsted a nebo George Simona Ohma.

Postupně se ukázalo, že děje elektrické a magnetické spolu souvisí, že v okolí vodiče protékaného elektrickým proudem vzniká magnetické pole, že proměnné magnetické pole dá vzniknout poli elektrickému atd. Veškeré tehdejší znalosti o elektřině a magnetismu sepsal anglický fyzik James Clerk Maxwell (1831–1879) v monumentálním dvousvazkovém díle *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Tato publikace, která vyšla v roce 1873, se stala základem současné teorie o elektromagnetickém vlnění a vyplynulo z ní, že světlo je jen jednou oblastí z celého spektra elektromagnetických vln. Později německý fyzik Heinrich Hertz (1857–1894) experimentálně dokázal, že tomu tak je.

Elektromagnetické vlnění různých typů se liší frekvencí. Čím vyšší frekvence, tím kratší vlnová délka a tím vyšší energie záření. Nejenergetičtější vlny dnes označujeme jako gama záření, následuje rentgenové záření a ultrafialové záření, které sousedí s viditelným světlem v jeho krátkovlnné oblasti. V dlouhovlnné oblasti pokračuje za viditelným světlem infračervené záření, dále jsou mikrovlny a rádiové vlny. Dělení na jednotlivé obory je standardizováno jen částečně, v různých oblastech lidské činnosti se hranice mezi obory poněkud liší.

Zemskou atmosférou zcela prochází jen dva obory elektromagnetického spektra: viditelné světlo a rádiové vlny. Právě proto, že lidský druh po miliony let pobýval pod zemskou atmosférou, kterou světlo prochází, vyvinul se mu pro tento obor vhodný receptor – lidské oko.

Nejkratší vlnovou délku má rentgenové a gama záření. Do gama oboru zpravidla řadíme vlny s vlnovou délkou kratší než setina nanometru. Rentgenové záření pak dělíme na tvrdé (setina až deseti-
na nanometru) a měkké (desetina nanometru až deset nanometrů). Vlnové délce rentgenového záření odpovídají velikosti atomárních obalů, vlnové délce gama záření rozměry atomových jader a jejich částí. Na Zemi jsou zdrojem rentgenového záření vnitřní slupky atomárního obalu, rentgenové lasery nebo rentgenové lampy. Gama záření vzniká rozpadem atomových jader. Ve vesmíru jsou zdroji tohoto záření veškeré procesy probíhající při vysokých energiích,

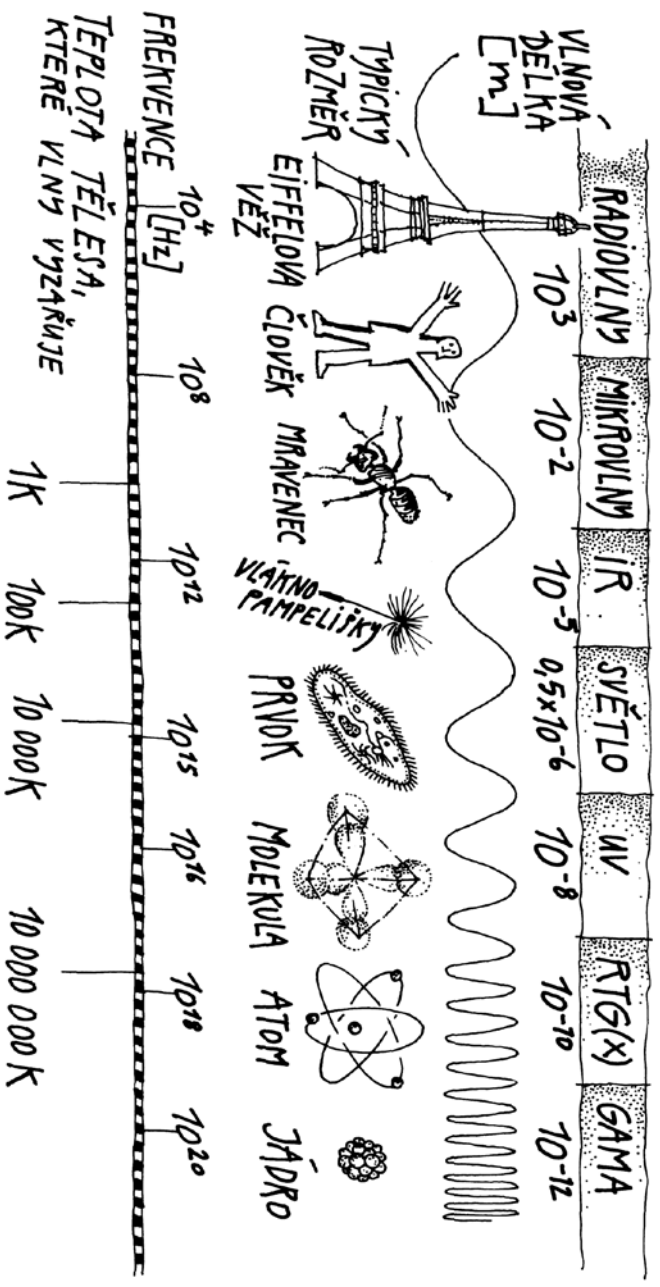
proto pozorujeme rentgenové a gama záření v akrečních discích černých děr nebo v okolí neutronových hvězd (zejména pulzarů a magnetarů). Toto krátkovlnné záření také vzniká při přepojování magnetických siločar v atmosférách hvězd, při explozích supernov, v jádrech aktivních galaxií a při splynutí kompaktních objektů (bílých trpaslíků, neutronových hvězd a černých děr).

Ultrafialový obor (UV) má vlnové délky od 10 do 380 nanometrů a pro různé účely se dále dělí různě. Ve fyzice rozlišujeme extrémní UV (nejkratší), vzdálený UV, střední UV a blízký UV obor (nejdelší vlny sousedící s viditelným světlem). Vlnové délce ultrafialového záření svou velikostí odpovídají viry (17 až 300 nm). Na Zemi se setkáme s ultrafialovým zářením například při opalování, kde je jeho vliv prospěšný jen do určité míry. UV záření se využívá k dezinfekci povrchů, k excitaci luminoforů (například na diskotékách nebo dokonce u ochranných prvků na bankovkách). U zubního lékaře se setkáme s UV kompozity vytvrzovanými UV zářením. V astrofyzice vyzařují v UV oboru hvězdy (včetně našeho Slunce), dominantně září v UV oboru mladé a horké hvězdy. V UV oboru také září polární záře, novy a supernovy a v některých případech i mezihvězdný prach. Elektrony rotující kolem siločar magnetického pole v atmosférách hvězd také vyzařují v UV oboru.

Za viditelný obor považujeme vlnové délky od 380 nanometrů (fialové světlo) do 750 nanometrů (červené světlo). Velikosti vlnové délky vizuálního záření odpovídají koky a jednoduché bakterie.

Vlny delší než světlo

Za viditelnou částí spektra následuje záření infračervené s vlnovou délkou od 750 nm do 450 μm . Infračervené záření objevil v roce 1800 anglický fyzik a astronom William Herschel (1738–1822) při rozkladu slunečního světla hranolem. Zjistil, že za červenou barvou existuje další záření, které zahřeje teploměr. Vlnové délce tohoto záření odpovídá velikost prvků. Infračervené záření využíváme v infrazářičích, v infralampách, při infraterapii, v dálkových ovladačích, v termovizi, v čidlech na zloděje, v dálkových teploměrech



a při dálkovém průzkumu Země. Ve vesmíru vydává infračervené záření látka, která je nejchladnější. Proto můžeme sledovat v tomto oboru meziplanetární hmotu, planetární atmosféry, plyn a prach v galaxiích, hnědé trpaslíky, červené veleobry, exoplanety, proto-planetární disky a mlhoviny. Infračervené záření prochází zemskou atmosférou jen částečně.

Za mikrovlny považujeme část spektra s vlnovou délkou od 0,4 mm do 15 cm. Hranice mezi infračervenou a mikrovlnnou oblastí, stejně tak jako hranice mezi mikrovlnnou a rádiovou oblastí, není přesně definována a různí autoři používají různé hodnoty. Mikrovlnným vlnovým délkám odpovídá velikost hmyzu. Typickým příkladem může být mravenec nebo včela. Rozdělení mikrovln do pásem je značně nejednotné a má historický podtext. S mikrovlnami se v praxi setkáme nejenom v naší mikrovlnce (pracuje na vlnové délce 12,24 cm), ale také při televizním vysílání nebo u polohovacího systému GPS. Ve vesmíru září v mikrovlnné oblasti plyn a prach v galaxiích, rodící se hvězdy a nejchladnější hlubiny vesmíru.

Rádiové vlny jsou všechny elektromagnetické vlny s vlnovou délkou delší než zhruba 15 cm, tedy i metrové vlny, dekametrové nebo kilometrové. Zvířetem, které by odpovídalo svou velikostí vlnové délce rádiových vln, je například slon. Podstatná část rádiových vln prochází zemskou atmosférou, rádiová astronomie se proto vyvinula po optické astronomii hned jako druhá v pořadí. K nejznámějšímu patří vlna s délkou 21 cm. Vyvolává ji přechod vodíku mezi stavy se shodně orientovaným spinem elektronu a protonu a opačně orientovaným spinem elektronu a protonu. Na této vlně je možné zobrazovat mlhoviny a chladná zákoutí vesmíru, kde je přítomen atomární vodík. Na vlnové délce 600 metrů probíhá Morseova komunikace (vysílání záchranného signálu SOS). Vlnová délka 6 000 km odpovídá rozvodné síti o frekvenci 50 Hz. Vlnová délka 38 314 km patří Schumannově rezonanci mezi povrchem Země a ionosférou. V běžném životě se s rádiovými vlnami setkáme například u rozhlasového vysílání nebo GPS komunikace. V astronomii v rádiovém oboru září výtrysky z černých děr a jiných objektů, molekulární a prachová mračna i mnoho dalších zdrojů.

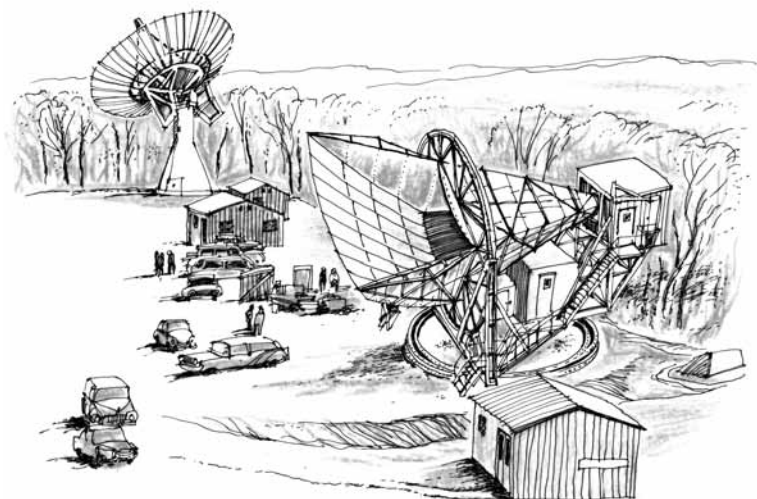
Velký třesk a reliktní záření

Ve vesmíru vyzařuje mikrovlny nepřeborné množství objektů. Jeden zdroj má ale nade všemi ostatními navrch. Jde o reliktní záření (tzv. *mikrovlnné záření vesmírného pozadí*), které pochází ze samotného konce Velkého třesku a přináší nám napříč prostorem a časem informace o nejranějším vesmíru, který je možné v elektromagnetickém spektru spatřit.

Vynikající americký pozorovatel Edwin Hubble (1889–1953) v roce 1929 zjistil, že se vesmír rozpíná. Nafukuje se jako celek z každého svého bodu. V roce 1948 rusko-americký fyzik George Gamow (1904–1968) navrhl, že náš vesmír musel být kdysi hustší a teplejší, a má tedy horký počátek. Jeho teorie horkého původu světa měla na počátku řadu odpůrců, patřil k nim například anglický astronom Fred Hoyle, který Gamowovu teorii označil souslovím *Big Bang* neboli *Velký třesk*. Myslel tím spíše velký nesmysl, slovo třesk mínil ve smyslu zbytečného plácání. Název se ale ujal a dnes ho již nikdo nevnímá pejorativně. Pokud byl vesmír skutečně na počátku horký, musel být v plazmatickém skupenství. Plazma se podobá plynům, ale elektrony nejsou součástí atomárních obalů a mohou se plazmatem volně pohybovat. Výsledkem je jejich intenzivní interakce s elektromagnetickými vlnami. Elektrony se vlivem procházejících vln rozkmitávají (podobně jako molekuly vody v mikrovlnce) a přebírají přitom energii elektromagnetické vlny, aby ji vzápětí samy vyzářily do zcela jiného směru. Zkrátka elektromagnetické vlny plazmatem raného vesmíru neprocházely, byly provázány s volně se potulujícími elektrony. Raný vesmír byl pro elektromagnetické vlny díky přítomnosti volných elektronů neprůhledný¹.

Expandující vesmír postupně chladl, a když poklesla jeho teplota na několik tisíc kelvinů, elektrony se staly součástí atomárních obalů a plazma se přeměnilo na obyčejný plyn. K této změně došlo přibližně 400 tisíc let po vzniku vesmíru. Celé toto prvopočáteční období

1 Stejně neprůhledné je naše Slunce, které je také tvořeno plazmatem. Naopak vzduch kolem nás je průhledný, neboť v něm elektrony nejsou volné, ale vázány v atomárních obalech, kde mají pevně danou energii a nelze je rozkmitat.



Mikrovlnná anténa, se kterou Penzias a Wilson objevili v roce 1965 reliktní záření.

nazýváme Velkým třeskem. Co se na konci Velkého třesku stalo s oním zářením, které bylo provázáno s volnými elektrony? Osamostatnilo se, říkáme, že se oddělilo, a začalo volně putovat vesmírem. V době jeho oddělení šlo o viditelné světlo. Vesmír stárnul a rozpínal se a bloudícímu světlu z konce Velkého třesku se měnila vlnová délka ve shodě s touto expanzí. Dnes má vlnovou délku kolem jednoho milimetru a spadá tedy do mikrovlnné oblasti.

Tento všudypřítomný signál z období konce Velkého třesku v sobě nese cenné informace o tom, jak vesmír vypadal, když byl mladý. Reliktní záření poprvé zachytili v roce 1965 Arno Penzias a Robert Wilson, zaměstnanci *Bellových telefonních laboratoří*. Ti se pokoušeli za pomoci speciální trychtýřovité antény udělat mapu oblohy na vlnové délce 7,3 centimetru. Anténa předtím sloužila k prvním pokusům o přenos mikrovlnného signálu na oběžnou dráhu a zpět (projekt družice Echo). Vykazovala ale silný šum, který přicházel ze všech koutů vesmíru. Vypráví se historka, že Penzias a Wilson nejprve považovali za zdroj šumu párek holubů hnízdících v anténě, ale ani po jejich odstřelu se šum nezměnil. V roce 1989 ukázala družice COBE (*Cosmic Background Explorer*), že je zachycený

šum skutečně reliktním zářením. V roce 1992 tato družice našla *fluktuační reliktní záření* – drobné flíčky, které kopírují rozložení látky na konci Velkého třesku. Podrobně pak zkoumala reliktní záření americká sonda WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), která startovala v roce 2001 a v roce 2003 se na základě jejích dat podařilo udělat podrobnou analýzu „flíčků“ nalezených družicí COBE. Poprvé jsme se dozvěděli, jak dlouho Velký třesk trval (400 000 roků), jak je vesmír starý (14 miliard roků) a z čeho je složený (jen 5 % tvoří látka složená z atomů). V roce 2009 startovala evropská sonda Planck, která je zatím nejpřesnějším přístrojem, jenž kdy zkoumal mikrovlnné reliktní záření z konce Velkého třesku. Sonda Planck pořídila 4 kompletní přehlídky mikrovlnné oblohy v oboru vlnových délek 0,3 až 10 milimetrů s úhlovou přesností 5 obloukových minut a teplotním rozlišením 1 mikrokelvín. Veškeré snímkování probíhalo v devíti frekvenčních pásmech, což umožnilo oddělit různé druhy signálů (reliktní záření, vyzařování prachu, blízkých i vzdálených galaxií, záření způsobené srážkami volných elektronů atd.). Sonda Planck dokonce měřila polarizaci mikrovlnného signálu (rovinu kmitů elektrického pole). Prach v Mléčné dráze je složen z mikrometrových zrníček obsahujících atomy železa. Každé zrnko se chová jako malý magnet kývající se kolem siločar magnetického pole. Tato zrnka září také v milimetrové oblasti a z analýzy polarizace tohoto záření bylo možné vytvořit první mapu magnetického pole naší Galaxie.

Reliktní záření se dá jen obtížně pozorovat na povrchu Země, protože milimetrové vlny pohlcuje vodní pára v atmosféře. Buď musíme pozorovat vysoko v horách, kde je vodních par málo, nebo třeba na jižním pólu, kde je taková zima, že vodní páry zmrznou na neškodné krystalky ledu. Nejlepší je ale pozorování takovými sondami, jakou byla observatoř Planck.

Až si budete v mikrovlnné troubě ohřívat večeri, vzpomeňte si na to, že mikrovlny jsou užitečné nejenom v kuchyni, ale že je mají v oblibě i astronomové. Přinášejí jim totiž velmi cenné informace o počátku vesmíru, o prachu v galaxiích, rodících se hvězdách i dalších objektech.

Víte, že

■ Víte, že první mikrovlnná trouba představená v roce 1947 společností Raytheon měla na výšku přes metr a půl, vážila 340 kilogramů a stála v dnešních cenách zhruba půl milionu korun? Taková obří mašina byla využitelná jen ve velkých výrobnách jídla. V prvních letech se zařízení dodávalo většinou pro armádu.

■ Víte, že společnost *Raytheon*, která na trh uvedla první mikrovlnnou troubu, je největším výrobcem řízených střel na světě? Společnost byla založena v roce 1922, v současnosti má 63 000 zaměstnanců a specializuje se na výrobu zbraní a komerční elektroniky.

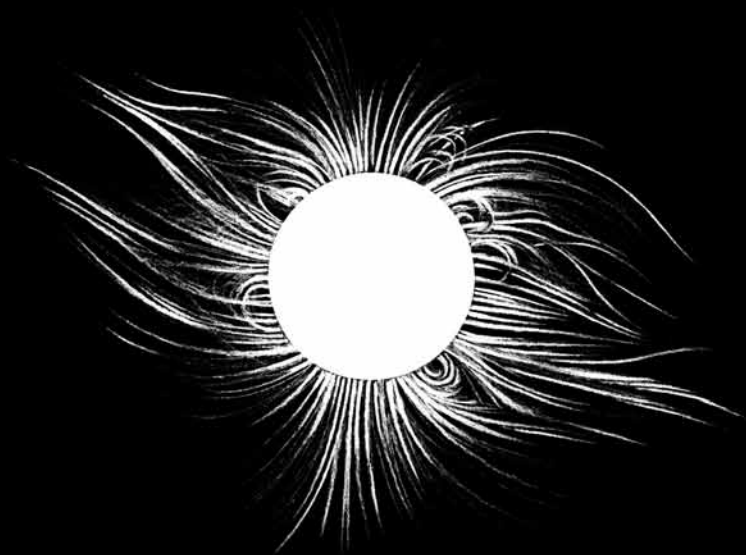
■ Víte, že čidla sledující pohyb osob využívají také mikrovlny? Mikrovlnný signál se odráží od objektu a ze změny frekvence přístroj určí jeho rychlost. Podobný princip používají policisté k určování rychlosti automobilů.

■ Víte, že mřížka na dvířkách mikrovlnné trouby není jen pro parádu? Odstiňuje mikrovlnný signál a chrání osoby v okolí trouby před tímto zářením.

■ Víte, že snímky mikrovlnného záření ze sondy Planck jsou mimořádně estetické? Klidně by se mohly vyjímat na stěnách futuristicky vymalované místnosti. Prohlédněte si je v barevném příloze na obrázcích 8 až 10.

Poučení na závěr: *Přestože teplo v mikrovlnné troubě není vidět ani cítit, může být velmi bolestivé.*

5. Ušatej magnet



*Nikdy jsem nedopustil,
aby škola stála v cestě mému vzdělání
Mark Twain*

Když byla dcera na základce, jednou jsem jí takhle nahlédl přes rameno, abych zjistil, co se učí. Měla tam v sešitě rukou nakreslený tyčový magnet a kolem něj siločáry. „To je prima, učí se fyziku“, napadlo mě. Podvědomě jsem ale cítil, že něco není v pořádku. Půjčil jsem si sešit a malůvku si prohlédl pozorněji. Siločáry nevycházely z konců magnetu, jak by se slušelo a patřilo, ale z prostředku. Vypadalo to, jako by ten magnet měl uši. „Lucko, to není dobře, ten magnet máš nakreslený špatně!“ Dcera chvilku odporovala, že takhle jim to pan učitel kreslil na tabuli. Nevěřil jsem. Vysvětlil jsem jí, jak je to správně, a předpokládal, že magnet špatně obkreslila z tabule.

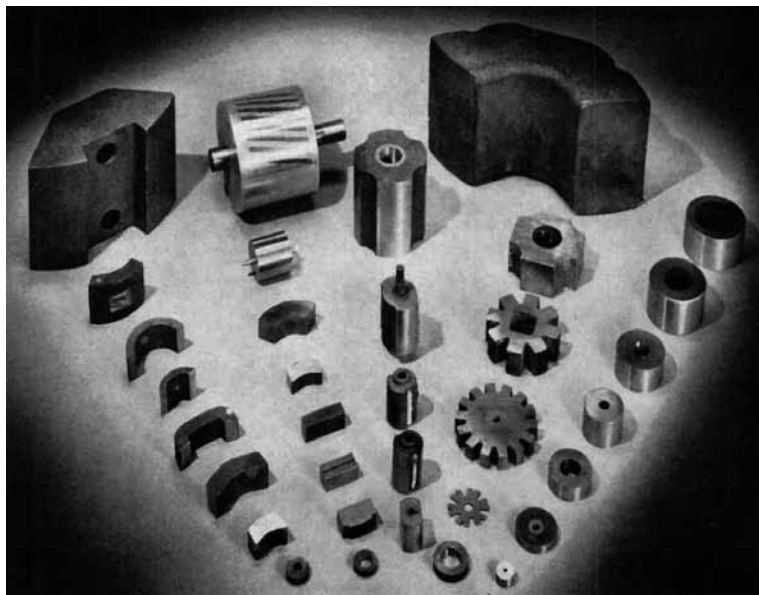
Druhý den přišla posmutněle ze školy. Jak se ukázalo, nejprve zkontrolovala malůvky u svých spolužáků, a ty byly stejné, tedy chyba byla v nákresu na tabuli. Poté se šla optat pana učitele, jak to tedy je, že tatínek tvrdí, že siločáry vycházejí z konců magnetu a ne z prostředku. Nebudu to natahovat. Pan učitel nejenom, že neuznal banální chybu, která se může stát každému, ale trval na té blbosti dál. Doslova řekl: „Tady jsem autorita já a nějaký tatínek mně do toho nebude kecat!“ Od té doby pak už jedničku z fyziky nikdy nedostala. Naštěstí mají takovéto postavičky na vzdělání dětí minimální vliv a jsou spíše zdrojem obveselení. Pan učitel fyziky získal u dětí přezdívku „Ušatej hrnec“ a dcera i její spolužačky dnes bez problémů studují i v dalších stupních našeho rozverného školství.

Magnety a zase magnety

Pokud si myslíte, že magnet je ve vaší domácnosti dobrý leda tak k tomu, aby držel vzkazy na ledničce, hluboce se mýlíte. Zkuste otevřít a pomalu zavřít dveře ledničky. Drží skvěle a nějaký náhodný otřes ledničku neotevře. Gumové těsnění je totiž magnetické a k otevření dveří musíte magnetickou sílu překonat. Posloucháte

televizi? I v ní je řada magnetů, jeden je například v reproduktoru, bez něho byste nic neslyšeli. Magnet je také základní součástí každých sluchátek. V nabíječce mobilu je transformátor, což není nic jiného než elektromagnet. Používáte počítač? Všechna data, která v něm máte, jsou uložena na harddisku, což je magnetické médium, kde jsou vaše texty, hudba, filmy i obrázky zakódovány v podobě orientací malých magnetických domén. Jiný magnet, plující nad magnetickým médiem harddisku, umí tento zápis zase přečíst. Jdete nakupovat a používáte platební kartu? Opět jste použili magnetický zápis, tentokrát jsou v magneticky aktivním materiálu malé oblasti karty zapsány informace o vás a o vašem účtu. Zkrátka s magnety se setkáváte v běžném životě na každém kroku. A žádný z nich není ušatý.

Podle pověsti objevil magnetizmus řecký pastýř Magnes, který hnal své stádo v severořecké oblasti *Magnesia*, kde objevil černé skalisko přitahující hřebíky v jeho obuvi a přezku v jeho oděvu. Magne-

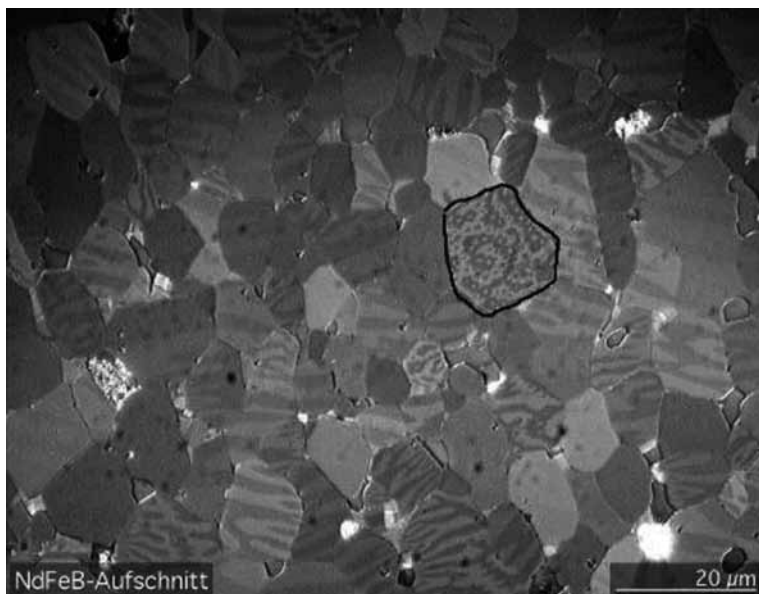


Alnico magnety vyráběné společností Arnold Engineering v roce 1956.
Zdroj: Tele-Tech and Electronic Industries magazine.

tizmus byl pojmenován podle této řecké oblasti a snad i po pastýři samotném. Jisté je, že Řekové i Římané magnetické účinky magnetitu (nerost s chemickým složením Fe_3O_4) znali a zmiňuje se o nich například římský básník a filosof Titus Lucretius Carus v prvním století před naším letopočtem. Dávno předtím ale věděli o magnetickém chování některých látek Číňané. Zmínky o magnetizmu jsou z období před 4500 lety. Číňané z přírodních magnetických materiálů vyráběli vodorovně pohyblivé střelky, které se otáčely k severu, a byly použitelné při navigaci. Magnetizmus také znali lidé žijící v okolí řeky Indus, kde jsou rozsáhlá naleziště magnetitu. Magnetizmus tak vlastně objevila každá civilizace, která uměla zpracovávat železo a měla k dispozici přírodní magnetit. Pak už bylo nemožné si nepovšimnout, že tento podivný kámen přitahuje drobné předměty vyrobené ze železa. Respekt před podivným kamenem byl ale značný. Mnohé národy mu přisuzovaly magickou moc a často snily o tom, že se v dálavách oceánů nacházejí obrovské magnetické ostrovy, které k sobě mohou přitáhnout a zničit celé lodní flotily.

Magnety se mohou přitahovat i odpuzovat, na každém magnetu najdeme oblast, které říkáme severní pól a další oblast, které říkáme jižní pól. Rozdílné póly dvou různých magnetů se přitahují, stejně odpuzují. Severní pól magnetu je nazván podle toho, že je přitahován k severnímu zemskému pólu, v jehož blízkosti se nachází jižní magnetický pól Země. Označování pólů magnetu jako severní a jižní pochází už z období, kdy se začaly používat první kompasy. U nabitých částic můžeme separovat kladně a záporně nabitě celky. U magnetů se to nikdy nepodařilo. Zdá se, že tzv. magnetické monopóly neexistují, i když tomu z teoretického hlediska nic nebrání.

To, že Země je sama o sobě obřím magnetem, zjistil anglický lékař a vědec William Gilbert (1544–1603) až v roce 1600. Původ magnetizmu byl ale dlouhou dobu záhadou. Dnes víme, že magnetizmus může vznikat dvojím způsobem. Prvním z nich je pohyb nabitých částic. Na to přišel v roce 1819 dánský fyzik a filosof Hans Christian Ørsted (1777–1851), když zjistil, že se ručička kompasu vychýlí v blízkosti vodiče protékaného elektrickým proudem, a objevil tak souvislost mezi elektřinou a magnetizmem. Druhým zdrojem



Magnetické domény v neodymovém magnetu zobrazené Kerrovým mikroskopem. Jednotlivé domény jsou světlé a tmavé pruhy v zrnech magnetické látky.
Zdroj: Gorchy, 2005.

magnetizmu je spin¹ částic, který objevili němečtí fyzici Otto Stern (1888–1969) a Walter Gerlach (1889–1979) v roce 1925. Ve svém slavném experimentu nechali procházet svazek atomů stříbra nehomogenním magnetickým polem. Přitom došlo k jeho rozdělení na dva svazky, které bylo záhy vysvětleno jako důsledek existence spinu – vlastního rotačního a magnetického momentu částic. Nenulový spin má například neutron, proto je zdrojem magnetického pole, aniž by měl elektrický náboj.

Magnety můžeme zhruba rozdělit do čtyř velkých skupin: na trvalé (permanentní) magnety, dočasné magnety, elektromagnety a supravodivé magnety.

1 **Spin** – vlastní (vnitřní) rotační moment částice související s tzv. Lorentzovou symetrií (pokusy dopadnou ve všech inerciálních soustavách stejně). Pro částici v centrálním poli se přirozeným způsobem skládá s momentem hybnosti. Částice s nenulovým spinem se mohou chovat jako elementární magnety, aniž by měly elektrický náboj. Takové částice reagují na vnější magnetická pole.

Trvalé (permanentní magnety) jsou tvořeny shluky atomů či molekul, které se chovají jako miniaturní (tzv. elementární) magnety neboli magnetické dipóly (mají dva póly, severní a jižní, proto dipóly). Za vysokých teplot jsou tyto elementární magnetické dipóly orientovány náhodně. Teplotní fluktuace jim nedovolí se seřadit stejným směrem (i když by v takové konfiguraci měly nižší energii). Pokud magnet ochlazujeme, dojde k seřazení elementárních dipólů až při Curierově teplotě, kdy se vytvoří oblasti se shodně orientovanými elementárními dipóly. Takovým oblastem říkáme Weissovy magnetické domény. Materiál se stává trvale magnetickým. Všeho ale dočasu. Magnetismus tohoto druhu zaniká při vysoké teplotě nebo při aplikaci chaotického magnetického pole, které naruší uspořádání elementárních dipólů. Magnetické domény jsou patrné i v povrchových horninách na Marsu, přestože Mars žádné globální magnetické pole nemá. Měl ho ale kdysi a otisk tohoto pole zde zůstal zachován. Na povrchu Venuše nic takového možné není. Dosud provedená přímá měření zde zjistila teplotu v rozmezí 430 °C až 480 °C, což je nad Curieovou teplotou a veškeré magnetické záznamy jsou za takto vysoké teploty spolehlivě vymazány.

K nejsilnějším stálým magnetům patří magnety obsahující vzácné zeminy, buď neodym, nebo samarium². Neodymové magnety jsou založeny na slitině neodymu, železa a bóru. Často se označují NID (zkratka z anglických slov *Neodym, Iron, Bor*) nebo Neo ze slova neodym. Samariové magnety jsou ve skutečnosti slitinou samaria a kobaltu, proto se označují SmCo. Vývoj těchto magnetů zaznamenal nebývalý rozkvet v 70. a 80. letech 20. století.

Ne vždy je ale zapotřebí extrémně silný magnet ze vzácných zemin. Pro běžné potřeby (upevnění vřezku na lednici) postačí magnety ze slitiny hliníku, niklu a kobaltu (alnico, toto označení vzniklo

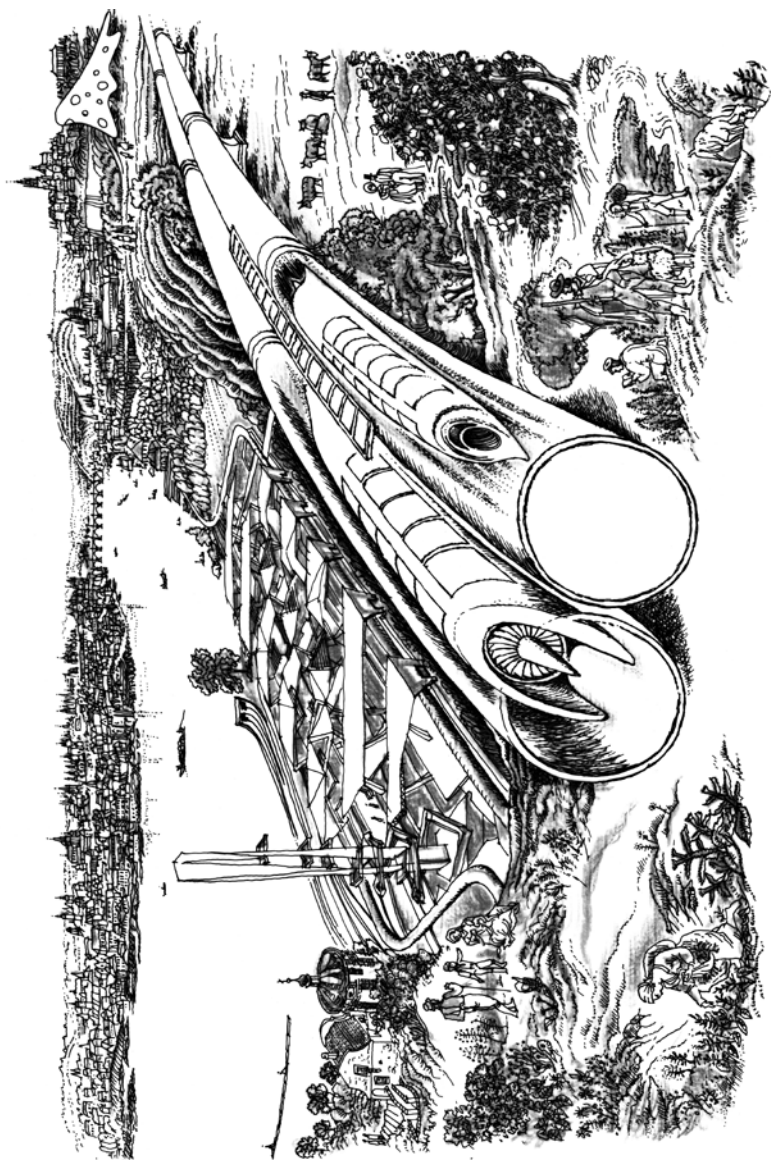
2 **Neodym a samarium** – měkké, stříbřitě bílé přechodné kovové prvky patřící ke vzácným zeminám. Neodym je čtvrtý a samarium šesté ze skupiny lanthanoidů. Hlavní uplatnění nalézají tyto prvky při výrobě mimořádně silných permanentních magnetů. Slouží také k výrobě speciálních skel a keramiky. Neodym izoloval rakouský chemik baron Carl Auer von Welsbach v roce 1885, samarium objevil švýcarský chemik Jean Charles Galissard de Marignac roku 1853.

z chemických značek těchto prvků). Vyrábějí se v nejroztodivnějších tvarech a provedeních a dnes jde o nejčastěji používané magnety. Od 60. let se také vyrábějí keramické magnety a ferity, nejsou ale příliš teplotně stálé. Magnetický prach a pudr lze integrovat do různých plastů a gum. Vzniknou tak slabé ohebné magnety, jejichž využití v poslední době stále roste.

Dočasné magnety získají magnetické chování, pokud jsou ponořeny do magnetického pole jiného magnetu. Dočasné magnety se vyrábějí z tzv. magneticky měkké oceli. Typickým příkladem jsou hřebíky, které lze přitáhnout magnetem, ale o samotě svůj magnetismus rychle ztrácejí. Z magneticky měkké oceli se vyrábějí jádra cívek v zařízeních, kde je vhodné dočasné magnetické vlastnosti cívky zesílit, ale po vypnutí proudu je třeba, aby v přístroji magnetické pole zaniklo.

Elektromagnety vytvářejí magnetické pole při průchodu elektrického proudu vodičem. Ten bývá často stočen do mnoha závitů tvořících cívku, v jejímž středu vzniká silné magnetické pole. Uvnitř cívky bývá jádro z magneticky měkké oceli, které zesílí účinky elektromagnetu. Obří elektromagnety se používají v docích i jinde k přemísťování velkých, zpravidla železných kontejnerů (musí být z magneticky aktivního materiálu) nebo železného šrotu. Elektromagnet by měl fungovat jen při přemísťování břemene a magnetické pole musí zaniknout při položení břemene na nové místo. Zde jsou elektromagnety s jádrem z magneticky měkké oceli ideálním nástrojem. Jejich největší výhodou je možnost jednoduše měnit přitažlivou sílu magnetu pomocí velikosti protékajícího elektrického proudu. Elektromagnety se používají i v běžné elektronice, kde pohybují různými součástkami, například membránou reproduktoru.

Supravodivé magnety by vydaly na samostatnou knihu. Supravodivost objevil v roce 1911 holandský fyzik Kamerlingh-Onnes (1853–1926), který zjistil, že při ochlazení rtuti pod teplotu 4,2 K dochází k prudkému poklesu elektrického odporu až na milióntinu původní hodnoty. Za tento objev obdržel v roce 1913 Nobelovu cenu za fyziku, ale ještě dlouho trvalo, než se podařilo na základě



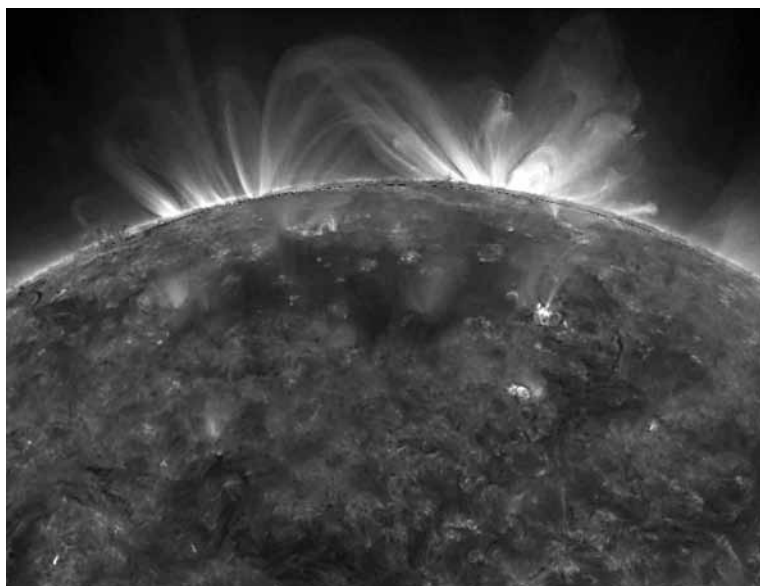
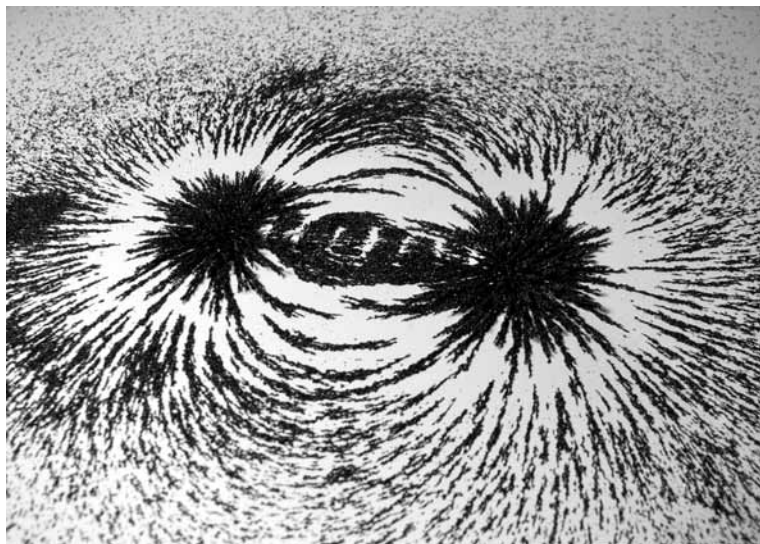
Projekt Hyperloop z dílny miliardáře Elona Muska.

kvantových výpočtů vysvětlit, proč se elektrony v ochlazeném materiálu pohybují bez odporu. Při velmi nízkých teplotách se některé látky, stejně tak jako rtuť, stávají supravodivými a nekladou průchodu elektrického proudu žádný odpor. Supravodivé magnety patří k nejsilnějším magnetům vůbec. Například cívka vyrobená z niobu se stává supravodivou při teplotách pod 9 kelvinů a nepatrný proud v ní generuje silné magnetické pole. Takový supravodivý magnet nepotřebuje ani žádné kovové jádro. V roce 1983 byla objevena vysokoteplotní supravodivost u speciálně připravených keramik. Ty se stanou supravodivými už při ponoření do kapalného dusíku, tedy při teplotách 63 až 77 K. Kapalný dusík je relativně levný, a tak objev vysokoteplotní supravodivosti způsobil bouřlivý rozvoj nových technologií.

Supravodivé magnety využívají vlaky Maglev (zkratka ze slov magnetická levitace). Takový vlak nemá žádná kola. Jak v trati, tak ve vlaku se nacházejí supravodivé magnety a vlak se pohybuje několik centimetrů nad kolejnicí, kde je držen magnetickým polem. Systém byl poprvé komerčně vyvinut v Německu, používá se ale i v čínské Šanghaji, kde spojuje letiště s periferií města, nebo v Japonsku. V roce 2015 bylo na japonské trati dosaženo rekordní rychlosti 603 km/h. Vyšší rychlosti brání především odpor vzduchu, proto by se v budoucnosti měly podobné vlaky pohybovat ve vakuovaných tunelech. Pokud by takovým dopravním prostředkem byla spojena Praha s Bratislavou, trvala by cesta mezi oběma městy necelých 20 minut. Projekt existuje pod názvem Hyperloop a je myšlen zcela vážně. Zrodil se v roce 2013 v hlavě miliardáře Elona Muska, který je mj. otcem projektu soukromých vesmírných lodí SpaceX. První několikakilometrová testovací dráha se již začala stavět severně od Las Vegas a měla by být dokončena v roce 2016. S prvními vlaky pro cestující se počítá v roce 2021.

Siločáry

Interakci magnetu s okolím zakreslujeme pomocí siločar. Jde o linie, do jejichž směru by se zorientovaly malé magnety rozmístěné v okolí zdroje. Na tyčový magnet můžeme například položit čtvrtku



Zobrazení siločar neodymového magnetu magnetickými pilinami (nahore, zdroj: Windell Oskay) a slunečních siločar ultrafialovým zářením generovaným kroužícími elektrony (dole, zdroj: NASA/SDO). V barevném provedení naleznete sluneční siločáry na 11. obrázku barevné přílohy.

papíru a na ní nasypat železné piliny. Pokud s nimi zatřese, zorientují se ve směru siločar. K jejich zakreslení můžeme použít i střílku kompasu, která se vždy orientuje ve směru siločar. Siločáry jsou hustší v blízkosti magnetických pólů, jejich hustota zobrazuje intenzitu magnetického pole. Siločáry se nikdy neprotínají a nenalezneme místo, ze kterého by vyvěraly. To je rozdíl oproti elektrickému poli, u něhož siločáry vyvěrají z kladných nábojů a mizí v záporných nábojích. Magnetické siločáry nikde nevyvěrají, říkáme, že neexistují magnetické monopóly, které by byly jejich zdroji. Ani v pólech tyčového magnetu se siločáry nesbíhají do jediného bodu, ale pokračují skrze pól do nitra magnetu. Každý zdroj magnetického pole má uzavřené siločáry, které se do něho vrací a otevřené siločáry, které magnet opouští a napojují se na siločáry jiných zdrojů. Například otevřené siločáry vycházející ze střílky kompasu se napojují na zemské siločáry, do jejichž směru se střílka pootočí, a míří proto severojižním směrem.

Siločarám se také někdy říká silokřivky, ale správný název daný normou je „magnetické indukční čáry“. Tento nehezký termín používá ale jen málokdo. Stejně tak nás tvůrci normy platné od 1. ledna 2003 dodnes nepřesvědčili o tom, že nesmíme říkat rum a máme pro tento nápoj starých námořníků používat nesmyslné slovo „tuzemský“. Někteří normotvůrci zkrátka patří k zavrženíhodným parazitům společnosti.

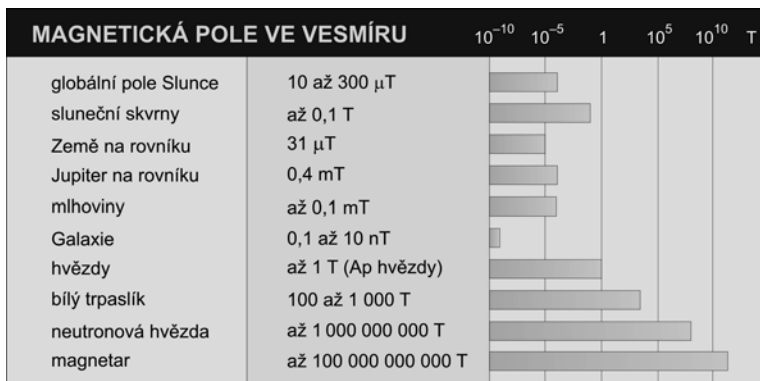
Nabité částice kloužou podél siločar. Pokud se pohybují ve směru siločáry, nepůsobí na ně žádná síla. Pokud se začnou pohybovat napříč magnetickým polem, působí na ně síla kolmá jak na vektor jejich rychlosti, tak na magnetické pole. Výsledkem je trajektorie stočená do šroubovice. Částice pohybující se po šroubovici vyzařuje elektromagnetické vlny a např. ve slunečním plazmatu nám elektrony svítící v ultrafialovém oboru zviditelňují magnetické siločáry stejně dobře, jako železné piliny zviditelňují siločáry tyčového magnetu.

Siločáry jsou pouhým zobrazením magnetické síly. Její skutečná podstata tkví ve výměně polních částic (fotonů) mezi dvěma magnety nebo mezi magnetem a přitahovaným předmětem.

Magnety ve vesmíru

Magnetické pole je součástí vesmíru a nalezneme ho doslova na každém kroku. Již jsme se zmínili, že samotná Země se chová jako obří magnet. Pokud bychom si chtěli zdroj zemského pole představit jako tyčový magnet, zaujímal by asi pětinu zemského průměru, jeho střed by byl od středu Země vzdálen více než 500 kilometrů (7,5 % poloměru) ve směru 18,3° severní šířky, 147,8° východní délky a jeho osa by byla skloněná od rotační osy Země o úhel 11°. Uvnitř Země ale žádný tyčový magnet samozřejmě není, magnetické pole způsobují elektrické proudy tekoucí v jejím nitru (odhaduje se, že dosahují až miliardu ampérů). Magnetické pole Země je jen zdánlivě stálé – díky rotaci Země vůči slunečnímu větru mění magnetický pól na povrchu Země během dne svou polohu o desítky kilometrů. Plazmoidy přicházející ze Slunce se slunečním větrem dokáží narušit zemské pole natolik, že se mohou objevit magnetické bouře, v jejichž průběhu střelka kompasu nemíří v severojižním směru. Změny pole při magnetické bouři jsou relativně pomalé, ručička kompasu komíhá s periodou desítek sekund až minut, takže magnetickou bouři snadno odlišíme od třesoucích se rukou, ve kterých kompas držíme. V průběhu magnetických bouří pronikají elektrony ze slunečního větru polárními oblastmi do horních vrstev atmosféry, kde excitují kyslík, vodík a dusík a způsobují nádherné polární záře. Z dlouhodobého hlediska se severní magnetický pól pomalu přesouvá z Aljašky směrem na Sibiř, posun činí přibližně 15 kilometrů za rok. V ještě větších časových úsecích dochází k přepólování zemského dipólu, tj. k výměně severního a jižního pólu. Podle záznamů v sedimentech došlo k poslednímu přepólování před 700 000 lety a další přepólování na sebe nenechá dlouho čekat. Krátké období ale v geologii může trvat i tisíce či desetitisíce let. Před nabitými částicemi přicházejícími z vesmíru je Země chráněna magnetickým polem i v průběhu přepólování, pole má jen složitější tvar než u jednoduchého dipólu.

Magnetické pole má samozřejmě i naše Slunce, a to jak globální, tak lokální spojené se slunečními skvrnami. Z planet mají magnetické pole všechny planety s výjimkou Marsu a Venuše. Magnetické



pole mají hvězdy, mlhoviny a nachází se i v mezihvězdném prostoru. Plyn a prach v rovině Galaxie obsahuje atomy železa a prachová zrnka proto precedují³ kolem siločar magnetického pole jako miniaturní mikrometrové magnety. Při tom vyzařují polarizované záření v milimetrové oblasti. Z analýzy tohoto záření sondou Planck byla poprvé v roce 2015 dopočtena mapa průběhu magnetických siločar v rovníkové oblasti naší Galaxie. Magnetické pole ale nalezneme i v rozsáhlejších oblastech mezi galaxiemi nebo mezi kupami galaxií.

Kde je ale ve vesmíru magnetické pole nejsilnější? Je to u malých rotujících neutronových hvězd, kde pole dosahuje až miliardy tesla. Je to proto, že pole je vázáno na látku hvězdy, a pokud se hvězda v závěrečných fázích svého vývoje smrští, siločary se k sobě dostanou blíže a pole je silnější. Proto mají malé hvězdy na konci hvězdného vývoje obvykle extrémně veliké pole. U neutronových hvězd se dokonce v některých případech pole ještě zesílí efektem tzv. tekutinového dynama, při němž elektrické proudy vznikající v rotující hvězdě vytvoří dodatečné pole. Tak vznikají magnetary – neutronové hvězdy s polem až stovek miliard tesla. O mnohých z těchto objektů je podrobně pojednáno v knížce *Hvězdy, planety, magnety*.

3 **Precese** – obecně pohyb osy setrvačníku po kuželové ploše vlivem vnějších sil. V astronomii tak označujeme kuželový pohyb zemské osy s periodou 25 725 roků (tzv. Platónský rok). Pohyb osy způsobují kombinované síly Slunce, Měsíce a planet. Díky tomuto pohybu byla Polárkou egyptské civilizace hvězda Thuban ze souhvězdí Draka. Precese po kuželové ploše také probíhá u osy magnetického dipólu vloženého do magnetického pole.

Víte, že

■ Víte, že anglický název pro magnetit, *lodestone*, vznikl jako zkratka ze slov *leading stone*? Z magnetitu se dělaly první střelky kompasů a magnetit byl tedy kámen, který vedl námořníky severojižním směrem, proto *leading stone* (kámen, který vede).

■ Víte, že rovnice popisující základní vlastnosti elektřiny a magnetizmu sepsal anglický fyzik James Clerk Maxwell čtvrt století před objevem elektronu, částice, která je s elektřinou i magnetizmem bytostně spojená? Maxwell publikoval své rovnice v roce 1873, zatímco elektron objevil Joseph John Thomson až v roce 1897, tj. o 24 let později.

■ Víte, že někteří ptáci, hmyz a motýli se dokáží orientovat podle magnetického pole? My lidé nemáme na magnetické pole žádné receptory. Někteří živočichové ale zemské magnetické pole nějakým způsobem vnímají a umějí podle něho svůj pohyb koordinovat.

■ Víte, že Číňané využívali magnetit při léčbě nemocných a přikládali ho k akupunkturním bodům? Dnešní medicína se po staletích k magnetoterapii vrací a v současnosti je uvolňování bolesti magnetickým polem běžnou součástí rehabilitačních procedur.

■ Víte, že magnet padající kovovou trubkou neletí volným pádem, ale snáší se dolů pomaleji? Je to způsobeno tím, že letící magnet způsobí v okolním vodiči vířivé proudy, a ty vytvoří nové magnetické pole brzdící pád magnetu.

Poučení na závěr: *Zdá se vám, že si magnetické nebo elektromagnetické pole nedokážete představit? Pak se tím netrapte, nejste sami. Elektromagnetické pole je nelokální kvantový objekt, někdy ho vnímáme jako částici, jindy jako vlnění. Pro takové objekty člověk vhodnými receptory vybaven není a představit si je tedy nedokáže. Vždyť jen vidina fotonu, který je současně na dvou místech, nás dohání k šílenství, neboť bychom si také přáli být současně v zaměstnání a na dovolené. A pokud vám někdo říká, že ví, jak elektromagnetické pole vypadá, pak buď netuší, o čem hovoří, nebo nemluví pravdu.*

6. O teplotě



*Až hvězdy jedna po druhé pohasnou,
nebude světlo ani teplo.
Tehdy nastane marný boj
proti temné a chladné prázdnotě
řítící se k nám.
Rick Yancey*

Teplotu budu mít jedou provždy spojenou s počátky mé lektor-
ské činnosti. Byla jí totiž věnována má úplně první přednáš-
ka pro veřejnost, která se uskutečnila na petřínské hvězdár-
ně ještě v době mých gymnaziálních studií. Na hvězdárně jsem si
přivydělával jako demonstrátor a mou hlavní činností bylo ukazovat
návštěvníkům krásy noční oblohy. Když jsem byl požádán o přednáš-
ku, docela mě to zaskočilo. Uvědomil jsem si, že vyprávění o teplotě
jako projevu chaotického pohybu atomů a molekul na hodinu a půl
nevystačí, a tak mě napadlo, že budu přednášku prokládat čtením
názorů významných fyziků. Dnes se dá podobná vata udělat snad-
něji – pustí se různá videa k tématu a je to. Nakonec nadešel den D.
Měl jsem neskutečnou trému a klepal se jako ratlík stížený zimnicí.
Na přednášku se dostavilo pět lidí, z toho jeden neduživý stařec
s holí. Aby sál nebyl prázdný, nahnal tam vedoucí dne ostatní demon-
strátory a zaměstnance včetně uklízečky. Po prvních minutách jsem
se kupodivu poněkud uklidnil, tréma lehce polevila a snad se mně
těm lidem podařilo vysvětlit, co si pod pojmem teplota představuje-
me. Přednáška byla ale velmi krátká, proto jsem na závěr návštěvní-
kům nabídl prohlídku kopule. Jenže mezitím se rozpršelo, a tak jsem
ukazoval jen fotografie na stěnách a potom je vzal k nástěnné mapě
hvězdné oblohy. Hovořil jsem o souhvězdích, ukázal jim, jak taková
mapa oblohy funguje a co na ní znamenají různé značky. Barvy
kotouček hvězd na mapě se mně k tématu přednášky celkem hodily
a publiku jsem vysvětlil, že barva hvězd (jak na mapě, tak na obloze)
souvisí s jejich povrchovou teplotou, zkrátka různě horké hvězdy jsou
různě barevné. V té době už mě vydržel poslouchat jen ten stařík
s holí a nemohl mou první přednášku zakončit lépe. Poklepal hůlkou
o podlahu a skřehotavým hláskem se mě optal: „Mladíku, to všechno,
co tu vyprávíte, je hezké, ale kde je na té hvězdné mapě Praha?“

Nyní, po čtyřiceti letech, se znova pokusím vrátit ještě jednou ke stejnému tématu. Vzhůru tedy do chaotického reje atomů a molekul, který se navenek projevuje jako teplota látky, veličina neobyčejně obyčejná.

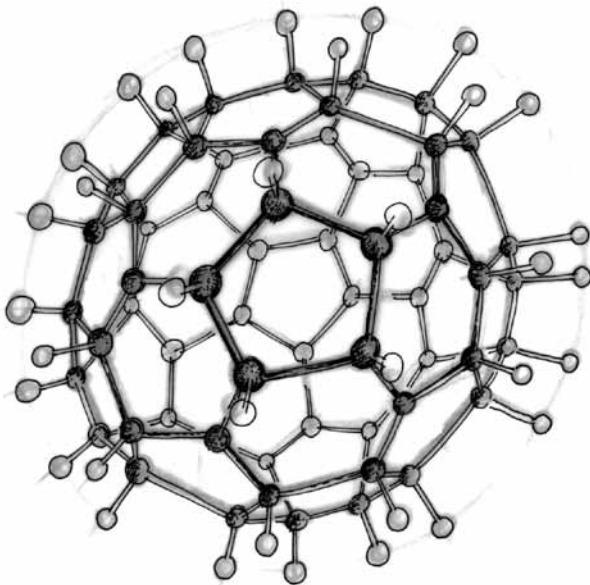
O teplotě

Teplota je mírou chaotického pohybu atomů a molekul. Tuto strohou definici lze rozpracovat metodami statistické fyziky, která se zabývá chováním velkých souborů jedinců. Takovému souboru lze přiřadit střední rychlost – průměrnou hodnotu, se kterou se tito jedinci pohybují. Může jít o průměrnou rychlost proudění řeky nebo o průměrnou rychlost větru. A právě odchylky od této průměrné rychlosti představují chaotickou složku rychlosti, která souvisí s teplotou. Zkrátka odmyslíme-li si uspořádanou složku, pak platí, že čím živěji se pohybují jedinci našeho souboru částic, tím vyšší je jeho teplota. Už z této jednoduché definice jsou patrné dvě zajímavé vlastnosti teploty:

1) pro malé množství jedinců nelze teplotu definovat, neboť nedokážeme pohyb rozdělit na uspořádanou a neuspořádanou složku. Jednomu elektronu či jedinému atomu nelze teplotu přiřadit. Musí jít alespoň o desítky nebo stovky jedinců, jak je tomu například u fullerenů¹, obří kouli z mnoha uhlíkových atomů, které se vůči sobě mohou nejrůznějšími způsoby třepotat a natáčet, a proto není žádný problém definovat chaotickou složku rychlosti.

2) Teplota je tzv. *intenzivní veličina*, která nezávisí na množství látky, ale vypovídá o vlastnostech látky jako takové. Je jedno, zda si natočíte z kohoutku jednu skleničku teplé vody nebo celý kbelík. Teplota bude v obou případech totožná. Právě to ji odlišuje od tepla, druhu energie, jehož velikost závisí na množství látky. K teplu se ale dostaneme až v další kapitole. Podobnými intenzivními veličinami jsou hustota, elektrické pole nebo magnetické pole.

1 **Fullereny** – sférické struktury tvořené atomy uhlíku, rozměr této obří molekuly je kolem 0,7 nm. Nejdůležitější z fullerenů jsou C_{60} , C_{50} a C_{70} obsahujících 60, 50 a 70 atomů uhlíku. Fullereny za normálních podmínek sublimují při teplotách nad 500 °C. Fullereny jsou pojmenovány po americkém architektu Buckminsterovi Fullerovi, který stavěl kopule podobného tvaru.



Fulleren $C_{60}F_{48}$ obsahuje 60 atomů uhlíku, které tvoří povrch koule a z nich trčí do prostoru 48 atomů fluoru. Celkem tato obří molekula obsahuje 1632 protonů a neutronů a lze jí bez problémů přiřadit teplotu.

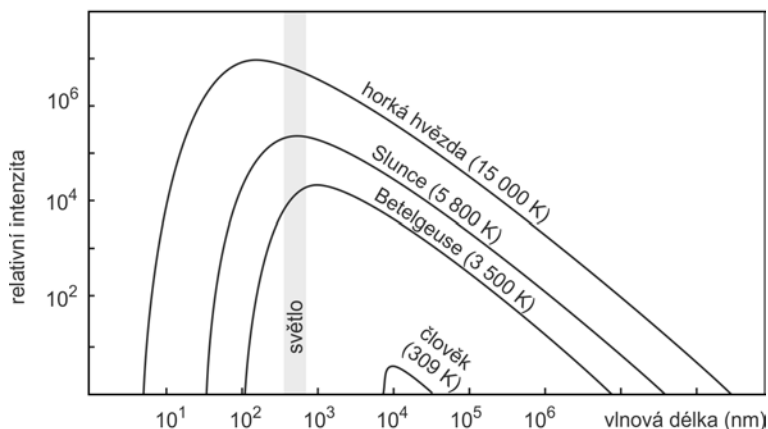
Atomy a molekuly mají vždy nějaký elektrický náboj. Navenek jsou sice elektricky neutrální, ale jejich jednotlivé části náboj mají. A chaoticky se třepotající náboje vytvářejí proměnné magnetické pole. Jak je to možné? Z kapitoly o magnetech už víme, že zdrojem magnetického pole je tekoucí elektrický proud, tedy pohybující se nabitá částice. Pokud se nabitá částice pohybuje chaoticky, vytváří chaoticky se měnící magnetické pole. Takové proměnné magnetické pole je ovšem doprovázeno i proměnným elektrickým polem a to už není nic jiného než elektromagnetická vlna. Každé těleso s nenulovou teplotou je zdrojem elektromagnetických vln. Německý fyzik Wilhelm Wien (1864–1928) zjistil v roce 1893, že čím je těleso teplejší, tím kratší vlnové délky vyzařuje. Ono je to vcelku pochopitelné. Kratší vlnové délky znamenají vyšší frekvenci záření, což odpovídá vyšší energii chaotického reje atomů a molekul. Wienem objevený zákon se dnes nazývá *Wienův posunovací zákon*. Slůvko posunovací by u někoho mohlo evokovat posunování vagónů na

železnici, zde má ale jiný smysl: se zvýšením teploty se posunuje maximum vyzařování do kratších vlnových délek. Wien dostal za svůj objev Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1911.

Horké plazma v nitru hvězd, kde probíhá termojaderná syntéza, vyzařuje v nejtvrdších oborech elektromagnetického spektra – gama a rentgenovém. Povrch hvězd má ale nižší teplotu a vyzařuje na delších vlnových délkách. Nejteplejší hvězdy se nazývají Wolfovy-Rayetovy hvězdy, jejich povrchová teplota je od 30 000 do 200 000 kelvinů² a vyzařují až v ultrafialové oblasti. Hvězdy s povrchovou teplotou kolem 10 000 kelvinů mají maximum vyzařování v modré barvě, naše Slunce má povrchovou teplotu zhruba 5 800 K a je zdrojem bílého světla s maximem vyzařování na 500 nm. Nejchladnější hvězdy jsou červené. K nim patří například Betelgeuse ze souhvězdí Orion. Její povrchová teplota je „jen“ 3 500 kelvinů a maximum vyzařování je na vlnové délce 830 nm, což je už v infračervené oblasti. Barva hvězd přímo odpovídá jejich povrchové teplotě. Vždy jde jen o barvu odpovídající maximu vyzařování, hvězdy i další objekty září i na kratších a delších vlnových délkách, ale s nižší intenzitou. Světlo hvězd můžeme na jednotlivé barvy rozložit pomocí hranolu nebo spektrální mřížky. Na ještě delších vlnových délkách než hvězdy září hnědí trpaslíci, chladné mlhoviny nebo galaktický prach. Nejchladnější zákoutí ve vesmíru vyzařují v infračerveném a mikrovlnném oboru. Takový elektromagnetický signál ale člověk nedokáže vnímat, a je proto odkázán na různé přístroje.

Jak jsme se již zmínili, každé těleso s nenulovou teplotou vyzařuje elektromagnetické vlny. Například člověk, jehož normální teplota je 36 °C (309 K) vyzařuje maximum elektromagnetického vlnění na vlnové délce 10 mikrometrů, což je dobře patrné na různých infra-

2 **Kelvin** – jednotka absolutní (termodynamické) teploty, která má počátek na teplotě $-273,15\text{ °C}$ (nejnižší možné teplotě). Jeden stupeň Kelvina je shodný s jedním stupněm Celsia, počátek obou stupnic je ale různý. U teploty vyjadřované v kelvinech nepíšeme stupně. Teplota tuhnutí vody je 0 °C , čemuž odpovídá $273,15\text{ K}$. V současné soustavě jednotek SI je kelvin definován jako $1/273,16$ díl absolutní teploty trojného bodu vody (teplota $0,01\text{ °C}$ nebo $273,16\text{ K}$, při níž se voda vyskytuje ve všech třech skupenstvích). Od roku 2018 by měl být kelvin definován zafixováním Boltzmannovy konstanty (tepelné kapacity jednoho vibrujícího oscilátoru).

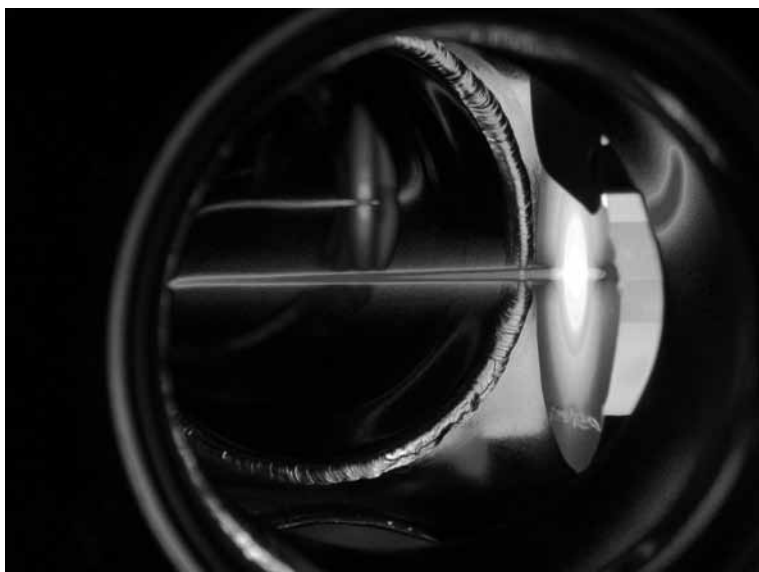


Wienův posunovací zákon. Maximum vyzařování se s teplotou posouvá k delším vlnovým délkám. Zdroj: Addison-Wesley Longman.

kamerách. Vyzařování člověka využívají čidla na zloděje a podobnou verbež. Na 13. snímku barevné přílohy naleznete na záznamu z termokamery svit členů spolku Aldebaran, který vydal tuto knihu. Žáří samozřejmě i mnohem chladnější tělesa, například potraviny v mrazáku nebo sonda ve vesmírném prostoru. Proto jsou některé sondy, kterým by jejich vlastní vyzařování bylo na obtíž, chlazeny kapalným héliem na teplotu několika kelvinů.

Odkud přichází mráz?

Podle známé knížky Zdeňka Mlynáře by měl mráz přicházet z Krem-lu, nicméně podle fyzikálních zákonů je v Kremlu stále ještě poněkud horko. Vkrádá se samozřejmě logická otázka: Jaká je nejnížší možná teplota látky? Na první pohled se zdá, že odpověď je jedno-duchá. Se snižováním teploty se zmenšuje chaotický pohyb atomů a molekul. Nejnížší teplota tedy bude stav látky bez chaotického pohybu. Jakýsi klid a mír, při němž se už základní částice hmoty nepohybují. Má to ale svůj háček. Podle zákonů kvantové teorie to možné není. Představme si, že bychom ochlazovali nějakou krys-talickou látku. Při nejnížší možné teplotě by veškerý pohyb ustal a ionty by byly nehybné ve vrcholech krystalické mříže. A to je



Laserové ochlazování atomů erbia zachycených v elektromagnetické pasti.

Zdroj: NIST.

ten problém. Současně bychom znali jejich polohu (ve vrcholech) i jejich rychlost (nulovou). Takovou situaci ale kvantové zákony mikrosvěta neumožňují. Nikdy nemůžeme současně poznat polohu i rychlost objektu mikrosvěta. Mikrosvět je jakoby kvantově rozmazán a i obyčejný harmonický oscilátor má nejnižší energii nenulovou, tj. vždy vykonává určité základní (tzv. nulové) kmity, které zastavit nelze. Ze stejného důvodu nezůstane ani krystal úplně v klidu, i kdyby byla teplota sebemenší. Ionty budou trochu vibrovat i při nejnižším možném energetickém stavu. Správnější definice nejnižší teploty (tzv. absolutní nuly) by tedy měla být: jde o teplotu, při níž je systém v nejnižším možném energetickém stavu. Pohyb jeho atomů a molekul není nulový, ale nejmenší možný, který připouští zákony kvantové teorie³.

3 Obdobná úvaha platí i pro vakuum. To nemůže být nikdy zcela prázdné, protože nemůžeme současně naměřit nulovou hodnotu elektromagnetického pole i jeho hybnosti. Ve vakuu tedy vždy budou přítomné určité základní fluktuační elektromagnetického i dalších polí.

Absolutní nula je u běžných těles něco jako nedostižitelná chiméra. Třetí věta termodynamická říká, že ji nelze dosáhnout konečným počtem kroků. Těleso můžeme sofistikovaně ochlazovat a absolutní nule se můžeme libovolně přiblížit. Nikdy ji ale u makroskopického systému nemůžeme zcela dosáhnout. Lidé jsou tvorové vynalézaví a umějí dosáhnout i extrémně nízkých teplot za pomoci technologie laserového ochlazování. Tato technika využívá k ochlazování atomů laserového světla s vlnovou délkou nepatrně nižší než je charakteristický elektronový přechod v atomu. Toto „podladění“ laseru má za následek, že atomy v důsledku Dopplerova jevu⁴ absorbují větší množství fotonů, pokud se pohybují směrem ke zdroji (frekvence se „zvýší“ na správnou hodnotu). Při interakci s fotonem atom ztrácí odpovídající hybnost ve směru zdroje světla. Při následném vyzáření fotonu sice hybnost opět získá, ale v náhodném směru, takže po mnoha emisních aktech bude získaná hybnost minimální. Zpravidla se používá šestice laserů ve směru a proti směru tří souřadnicových os. Ať se atom vydá kamkoli, vždy proti němu bude svítit laser se správně posunutou frekvencí, který sníží jeho hybnost. Mnohonásobným opakováním lze shluk atomů ochladit na několik milardtin kelvinu!

Technologii poprvé odzkoušel David Wineland (1944) z amerického Národního institutu pro standardy a technologie (NIST) v roce 1978. V roce 1985 ji dovedli k dokonalosti američtí fyzikové Steven Chu (1948) a William Phillips (1948), kteří dosáhli při přípravě extrémních forem látky nanokelvinových teplot. V roce 1997 byla za tento objev udělena Stevenovi Chuovi a Williamovi Philipsovi Nobelova cena za fyziku. Třetím oceněným byl francouzský fyzik Claude Cohen-Tannoudji (1933), který vysvětlil teoreticky podstatu této revoluční metody. Duchovní otec metody, David Wineland získal toto ocenění až v roce 2012, a to za nedestruktivní měření stavů extrémně ochlazených iontů udržovaných v elektromagnetické pasti.

4 **Dopplerův jev** – změna frekvence vlnění při vzájemném pohybu zdroje a pozorovatele. Přibližuje-li se pozorovatel ke zdroji, naměří vyšší frekvenci, než když se vzdaluje. Může jít o zvukové, elektromagnetické i jakékoli jiné vlnění. Je poprvé popsal rakouský matematik a fyzik Christiaan Doppler (1803–1853), který část svého krátkého života strávil jako profesor pražské Polytechniky, předchůdkyni dnešního ČVUT v Praze.

Jaké jsou tedy nejnižší teploty vůbec? Na povrchu Země byla nejnižší teplota naměřena dne 21. července 1983 na antarktické stanici Vostok. Teploměr tehdy ukázal pouhých $-89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ve vesmíru má nejnižší teplotu reliktní záření z období konce Velkého třesku. Při svém vzniku mělo teplotu několik tisíc kelvinů, dnes je jeho teplota jen 2,73 kelvinu. Jde o teplotu vesmírného pozadí, proto nic přirozeně se ve vesmíru vyskytujícího už nemůže být chladnější. Přístroje evropské sondy Planck (2009–2013) umístěné v ohnisku dalekohledu byly chlazeny na desetinu kelvinu. Chlazení bylo čtyřstupňové, poslední stupeň využíval expanzi kapalného hélia protlačovaného skrze kapiláry. Chlazení vydrželo do konce roku 2011. Šlo zatím o nejchladnější přístroj vyslaný do vesmíru. Nejnižší teplotu vůbec lze dosáhnout v laboratořích laserovým ochlazováním, při němž se shluky atomů mohou ochladit až na miliardtinu kelvinu.

A kde je výheň pekelná?

O tom, zda existuje také nějaká nejvyšší možná teplota, se vedou vášnivé spory. Část vědců je přesvědčena, že teplota žádnou horní hranici nemá. Druhá část ale předpokládá, že horní hranicí je tzv. Planckova teplota⁵. Jde o kombinaci gravitační konstanty, Planckovy konstanty a rychlosti světla, která dá veličinu s rozměrem teploty. Planckova teplota vychází 10^{32} K , význam této hodnoty dodnes není jasný. Ti, kteří předpokládají, že jde o nejvyšší možnou hodnotu teploty, ji nazývají *absolutní horko* (analogicky s absolutní nulou).

Kde ale v přírodě nalezneme skutečně velké teploty? Na povrchu Země byla nejvyšší teplota naměřena dne 10. července 1913. Bylo to ve východokaliifornském Údolí smrti. Toto údolí je vyplněné solným jezerem Badwater, které leží 86 metrů pod úrovní moře. Nejvyšší teplota $56,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve stínu byla naměřena na ranči Greenland (55 metrů pod úrovní moře, $36^{\circ}27'\text{S}$, $116^{\circ}51'\text{Z}$). V roce 1922 byla v Libyi naměřena teplota $58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tým expertů Mezinárodní meteo-

5 **Planckovy škály** – charakteristické hodnoty veličin získané kombinací fundamentálních konstant (gravitační konstanty, Planckovy konstanty a rychlosti světla). Planckova délka vychází 10^{-35} m , Planckův čas 10^{-43} s , Planckova energie 10^{19} GeV a Planckova teplota 10^{32} K .

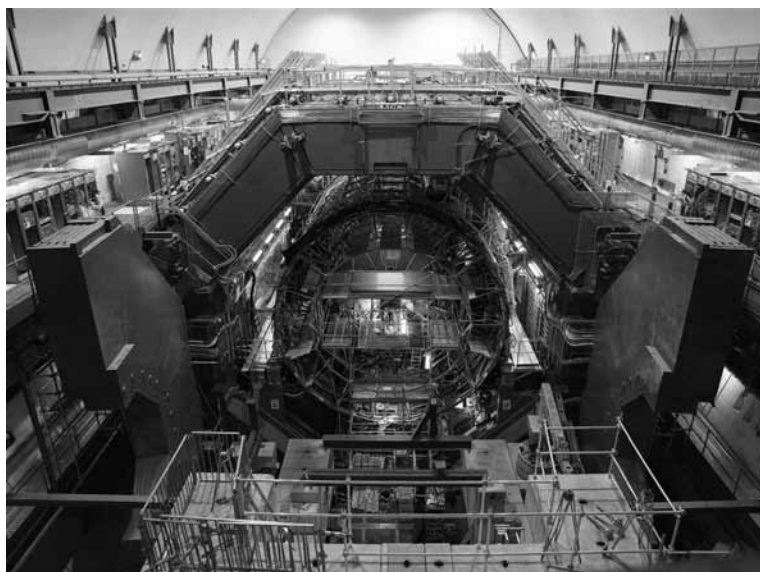
rologické organizace tento rekord v roce 2012 označil za nedůvěryhodný a neuznal ho. Mapu průměrné teploty na Zemi naleznete na 12. obrázku barevné přílohy.

Země má nejteplejší vnitřní jádro, jehož teplota se odhaduje na 5 700 K, což znamená, že je žhavé téměř jako povrch Slunce. Ve vesmíru je nejvyšší teplota v nitrech hvězd. Teplota slunečního jádra se odhaduje na 15 milionů kelvinů. V jádrech obřích hvězd může být teplota mnohonásobně vyšší. Typ fúzních reakcí, které probíhají v nitrech hvězd výrazně závisí na teplotě. Při vyšších teplotách se fúzních reakcí zúčastňují i větší atomová jádra, například uhlík, dusík nebo kyslík.

Nejvyšší teplota dosažená v laboratoři je 2×10^{12} kelvinů. Tato teplota je více než stotisíckrát vyšší než teplota nitra Slunce a bylo jí dosaženo poprvé v částicovém centru CERN v roce 2000. Cílem experimentu bylo vytvořit pralátku, která byla ve vesmíru v průběhu Velkého třesku. Od roku 1994 se o to pokoušela v komplexu CERN řada vědců. Nakonec se jim to podařilo. Urychlené jádro olova nastřelili vysokou rychlostí na jiné, statické jádro. Uvolněná energie zahřála oblast srážky na 2 biliony kelvinů a stlačila na dvacetinásobek hustoty atomového jádra. Srazivší se neutrony a protony se rozmělnily na kvarkové-gluonové plazma – žhavou kouli složenou z kvarků⁶ a gluonů⁷. Obdobná forma látky byla ve vesmíru v časech kratších než jedna mikrosekunda a právě z ní postupně vznikaly neutrony a protony. Proto se cernskému experimentu začalo říkat Malý třesk. V současnosti je příprava této pralátky s teplotou několika bilionů kelvinů možná jen na dvou místech na světě. Prvním je detektor ALICE na největším urychlovači světa LHC (*Large Hadron Collider*) v komplexu CERN v blízkosti švýcarské Ženevy. Druhým jsou detektory Phoenix a Star na urychlovači RHIC (*Relativistic Heavy Ion Collider*) v Brookhavenské národní laboratoři na Long Island ve Spojených státech.

6 **Kvarky** – částice, z nichž jsou tvořeny větší částice, kterým říkáme hadrony. Hadrony dále dělíme na baryony složené ze tří kvarků (například protony a neutrony) a na mezony tvořené kvarkem a antikvarkem (například piony).

7 **Gluony** – polní částice silné interakce, které spojují kvarky do větších celků, například neutronů a protonů a které jsou zodpovědné i za soudržnost atomového jádra. Název vznikl z anglického slova glue (lepídko, pojivo).



Detektor Alice na urychlovači LHC v částicovém středisku CERN v blízkosti Ženevy. Jde o jedno ze dvou míst na světě, kde je možné dosáhnout při srážce těžkých jader (zde jader olova) teploty několika bilionů kelvinů a připravit pralátku, která byla ve vesmíru v časech kratších než jedna mikrosekunda. Zdroj: CERN.

Na počátku Velkého třesku byla nepochybně ještě vyšší teplota, snad mohla dosáhnout i Planckovy teploty 10^{32} kelvinů. Ale tak extrémní situaci v laboratoři zopakovat nedovedeme. Rozhodně tato teplota ale nebyla nekonečná, jak se píše v některé literatuře. Nekonečné teplotě a hustotě na počátku by zabránily kvantové procesy. Vznik vesmíru je stále zahalen tajemstvím a vše, co si o původu vesmíru myslíme, jsou zatím jen nepodložené hypotézy. Lidé jsou ale mimořádně zvědaví a možná jednou přijdou na kloub i záhadě původu světa kolem nás.

Víte, že

■ Víte, že celé jméno Wilhelma Wiena, který objevil posunovací zákon, je Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien? Nesnažte se ho zapamatovat, ani autor této knihy nezná jméno tohoto vynikajícího fyzika nazpaměť.

■ Víte, že nejčastěji používané teploměry využívají k měření teploty změnu objemu rtuti nebo lihu s teplotou? Existují ale i jiné teploměry, například bimetalové, v nichž se teplota měří zkroucením dvojice spojených plíšků s různou roztažností. Častá jsou také různá elektronická čidla, která na změnu teploty reagují měnícím se elektrickým odporem, a tím tekoucím elektrickým proudem.

■ Víte, že při extrémně nízké teplotě obsazují částice s poločíselným spinem kvantové stavy postupně? Je to důsledkem tzv. Pauliho vylučovacího principu, podle kterého se dvě takové částice nemohou nacházet ve stejném stavu. Elektrony proto obsazují hladiny v atomárním obalu jeden za druhým, což vede k různým vlastnostem různých prvků.

■ Víte, že při extrémně nízkých teplotách obsazují částice s celočíselným spinem stejný kvantový stav? Vytvářejí přitom tzv. Boseho-Einsteinův kondenzát (BEC), při němž se všichni jedinci chovají jako jeden jediný makroskopický celek. Nejznámějšími příklady BEC kondenzátu jsou supravodivé nebo supratekuté látky.

Poučení na závěr: Ať je teplo jako v pekle či mráz jako na Sibíři, stále jde o slabý odvar teplotních extrémů, na které můžeme narazit ve vesmíru. A možná bude hůř. Pokud je správný scénář tepelné smrti vesmíru, bude teplota neustále klesat, až se veškerá krása vůkol rozplyne v mrazivé temnotě. Proto užijeme života, dokud v nás krev kolotá.

7. O teple



*Perpetuum mobile je stroj,
kterému lze předat nekonečné množství energie
a on stejně udělá houby.
Murphyho zákony*

Miluji teplo. Tím neříkám, že nemám rád zimu, ta patří jaksi samo sebou k lyžování a jiným zimním radovánkám. Ale prohřát si ztuhlé tělo na slunci či u roztopeného krbu je pro mě zážitek přímo labužnický. Rád se také dívám do plápolajících plamenů ohně, na odsakující jiskry a okouzluje mě vůně hořícího dřeva u táboráku. Oheň miluji stejně jako teplo. Báť jsem se ho jen jednou, a to když táta do naftového topení omylem nalil z nesprávného kanystru benzín. Jinak poklidně šumící naftáky se během několika minut proměnily v rozžhavené, zlověstně hučící monstrum. Naštěstí pomohlo vypnout přívod paliva, i když kamna ještě divoce hořela dobrých pět minut a obava z exploze nádrže byla značná. Tehdy se ve mně mísil přirozený pocit strachu s lehce patologickým obdivem ke krásným plamenům uvnitř. Jak šla léta, můj vztah k hořícímu ohni gradoval. Na jedné z chmelových brigád jsem se celou hodinu fascinovaně díval na hořící stoh slámy, aniž bych dokázal od té podívané odtrhnout oči. Pochopil jsem, že kdesi v mém nitru dřímá duše pyromana.

Po studiích jsem dělal aspiranturu. Byla 80. léta a ve společnosti řádili komunisté jak černá ruka. Vedoucí katedry, profesor Kracík, mně sdělil, že bez vstupu do komunistické strany nemohu nikdy studia dokončit. Smířil jsem se s tím, že se tedy kandidátem věd (jak se onen titul nazýval) nikdy nestanu. Profesor Kracík ale nakonec řešení vymyslel. Jednoho krásného dne za mnou přiběhl a už z dálky volal: „*Už to Petře mám! Ty prokážeš svou společenskou angažovanost jinak. Ty budeš velitel požární hlídky!*“ Svůj kladný poměr k ohni jsem raději zatajil a opatrně se optal, co že jako tato úžasná funkce bude obnášet. Pan profesor svraštil obočí a hluboce se zamyslel. Pravděpodobně vůbec nepočítal s tím, že bych se doopravdy nějak angažoval, ale můj dotaz ho vyvedl z míry jen na chvíli: „*No, když bude hořet, tak budou všichni utíkat. A ty budeš utíkat*

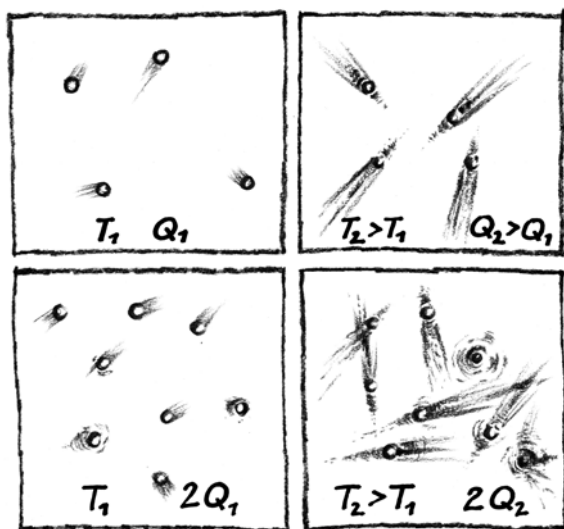
a přitom křičet Hoří!“ A tak jsem se stal – navzdory svému kladnému poměru k teplu a ohni – velitelem požární hlídky a aspiranturu díky tomu řádně dokončil i bez stranické příslušnosti. Naštěstí na fakultě nikdy požár nevypukl...

O teple

Slovo energie nás doprovází téměř na každém kroku. Ve fyzice chápeme energii jako schopnost objektů vykonávat nějakou práci. Energie má mnoho podob, od pohybové energie jedoucího automobilu přes energii chemických vazeb až po jadernou energii. Jednou z energií je energie tepelná, která představuje energii chaotického pohybu atomů a molekul. Nikdy nezaměňujte teplo s teplotou. Teplota charakterizuje „jak moc živě“ se atomy a molekuly pohybují a nezávisí na množství látky. Teplo je energie, která na množství látky naopak závisí. Pokud budete mít dvě nádrže s vodou 80 °C teplou, a první nádrž bude mít objem pouhý litr a druhá 1 000 litrů, pak má voda v obou nádržích sice stejnou teplotu, ale tepelná energie vody obsažená ve větší nádrži je přesně tolikrát větší, kolikrát je větší její objem. Jen ji umět vhodně využít.

Nositelům tepelné energie je chaotický pohyb atomů a molekul. Do chaotické složky počítáme nejen náhodný translační pohyb, ale i vibrace a rotace atomů a molekul. Všechny tyto pohyby v sobě mohou uchovávat tepelnou energii. Velmi zajímavou otázkou je, jakou tepelnou energii v sobě může „uskladnit“ jedna jediná molekula. Předpokládejme, že je složená ze dvou podobných atomů, které mohou vůči sobě kmitat, otáčet se a pohybovat se jako celek ve třech nezávislých směrech. Pokud zahřejeme soustavu takových molekul o jeden teplotní stupeň, „uskladní“ každá z nich v průměru stejné množství energie. V kmitavém pohybu se jedná o stejnou hodnotu jako v pohybu otáčivém, ale v pohybu posuvném jde o tři poloviny této hodnoty. Tato univerzální konstanta se nazývá Boltzmannova konstanta¹, je pojmenována podle rakous-

¹ **Boltzmannova konstanta** je rovna průměrné tepelné energii potřebné k ohřevu jednoho vibračního stupně volnosti jedné molekuly o jeden kelvin.



Nalevo mají objekty nižší teplotu T (menší pohyb) než napravo. Tepelná energie Q roste na čtveřici obrázků jak doprava (zvyšuje se chaotický pohyb), tak dolů (zvyšuje se počet částic).

kého fyzika Ludwiga Boltzmann (1844–1906), který se usilovně věnoval statistickému chování velkých souborů částic, a její hodnota je $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$. Že je to málo? Co byste chtěli, vždyť je to jen jedna molekula...

Pokud chceme tedy látku ohřát, musíme jí dodat určitou tepelnou energii. Například pro ohřátí jednoho kilogramu vody o jediný teplotní stupeň je třeba dodat energii 4 180 J. Kovy lze ohřát snadněji, na zahřátí kilogramu mědi o jeden stupeň postačí energie 384 J. A u plynů je to ještě méně.

V přírodě musí být množství chaotického pohybu v rovnováze s celkovou potenciální energií všech jedinců. Zákony statistické fyziky přesně určují poměr obou veličin. V roce 1934 měřil švýcarsko-americký fyzik Fritz Zwicky (1898–1974) pohyby galaxií v Kupě galaxií ve Vlasech Bereniky (viz obrázek 14 barevné přílohy) a zjistil, že množství pohybu v této kupě vůbec neodpovídá gravitační potenciální energii. Vyslovil proto domněnku, že v kupě je nějaká další

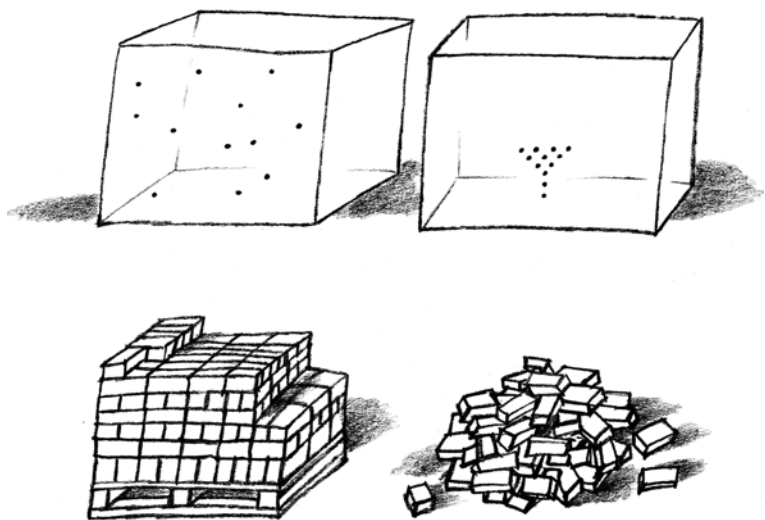
skrytá hmota, kterou nevidíme a která by nesoulad mezi pohybem a potenciální energií vyrovnala. Dnes této látce říkáme *temná hmota* a víme, že je jí ve vesmíru 27 % celkové hmoty a energie vesmíru (atomární látky je jen 5 % celku). Ani po více než 80 letech však stále netušíme, co je temná hmota vlastně zač.

Entropie

Dodávání tepla nějaké soustavě částic je docela zajímavý proces. Pokud bude plyn uzavřen v pevné nádobě, potřebujeme k jeho ohřevu z teploty T_1 na teplotu T_2 určitou energii. Pokud stejné množství plynu uzavřeme do poutového balónku, vše dopadne jinak. Ohřívaný plyn bude zvyšovat svůj tlak a balónek se začne nafukovat. Musíme proto dodat energii nejen na zvýšení chaotického pohybu molekul, ale i na zvětšení balónku (jde o práci nutnou k překonání pružnosti stěn). Výsledek je jasný: K ohřevu plynu v pevné nádobě spotřebujeme méně tepelné energie než k ohřevu stejného množství plynu v poutovém balónku. Pokud půjde například o kilogram molekulárního dusíku, spotřebujeme na jeho ohřev o jeden teplotní stupeň v pevné nádobě 0,74 J (ohřev při konstantním objemu) a v pružném balónku 1,04 J (ohřev při konstantním tlaku). Tato na první pohled podivná vlastnost tepla byla známa už v 18. století. Později si francouzský fyzik Sadi Carnot (1796–1832) povšiml, že dodané teplo je při různých způsobech ohřevu (stejněho množství plynu mezi stejným výchozím a koncovým stavem) sice různé, ale podíl dodaného tepla a absolutní teploty je vždy stejný². Tento podíl se nazývá entropie, jednotkou je J/K. Entropii v termodynamice zavedl německý fyzik a matematik Rudolf Clausius (1822–1888). Samotné slovo pochází z řečtiny a znamená „*směr odněkud někam*“.

Ludwig Boltzmann zkoumal význam entropie ve statistické fyzice a zjistil, že entropie je úměrná pravděpodobnosti uskutečnění daného stavu. Přesněji by šlo říci, že soubor částic může být v určitých kvantových stavech a entropie je úměrná počtu možných reali-

2 Matematicky lze Carnotovo pozorování zformulovat tak, že $\int dQ/T$ nezávisí na způsobu ohřevu, tedy na integrační cestě.



Zkuste odhadnout, která situace nastala později. Na horním obrázku jsou atomy uzavřené v krabici, na dolním je hromada cihel připravená k použití na stavbě. Z principu rostoucí entropie je zřejmé, že u horního obrázku proběhl časový vývoj zprava doleva a u dolního zleva doprava.

zací takového stavu. Pokud nemáte rádi korektní, ale nepřehledné definice, lze méně přesně, ale srozumitelněji říci, že entropie je úměrná chaosu, který v souboru částic zavládl. Entropie má dnes mnohem širší význam, tento pojem se používá v teorii informace, v matematice i v dalších odvětvích lidské činnosti.

Z experimentů i teoretických úvah plyne, že v uzavřeném systému³ může entropie s časem jen narůstat. Maximální hodnoty dosáhne v tzv. termodynamické rovnováze, kdy ustanou veškeré toky látky i tepla a z makroskopického hlediska se s pozorovanou látkou nebude už nic dít. Krásným příkladem přibližně uzavřeného systému byl pokoj mých dětí. Bez vnějšího zásahu v něm vždy entropie narůstala závratnou rychlostí. Nikdy jsem však nepozoroval, že by pokojík dospěl do stavu termodynamické rovnováhy, tedy maximálního chaosu, který už dál zvýšit nelze. Je to jediný systém, u kterého si nejsem jist, zda bylo možné tohoto stavu vůbec dosáhnout.

3 **Uzavřený systém** – soustava, která nevyměňuje s okolím energii ani částice.

Pokud ale systém není uzavřený, je vše jinak. Z chaosu mohou postupně vznikat i velmi uspořádané systémy. Příkladem může být naše Země, která není uzavřeným systémem a veškeré dění je podřízeno toku energie ze Slunce. V průběhu milionů let se zde vyvinuly vysoce organizované formy života. V otevřených systémech může entropie klesat a docházet ke vzniku uspořádaných struktur.

Entropie má mnoho významů. Už jsme poznali entropii jako podíl dodaného tepla a absolutní teploty nebo entropii jako míru chaosu. V informatice je entropie spojena s množstvím informací, které můžeme do dané soustavy uskladnit. Představme si, že chceme do nějakého objemu, například 1 m^3 , vložit co nejvíce informací. Nejprve tam naházíme učené knihy, ale objem za chvíli zaplníme a výsledek nebude nic moc. Půjdeme na to jinak, do našeho objemu nacpeme harddisky a flashky. Výsledek je lepší, ale ani v tomto případě nebude ideální. Flashky můžeme zbavit obalů a množství informací v našem objemu opět vzroste. Nakonec budeme zapisovat informace do samotné struktury látky, kterou budeme stlačovat, aby se jí do vyhrazeného objemu vešlo co nejvíce. Můžeme množství informací v pevně daném objemu zvyšovat do nekonečna? Ne nejde to, protože jednou překročíme určitou mez a látka se zhroutí do černé díry a my už z ní žádné informace nezískáme zpět. Do konečného objemu se tedy vždy vejde konečné množství informací. Tomuto závěru se říká *princip maxima informací* a jeho objevitelem je izraelský fyzik Jacob Beckenstein (*1947)

Princip maxima informací má závažné důsledky pro svět elementárních částic. Látka je složená z molekul, ty jsou složené z atomů, atomy mají jádro a obal, jádro je složené z neutronů a protonů, a ty jsou složené z kvarků. Může tato hierarchie pokračovat donekonečna, tedy nalezneme v každé elementární částici při podrobnějším prozkoumání další svět dalších částic? Představa je to lákavá, ale nespílitelná. V konečném objemu musí být uloženo konečné množství informací. Proto musí dělení částic na subsystémy mít konečnou, poslední hranici, za kterou už jít nelze. Dnes nevíme, zda jsou kvarky onou poslední částicí, která je už dále nedělitelná. Ale můžeme si být jisti, že svět elementárních částic není bezbřehý

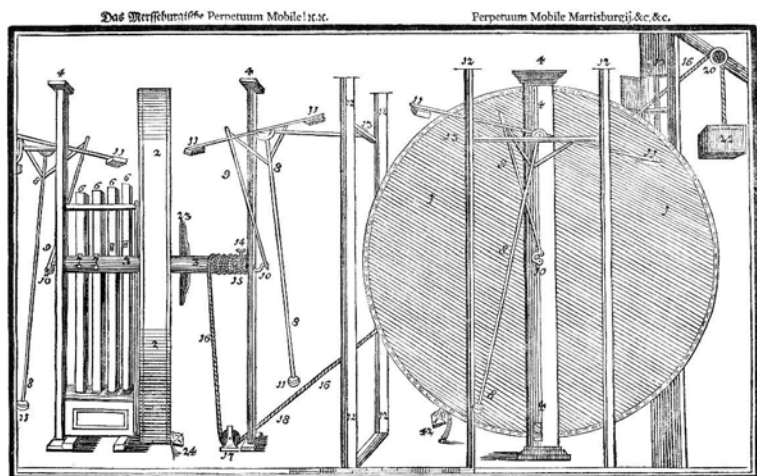
a má poslední úroveň dělení, kterou jednou poznáme. V jednom ze svých spisů kdysi Vladimír Iljič Lenin napsal, že elektron je stejně nevyčerpatelný jako hmota sama. Pravděpodobně si představoval, že elektron bude dělitelný donekonečna. Vladimír Iljič se mýlil. A nejenom v tomto případě...

Perpetuum mobile

Touha vlastnit stroj, který by pracoval sám a zadarmo, je velmi stará. Taková šikovná mašina se označuje souslovím *perpetuum mobile*, což znamená stále se pohybující. Je až zarážející, kolik lidí se pokouší takový stroj zkonstruovat i v současné době, ve 21. století. Několikrát ročně mně přicházejí emaily s popisem důmyslných konstrukcí, které samozřejmě nemohou fungovat. Tyto snahy dělíme do dvou kategorií.

Perpetuum mobile prvního druhu je stroj, který zjevně porušuje zákon zachování energie. Ke svému rozpohybování potřebuje prvotní impuls a dále už stroj pracuje zcela samostatně: tahá břemena, obrábí součástky, vyrábí elektrickou energii, jezdí, létá, potápí se a v ideálním případě za svého autora i myslí. Z hlediska termodynamiky říkáme, že takový stroj porušuje první větu termodynamickou. Ta říká, že teplo dodané do systému se přemění na vnitřní energii a vykonanou práci. Nejde tedy o nic jiného než o zákon zachování energie, který sice umožňuje přeměnu jedné podoby energie na jinou, ale neumožňuje získávat energii z ničeho.

Perpetuum mobile druhého druhu, to je jiná káva. Neporušuje zákon zachování energie, ale trvale a cyklicky vykonává práci tím, že ochlazuje nějaký rezervoár plný tepla. Na první pohled by se mohlo zdát, že vše je v pořádku, stroj přece čerpá energii z nějaké tepelné lázně, například vany s ohřátou vodou. Ale i takový stroj odporuje fyzikálním zákonům. Čerpat energii z jediné lázně lze totiž vždy jen dočasně, nikdy to není možné *trvale a cyklicky*. Skutečné tepelné stroje pracují se dvěma teplotami. Vyšší teplotu T_2 zajišťuje nějaký ohříváč (například kotel) a nižší teplotu T_1 chladič (jako chladič může posloužit i okolí). Sadi Carnot ukázal, že maximální účinnost



Perpetuum mobile. Většinou jde o různá hejblata, padající kuličky, naběračky s vodou, kladky, ozubená kola a bůhví co ještě. Po důkladném rozboru se vždy najde vnější zdroj energie pohybu, nebo se ukáže, že pohyb je jen dočasný. Zdroj: Wikimedia.



Ani neustále se kývající pták není perpetuum mobile. Jde o tepelný stroj, jehož chladičem je vlhký zobák ptáka.

přeměny energie je $(T_2 - T_1)/T_2$. Účinnost tedy nikdy nemůže být stoprocentní a vždy určitá část dodaného tepla zbude. Tuto nadbytečnou část tepla je třeba předat chladiči, jinak by se odpadní teplo hromadilo a stroj by rychle přestal fungovat. Při cyklickém pohybu založeném na jediné teplotní lázni by se stroj dostal do sporu s principem růstu entropie, který nazýváme druhou větou termodynamickou: pokud by se po určité době měl stroj dostat do výchozího stavu, aby se mohl pracovní cyklus přesně opakovat, bude třeba odstranit nadbytečnou entropii, která v průběhu cyklu vznikla. Nárůstu entropie odpovídá odpadní teplo, které je třeba předat chladiči, aby výchozí podmínky byly po každém vykonaném cyklu opět stejné.

Kdysi jsem měl doma na skříní skleněného čápa, který se stále kýval a zdánlivě připomínal perpetuum mobile. Ve skutečnosti jde o důmyslný tepelný stroj, jehož funkci lze rozdělit do tří fází:

1. Z mokrého zobáku se odpařuje voda, zobák se ochladí a tlak v hlavičce se sníží. Spodní baňka má teplotu okolního vzduchu a tlak v ní je vyšší.
2. To vede k vytlačení kapaliny ze spodní baňky (tělíčka) do horní baňky (hlavičky). Následuje změna těžiště a rozkývání ptáka, který se s posouváním těžiště naklání více a více.
3. V určité fázi se překloupí, odkryje se spodní konec trubičky, tékává kapalina odteče do spodní baňky a teploty se vyrovnají. Zobák se namočí a celý cyklus začne nanovo.

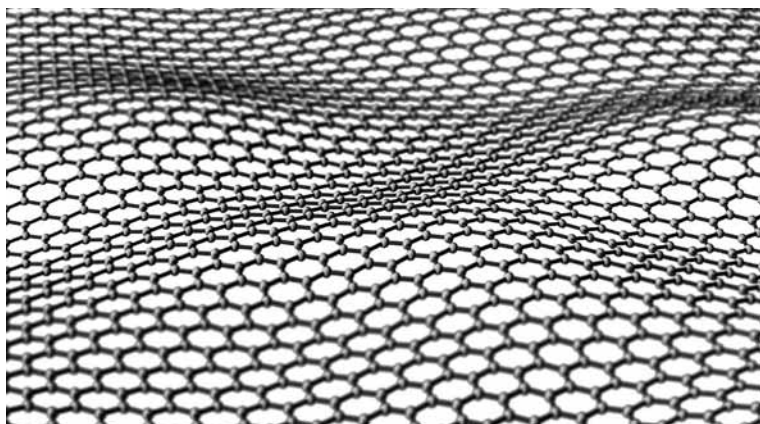
Evidentně nejde o uzavřený systém, ale tepelný stroj, v němž se dolní baňka ohřívá od okolního vzduchu a odpadní teplo je odváděno díky odpařování vody na zobáku. Je s podivem, kolik lidí se dodnes snaží perpetuum mobile vytvořit a kolik úsilí tomu věnují. Dokonce jsem ještě za studií slyšel i o pánovi, který na matfyz přinesl stroj, jenž se na první pohled neustále otáčel. Nakonec se ukázalo, že byl citlivý na lidské teplo a infračervené záření dokázal zužitkovat k periodickému pohybu. Ani v tomto případě ale o perpetuum mobile nejde, člověk musí přijímat energii, aby žil a vyzářoval infračervené záření.

Vedení tepla

Teplu může být nejen užitečné, ale mnohdy je i na obtíž. Například teplo vznikající při činnosti procesoru v počítači musí být odváděno pryč, aby se procesor nepřehřál. K tomu slouží různé větráčky, tepelné trubice a v nejjednodušším případě pasivní chladiče z masivního bloku kovu, které odvádějí teplo ze součástky a povrchem ho vyzařují do okolí. Proto bývá povrch pasivních chladičů velmi členitý. Různé látky vedou teplo různě. Představme si tyčku, která má odvést teplo z jednoho konce na druhý. Množství převedeného tepla je úměrné rozdílu teplot na obou koncích, průřezu tyčky (čím tlustší tyčka, tím více tepla odvede) a nepřímo úměrné délce tyčky (čím delší je, tím hůře se bude teplo k druhému konci dostávat). Kromě těchto obecných závislostí záleží množství předaného tepla také na látce, z níž je tyčka vyrobena. Vynikajícími vodiči tepla jsou měď nebo hliník, mizernými vodiči tepla jsou polystyren, molitan a obyčejné dřevo.

V bytech je naopak třeba úniku tepla z vytápěné místnosti zabránit. Vícevrstvé skleněné okno je vynikajícím tepelným izolantem, ale musí dobře doléhat k zárubni, jakékoli škvíry umožňují teple unikat. V současnosti se na mnoha místech montují plastová okna, která jsou levná a poměrně slušně brání úniku tepla do venkovního prostoru. Nenechte se ale oklamat reklamními slogany typu: „výměnou oken za naše skvělé plastáky ušetříte 40 % energie!“. V takto bombastické reklamě se totiž málokdy dozvíte, že je nutno zvážit také tepelnou ztrátu stěnami, stropem nebo podlahou. Skutečná úspora dosažitelná výměnou oken bude vždy závislá na poměru jejich plochy vůči ploše všech ostatních obvodových stěn v domě. Výsledná úspora energie je proto vždy nižší, než by odpovídalo reklamě. Pokud je vaše okno v dezolátním stavu, pak samozřejmě výměna za plasták vaší peněženky výrazně uleví.

Z hlediska prostupu tepla je také docela zajímavá tvorba ledu na povrchu rybníka. Když udeří mrazy, začne rybník zamrzat shora. Je to proto, že led má nižší hustotu než voda. Jak mrzne, vrstvička ledu postupně narůstá. Na první pohled by se zdálo, že se



Grafen, mimořádně pevná a přitom ohebná forma uhlíku. Zdroj: Extreme Tech.

tloušťka ledové vrstvy bude zvětšovat lineárně s časem. To ale není pravda. Na spodní straně se voda mění v led, tj. dochází k fázovému přechodu, při němž se uvolňuje teplo. Toto teplo je odváděno už vytvořenou ledovou krouven. Množství odvedeného tepla je přímo úměrné rozdílu teplot na povrchu ledu a v rybníce a nepřímo úměrné momentální tloušťce ledu. S narůstáním ledové kry bude odvod tepla stále obtížnější a výsledkem je, že narůstání ledu bude stále pomalejší a pomalejší. Pokud bychom chtěli tuto závislost postihnout matematicky, bude se tloušťka ledové vrstvy zvětšovat úměrně odmocnině z času, tj. $d \sim \sqrt{t}$.

Některé moderní materiály mají anizotropní tepelnou vodivost. To znamená, že v jednom směru vedou teplo vynikajícím způsobem a v jiném směru velmi málo. K takovým materiálům patří například grafen. Jde o atomární monovrstvu či dvojvrstvu složenou z pravidelných šestiúhelníků, v jejichž vrcholech jsou atomy uhlíku. Takový materiál má mimořádnou pevnost a vysokou elektrickou i tepelnou vodivost podél vrstvy. Naopak napříč je vrstva tepelně velmi málo vodivá. Proto by grafen mohl být využíván při požární ochraně hořlavých materiálů. Vrstva grafenu odvede teplo případného požáru spolehlivě do boku, ale nepropustí ho k hořlavé látce. Grafen poprvé připravili v roce 2004 Andrej Geim a Konstantin Novoselov. Za svůj objev získali Nobelovu cenu za fyziku pro rok 2010.

Víte, že

■ Víte, že první popis perpetua mobile pochází ze spisu *Brahmasphutasiddhanta* indického matematika a astronoma Brahmagupty z roku 624? A jiný indický matematik a astronom Bhaskara popsal v roce 1195 perpetuum mobile, které bylo velmi oblíbené ve středověku. Šlo o kolo, jehož zakřivené loukotě byly zcela naplněné vodou.

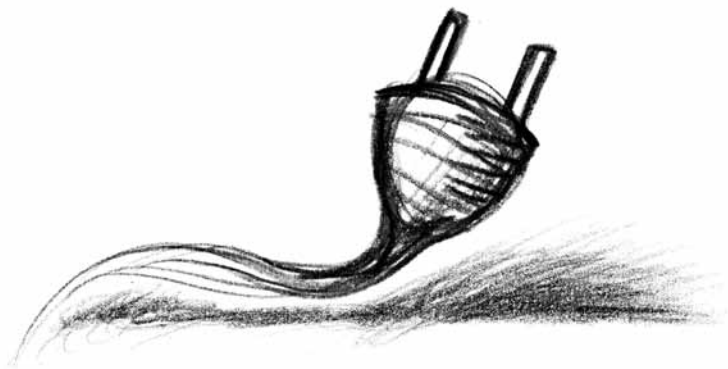
■ Víte, že Leonardo da Vinci pečlivě analyzoval některé návrhy neustále se pohybujících kol a dospěl k závěru, že takový stroj nikdy nemůže fungovat? Údajně prohlásil, že se hledači perpetua mobile marně ženou za neexistující chimérou a připodobnil je k alchymistům.

■ Víte, že teplo uvolňované při radioaktivním rozpadu nezahřívá jen nitro naší Země, ale využívá se i v kosmonautice? Vesmírné sondy putující do větších vzdáleností od Slunce, kde jsou panely slunečních baterií už neúčinné, mají na palubě radioizotopové generátory, v nichž je teplo vznikající rozpadem plutonia přeměněno na elektřinu potřebnou k činnosti přístrojů.

■ Víte, že teplota sluneční koróny může dosáhnout až desítek milionů kelvinů, a přesto vám neublíží? Koncentrace částic v koróně je natolik malá, že tepelná energie obsažená v objemu srovnatelném s člověkem je mizivá. Mnohem nebezpečnější by byl sluneční vítr.

Poučení na závěr: *Je-li někde teplo, ještě to neznamená, že budou z nebe padat pečení holubi.*

8. Až vylétnou pojistky



Wikipedia: „Já všechno vím!“
Google: „Já všechno najdu!“
Facebook: „Já všechny znám.“
Internet: „Beze mě jste v háji.“
Elektrina: „Tak se uklidníme, jo...?!“

Dokážete si svět představit bez elektřiny? Myslím, že jsme si už příliš zvykli na komfort, který nám užívání elektřiny přináší. Ono nejde jen o to, že by zhaslo, ale zhroutilo by se bankovníctví, nefungovala by doprava, telefonní síť, vodárny by přestaly vyrábět pitnou vodu, plynárny by do rozvodů dodaly poslední zásoby stlačeného plynu a během několika dní by nastal neodvratný kolaps civilizace, jak ji známe. Konec konců jsme si to už jednou na několik hodin vyzkoušeli nanečisto. Dne 13. března 1989 dolétl k Zemi oblak nabitých částic, který způsobil velmi prudké změny magnetického pole. Indukované elektrické napětí zapříčinilo vyhoření hlavního transformátoru hydroelektrárny s výkonem 21 000 MW¹ v kanadské provincii Quebec. Centrální síť s pěti hlavními vedeními do Montrealu se zhroutila během necelé minuty. Zbytek sítě zkolaboval do 25 sekund. Totální výpadek energetické sítě zasáhl Ontario i Britskou Kolumbii. Lokální výpadky byly v Pensylvánii, New Yorku, Kalifornii a dokonce i Švédsku. Šest milionů lidí bylo bez energie po devět i více hodin. Čtyři navigační družice námořnictva Spojených států byly vyřazeny z provozu na celý týden. Nekalé živly začaly rabovat obchody a lapkové kradli, co se dalo. Romantici si ale také přišli na své: nad ochromenou Amerikou se rozzářily nádherné polární záře...

Já sám jsem větší výpadek elektřiny zažil jen jednou. Pravidelně jezdívám na soustředění Jaderné fakulty do Mariánské v Krušných horách. Jednou po příjezdu přestala fungovat elektrina. Mysleli jsme

1 **Výkon** měříme ve watech (W), tisíc wattů je kilowatt (kW) a milion wattů megawatt (MW). Výkon jednoho koně odpovídá přibližně 735 wattům. Proud měříme v ampérech (A), tisíc ampérů je kiloampér (kA), milion ampérů megaampér (MA). Rychlovarnou konvicí teče proud přibližně 8 ampérů. Napětí měříme ve voltech (V), tisíc voltů je kilovolt (kV), milion voltů megavolt (MV). Tužková baterie má napětí 1,5 voltu, v zásuvce je 230 voltů.

si, že jde o závadu na několik minut, ale telefonát energetikům do Jáchymova nevěstil nic dobrého. Prý jde o rozsáhlý výpadek a oprava bude trvat několik hodin. Příprava večere skončila u první rozkrojené cibule a vypadalo to, že se můžeme rozloučit i s plánovanými přednáškami. Datový projektor bez elektřiny světelné obrazy nevytvoří, ani kdybyste mu domlouvali sebevíc. A tehdy mě napadlo, že bychom se mohli obejít i bez techniky. Studenti našli svíčky a já přednášel o vzniku vesmíru za svitu plápolajících plamínků. Ve tmě padly veškeré zábrany a do diskuze se zapojili i ti, kteří by se za normálních okolností nikdy na nic nezeptali. Myslím, že se přednáška vydařila i bez elektřiny a na její zvláštní atmosféru rád vzpomínám.

Elektrický proud

Bez proudu si dnešní domácnost už nedovedeme představit. Většina z vás určitě někde slyšela, že elektrický proud je důsledkem pohybu nabitých částic. V případě proudu v domácnosti jde o elektrony, které se pohybují vodičem. Pokud si ale myslíte, že elektrony sviští v drátech jako tryskové letadlo na obloze, mýlíte se. Elektrony se ve vodiči pohybují chaoticky, náhodně se sráží s ionty i mezi sebou a za normálních okolností je jejich průměrná rychlost nulová. Pokud ale připojíte přírodní vodiče k baterii nebo zapnete šňůru spotřebiče do zásuvky, začne elektrické pole elektrony urychlovat ve směru vodiče. Neustále probíhající srážky je naopak budou brzdit. Výsledkem obou procesů je to, že se k chaotickému pohybu přidá malá složka rychlosti ve směru vodiče. Říkáme, že elektrony driftují podél vodiče. Nejde totiž o volný pohyb, ale o neustálé srážky a rozjezdy, při nichž jen nepatrně převládá rychlost proti směru toku elektrického proudu (kladné částice by se pohybovaly ve směru elektrického proudu). Pokud půjde o měděný vodič o průměru dva milimetry, kterým poteče elektrický proud 1 ampér, bude průměrná rychlost driftování elektronů kolem 20 mikrometrů za sekundu, což je zhruba 7 centimetrů za hodinu. I šnek by lezl rychleji.

Pokud elektrony driftují stále stejným směrem, hovoříme o stejnosměrném proudu. Takový proud dokáže vyvolat každá baterie. Zkuste si vyrobit jednoduchou baterii ze šťavnatého ovoce či zele-

niny. Ideální je citron nebo rajče. Citron trochu promačkejte, rajče kupte v Normě, tam bývají nahnilá, což je pro naše experimenty s elektřinou vynikající. Do plodu zapíchněte dva vodiče z různých kovů. Ideální kombinace je měď a zinek (stačí kousek pozinkovaného plechu), horší výsledky získáte s mědí a železem (například hřebíkem). Šťáva ovoce chemicky reaguje s kovem. U různých kovů probíhá reakce různě, proto na našich vodičích, které se v mezičase staly elektrodami, budou vznikat různé počty elektronů. Na drátech zapíchných do ovoce se proto objeví elektrické napětí. Kombinace měď-zinek dá téměř jeden volt, s mědí a železem bude získané napětí přibližně poloviční. Takové ovocné baterie můžete kombinovat, vždy spojte jeden měděný vodič jedné baterie se zinkovým (železným) vodičem druhé baterie. Tři až čtyři citrónočlánky nebo rajčatočlánky vám spolehlivě rozsvítí žárovíčku nebo LED diodu (pozor, LED dioda bude svítit jen při zapojení v jednom směru, v opačném ne).

Pokud se směr pohybu elektronů periodicky mění, hovoříme o střídavém proudu. Takový proud prochází všemi spotřebiči zapojenými do sítě v naší domácnosti. Elektrony změní v naší české elektrické síti směr pohybu stokrát za sekundu, a pokud se budou pohybovat rychlostí z našeho úvodního příkladu, uletí z rovnovážné polohy sotva dvě desetiny mikrometru. Kmitající elektron tedy dané zařízení vůbec neopustí.

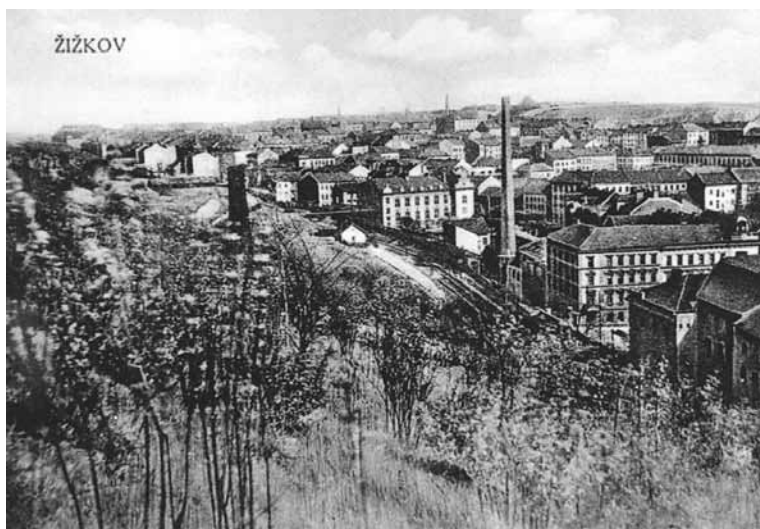
První využívání elektřiny ve městech a v domácnostech bylo poznamenáno nelítostným konkurenčním bojem mezi zastánci stejnosměrných a střídavých rozvodů. Monopolní postavení na zařízení využívající stejnosměrný proud měly až do roku 1886 společnosti založené Thomasem Alvou Edisonem (1847–1931) a Ernstem Wernerem von Siemensem (1816–1892). Jejich obchodní zájmy prolomil v roce 1893 Nicola Tesla, který vyhrál zakázku na elektrizaci města Colorado Springs střídavým rozvodem. Zastánci stejnosměrných rozvodů se uchýlovali k tak nekalým praktikám, jakými byly veřejné popravy zvířat střídavým proudem. Toto nechutné divadlo mělo v obyvatelstvu strach ze střídavého proudu, což se jim částečně zdařilo. Nakonec ale střídavý proud stejně zvítězil.

Při přepravě na velké vzdálenosti má výrazně nižší ztráty, pro jeho transport se spotřebuje méně materiálu, napětí lze jednoduše změnit pomocí transformátoru a navíc lze u střídavých rozvodů snadno zapojit do energetické sítě více elektráren.

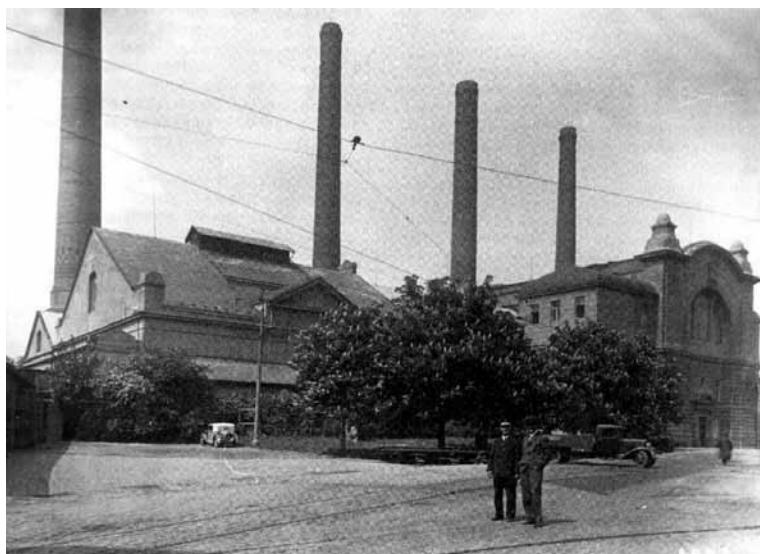
U nás jsou počátky využívání elektřiny pro veřejné blaho neodmyslitelně spojeny se jménem Františka Křižíka. V roce 1883 provedl první zkoušku veřejného osvětlení a rozsvítil na Staroměstském náměstí v Praze obloukové lampy, které ale fungovaly pouhých 14 dní a neujaly se. Prosadily se až o desetiletí později. V roce 1884 Křižík osvětlil zasedací síň pražské radnice. V Čechách v té době byla již řada malých soukromých elektráren, většinou šlo o dynamy vyrábějící stejnosměrný proud. Skutečným průlomem byl rok 1889, kdy Křižík vybudoval první městskou elektrárnu ve střední Evropě. Stála na pražském Žižkově a stejnosměrnou elektřinu o napětí 60 až 110 voltů zde vyrábělo 12 dynam. Elektrárna umožnila první veřejné osvětlení Žižkova obloukovými lampami a žárovkami. Zpočátku fungovala jen za tmy, ale po roce přešla na celodenní provoz. Na síť se připojila řada obchodů a zámožnějších rodin. Žižkov byl tehdy samostatným městem a Prahu předběhl, co se týče veřejného osvětlení, o celých pět let. První veřejné osvětlení v Praze bylo instalováno na Václavském náměstí v roce 1894. Čtyřicítku obloukových lamp poháněla zpočátku malá elektrárna umístěná přímo na náměstí.

V roce 1897 vznikl první návrh na elektrizaci Prahy a spolu s tím vybudování elektrárny v Holešovicích. V návrhu se už počítalo s třífázovým² střídavým rozvodem o frekvenci 50 hertzů (50 kmitů za sekundu) a napětím 3 kilovolty pro transport a 120 voltů využívaných v místě spotřeby. Elektrárna byla spuštěna v roce 1900. Turbíny poháněly z počátku čtyři parní stroje. Uhlí do elektrárny dopravovala speciální vlečka z Bubenského nádraží. Elektrárna dodávala energii rodící se tramvajové síti (přímo v areálu elektrárny byla vozovna), veřejnému osvětlení, obchodníkům i domácnostem.

2 Proud je veden třemi vodiči (fázemi), v nichž pulzuje se vzájemným fázovým posuvem 120°. Mezi libovolnou fází a zemí bylo v době prvního pražského rozvodu napětí 120 V, někdy se tento rozvod označuje 3×120 V. Současná vedení v domácnostech mají mezi fází a nulovým vodičem napětí 230 V a mezi fázemi 400 V.



Pohled na první městskou elektrárnu Žižkov, kterou vybudoval Křížík.
Dynamy zde vyráběla stejnosměrný proud od roku 1889.



První elektrárna vyrábějící střídavý proud pro Prahu byla v Holešovicích. Fungovala od roku 1900. Po spuštění Ervěnické elektrárny (1926) byla přebudována na teplárnu. Tomuto účelu slouží dodnes.

Elektrizace Prahy postupovala velmi rychle. V roce 1903 započala stavba vodní elektrárny Štvanice, ta byla dokončena v roce 1914 a se třemi turbínami pracovala bez přestávky až do roku 1973. Dnes je po náročné rekonstrukci z let 1984 až 1987 opět plně funkční a určitě stojí za prohlídku, jde o jedinou stavbu z počátků elektrizace Prahy, která se dochovala funkční až do dnešních dní.



Unikátní vodní elektrárna Štvanice. Na elektrizaci Prahy se podílela od roku 1914. Budovu elektrárny navrhl architekt Alois Dlabáč. Vzorem mu prý byl secesní francouzský zámek. Elektrárna je dodnes funkční a je možné se do ní při troše štěstí podívat.

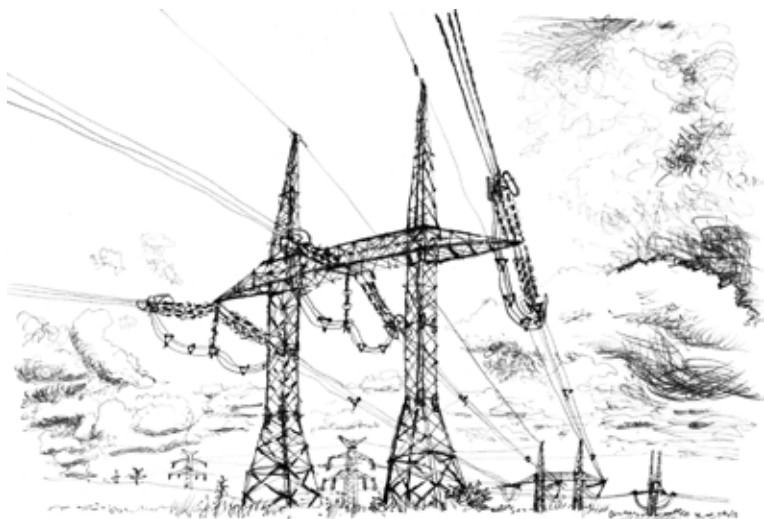
Když vznikla po první světové válce první republika, mělo přístup k elektřině 34 % obyvatel, z toho pouze 2 % na Slovensku. V roce 1919 byl přijat zákon o elektrizaci republiky, v roce 1926 byla dobudována první větší tepelná elektrárna Ervénice (70 megawatů), v roce 1930 bylo připojeno přes 50 % obyvatel a v roce 1970 mělo přístup k elektřině už přes 70 % obyvatel. Je dobré si uvědomit, že to, co dnes považujeme za samozřejmost, vznikalo postupně a s obrovským úsilím a nasazením našich předků.

Z elektrárny do domácnosti

Vodiče kladou protékajícímu proudu odpor. To způsobuje při vedení elektřiny ztráty, část pohybové energie elektronů se mění na teplo. Celkový odpor vodiče závisí na průřezu (tlustější dráty kladou menší odpor než tenčí), délce (delší vodiče kladou větší odpor než kratší) a materiálu. Malý odpor mají například měděné nebo hliníkové vodiče, železo pro vedení proudu příliš vhodné není. Vodiče s velkým odporem, v nichž se mění elektřina na teplo, se využívají v topných spirálách, žehličkách, elektrických troubách nebo rychlovarných konvicích. Při přenosu energie z elektrárny do domácnosti je naopak třeba zařídit, aby tepelné ztráty, které jsou úměrné druhé mocnině elektrického proudu, byly co možná nejmenší. Celkový přenášený výkon je roven součinu elektrického proudu a elektrického napětí (teče-li přístrojem proud 2 ampéry při napětí 230 voltů, je jeho výkon 460 wattů). Chceme-li zabránit tepelným ztrátám v dálkových vedeních, musí být proud co možná nejnížší, což ale znamená zvýšit při stejném přenášeném výkonu napětí. Proto mají dálková vedení velmi vysoká napětí, u nás o hodnotách 110 kilovoltů, 220 kilovoltů a 400 kilovoltů³. Výjimkou nejsou ale ani jiné hodnoty dané historickým vývojem. Na vysoká napětí se musí elektřina vyrobená v elektrárně transformovat a po dopravě se v místě spotřeby napětí za pomoci transformátorů sníží na nízké napětí (50 až 1000 voltů), které je pro domácnosti relativně bezpečné. Vodiče nízkého napětí lze snadno izolovat a elektřina se dá se dopravovat i podzemními kabely.

V elektrárnách se přeměňují nejrůznější druhy energie na energii elektrickou. U nás se nejvíce energie vyrábí v klasických uhelných elektrárnách. Teplo vzniklé spalováním uhlí ohřívá vodu a mění ji na páru. Ta pohání turbínu, která vyrábí elektřinu. Na zadní straně vyúčtování, které jsem včera našel ve schránce, je napsáno, že 43 % elektřiny pocházelo z uhelných elektráren. Na druhém místě jsou jaderné elektrárny (39 %), které získávají energii štěpením těžkých jader uranu na menší jádra. Vzniklé teplo se opět přemění na páru

3 Napětí 400 kV se označuje jako zvláště vysoké napětí.



Typický stožár dálkového vedení 400 kV.

pohánějící turbínu. Ostatní druhy elektráren (vodní, větrné, solární, plynové) jsou zcela zanedbatelnou součástí naší energetické sítě, byť mediálně budí takový rozruch, jako by šlo o alfu i omegu naší energetiky. Ve skutečnosti jde jen o nechutné kšefty mocných a pošetilé tlaky naivních ekoteroristů.

Měříme

Jak vůbec poznáme, že ve vodiči teče proud, nebo že je pod napětím, aniž bychom se ho dotkli? A jak poznají rozvodné závody, kolik jsme odebrali energie? Nejjednodušším zařízením, kterým můžeme zjistit, zda je vodič pod napětím, je zkoušečka, jíž se lidově říká fázovka. Jde o hrot, kterým spojíme zkoumaný vodič s jedním koncem doutnavky⁴. Na druhý kontakt přiložíme prst, kterým uzavřeme obvod. Ne, nebojte se, před doutnavkou je zařazený odpor (až megaohm), takže naším tělem protékají maximálně mikroampéry. Ty nám nijak neublíží, ale stačí na to, aby se doutnavka rozsvítila.

⁴ **Doutnavka** je nízkotlaká výbojka, mezi jejímiž elektrodami vznikne svítící doutnavý výboj. Jeho barva závisí na druhu plynu v doutnavce.

Výhodou je, že jde o zařízení velmi levné a jednoduché. Fázovky se vyrábějí i jako reklamní šroubováky s doutnavkou. Nevýhodou je, že fázovky pracují jen v určitém rozsahu napětí, takže se doutnavka rozsvítí jen, pokud je mezi vodičem a vaším tělem napětí, na které je konstruována.

Mnohem sofistikovanější jsou elektromagnetické zkoušečky s malým elektromagnetem. Jejich základem je jednoduchý jev, který poprvé popsal André-Marie Ampère (1775–1836) v roce 1820: kolem vodiče, jímž protéká elektrický proud, vznikne magnetické pole. Tento jev si můžete snadno vyzkoušet. Udělejte si jednoduchý obvod, třeba z ploché baterky, jejíž kontakty spojíte dvěma vodiči s malou žárovčičkou (musí být konstruovaná pro napětí shodné s napětím baterky). Pokud bude žárovčička svítit, poteče obvodem elektrický proud a kolem vodičů vznikne magnetické pole. Pokud k vodiči přiblížíte kompas, jeho střílka se viditelně vychýlí. Navinete-li přívodní vodič na tužku, pole od jednotlivých závitů se bude sčítat a vznikne jednoduchý elektromagnet.

A právě takový elektromagnet je v elektromagnetické zkoušečce. Poznáte ji podle toho, že, na rozdíl od fázovky, má dva hroty, s nimiž se dotkneme buď dvou různých fází, nebo fáze a nulového vodiče. Cívka v obvodu vytvoří magnetické pole, které táhá za magnet upevněný pružinou. Podle natažení pružiny lze zjistit velikost napětí mezi oběma hroty. S pružinou bývá spojený barevný pásek sloužící jako měrka.



Zkoušečky. Nalevo je jednoduchá doutnavková fázovka ve tvaru šroubováku. Napravo je moderní digitální zkoušečka.



Elektroměry. Nalevo je historický mechanický elektroměr.
Napravo je současný statický elektroměr.

K měření spotřeby elektřiny slouží elektroměry. V prvních mechanických zařízeních tohoto druhu vytvářel elektrický proud magnetické pole, které roztáčelo hliníkový kotouč, u něhož se sledoval počet otoček. Dnešní svět patří elektronice. Na trhu jsou elektronické digitální zkoušečky napětí a zhruba od roku 2000 se používají výhradně statické elektroměry, v nichž se proud a napětí měří elektronickými součástkami bez jakýchkoli pohyblivých prvků. Navíc mají tyto elektroměry přijímač hromadného dálkového ovládání (HDO), takže je možné do určitých zařízení (například bojlerů) pouštět elektřinu jen v době, kdy není síť přetížená.

Pojistky a jističe

Každý vodič snese jen určitý proud, jinak se začne nebezpečně zahřívat. Měděným vodičem o průřezu $1,5 \text{ mm}^2$ může bezpečně protékat elektrický proud do 10 A, což znamená, že takovým vodičem můžete napájet zařízení o příkonu do 2,3 kW (přenesený výkon je roven součinu proudu a napětí). Zásuvkové obvody v domácnosti většinou používají měděné vodiče o průřezu $2,5 \text{ mm}^2$, ty snesou

proud až 16 A a výkon 3,6 kW. Přívodní vodiče pro běžnou domácnost mívají průřez 4 mm², snesou proud 20 A, což odpovídá výkonu 4,6 kW. Větší provozy využívají měděných přívodů o průřezu 6 mm² (25 A, 5,7 kW). Veškeré údaje platí pro jednofázové vedení, kde odběr probíhá mezi fázovým a nulovým vodičem. U třífázových vedení je přenesený výkon trojnásobný.

S problematikou tepelných ztrát ve vodičích se setkáte i na YouTube, kde jsou k mání nejrůznější videa, v nichž bláznivý „experimentátor“ zapíchne do lákavě vypadající klobásky dva dráty, jejichž druhé konce vsune do elektrické zásuvky. Ano, klobása se stane nekvalitním vodičem, a můžete ji tímto způsobem opravdu ohřát. Zvažte ale, zda vám takové nebezpečné hrátky za to stojí. Určitě je lepší teplá klobása v hrnci, než studený experimentátor v márnici.

V blízkosti elektroměru jsou umístěné jističe nebo pojistky, které nás odpojí od sítě, pokud naši domácností teče příliš velký proud. Už víme, že vodičem může v závislosti na jeho průřezu procházet jen určitý elektrický proud. Jinak se zahřívá a mohlo by dojít i k jeho poškození. Pokud zapneme mnoho spotřebičů naráz, přepálí se pojistka nebo se rozpojí jistič a elektroinstalaci se nic nestane. Jističe také rychle zareagují na zkrat v obvodu. Ten nastane, pokud se v nějakém zařízení náhodně dotknou dva různé fázové vodiče nebo fázový vodič s nulovým vodičem. Dříve se hojně používaly tavné pojistky. Šlo o keramickou objímku vyplněnou křemenným



Pojistky a jističe. Nalevo jsou různé formy tavných pojistek. Napravo je klasický jistič.

pískem, jímž procházel tenký drátek. Pokud byl obvod přetížený, drátek se přetavil a obvod byl rozpojen. Dnes nalezneme pojistky založené na přetavení drátku v domácnostech jen výjimečně. My máme doma několik takových ještě na schodišti. Tavné pojistky jsou často v automobilech nebo v různých elektronických zařízeních. V domácnostech se dnes většinou používají elektromagnetické jističe, v nichž při přetížení vznikne silné magnetické pole, které od sebe mechanicky odtáhne dva kontakty, a rozpojí tak obvod. Staré pojistky se musely vyměňovat, rozpojený jistič se jen „nahodí“ (obvod se znova sepne k tomu určenou páčkou) a život v domácnosti se opět rozjede na plné obrátky.

Elektrické proudy ve vesmíru

I ve vesmíru tečou elektrické proudy a mnohdy se podstatnou měrou podílejí na vzniku vesmírných struktur. Poprvé si to uvědomil norský vědec Kristian Birkeland (1867–1917), který dal do souvislosti sluneční vítr s proudy tekoucími v ionosféře a s polárními zářemi. Jeho myšlenky pak prosazoval švédský vědec Hannes Alfvén (1908–1995). Přišel na to, že tekoucí proudy v plazmatu generují magnetické pole, které je s plazmatem provázáno natolik, že pokud se plazma někam pohne, pohne se magnetické pole s ním. Dnes hovoříme o tzv. *zamrzlém magnetickém poli*. Americký fyzik Anthony Perratt vydal v roce 1992 fascinující knihu *Physics of the Plasma Universe*, ve které ukazuje, jak podstatné jsou elektromagnetické děje ve vesmíru. V našich končinách spatřila světlo světa podobná kniha už v roce 1968. Poutavá kniha *Plasma ve vesmíru a laboratoři* z pera Josipa Kleczka dodnes neztratila nic ze svého kouzla. Tu a tam se dá ještě sehnat v antikvariátech. Dejte si ale na internetu pozor na vizi tzv. „elektrického vesmíru“, která roli gravitace zcela popírá. Jde o nepravdivý extrém.

Obří výrony plazmatu vyvrhované ze Slunce při přepojení magnetických siločar jsou doprovázeny pohyby nabitých částic vytvářejících gigantické elektrické proudy. Na obrázku 15 barevné přílohy můžete prohlédnout jeden takový ze Slunce vyvržený proud plazmatu.



Krásně větvený blesk vyfotografovaný na Astronomickém soustředění dne 4. června 2016. Foto: Ing. Tomáš Báča. Blesky je možné pozorovat i na planetě Jupiter. Ukázku naleznete na 17. obrázku barevné přílohy.

Při bouřce teče v kanálu blesku elektrický proud kolem 30 tisíc ampérů. Ještě výše nad našimi hlavami, v ionosféře, teče stálý proud o hodnotě zhruba 30 mikroampérů každým metrem čtverečním. Tyto proudy byly objeveny v roce 1976 americkým polovojenským satelitem TRIAD. Proudů tečou ve slunečním plazmatu, v magnetosférách planet i uvnitř některých měsíců. Jupiterův měsíc Io je známý svou sopečnou činností. Ta je způsobena zejména slapovým⁵ ohřevem jeho nitra. K ohřevu ale nepochybně přispívají i elektrické proudy indukované v měsíčku Io magnetickým polem Jupiteru. Jejich celková hodnota se odhaduje na 1 megaampér. Elektrický proud teče i v mnoha mlhovinách a vytváří v nich magnetické pole, které následně formuje mlhovinu do typických laloků, vláken a šroubovic. Elektrické proudy tečou ve výtryscích černých děr, v mezihvězdném i mezigalaktickém prostředí a ve vesmíru jsou všudypřítomné.

Elektrický proud tak není jen výsadou moderní domácnosti. Od nepaměti kolotá i v nejzazších koutech vesmíru a podílí se na jeho utváření stejnou měrou jako gravitační síla.

5 **Slapová síla** – vzniká díky rozdílu gravitační síly působící na různé části tělesa. Příliv a odliv je na Zemi způsoben slapovými silami Měsíce a Slunce.

Víte, že

■ Víte, že v počátcích rozvoje elektrické energie zásobovaly elektrárny jen své bezprostřední okolí? Každá elektrárna měla jiný kmitočet a jiné koncové napětí. Ke sjednocování došlo až později v rámci propojování jednotlivých sítí.

■ Víte, že v USA se používá dvoufázový rozvod 2×120 V s frekvencí 60 Hz? Fáze mají vzájemný posun kmitů 180° a mezi fázemi je napětí 240 V, mezi fází a nulovým vodičem 120 V.

■ Víte, že první elektrickou dráhu zprovoznil František Křižík mezi pražskou Letnou a Výstavištěm v roce 1891? Spojovala horní stanici bývalé lanovky na Letné s pavilonem Jubilejní zemské výstavy a měla zejména propagační charakter, stejně tak jako Křižíkova světelná fontána v areálu Výstaviště z téhož roku.

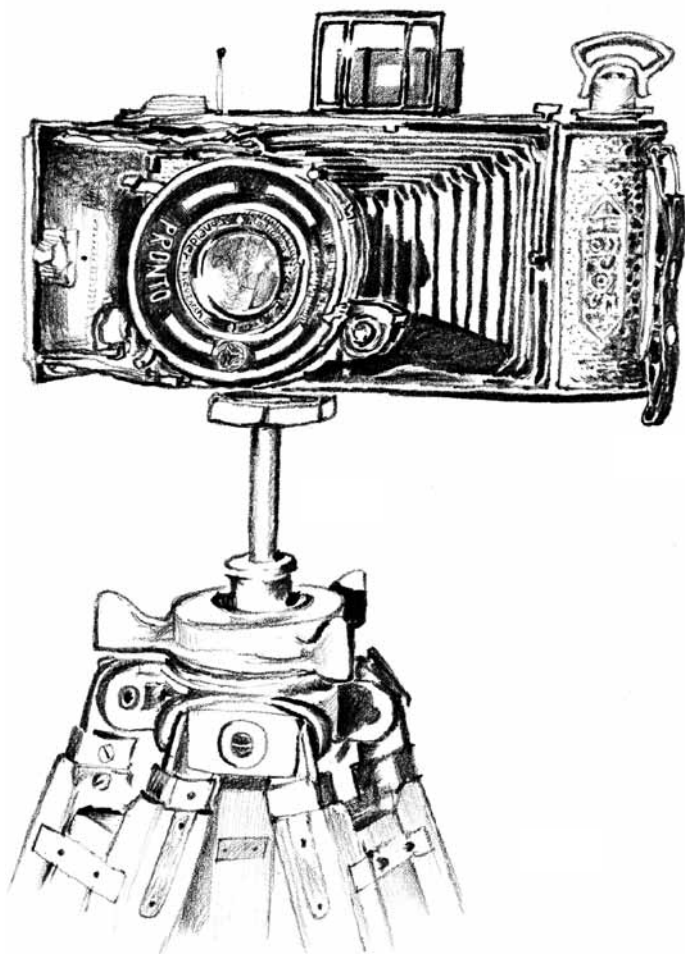
■ Víte, že poslední rozvod na 120 V byl odpojen v Praze až v roce 2009? Majitelé zhruba 20 domů v Mánesově a Čerchovské ulici na pražských Vinohradech vytrvale odmítali rekonstrukci rozvodů a byli k tomuto kroku nakonec donuceni energetickými závody, které ukončily provoz posledních dvou trafostanic na 3 kV/120 V.

■ Víte, že největší samostatný blok uhelné elektrárny je v Mělníce? Je v provozu od roku 1981 a do sítě dodává 500 MW elektřiny. Největší celkový výkon má ale severočeská uhelná elektrárna Prunéřov, kde jsou instalovány 4 bloky po 110 MW a 5 bloků po 210 MW, celkově tedy 1 490 MW.

■ Víte, že prvním městem se stálým veřejným osvětlením v Čechách se stal Písek už v roce 1887? František Křižík zde zprovoznil malou městskou vodní elektrárnu, která je dodnes funkční a slouží jako muzeum.

Poučení na závěr: *Chceš-li dožít dalšího dne, nerýpej se v zásuvce. Nerýpej se ani v jiných věcech, kterým nerozumíš (dobový plakát naleznete na 18. obrázku barevné přílohy).*

Barevná příloha

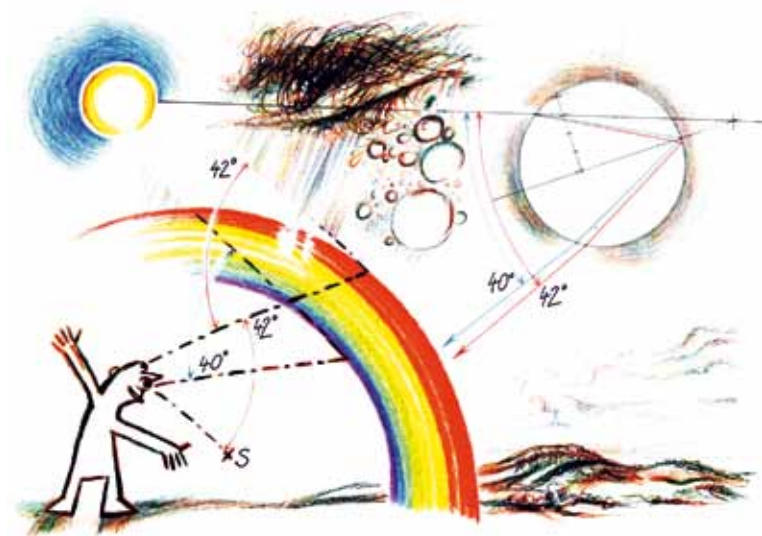




Obr. 1. Vzácná forma ledu objevujícího se na shnilých větvích. Má podobu vlasů. Za tento tvar je zodpovědná houba *Exidiopsis effusa*. Fotografie pořídila v roce 2016 Suzanne Humphris v blízkosti skotského jezera Loch Lomond.



Obr. 2. V každé kapce můžeme vidět široké daleké okolí. Zdroj: AGA.



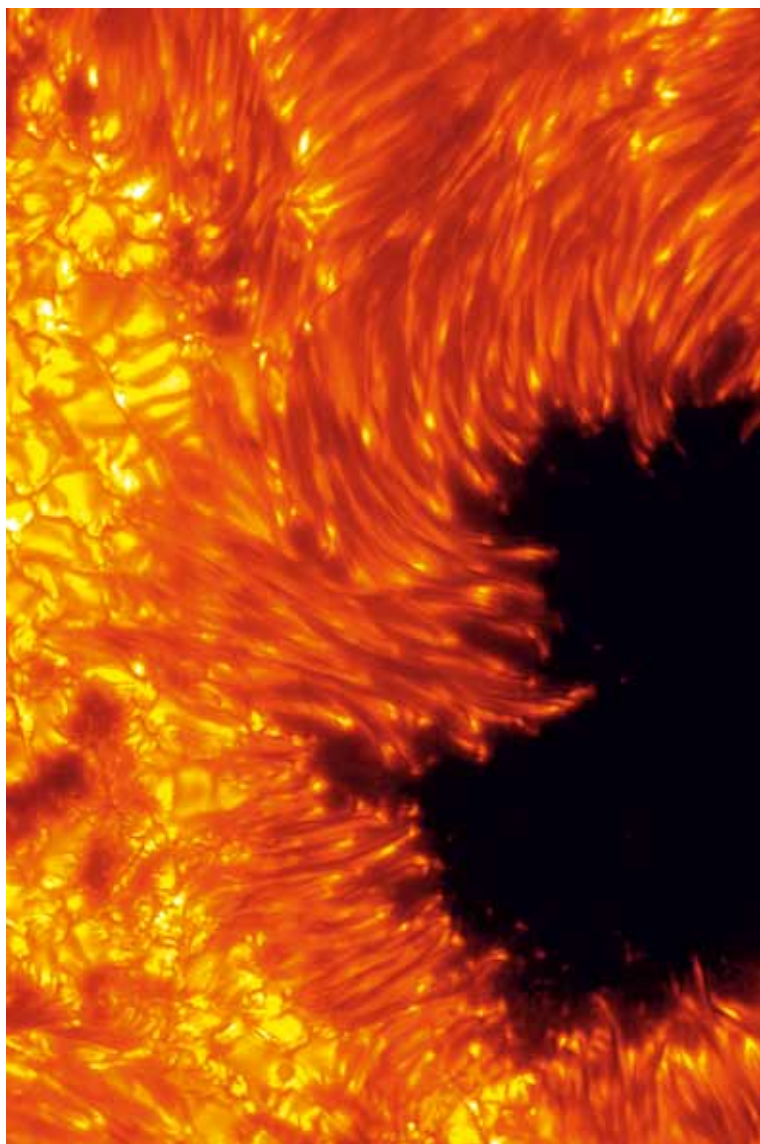
Obr. 3. Princip vzniku duhy.



Obr. 4. Šest duh nad Norskem. Povšimněte si, že druhá duha nalevo má obrácený sled barev. Vzniká dvojitým odrazem na zadní stěně kapky. Třetí duha (svislá) pravděpodobně vznikla ze světla odraženého od vodní hladiny. Norsko, 12. září 2007.
Foto Terje O. Nordvik.



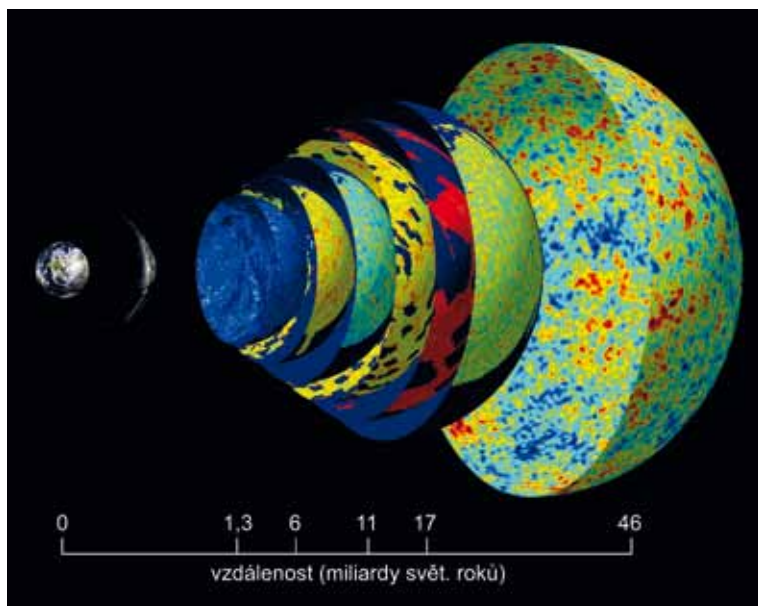
Obr. 5. Obří hrnce vyhloubené vodními kapkami v kaňonu řeky Blyde v Jižní Africe. Zdroj: Bing.



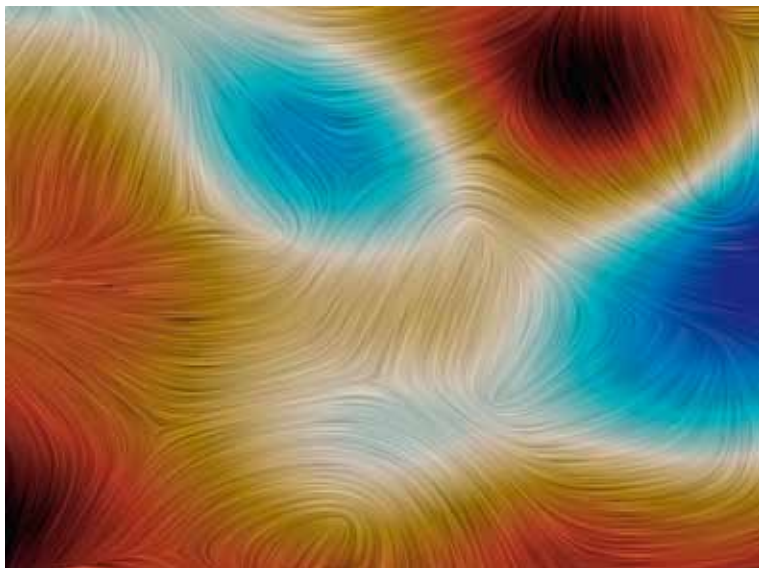
Obr. 6. Sluneční skvrna vyfotografovaná Švédským slunečním dalekohledem (o průměru 1 metr) na La Palma v roce 2002. V okolí skvrny je dobře patrná granulace. Vnitřní část skvrny (tzv. umbra) je díky přítomnosti magnetického pole o zhruba 1500 °C chladnější než okolí, proto se jeví jako černá. Průměr umbry této skvrny je srovnatelný s rozměrem Zeměkoule. Zdroj: SST.



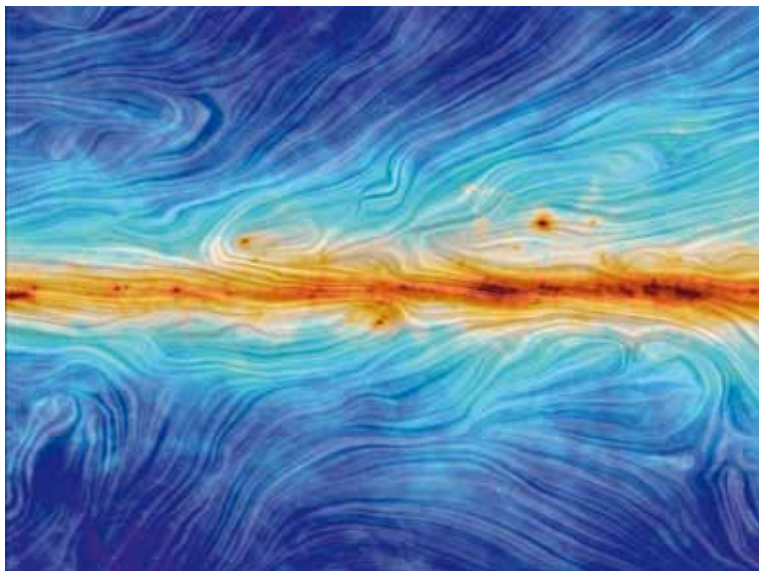
Obr. 7. Vodní pára nad italským vulkánem Stromboli. Voda vroucí hluboko v nitru uniká po staletí do okolí. Foto: 28. září 2004, Steven W. Dengler.



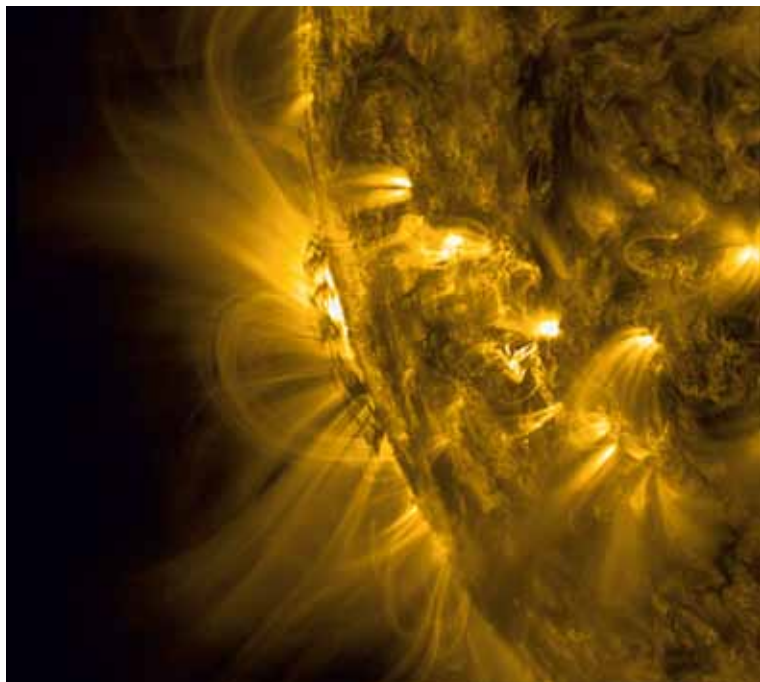
Obr 8. Reliktní záření. Symbolický pohled ze Země do různých vzdáleností. První sféra zahrnuje naši Galaxii, poslední je reliktní záření z konce Velkého třesku. Zdroj: ESO/NASA.



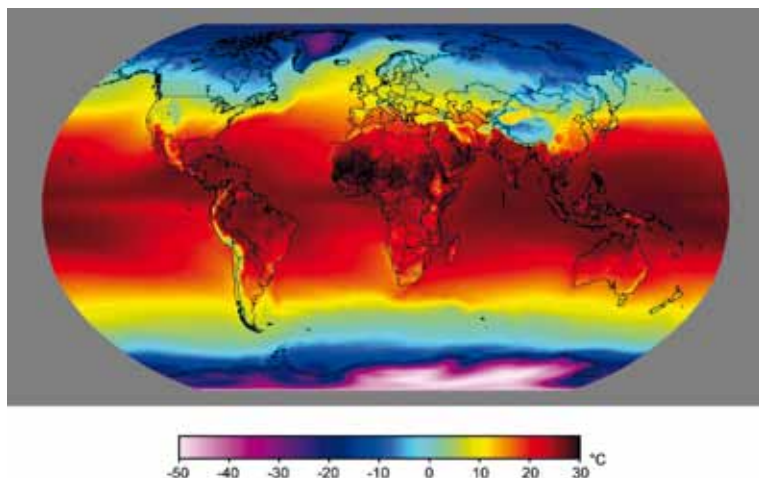
Obr. 9. Polarizace reliktního záření naměřená sondou Planck. Šířka pole je 20° .
Zdroj: ESA.



Obr. 10. Průběh siločar magnetického pole v rovině naší Galaxie naměřený sondou Planck. Šířka pole je 20° . Zdroj: ESA.



Obr. 11. Slunce v ultrafialové oblasti. Svítící elektrony zviditelňují průběh siločar magnetického pole. Zdroj: SDO, březen 2013.



Obr. 12. Průměrná teplota Země. Zdroj: Robert Rohde / NOAA / UEA.



Obr. 13. Sdružení Aldebaran zobrazené termokamerou ve washingtonském Národním muzeu letectví a kosmonautiky (Smithsonian National Air and Space Museum) v roce 2013.



Obr. 14. Kupa galaxií ve Vlasech Bereniky nemá v rovnováze pohyb galaxií s jejich potenciální energií. Jednotlivé galaxie se zde pohybují navzájem příliš rychle, než aby je dokázala pohromadě udržet jen látka, kterou vidíme. Fritz Zwicky z toho vyvodil, že zde musí být ještě nějaká další látka, která zabrání rozlétnutí galaxií od sebe, a nazval ji temnou hmotou. Zdroj: Schulman Telescope.



Obr. 15. Obří proudy plazmatu vyvrhované ze Slunce při přepojení magnetických siločar jsou doprovázeny pohyby nabitých částic vytvářejících gigantické elektrické proudy. Zdroj: Solar Dynamics Orbiter, 31. srpna 2012.

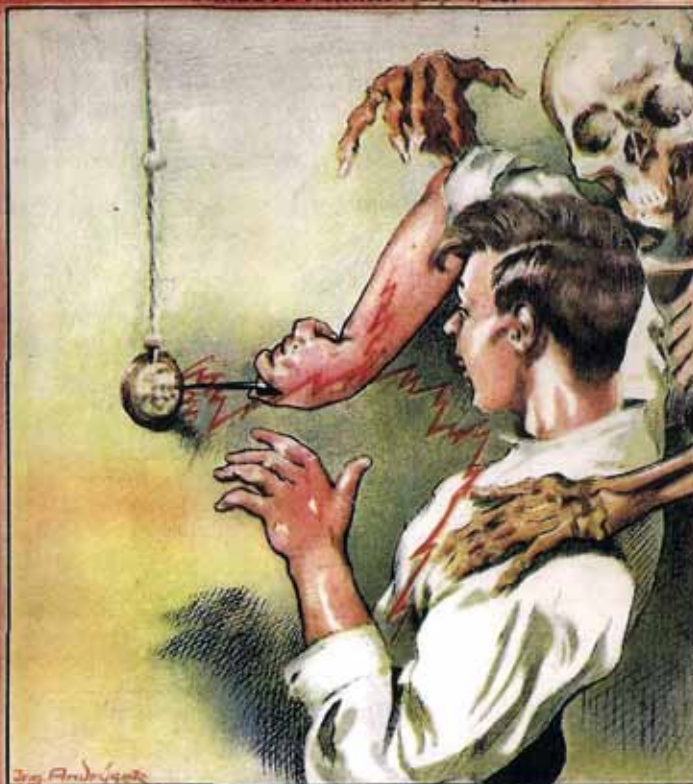


Obr. 16. Faradayova laboratoř. Vynikající anglický experimentátor Michael Faraday zde konal své experimenty s elektřinou a magnetizmem i fyzikálně-chemické pokusy s elektrolýzou. Kresba: Harriet Jane Moore, 19. století.



Obr. 17. Vodní bouřkový oblak zachycený sondou Galileo na Jupiteru, severozápadně od Velké červené skvrny. Oblak je 25 kilometrů vysoký a 1000 kilometrů široký. Bouřková aktivita je známa ne Venuši, Jupiteru i Saturnu. Zdroj: NASA.

ÚRAZOVÉ PLAKÁTY ESČ č. 15.



Elektrická úraz: Jan Andrušek, Praha 1937, 1941

**NENÍ-LI VYPJAT PROUD,
NERÝPEJ V ZÁSUVCE
ŠROUBOVÁKEMI**

PATISK ZAKÁZÁN!

Obr. 18. Dobový plakát „Nerýpej v zásuvce“ ze sbírky Městské elektrárny v Písku, nejstarší fungující vodní elektrárny v Čechách.



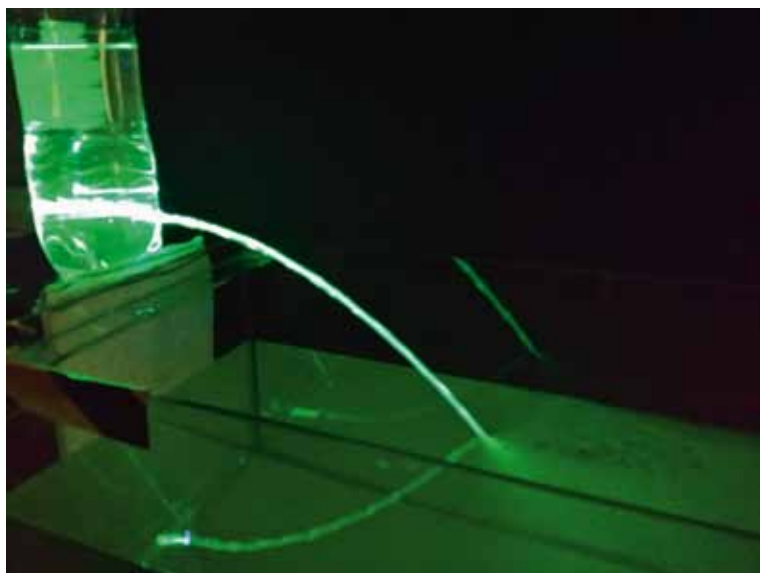
Obr. 19. Čajové lístky se těsně po zamíchání usadí uprostřed dna konvice. Je to způsobeno sekundárními proudy, které v rotující kapalině s nenulovou viskozitou nutně vzniknou. Zdroj: AGA.



Obr. 20. Meandry řek jsou formovány kombinací primárních a sekundárních toků. Oblast pod ledovcovým jezerem Lac d'Allos, Francie, 2015. Zdroj: AGA.



Obr. 21. Úplný odraz na vodní hladině. Experiment si můžete vyzkoušet snadno sami. Zdroj: Everyday Scientist.



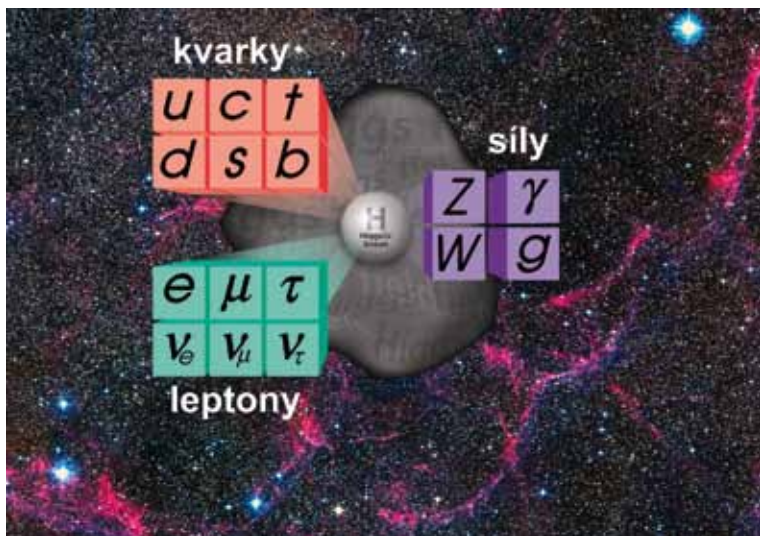
Obr. 22. Úplný odraz na vnitřním povrchu vodního proudu. Proud vede světelný signál. Podobně fungují skleněná vlákna. Zdroj: Joseph Tan, University of Technology, Sydney.



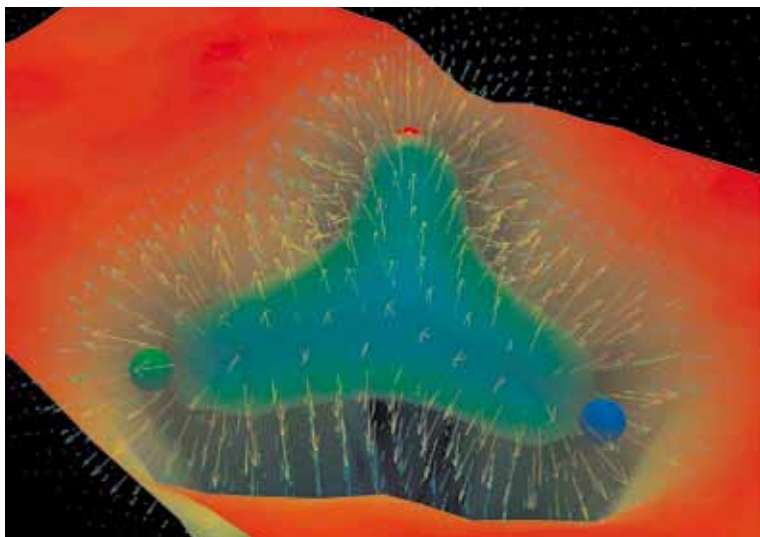
Obr. 23. Velký zenitový dalekohled (LZT) je šestimetrové kapalné rtuťové zrcadlo provozované Univerzitou v Britské Kolumbii, 70 kilometrů východně od Vancouveru. Zdroj: LZT.



Obr. 24. Velmi velký dalekohled (VLT) je čtveřice dalekohledů o průměrech 8,2 metru, která je umístěna na hoře Cerro Paranal v Atakamské poušti v Chile. Dalekohledy mají aktivní i adaptivní optiku a patří Evropské jižní observatoři (ESO). Zdroj: ESO.



Obr. 25. Standardní model elementárních částic. Nalevo jsou stavební kameny hmoty, napravo nosiče sil. Zdroj: Josip Klezcek, Toulky Vesmírem.



Obr. 26. Gluonové pole držící pohromadě tři kvarky v protonu. Prohlubní je znázorněna vazebná energie, šipkami intenzita gluonového pole. Zdroj: CSSM/ University of Adelaide.



Obr. 27. Detektor Phoenix na urychlovači RHIC v Brookhavenské národní laboratoři na Long Island. V tomto zařízení se vyrábí kvarkové-gluonové plazma – pralátka, z níž vznikl vesmír. Zdroj: AGA.



Obr. 28. Granulát připravený ze zvířecích tkání patří dodnes k účinným lepidlům. Zdroj: Wikimedia.

Milý čtenáři,

za sebou máš prvních osm kapitol a doufám, že Ti přinesly mnohé poučení, tak jako mně potěšení, když jsem je psal. A jsi-li osvěžen prohlížením poutavých obrázků barevné přílohy, nadešel čas se vrhnout na pětici závěrečných kapitol. První dvě jsou věnovány otáčivým pohybům, které jsou nesmírně užitečné v kuchyni, ve vesmíru i v našem běžném životě. Já mám například starou oktávku, v níž k nejdůležitějším točícím se součástkám patří kola, volant, motor a alternátor (to je ona věčička, která nabíjí v automobilu baterii). Že má tohle každé auto? Ano, má, ale ne každé jezdí na alternátory. Moje ano. Když před čtvrt rokem prasklo v alternátoru ložisko, zdálo se, že jde o banální závadu, kterou mechanik vyřešil výměnou alternátoru za nový. Ujel jsem sotva 30 kilometrů a alternátor přestal dobíjet. To se může stát, kus byl vadný, mechanik ho vyměnil za další a původní poslal na reklamaci. Tentokrát jsem ujel kilometrů padesát. Nebudu Tě, milý čtenáři, unavovat nudným vyprávěním, jak jsem neustále jezdil do servisu měnit alternátory. Mé auto v nich našlo zalíbení a spotřebním materiálem se tak stala nejen nafta, ale i alternátory. Zkrátka to byl takový alternativní alternátorový pohon a nezbytná krmě mého vozu. Oktávka jich sežrala nakonec sedm a v mechanikovi začal hledat červík pochybností, zda je s ní vše v pořádku. I povolal specialistu na elektroinstalace automobilů. Ten pažravé vozidlo důkladně prohlédl, vyměnil ukostření a co jiného – osadil vozidlo novým alternátorem. Mechanik mně radostně volal, že už je vše v pořádku, elektrikář mu veze auto zpět a já si pro něj mám přijet. Za deset minut volal znova, že už nikam jezdit nemám, že elektrikář k němu auto nedovezl, protože mu sežralo i ten nejnovější osmý alternátor. Nebýt rozčileného elektrikáře, který poté autíčku vyškrubal za trest všechny dráty, které jakkoli souvisely s alternátorem, mohlo je baštit dodnes. Teď má přísnou dietu a opět už jezdí jen na obyčejnou naftu.



A tak tedy vzhůru k otáčivým pohybům, bez nichž by náš svět byl smutný, neúplný a poněkud nedokonalý.

9. Točí se, točí

(od mixéru k tekutinovému dynamu)



Už odmala jsem nenáviděl kolotoče. Kdykoli mě rodiče posadili na onu divnou věc na dětském hřišti, zvracel jsem. Přitom ostatním dětem se to líbilo a výskaly nadšením. Nejhorší zážitek ale nastal až na vysoké škole, když jsme byli na praxi v Sovětském svazu. Nevím, co mě to popadlo, ale nechal jsem se kamarády někde v Uzbekistánu ukecat a všech sedm nás vlezlo do centrifugy pro výcvik kosmonautů. Nebudu zde líčit žalostný výsledek a můj následný několikahodinový pobyt v přilehlém křoví. Od té doby jsem už nikdy na žádnou točící se věc nevlezl. Tedy výjimkou je naše Zeměkoule, která se s námi točí umírněně, a jejíž pohyb jakž takž snáším dobře. Otáčení je přitom jedním z nejpřirozenějších pohybů, a pokud daná věc netočí přímo mnou, může být i užitečná – ať jsou to točící se kola automobilu pode mnou, nebo otáčející se nože v mixéru na kuchyňské lince. Mnoho otáčivých pohybů v našem okolí je způsobeno elektromagnetickým polem. Elektromotory vpluly do našeho života v 19. století a staly se našimi užitečnými pomocníky. I přes můj zásadní odpor ke všemu, co se točí, jsem se nakonec rozhodl, že dvě následující kapitoly této knihy budu otáčení věnovat. Ale jen tomu užitečnému, díky němuž si v moderní kuchyni připravíme třeba bramborovou kaši. O kolotočích už ode mě neuslyšíte.

Podivná síla

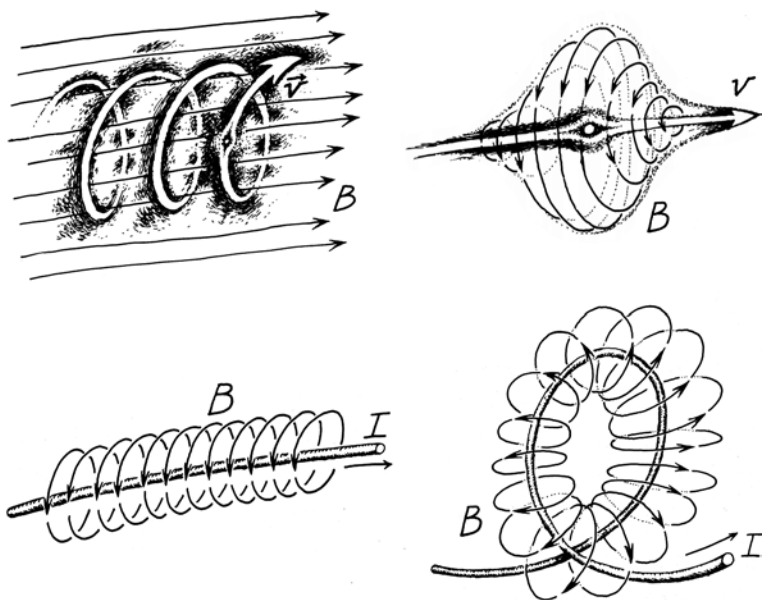
O magnetickém poli jsme si vyprávěli už v kapitole *Ušatej magnet*. Pokud do magnetického pole vlétne nabitá částice, začnou se dít divy. Tak nějak jsme si zvykli, že síla působí ve směru pole. Kámen padá ve směru tíže, proton je urychlován ve směru elektrického pole atd. Ale s magnetickým polem je to docela jinačí. Největším překvapením je to, že síla působí vždy kolmo na siločáry a vůbec ne podél nich. Pokud se částice bude pohybovat podél magnetických siločar, nebude na ni působit žádná síla. Jakoby podél nich volně klouza-

la. Pokud ji ale nasměrujeme kolmo na siločáry, bude na ni působit síla, která je kolmá jak na směr siločar, tak na směr pohybu částice. Výsledkem je to, že působící síla zakříví dráhu částice. Ta se posune do nového místa, kde bude její dráha opět zakřivena atd. Částice vržená kolmo na siločáry se nakonec bude pohybovat po kružnici, jejímž vnitřkem budou siločáry procházet. Takovému pohybu říkáme *gyrace* neboli *cyklotronní pohyb*, protože kružnice opisují i částice v cyklotronech¹. V běžném statickém poli částice nezískává ani neztrácí energii. Velikost její rychlosti se nemění, mění se jen směr rychlosti a kinetická energie je stále stejná. Působící síla je úměrná velikosti pole a velikosti rychlosti. Na nepohybující se částici proto magnetické pole nijak nepůsobí.

Pokud nalétne částice na magnetické siločáry šikmo, můžeme její pohyb rozložit do dvou směrů. Složka rychlosti mířící podél siločar bude způsobovat rovnoměrný klouzavý pohyb a složka rychlosti kolmá na siločáry kroužení. Výsledkem bude typický pohyb po šroubovici. A jsme opět u názvu kapitoly – točí se, točí. V tomto případě částice kolem siločar.

Vlastnosti síly působící v magnetickém poli na nabitě objekty poprvé popsal v roce 1881 anglický fyzik Joseph Thomson (1856–1940)². Jím odvozený vztah dával správný směr síly a správnou závislost na magnetickém poli a na rychlosti částice. Velikost síly ale předpovídal poloviční, než je skutečnost. Správný vztah našel až v roce 1889 geniální anglický elektroinženýr Oliver Heaviside (1850–1925), který opravil chybu v Thomsonově odvození a dal mu vektorový charakter. O tři roky později odvodil vztah pro sílu, kterou magnetické pole působí na nabitou částici, také holandský fyzik Hendrik Lorentz (1853–1928), po němž je dnes síla pojmenována.

-
- 1 **Cyklotron** – zařízení sloužící k urychlování nabitých částic, které jsou vedeny na kruhové dráze pomocí magnetického pole. Vlastní urychlování probíhá vysokofrekvenčním elektrickým polem v mezeře mezi elektrodami (tzv. duanty). Opakovaným průchodem dochází k urychlování. Prvního předchůdce cyklotronu postavil v letech 1929 až 1931 americký fyzik Ernest Lawrence z Kalifornské univerzity.
 - 2 **Joseph Thomson** je mj. objevitelem elektronu a hmotového spektrografu. Sedm z jeho žáků získalo Nobelovu cenu za fyziku, získal ji i on sám (1906) a také jeho syn George Paget Thomson v roce 1937 za objev vlnových vlastností elektronu. V roce 1908 byl Thomson povýšen do šlechtického stavu.



Nabitá částice a magnetické pole. Vlevo nahoře: ve vnějším poli částice klouže podél siločar po šroubovici. Vpravo nahoře: letící nabitá částice s sebou vleče balík magnetického pole, které vytváří. Vlevo dole: kolem vodiče protékajícího elektrickým proudem se vytvoří vírové magnetické pole. Vpravo dole: stočíme-li vodič protékající elektrickým proudem do smyčky, bude pole nejsilnější v jejím středu.

Mnoho takových smyček vytvoří solenoid neboli elektromagnet.

Nabitě částice nejenže reagují na magnetické pole, ale při svém pohybu samy magnetické pole vytvářejí. Kolem letící částice se vytváří vír magnetického pole, který částice unáší s sebou. Elektrický proud není nic jiného než tok nabitých částic, proto kolem vodičů protékajících proudem vzniká také pole magnetické. Pole kolem vodičů poprvé pozoroval dánský fyzik Hans Christian Ørsted (1777–1851) a ukázal jeho působení ve svém slavném experimentu se střílkou kompasu, který uskutečnil v roce 1820. Střelka se v blízkosti vodiče protékajícího proudem viditelně vychýlila ze severojižního směru, a reagovala tak na pole generované tekoucím proudem. Francouzský fyzik André-Marie Ampère (1775–1836) se jev snažil vysvětlit a objevil mnoho souvislostí mezi elektrinou a magnetizmem. Správnou formuli pro pole kolem vodiče ale objevil

až skotský teoretický fyzik James Clerk Maxwell (1831–1879) v roce 1855 a analytické vyjádření pro pole kolem letícího nabitého objektu našel Oliver Heaviside (ten, který jako první také odvodil správnou formuli pro Lorentzovu sílu) v roce 1888.

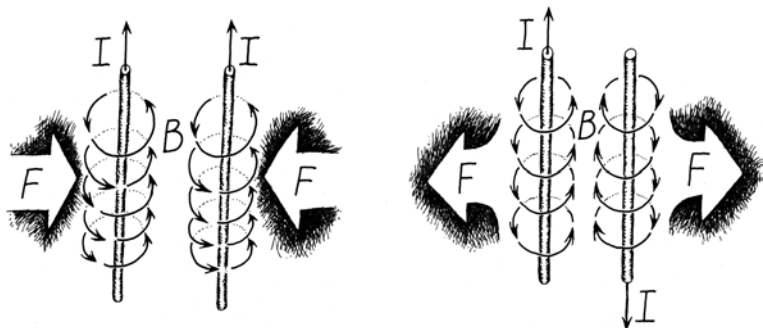
Dnes stácíme vodiče elektrického proudu do cívek, pole od mnoha závitů se počítá, a takto vzniklé elektromagnety jsou velmi užitečné v mnoha aplikacích.

Ampér

André-Marie Ampère zjistil, že mezi dvěma rovnoběžnými vodiči protékajícími proudem působí síla. Její původ je jasný. Každý z vodičů kolem sebe vytváří magnetické pole a toto pole působí na částice pohybující se v druhém vodiči. To, zda je síla odpuzivá či přitažlivá, bychom mohli zjistit detailním rozбором směru generovaného pole a směru působící Lorentzovy síly. Ke stejnému výsledku ale dojdeme i jednodušší úvahou přes magnetický tlak, který souvisí s hustotou magnetických siločar. Pokud teče proud souhlasně, mají siločáry generované mezi vodiči opačný směr, magnetické pole se vyruší a magnetický tlak mezi vodiči se sníží oproti tlaku vně nich, proto je síla přitažlivá. V opačném případě, kdy ve vodičích teče nesouhlasný proud, mají mezi vodiči magnetické siločáry stejný směr, zesílí se a magnetický tlak bude vodiče „tlačit“ dále od sebe – síla bude tedy odpuzivá.

André-Marie Ampère odvodil správný vztah pro velikost síly působící mezi vodiči. V padesátých letech 20. století (přesně to bylo v roce 1954, na *Desáté Všeobecné konferenci o měřácích a vahách*) byl tento Ampérův silový zákon využit k doplnění stávající měrné soustavy jednotek (kilogram, metr a sekunda) o jednotku elektrického proudu, která dostala název ampér. Tehdy byla přijata definice, se kterou se potýkaly následující generace studentů i profesionálních fyziků:

Ampér je takový elektrický proud, který vyvolá mezi dvěma rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného průřezu umístěnými ve vzdálenosti 1 metr ve vakuu sílu rovnou 2×10^{-7} N na jeden metr délky.



Síla mezi vodiči protékányi proudem. Vlevo: při souhlasně protékajícím proudu se pole mezi vodiči vyruší a síla je přitažlivá. Vpravo: při nesouhlasně protékányi vodiči se pole mezi nimi zesílí a síla je odpuzivá.

Proč není tato definice ideální? Představte si, že byste podle ní chtěli skutečně zkonstruovat etalon ampéru, tedy vodič, jímž poteče přesně ten správný proud. Nepůjde to. Nikdy nebudete mít k dispozici nekonečné vodiče. Nepodaří se vám vést je přesně rovnoběžně. A už vůbec nemohou mít zanedbatelný průřez, protože pak by jimi žádný proud nemohl téct. Ale to bohužel není vše.

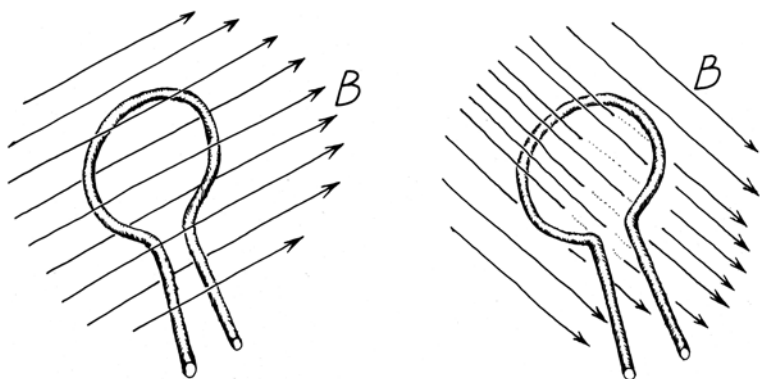
Celkem nevině vypadající hodnota síly, tedy 2×10^{-7} N, v sobě skrývá jinou jednotku, kilogram. Síla je totiž hmotnost násobená zrychlením a hmotnost měříme v kilogramech. A kilogram je definován jako hmotnost prototypu (etalonu) uloženého v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy v Sèvres u Paříže. Možná si řeknete: „Co je na tom špatného?“ Odpověď zní: „Naprosto vše.“ Kilogram totiž čas od času prochází povinnou čistící procedurou, při níž z něho vždy zmizí určitý počet atomů. Za posledních sto let těmto setřeným atomům odpovídá 50 mikrogramů. A to už je setsakramenstky hodně. A jelikož je kilogram tímto etalonem definován, je to stále kilogram. To znamená, že se při každé čistící proceduře změní hmotnost všech těles ve vesmíru, a ne málo. Fyzikové říkají, že definice kilogramu je nestabilní. A protože je v definici ampéru obsažen kilogram, je nestabilní i definice ampéru a každá čistící procedura na etalonu kilogramu změní definici ampéru. Jak z takové nepříjemné situace ven?

Jednou z možností je definovat jakoukoli jednotku elektrických veličin (napětí, proud, odpor) nějak nezávisle, nejlépe za pomoci přírodních dějů. Nabízí se Josephsonův jev (objevený v roce 1962), při němž jsou dva supravodiče odděleny malou mezerou. Pokud na spoj aplikujeme mikrovlnné záření, bude napětí na spoji kvantováno a vhodný násobek takového kvanta by byl velmi stabilní jednotkou napětí. Jiné řešení vychází z kvantového Hallova jevu (předpokládaný byl v roce 1975), při němž proud teče deskou za nízké teploty v přítomnosti magnetického pole. Kvantové jevy způsobí, že odpor kladený proudem se mění skokem (po kvantech). Dohodnutý násobek tohoto kvanta by byl přirozenou a stabilní jednotkou elektrického odporu. Takové řešení problému ampéru mohlo přijít kdykoli od 70. let dvacátého století, vůle po změně byla ale velmi malá.

V dnešní době je nestabilita některých jednotek SI zcela neúnosná, a proto dojde od roku 2018 k razantní změně, kdy budou nové jednotky odvozeny ze zafixovaných hodnot určitých konstant. Vlastně nejde o nic nového. Poprvé se tak stalo už v roce 1983, kdy byla zafixována rychlost světla. Fyzikové se zkrátka dohodli, že rychlost světla bude mít hodnotu 299 792 458 metrů za sekundu přesně. Pokud budeme provádět přesnější a přesnější měření rychlosti světla, hodnota se nezmění, ale změní se to, čemu říkáme metr. Metr je tak od roku 1983 definován pomocí rychlosti světla. Jde o vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za $1/299\,792\,458$ sekundy. Pokud bychom rychlost světla zvolili poloviční, byl by náš metr jen dvakrát tak dlouhý, než jsme si zvykli. A podobně budou ze zafixovaných konstant odvozovány i ostatní jednotky. Například ampér bude přirozeným způsobem definován přes hodnotu elektrického náboje. Po roce 2018 budou tedy základní konstanty skutečně konstantní a konečně se zbavíme nestabilních jednotek soustavy SI.

Elektromagnetická indukce

V devatenáctém století jsme se postupně dozvídali o provázanosti dějů elektrických a magnetických. Nabitě částice reagují na elektrické a magnetické pole a samy jsou schopné elektrické a magnetické pole budit. Strípky poznatků sestavovaly do výsledné mozaiky



Tok magnetického pole. Vlevo: tok je nulový, smyčkou žádná siločára neprochází. Vpravo: tok je maximální, siločáry procházejí kolmo na smyčku.

postupně desítky experimentátorů i teoretiků. Dnes známe základní princip velmi dobře: mění-li se pole magnetické, vzniká pole elektrické a naopak – mění-li se pole elektrické, vzniká pole magnetické. První část tohoto tvrzení nazýváme *jev elektromagnetické indukce*. O platnosti jevu se můžeme přesvědčit jednoduchým experimentem: uděláme z drátu smyčku a její konce připojíme k citlivému ampérmetru nebo voltmetru. Pokud kolem smyčky přejedeme tyčovým magnetem (obstará proměnné magnetické pole), ručička přístroje se vychýlí, ve smyčce (vlastně jednoduchém elektrickém obvodu) vzniklo napětí. Napětí bude vznikat jedině tehdy, pokud budeme magnetem pohybovat, jinak ne. Pouhá přítomnost magnetu (statické pole) ke generování napětí ve smyčce nestačí.

Přesná matematická formulace tohoto jevu se opírá o pojem magnetického toku. Jde vlastně o počet siločar procházející plochou naší smyčky. Ten bude maximální, budou-li siločáry procházet kolmo na smyčku a minimální, budou-li siločáry rovnoběžné s rovinou smyčky.

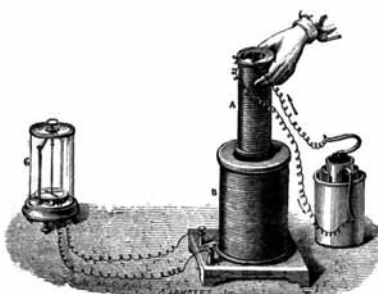
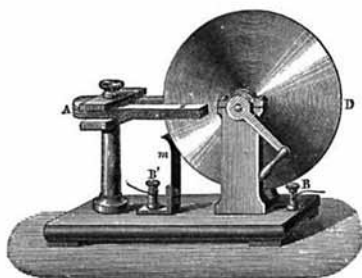
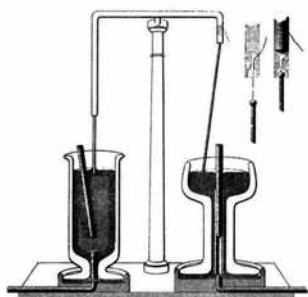
Napětí ve smyčce je generováno pouze tehdy, mění-li se magnetický tok smyčkou s časem. S naším magnetem to lze zařídit několika způsoby. *První možnost*: magnetem budeme nahodile pohybovat jako šílenci. Určitě tak zajistíme změnu počtu siločar procházející naší smyčkou a výsledkem bude generované napětí ve smyčce.

Druhá možnost: s magnetem budeme pohybovat podél smyčky. Při průchodu kolem smyčky bude počet procházejících siločar největší. *Třetí možnost:* magnet postavíme tak, aby smyčkou procházelo co nejvíce siločar a pak ho budeme od smyčky vzdalovat. Pole bude slábnout a počet siločar procházející smyčkou klesat. *Čtvrtá možnost:* magnet opět postavíme tak, aby smyčkou procházelo co nejvíce siločar a necháme ho stát. Tok smyčkou bude konstantní a žádné napětí nevznikne. Pak ale začneme smyčkou otáčet! Co se stane? Počet siločar procházející smyčkou se bude měnit a ve smyčce bude periodicky vznikat napětí. A je to tady. Točí se, točí...

Princip generátoru elektřiny je na světě. Stačí otáčet cívkou v magnetickém poli, nebo naopak vhodně orientovaným magnetem kolem cívky. Provedení mohou být různá, případ od případu se bude lišit odvod elektrického proudu z rotující cívky (používají se různé kartáčky nebo důmyslnější sběrače). Princip je ale stále stejný. Smyčka nebo soustava smyček (cívka) se pohybuje vůči magnetickému poli nějakého magnetu. A je lhostejné, zda je to statický magnet nebo cívka. Funguje i opačný princip: Proměnné elektrické pole přiváděné na cívku způsobí takové síly, že se cívka v poli magnetu začne otáčet. Točí se, točí... Takový elektromagnetický kolotoč je základem všech současných motorů. I v mixéru v naší kuchyni naleznete motor, který je složen z cívky a magnetu.

Princip elektromagnetické indukce poprvé objevil vynikající anglický experimentátor Michael Faraday (1791–1867) v roce 1831. Jeho nejslavnější experimenty jsou na následujícím obrázku.

Na levém horním obrázku je první elektrický motor, který Faraday zkonstruoval už v roce 1821. Dnešním motorům je sice na hony vzdálený, ale princip je podobný. Faraday použil dvě nádoby se rtutí (tekutým kovem). V jedné nádobce (na obrázku je nalevo) kroužil tyčovým magnetem, a tím generoval v obvodu mezi oběma nádobami elektrický proud. V druhé nádobce (na obrázku je napravo) byl svisle umístěn pevný magnet a z ramene volně visel vodič uzavírající elektrický obvod. Tento vodič protékáný proudem se začal v druhé nádobce samovolně kolem magnetu otáčet. Dnešní terminologií bychom řekli, že se stal rotorem tohoto primitivního motoru.



Faradayovy experimenty. Faradayovu laboratoř si můžete prohlédnout na 16. obrázku barevné přílohy.

Druhým experimentem (vpravo nahoře) je Faradayův disk (1831). Kovový disk byl uložen tak, aby jeho okraj procházel mezi pólovými nástavci podkovovitého magnetu. Při pohybu diskem bylo generováno napětí mezi jeho středem a okrajem. Šlo o vůbec první velmi jednoduchý generátor elektřiny.

Třetím experimentem (1831) je železný prstýnek, na nějž Faraday navinul z drátu dvě cívky. Jakmile jednu z cívek připojil k baterii, objevil se v druhé dočasně proud. Nárůst proudu v první cívkou totiž způsobil změnu toku magnetického pole druhou cívkou, a proto se v ní generovalo napětí. Stejný jev se objevil při odpojení baterie. Místo neustálého zapojování a odpojování baterie dnes používáme střídavý proud a poměrem závitů na obou cívkách měníme velikost generovaného napětí. Faradayův prstýnek se stal zárodkem dnešních transformátorů.

V posledním experimentu (1831) zasouval Faraday menší cívku připojenou k baterii do větší cívky. Menší cívka tvořila elektromagnet, jehož siločáry procházely větší statickou cívkou. Proměnný magnetický tok způsobil vznik napětí ve větší cívce, které bylo měřitelné jednoduchým elektroskopem³.

Faraday velkou měrou přispěl k poznání zákonitostí elektřiny a magnetizmu a je konstruktérem jak prvního generátoru napětí, tak prvního elektrického motoru. Matematickou podobu jím objeveným jevům dali až později James Clerk Maxwell a Oliver Heaviside.

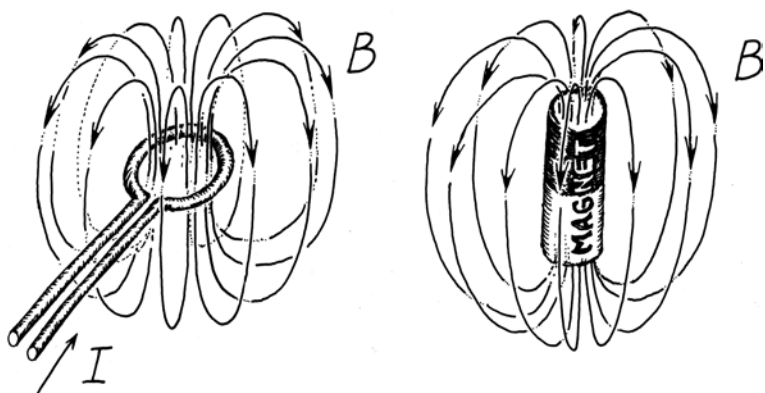
Tekutinové dynamo

Pokud protéká proud malou smyčkou, je generované magnetické pole podobné poli tyčového magnetu (říkáme mu dipólové pole).

Magnetická pole hvězd mají, alespoň v některých obdobích, přibližně dipólový charakter. Proto si na počátku 20. století většina fyziků myslela, že uvnitř hvězd teče prstencový proud, který je zdrojem magnetického pole hvězd. V roce 1934 anglický astronom Thomas George Cowling (1906–1990) teoreticky dokázal, že taková situace není dlouhodobě možná. Magnetické pole generované proudící kapalinou nemůže být statické a magnetické póly se vždy po určité době musí překlopit. Současnou teorii vzniku magnetického pole ve hvězdách vytvořili americký astrofyzik Eugene Parker, sovětský teoretik Jakov Borisovič Zeldovič a skotský astrofyzik Keith Moffatt. Většinou hovoříme o tzv. tekutinovém dynamu, protože procesy silně připomínají klasické otáčející se dynamo, které je zdrojem elektrického proudu. Zde se ale neotáčí rotor dynamu, nýbrž celá hvězda a s ní její magnetické pole.

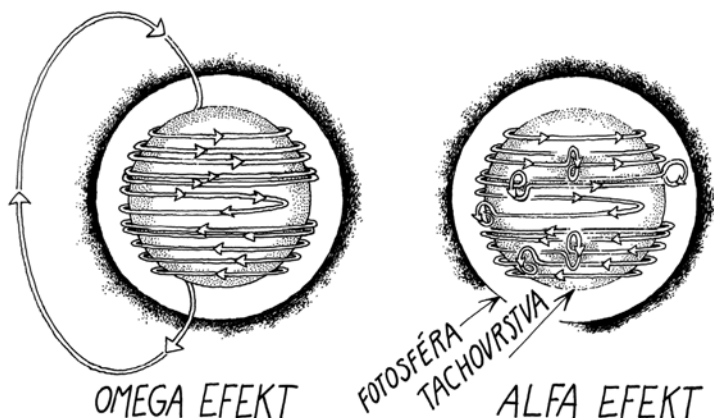
Pokud hvězda rotuje s diferenciální rotací, jsou původně dipólové siločáry vytahovány v místech rychlejší rotace (u Slunce v okolí rovníku) v rovníkovém směru. Tím dochází k natahování siločáry, tj. zvětšování její délky. Tomuto jevu říkáme omega efekt (podle

3 **Elektroskop** je jednoduché zařízení pro měření náboje. Náboj je přiveden na dva tenké kovové plátky, které se od sebe odpuzují. Z jejich vzdálenosti je možné odhadnout velikost náboje.



Magnetická pole smyčky (vlevo) a tyčového magnetu (vpravo) jsou si velmi podobná.

písmene omega, kterým označujeme úhlovou rychlost rotujícího tělesa). Při omega efektu se mění dipólová složka pole v rovníkovou. U Slunce k tomuto jevu dochází nejvýrazněji přibližně 220 000 km pod slunečním povrchem, v místě, kde se obřeží vzestupné a sestupné proudy plazmatu. Navinutí magnetické siločáry kolem dokola Slunce trvá přibližně 8 měsíců. U Země dochází k obdobnému jevu ve vodivém plastickém prostředí na hranici jádra a pláště.



Tekutinové dynamo v našem Slunci. Geneze polí vzniká v tachovrstvě, kterou tvoří spodní hranice vzestupných a sestupných proudů.

Opačným jevem, který způsobuje změnu rovníkového pole na dipólové, je tzv. alfa efekt. Ten je mnohem složitější a souvisí s náhodnými fluktuacemi rychlostního a magnetického pole v místě otáčení vzestupných a sestupných proudů. Zjednodušeně lze říci, že z chaosu zde po určité době pomalu začne vznikat nový řád a postupně se vytvářejí siločáry ve směru původního dipólu, ale opačně orientované. Severní a jižní pól si vymění svá místa. U našeho Slunce se tak stane vždy jednou za přibližně 11 roků. Celá perioda sluneční aktivity je tak 22 let. V každé půlperiodě se mění nejen charakter magnetického pole, ale i řada dalších parametrů, například počty skvrn, rychlost a složení slunečního větru atd. Přestože v základních rysech chápeme, jak sluneční dynamo funguje, detaily nejsou dodnes známy.

Víte, že

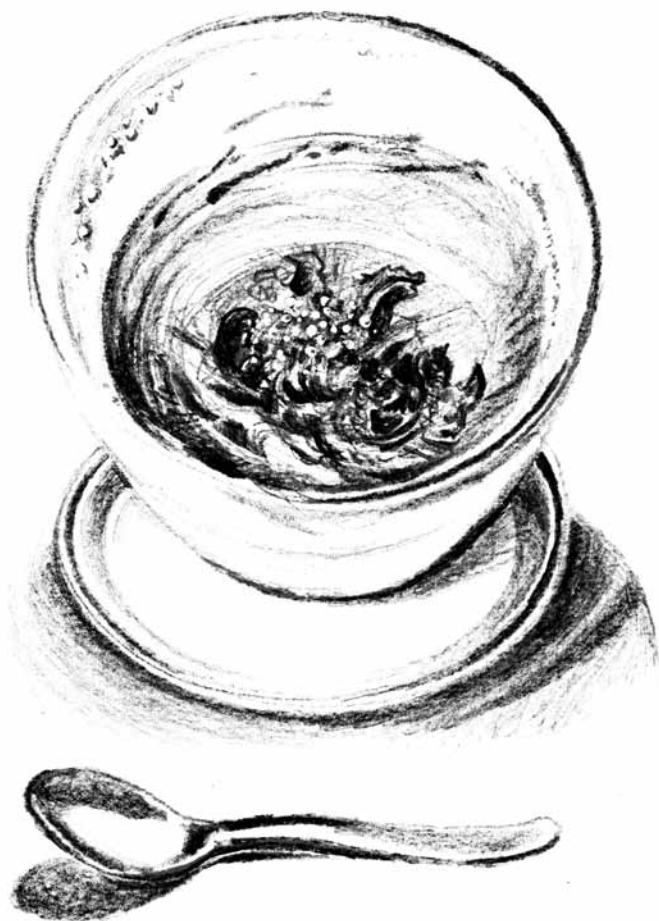
- Víte, že nestabilita kilogramu způsobená čistícími procedurami vede na nestabilitu ampéru, molu a kandely? Čtyři ze sedmi základních jednotek SI nemají v současnosti stabilní definici.
- Víte, že Michael Faraday objevil i elektrolýzu? Zjistil, že při průchodu stejnosměrného elektrického proudu některými kapalinami dochází na elektrodách k zajímavým chemickým reakcím a ke štěpení molekul kapaliny. Faradayovu laboratoř si můžete prohlédnout na 16. obrázku barevné přílohy.
- Víte, že lze otáčivého pohybu dosáhnout i pouhým elektrostatickým přitahováním? Takový elektrostatický motor zkonstruoval skotský mnich z řádu Benediktinů, Andrew Gordon, už ve 40. letech 18. století, tedy dávno předtím, než Faraday vyrobil první elektromagnetický motor.
- Víte, že dodnes není známá správná pohybová rovnice pro nabitou částici pohybující se v elektromagnetickém poli při velmi vysokých rychlostech? U takové částice už bude podstatná ztráta energie a hybnosti způsobená vlastním vyzařováním. Dodnes neexistuje žádná pohybová rovnice, která by konzistentně popsala pohyb takové částice.

■ Víte, že dynamo je označení pro generátor stejnosměrného proudu, který má nepohyblivý magnet, kolem něhož je rotor tvořený cívkou? Sběr proudu je uskutečňován pomocí komutátoru, který „sbírá“ vždy napětí stejné polarity. Dnes je jednodušší vyrábět střídavý proud a následně ho usměrnit. Pokud na dynamo naopak přivedeme stejnosměrný proud, roztočí se a funguje jako stejnosměrný motor.

Poučení na závěr: *Nikdy se nedotýkejte rotujících částí jakýchkoli motorů. Je krásné se dívat, jak otáčivý pohyb pracuje za nás, ale vždy z bezpečné vzdálenosti. Člověk se nemusí stát součástí tohoto nepochybně užitečného procesu.*

10. Točí se, točí

(od lístků čaje k Newtonovu vědru)



*Není otáčení jako otáčení. Slunce se otáčí na obloze,
dveře v pantech, pokladní v kase, lenoch na posteli
a politik v parlamentu.*

Kruhový pohyb je velmi přirozený a leckdy i užitečný. Krásným příkladem jsou kruhové objezdy, které mohou být vynikající alternativou ke složité křižovatce, ale diletantsky navržený kruháč může způsobit také dopravní kolaps. Naši zemi potkala módní vlna výstavby kruhových objездů v 80. a 90. letech 20. století. Vesnice, která si tehdy nepostavila svůj kruháč, jako by neexistovala. Jsou města, v nichž vlna kruhových objездů zcela znemožnila jejich průjezd. Typickým příkladem je Valašské Meziříčí, kde je průjezd z Olomouce na Vsetín zablokovaný dvanácti kruhovými objezdy. Projet městem se dá volně jen v noci. Ve dne to chce pevné nervy, nebo tank. Obdobná je situace v Jaroměři, tam mají ale zatím skryté rezervy a několik kruháčů by se do města určitě ještě vešlo.

Některé kruhové objezdy se mně nesmazatelně vryly do paměti. Prvním z nich je obří kruháč před kongresovým centrem ve španělské Granadě. Jízda ve Španělsku je sama o sobě nezapomenutelným zážitkem, význam světél na křižovatkách je pomíjivý a role policistů u silnic ryze dekorativní. V hustém provozu jel na granadském kruháči motocyklista, jednou rukou držel řídítka, v druhé měl mobil a telefonoval. Jeho pád na vozovku byl už jen vyvrcholením situace a pro nás skvělým divadlem. Pokud čekáte, že sebral motorku, nasedl a odjel, tak se mýlíte. Nejprve totiž dokončil velmi dlouhý a zjevně důležitý hovor. Auta ho objížděla a chaos na kruháči gradoval. Dvacet metrů od nehody stál dopravní policista, který vývoj situace sledoval s okázalým nezájmem. Závěr už byl nudný. Motocyklista dotelefonoval, zdvihl opodál se válející stroj a odjel. Trochu jiné kafe jsou kruhové objezdy v Turecku. Kdo netroubí, není král. Teprve v Turecku jsem zjistil, k čemu je v autě klakson. My jsme do Turecka jeli v roce 2006 za zatměním Slunce. Kruháče jsme využívali nejen jako křižovatky, ale také jako místa srazu. První auto zkrátka za halasného troubení kroužilo tak dlouho, až dojelo poslední, sešikovali jsme řady a vyrazili na další pouť. Nejdokona-

lejší kruhové objezdy jsem poznal v Anglii. Už před kruháčem je provoz rozřazen do pruhů podle toho, kde budete z objezdu vyjíždět. Pokud se zařadíte do správného pruhu, provede Vás celým kruháčem a vyplivne ven přesně tam, kde jste chtěli vyjet. Jednoduché, účinné a bez kolon.

Zcela na závěr jsem si v tomto úvodním rozjímání o kruháčích ponechal jeden skvost, skutečnou perlu mezi kruhovými objezdy. Je to tzv. „Kulaťák“ v Dejvicích na Praze 6. Kdo neviděl, neuvěří. Jde o popření veškerých fyzikálních zákonitostí. Na kulaťák se vjíždí z širokých tříd, které jsou před vjezdem vozovky na kruháč zúženy do dvou či pouze do jediného pruhu. Tento husarský kousek zajistí na příjezdových silnicích kolony, leckdy i na půl hodiny. Pokud na Kulaťák vjíždíte a chcete vyjet hned na nejbližším výjezdu, logicky byste chtěli použít vnější pruh, abyste se nepletli do cesty autům jedoucím na vzdálenější výjezdy. To by si ale řidič vůbec neužil. Proto jsou u vjezdu na vnější pruh zátarasy! Musíte se tedy proplést do vnitřních pruhů, abyste v zápětí zase museli kličkovat ven. Nevěřím, že jde o náhodu. Dopravní řešení pražského Kulaťáku je skutečně mistrovským dílem a myslím si, že se jeho tvůrce doteď směje, až se za břicho popadá. Vraťme se ale nyní od kroužících aut do naší kuchyně, kde zamícháme čaj a místo aut budeme pozorovat kroužící lístky čaje.

Paradox čajových lístků

Všimli jste si, že se při míchání čaje čajové lístky (v případě čaje českého podivná drť neidentifikovatelného původu) soustředí uprostřed dna hrnku? Na první pohled bychom očekávali, že odstředivá síla lístky natlačí k okraji hrnku, ale nic takového se nestane. Tento paradox poprvé uspokojivě vysvětlil v roce 1926 Albert Einstein.

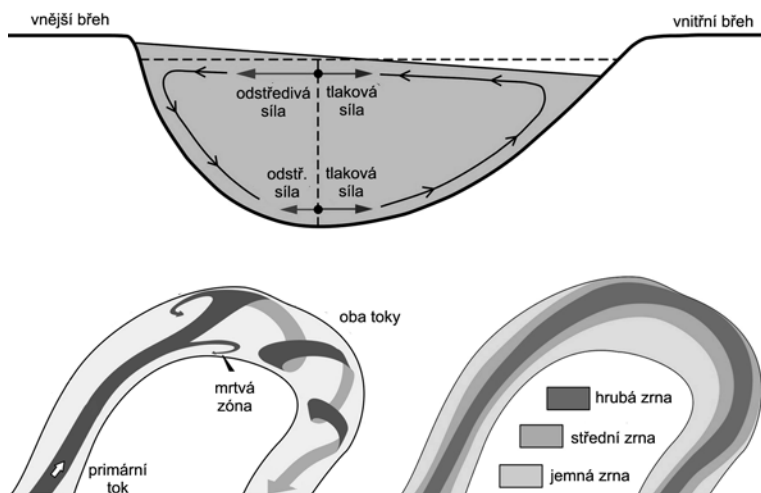
Zkoumejme nejprve základní krouživý pohyb (říkáme mu primární tok). Představme si, že lžičkou mícháme čaj po dosti dlouhou dobu, takže se otáčení veškeré kapaliny nakonec vyrovná a čaj se otáčí všude zhruba se stejnou úhlovou rychlostí. Obvodová rychlost je nulová uprostřed hrnku a nejvyšší v blízkosti okraje hrnku.

Sledujme nyní malou povrchovou oblast otáčející se kapaliny. Působí na ni dvě síly – ve svislém směru tíže a ve vodorovném směru odstředivá síla. Výslednice obou sil nemíří svisle, ale je poněkud vychýlena k okraji hrnku. Hladina kapaliny se vždy ustaví tak, aby byla kolmá na výslednici sil (protože v ní neexistují tečné složky napětí a kapalina se bez problémů přesune tak, aby zaujala z hlediska energie nejvýhodnější polohu, tedy co nejdále ve směru působení síly). Povrch rotující kapaliny bude zakřiven a získá přibližně tvar rotačního paraboloidu.

Zajímavý jev nastane u okraje hrnku, kde se vrstvička přiléhající ke keramice neotáčí. Ve vodě dochází k vnitřnímu tření (tzn., že má nenulovou viskozitu) a v místě dotyku kapaliny s hrnkem vznikne malá přechodová vrstva, v níž se rychlost prudce mění z nuly na maximální rychlost otáčení na periferii hrnku. Další přechodová vrstva je u dna hrnku, kde je opět díky tření v přiléhající vrstvě nulová rychlost pohybu kapaliny. Nulová rychlost otáčení kapaliny je proto na třech místech – uprostřed hrnku, na okraji hrnku a na dně hrnku. V místě nulové rychlosti se mohou snadno vyvinout sekundární toky, které mají jiný směr proudění než primární tok.



Primární a sekundární tok v otáčející se kapalině.



Sekundární toky přispívají k tvorbě meandrů. Meandry pod francouzským horským jezerem d'Allos si můžete prohlédnout na obrázku 20 barevné přílohy.

Jak bude vypadat situace u dna hrnku? Na okraji je hladina kapaliny výše než ve středu, proto je u okraje vyšší hydrostatický tlak¹ než ve středu hrnku. Vzniklý spád tlaku rozpohybuje kapalinu u dna hrnku tak, že dojde k proudění z místa vyššího tlaku (od okraje dna hrnku) do místa nižšího tlaku (ke středu dna hrnku). V hrnku se objeví sekundární tok, při kterém kapalina klesá podél stěn hrnku dolů, na dně se pohybuje do středu hrnku a uprostřed hrnku stoupá vzhůru, odkud dále po povrchu proudí k okraji hrnku. Ke vzniku proudění přispívá nejen různý hydrostatický tlak u dna, ale i přechodová vrstva samotná. Po detailnější analýze se ukáže, že u povrchu způsobí boční přechodová vrstva spád tlaku mezi středem hrnku a jeho okrajem a nutí kapalinu téci od středu k okraji.

Čajové lístky spolu s čajovou drtí sledují jak primární, tak sekundární tok. Sekundární tok je zanesen do centrální části dna hrnku, kde se hromadí, neboť vzestupný tok není natolik silný, aby těžké lístky vynesl opět k povrchu.

¹ **Hydrostatický tlak** – tlak v kapalině způsobený tíží sloupce kapaliny nad daným místem. Hydrostatický tlak je roven součinu tíhového zrychlení, hustoty kapaliny a výšky sloupce kapaliny (hloubky pod povrchem).

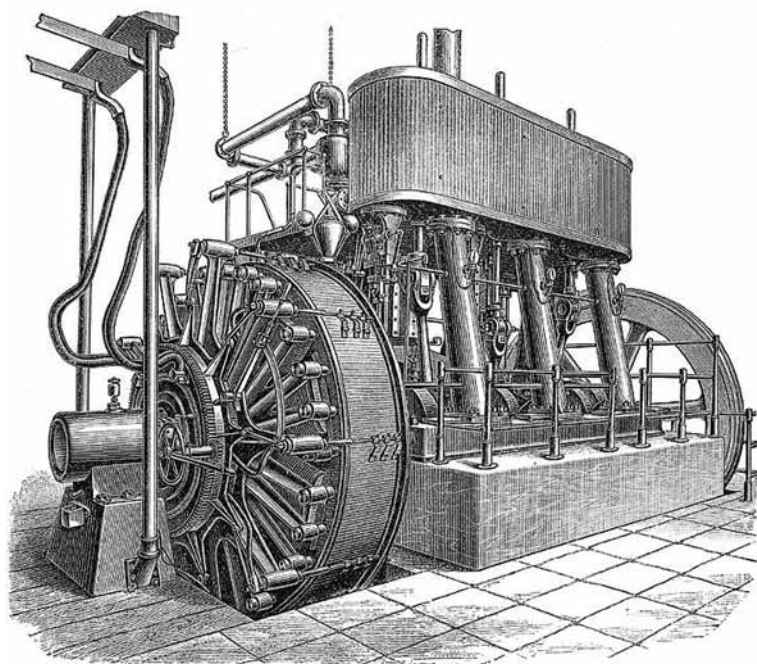
Sekundární toky nevznikají jen v šálku čaje. Typické jsou i u kroužících vzdušných mas, kde vzniká přechodová vrstva mezi danou oblastí a zemí a vzniklé sekundární toky zde spoluformují charakter počasí. V řekách ovlivňují sekundární toky vznik a tvar meandrů. Sekundární toky našly uplatnění i v některých technologiích. Umožňují například separaci krevních buněk ve speciálních odstředivkách. Einsteinův paradox čajových lístků tak není jen pouhou zajímavostí, ale důležitým fyzikálním jevem, který má i svá další uplatnění.

Setrvačnost

Jednou ze základních fyzikálních vlastností těles je setrvačnost. Tělesa se snaží udržovat pohyb, který právě vykonávají. A je jedno, zda jde o pohyb posuvný či otáčivý. U posuvného pohybu je schopnost těles setrvávat v daném pohybovém stavu dána jejich hmotností. Snadno změníte pohybový stav těles s malou hmotností. Letící míč chytíte a zastavíte, stojící míč nakopnete a uvedete do pohybu. U těles s velkou hmotností to není tak snadné. Vlak stojící na nádraží můžete sice nakopnout, ale jeho pohybový stav nezměníte, maximálně si zlomíte palec u nohy. A zastavit jedoucí vlak vlastním tělem se pokouší jen blázní a sebevrazi.

U otáčivého pohybu je schopnost těles setrvávat v daném pohybovém stavu dána jejich momentem setrvačnosti. Ten je pro kuličku na provázku roven hmotnosti kuličky vynásobené druhou mocninou její vzdálenosti od osy otáčení². U složitějších těles (například našeho šálku čaje) rozdělíme objekt na mnoho menších otáčejících se částí a jejich momenty setrvačnosti sečteme. Je jasné, že kvadratická závislost momentu setrvačnosti na vzdálenosti hmoty od osy otáčení vede na lepší setrvačné vlastnosti těles, u kterých je hmota soustředěna v co největší vzdálenosti od osy otáčení. Proto se setrvačníky dělají tak, že podstatná část jejich hmotnosti je na okraji.

2 Kinetická energie rotující kuličky je $\frac{1}{2} m v^2$. Za pomoci úhlové rychlosti ω ji přepíšeme do tvaru $\frac{1}{2} m l^2 \omega^2$. Součin hmotnosti m a druhé mocniny vzdálenosti l od osy otáčení je moment setrvačnosti J . Kinetická energie tak získá tvar $\frac{1}{2} J \omega^2$, z něhož je vidět, že u otáčivých pohybů je hmotnost zaměněna momentem setrvačnosti a rychlost úhlovou rychlostí. Roli setrvačné hmotnosti zde přebírá moment setrvačnosti.



Setrvačnickové kolo je dobře patrné v zadní části dynama. Kvalitní setrvačnick má hmotu soustředěnou v co největší vzdálenosti od osy otáčení.

Takový setrvačnick obtížně roztočíte (brání se změně stavu z klidu do pohybu), ale když už se točí, jen s velkým úsilím ho zastavíte (brání se změně z pohybu do klidu).

Zákon setrvačnosti se objevuje v mnoha podobách, jedna z prvních formulací pochází od Isaaca Newtona (1642–1727) a objevila se v jeho slavných *Principiích* vydaných v roce 1687. Pátrání po setrvačnosti těles je tak trochu na pomezí fyziky a filosofie a dodnes nebylo nalezeno uspokojivé vysvětlení původu setrvačných vlastností těles.

Od Newtonova vědra k relativitě

Různě se pohybující tělesa přivedla Isaaca Newtona k představě, že pohyby můžeme rozdělit na relativní (zdánlivé) a absolutní (skutečné). Krajina za oknem vlaku se zdánlivě pohybuje dozadu, zatímco



Newtonův experiment s rotujícím vědrem.

na kolotoči, který způsobí dávivý reflex, jde o skutečný pohyb. Ve svých Principiích uvedl Newton dnes slavný experiment s vědrem, který si prý sám vyzkoušel. Představme si vědro naplněné vodou, které visí na provaze. Vědrem budeme pomalu otáčet tak dlouho, až se provaz výrazně zkroutí. Vyčkáme, až se hladina uklidní a poté vědro uvolníme. Nejprve se bude otáčet jen vědro a voda zůstane díky setrvačnosti vzhledem k zemi nehybná. Poté tření mezi rotujícím vědrem a vodou postupně rozpožhybuje i vodu ve vědru. Vzájemná rychlost mezi vodou a vědrem bude v tuto chvíli už nulová a na hladině se objeví charakteristické prohnutí způsobené odstředivou silou.



Newton viděl v průhybu hladiny důkaz absolutního (skutečného) pohybu vody. Na počátku experimentu, kdy se voda ještě nepohybovala a vzájemná rychlost vody a vědra byla maximální, byla vodní hladina rovná. Newton ovšem přiznává, že rozlišení vzájemných a skutečných pohybů může být v některých případech značně obtížné.

Newtonovu interpretaci experimentu s vědrem podrobil kritice rakouský fyzik a filosof

Ernest Mach (1838 – 1916), který byl zastáncem názoru, že všechny pohyby jsou jen relativní. Předpokládal, že vzájemné pohyby těles jsou rovnocenné existenci sil mezi nimi a zodpovědné i za setrvačnost těles. Tvrdil, že i těleso v klidu působí na okolní pohybující se tělesa silou, k přenosu sil postačí jen nenulová vzájemná rychlost. Relativnost pohybu Newtonova vědra parafrázuje komentářem: „Zastavte Newtonovo vědro a roztočte nebe s hvězdami a dokažte, že neexistují odstředivé síly“. Jinými slovy říká, že pokud by vědro stálo a otáčel se kolem celý vesmír, dopadne experiment stejně a hladina bude opět prohnutá. Mach velmi dobře věděl, že jde o absurdní nadsázku, nebe roztočit nelze, byl by zde navíc problém s nadsvětelnými rychlostmi vzdálených částí vesmíru a vznikly by i další potíže. Chtěl jen ukázat, že i pohyb vědra lze chápat relativně a i při relativním pohybu se mohou objevit odstředivé síly formující tvar hladiny. Někteří fyzikové začali jeho výroky interpretovat tak, že za setrvačné chování vědra je zodpovědný celý zbylý vesmír a že je tedy setrvačnost těles dána existencí všech okolních těles. Pak se

ovšem dostaneme do neřešitelných problémů. Pokud by existovalo ve vesmíru jen jedno jediné těleso a kolem by byla prázdnota, jeho setrvačná hmotnost by byla nulová. A pokud ho roztočíme, vůči čemu se bude točit? A budou na něho působit odstředivé síly, které ho zdeformují, abychom poznali, že je v absolutním pohybu, nebo na něho odstředivé síly působit nebudou a setrvačnost je skutečně vlastností danou tělesu jeho okolím? Jde o skvělou ukázkou úniku z fyzikální reality kamsi do hlubin spekulací a pseudofilosofických úvah. Fyzika má popisovat reálný svět. V něm nikdy nenastane případ, že by se točil vesmír kolem vědra a že by zde existovalo jediné těleso obklopené prázdnotou. Jediným kritériem správnosti teorie je její souhlas s experimentem.

Mach byl natolik důsledně relativistický, že mu vadil i dosud používaný koncept kinetické energie, neboť v něm vystupuje rychlost tělesa vzhledem k nějaké zvolené souřadnicové soustavě. Představoval si, že kinetická energie bude jednou narazena jinou veličinou, v níž budou jen rozdíly vzájemných rychlostí sousedních těles. Pokusy o vybudování takové mechaniky se konají dodnes, někteří autoři jdou dokonce tak daleko, že se z rovnic snaží „vyhnat“ i čas, který považují za absolutní prvek v jakékoli jeho podobě.

Albert Einstein na Machovy myšlenky volně navazoval. Zabýval se vztahem mezi gravitací a setrvačností a zjistil, že oba jevy jsou si velmi blízké a v myšlenkových experimentech nerozlišitelné. Pohyby těles ve zrychlující se soustavě jsou stejné jako v gravitačním poli. Pokud sedíte v automobilu a řidič sešlápne plyn, snaží se vaše tělo setrvávat na původním místě. Výsledkem je, že vás setrvačnost přitlačí k sedadlu. Efekt je stejný, jakoby na vaše tělo působila směrem k sedadlu gravitační síla. Hluboké zkoumání ekvivalence setrvačných a gravitačních jevů přivedlo Einsteina k tomu, aby Machovu myšlenku, že za setrvačnost těles může veškerý vesmír, přeformuloval do tvrzení, že gravitační pole je zcela určeno veškerou hmotou ve vesmíru. Toto tvrzení nazval v roce 1918 Machovým principem (bylo to dva roky po Machově smrti). Mach nikdy své myšlenky přesně takto ale neformuloval (většina jeho formulací byla poněkud vágních) a dodnes se vedou učené diskuze o vztahu

Machových a Einsteinových postojů. Albert Einstein představil světu v roce 1915 obecnou relativitu, novou teorii gravitace, která je Machovým myšlenkám blízká. Gravitační pole je převedeno na zakřivení času a prostoru a každé těleso jen svou přítomností zakřivuje čas a prostor kolem sebe, a tím přispívá k jeho existenci. Bez těles by neexistoval ani prostor, ani čas. Tělesa se potom v tomto pokriveném světě pohybují po nejrovnějších možných drahách, tzv. geodetikách. Například Země se pohybuje kolem Slunce po elipse proto, že Slunce takto pokrřivilo svět kolem sebe. Obecná relativita se stala dosud nejúspěšnější teorií gravitace v historii lidstva a správně popisuje veškeré pozorované děje. Je „machovská“ v tom smyslu, že zakřivení, které nahrazuje gravitaci, je způsobeno všemi tělesy ve vesmíru a že jsou v ní všechny pohyby jen relativní. Nikdy se ale nezabývala souřadnicových soustav, v nichž jsou děje popisovány, i když je třeba říci, že volba souřadnicové soustavy může být jakákoli a absolutní globální soustava zde neexistuje. Dodnes probíhají bouřlivé diskuze o tom, které z Machových myšlenek relativita obsahuje a které ne. Tyto diskuze nemohou mít nikdy konce, protože Machovi jsou průběžně přisuzovány další a další výroky, které nikdy neřekl. Vytvářejí je postupně jeho následovníci – snad v dobré víře, jak by bylo krásné, kdyby to či ono řekl Mach sám, nebo jako svou interpretaci některých Machových nepřesných výroků. Celá diskuze tak dostává ráz absurdního divadla, které je lepší sledovat s úsměvem z povzdálí a které nemá pro fyziku samotnou žádný hlubší smysl.

Prokleté skoky

Nabitá částice³ kroužící kolem siločar, točící se rotor motoru, kroužící kapalina v čaji či v Newtonově kýblu – to vše jsou ukázky makroskopických otáčivých pohybů. Na počátku 20. století se ukázalo, že v mikrosvětě jsou při otáčení patrné určité skoky, objekt mikrosvěta se nemůže točit libovolným způsobem, ale jeho točivost⁴ může

3 Přesnější by bylo hovořit o objektech mikrosvěta než o částicích, protože se tyto malé entity někdy chovají jako částice a jindy jako vlnění. Tento částicově-vlnový dualismus je pro objekty mikrosvěta typický.

4 **Točivost (moment hybnosti)** – veličina charakterizující otáčivý pohyb. Pro pohyb tělesa

nabývat jen určitých hodnot. Kvantové skoky se u mikroskopických objektů týkají nejenom točivosti, ale v některých případech i energie a dalších veličin.

Pro člověka je představa nespojitě se měnících veličin velmi nepřírozená, neboť ji v makrosvětě nepozoruje a není na ni zvyklý. Ve skutečnosti jde o běžnou součást přírody. Budete-li roztáčet nějaké těleso, například míchat lžičkou čaj v hrnku, budou mít obíhající částice jen některé točivosti a celková točivost kapaliny se nebude zvyšovat plynule, ale po skocích. Proč je nepozorujeme? Jsou pro to dva důvody: První je ten, že kvantové skoky jsou velmi malé. Pro gramovou kuličku otáčenou na metrovém závěse rychlostí 1 m/s je její točivost rovna 10^{-3} Js. Kvantové skoky mají ale velikost 10^{-34} Js a nejsou pozorovatelné ani našimi smysly, ani našimi nejpřesnějšími přístroji. Druhý důvod je ten, že makroskopické objekty jsou ve skutečnosti složeny z mnoha částic, jejichž skoky se skládají a překrývají a navíc jsou doslova „utopeny“ v tepelném šumu, který je každému makroskopickému tělesu vlastní.

U malých objektů je ale situace zcela jiná. Kvantové skoky točivosti jsou zde dobře patrné. Elektron v atomárním obalu má v různých místech různou točivost (moment hybnosti). A protože jeho točivost může nabývat jen určitých vybraných hodnot, nemůže se elektron nacházet na libovolné dráze⁵ a mít libovolnou energii. Základním skokem točivosti objektu mikrosvěta je tzv. redukovaná Planckova konstanta, jejíž hodnota je přibližně $1,05 \times 10^{-34}$ Js. Při měření, které se vždy provádí vůči určité ose, tak točivost neboli moment hybnosti může být jen určitým násobkem redukované Planckovy konstanty. Skoky veličin, které jsou kvantové teorii vlastní, zaskočily fyziky na počátku 20. století. Jeden ze zakladatelů kvantové teorie, Erwin Schrödinger, při jedné diskuzi s Nielsem Bohrem řekl: „Jestliže se nezbavíme těchto prokletých kvantových skoků, pak lituji, že jsem se do toho kdy míchal.“

po kružnici je točivost dána součinem hmotnosti, oběžné rychlosti a vzdálenosti od osy otáčení. Jednotkou točivosti je joule násobený sekundou (Js).

5 Slovo **dráha** zde není úplně vhodné. Poloha ani rychlost elektronu nejsou přesně definovány, ve skutečnosti známe jen pravděpodobnosti výskytu elektronu v určitém místě atomárního obalu.

Otáčivý pohyb, se kterým jsme se nejprve setkali na kruhovém objezdu, nás přes kroužící lístky čaje dovedl k hlubokomyslným úvahám o původu setrvačnosti, na něž jsme dosud nenalezli uspokojivou odpověď. A kvantové skoky objektů kroužících v mikrosvětě jsou už jen poslední ukázkou, že obyčejné otáčení dokáže někdy být i neobyčejné.

Víte, že

■ Víte, že tvorbu sekundárních toků při proudění ve stočené trubici propočítal v roce 1868, dávno před Einsteinem, francouzský matematik a fyzik Joseph Valentin Boussinesq? Experimentálně sledoval migraci částic vlivem sekundárních toků také ruský fyzik Alexandr Jakovlevič Milovič v roce 1913.

■ Víte, že v obřích setrvačnicích lze uchovávat pohybovou energii i po mnoho hodin? U některých vědeckých zařízení je část elektrické energie přeměněna na pohyb setrvačníků, které mohou kinetickou energii později přeměnit opět na elektrickou a vyrovnávat tak výkyvy v její spotřebě.

■ Víte, že se Ernst Mach narodil v Chrlicích u Brna? Dětství prožil na statku u Vídně, gymnázium vystudoval v Kroměříži, poté studoval na Vídeňské univerzitě. Působil ve Vídni, ve Štýrském Hradci, ale i na Pražské univerzitě, kde přednášel 28 let a byl ředitelem Fyzikálního kabinetu Karlo-Ferdinandovy univerzity, děkanem filosofické fakulty (1872/73) a rektorem celé univerzity (1879/80). Závěr vědecké kariéry prožil opět ve Vídni – tam, kde jeho vědecký život započal.

■ Víte, že v roce 2016 byla ke stému výročí smrti Ernsta Macha odhalena pamětní deska ve slavnostních prostorách Univerzity Karlovy na pražském Ovocném trhu?

■ Víte, že objekty mikrosvěta mají dva druhy točivosti? Jedna – moment hybnosti – je spojena se skutečným pohybem objektů a druhá – spin – je jejich interní vlastností. Se spinem částic jsme se setkali podrobněji v kapitole *Ušatej magnet*. Obě dvě točivosti se skládají ve výsledný celkový moment hybnosti částice.

■ Víte, že otáčivý pohyb lze na kosmických lodích využít k simulaci gravitace? Vzniklou odstředivou sílu budou kosmonauti vnímat jako slabou gravitaci.

■ Víte, že se střely v hlavních pistolích stabilizují rotací? Otáčející se střela má jak translační, tak rotační setrvačnost a je při pohybu méně náchylná ke změně směru.

Poučení na závěr: *Nesjíždějte bez rozmyslu neznámý jez. Sekundární toky je mnohem pohodlnější pozorovat v šálku čaje, než být jejich součástí kdesi hluboko pod vodou.*

11. Zrcadlo, zrcadlo, kdo je na světě nejkrásnější?



Zrcadlo nemůže odrážet bohy, když se do něho dívají opice.

Ernest Hemingway

Když jsem získal svůj první byt – bylo to na sídlišti ve Stodůlkách – koupil jsem si jako jeden z prvních doplňků bar. Nádherná skříňka plná skleněných poliček a zrcadel na všech vnitřních stěnách. Položená sklenička se mnohonásobila četnými odrazy a zrcadlila se v mnoha podobách. Jako student jsem sice tenkrát neměl peněz nazbyt, ale chápal jsem, že byt bez baru by byl jen pouhou noclehárnou.

V té době se objevila zajímavá finanční nabídka. Sousedka mých rodičů se dostala do nemilé situace, elektrické rozvody v jejím domě nesplňovaly patřičnou normu a požádala mě o pomoc. Čtrnáct dní jsem přetahoval hliníkové dráty za měděné, sekal, sádroval, vyměňoval zásuvky a vypínače. Dobrá věc se podařila a revizní technik nový rozvod bez problémů schválil. Říkal jsem si, že pár kaček by to mohlo hodit. Stará paní mě ale překvapila: dostal jsem od ní za celou tu rachotu láhev bílého vína. Nebyl jsem příliš nadšen, ale nakonec jsem si řekl, že každý by tu a tam měl udělat dobrý skutek a že už mám tedy alespoň pro tento rok splněno.

Láhev jsem odvezl do bytu, uložil do baru a pak na ni zapomněl. Po čtrnácti dnech se ozvala sama. Nad ránem jsem se probudil ohlušující ránou. Vůbec jsem v rozespalosti netušil, co se děje. První myšlenka byla, že nám někdo vyhlásil válku a nastalo bombardování. Posléze jsem ale zjistil, že ono skvělé víno v baru explodovalo a rozbilo nejen skleničky, ale i krásná zrcadla a poličky. Můj dobrý skutek byl po zásluze potrestán. Smutek přešel v racionální uvažování. Byt byl pojištěn u České pojišťovny na vše možné, včetně živelných pohrom a explozí. Hned druhý den jsem vyplnil formulář k pojistné události a předal ho slečně za přepážkou. Odpověď přišla kupodivu už za dva nebo tři dni a byla pro mě velkým zklamáním. Exploze láhve prý není v žádném případě chemickou explozí dle pojistné smlouvy. Diskutabilnost verdiktu byla zjevná, ale jako málo zkušený studentík jsem prostě neměl šanci. Velké zklamání

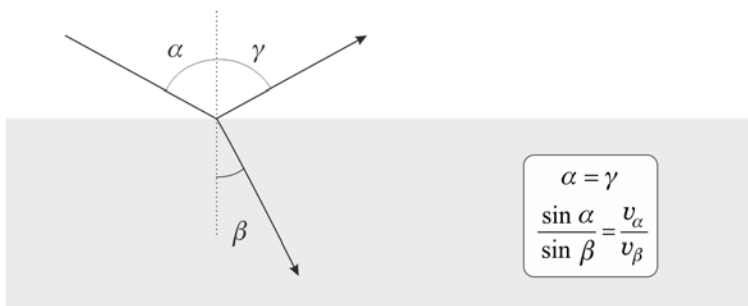
z nepřízně osudu vystřídal poslední nápad. Sedl jsem ke stolu a napsal dopis výrobci baru. Detailně jsem popsal vše od sekání elektriky až po explozi rozkvašeného vína a prosil je, zda by mně neprodali jen samotná zrcadla a skla, že na celý nový bar nemám peníze. Reakce byla neméně rychlá jako u pojišťovny. Za pár dní přišel balík s novými zrcadly a skly s připojeným dopisem, že se už dlouho tak nezasmáli a vše mně posílají zcela zdarma.

Z příběhu plyne několik poučení, tentokrát hned na úvod:

1. *Dobré skutky se mohou obrátit proti vám, nepřehánějte to s nimi.*
2. *Není exploze jako exploze a kvašení vína pro část populace nepatří k chemickým procesům.*
3. *Nevěřte pojišťovnám, jsou v nich proradní kojotové.*
4. *I dobří lidé se občas najdou.*
5. *Nezahorčnete a kupujte si zrcadlové bary, jsou krásné!*

Lom a odraz

To, že se vidíme v zrcadle, je způsobeno odrazem světelných paprsků od povrchu zrcadla. Chování světelných vln na rozhraní dvou prostředí zajímalo učence od středověku. Vždyť kdo by si nepovšiml zrcadlení okolní krajiny na hladině řeky nebo změny vzhledu hůlky ponořené do vody. Paprsky se mohou na hranici dvou prostředí odrážet nebo lámat (vstupovat do druhého prostředí). Těžko říci, kdo jako první zjistil, že při odrazu platí rovnost úhlu dopadu a úhlu odrazu. O tomto zákonu odrazu se zmiňuje už Eukleidés (asi 325–260 př. n. l.) ve spise *Catoptrics*, ale nepochybně byl znám už dávno před ním. Skutečné odvození zákona odrazu provedl Hérón Alexandrijský (asi 10–70 n. l.) z požadavku, aby dráha paprsku od objektu k zrcadlu a od zrcadla k oku byla co možná nejmenší. Tento požadavek vede na rovnost úhlu dopadu a odrazu. Dnes víme, že správný je jedině požadavek na nejkratší dobu šíření paprsku. V případě odrazu vede princip nejkratší dráhy i nejkratšího času sice ke stejnému výsledku, ale v případě lomu paprsku, kdy se rychlosti šíření světla v obou prostředích liší, vede ke správnému výsledku jen princip nejmenšího času.

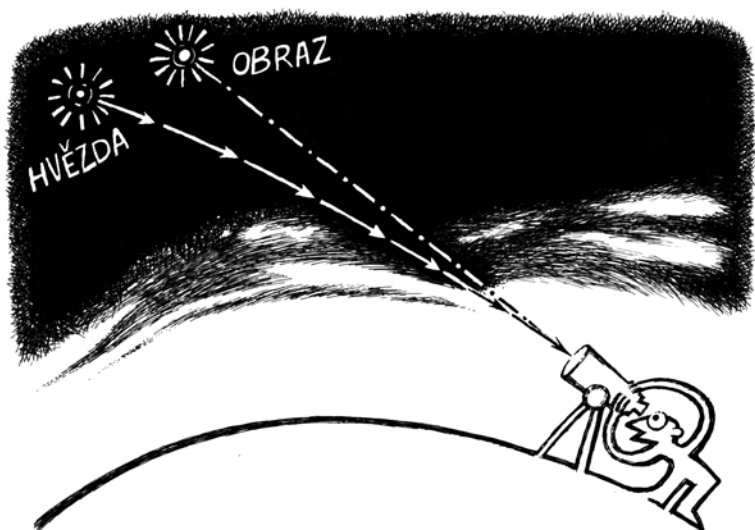


Zákon odrazu a lomu na hranici dvou prostředí.

Zákon lomu¹ poprvé odvodil arabský učenec Ibn Sahl (asi 940–1000) v roce 984. V západním světě znovuobjevil zákon lomu až holandský astronom a matematik Willebrord Snellius (1580–1626) v roce 1621. Jeho předchůdci popisovali lom světla pomocí experimentálně sestavených tabulek. Zákon lomu se také pokoušel nalézt francouzský filozof, fyzik a matematik René Descartes (1596–1650). Vycházel z analogie míčků, které při letu proniknou skrze tenkou překážku, ztratí energii a jejich dráha změní směr. Bohužel došel tímto postupem k výsledku, v němž sice správně vystupují siny úhlů dopadu a lomu, ale poměr rychlostí světla v obou prostředích mu vyšel obrácený. Správnou formuli pro zákon lomu odvodil také francouzský matematik a právník Pierre de Fermat (1601–1665) z principu minimálního času.

Z dnešního pohledu je při odvozování způsobu šíření světla nejspěšnější Fermatův princip minimálního času: *Ze všech možných trajektorií se světlo vždy šíří po takové dráze, aby byla celková doba šíření minimální.* Z tohoto principu jasně plyne, že v homogenním prostředí se světlo šíří po přímkách, že při odrazu musí být úhel dopadu a odrazu stejný a že při lomu je poměr sinů obou úhlů roven poměru rychlostí šíření v obou prostředích. Fermatův princip umožňuje i správný popis chodu paprsků v nehomogenních

¹ **Zákon lomu** – poměr sinu úhlu dopadu a sinu úhlu lomu je roven poměru rychlostí šíření paprsků v obou prostředích (tzv. relativnímu indexu lomu). Úhly dopadu a lomu měříme od kolmice k danému prostředí.

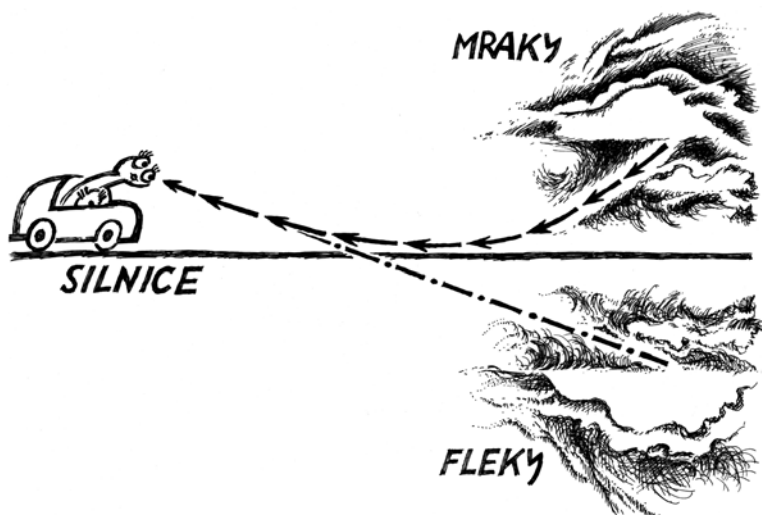


Aplikace Fermatova principu na atmosférickou refrakci.

prostředích, tedy všude tam, kde se index lomu² mění postupně od místa k místu. Uvedme dva příklady. Nejprve sledujme paprsek, který ze vzdálené hvězdy letí k přístroji umístěnému na povrchu Země. Paprsek se po vstupu do atmosféry bude dostávat do stále hustších a hustších oblastí, kde se rychlost jeho šíření snižuje. Za nejkratší dobu proto nedolétne přímý paprsek, ale paprsek, který si „nadběhne“ řidším prostředím. Výsledkem je, že do přístroje vstupuje paprsek pod jiným úhlem, než je přímá spojnice ke hvězdě, a my uvidíme hvězdu na obloze výše, než je ve skutečnosti. Tomuto jevu říkáme *atmosférická refrakce*.

Druhým příkladem je pohyb paprsku nad rozpálenou silnicí. Když se za horkého léta díváte z jedoucího automobilu před sebe, můžete si všimnout zvláštního jevu. V horkém prostředí u silnice se paprsky

2 **Index lomu** – *absolutní index lomu* je definován jako podíl rychlosti světla a fázové rychlosti. *Relativní index lomu* je dán poměrem indexů lomu prostředí, do kterého záření vstupuje vůči indexu lomu prostředí, z něhož záření vychází. Na rozhraní dvou prostředí je relativní index lomu roven podílu rychlosti paprsku na vstupu ku rychlosti paprsku na výstupu. Uvozující přídavné jméno (absolutní nebo relativní) se často vypouští, takže to, zda se jedná o absolutní či relativní index lomu, poznáme pouze z kontextu.



Aplikace Fermatova principu na jízdu po rozpálené vozovce.

šíří rychleji než ve větší vzdálenosti od povrchu. Dráha paprsku je proto zakřivená („nadbíhá“ si v horkém prostředí nad vozovkou) a my, i když se díváme před sebe, vidíme ve skutečnosti nebe. Rozvlněné nebe s mraky, které pozorujeme na vozovce, interpretuje mozek jako jemu nejbližší známý jev a nám se zdá, že vidíme na vozovce kaluže. Ve skutečnosti jde ale o mraky na obloze.

Proč je Fermatův princip minimálního času úspěšný při popisu šíření světelného paprsku? To je dáno zákony kvantové teorie, která připouští superpozici stavů. Paprsek se ve skutečnosti může šířit po nejrozumnějších drahách a všechny možnosti se skládají do jediného výsledného obrazce šíření světla. Představte si nějakou funkci, která má v určitém místě minimum. V těsném okolí tohoto minima se hodnoty funkce mění jen málo. Totéž platí pro světelné trajektorie. V okolí trajektorie, která je nejkratší v čase, jsou jiné trajektorie, které mají téměř stejnou fázi šířící se vlny. Takové vlny se při skládání zesilují a my vnímáme, že se tudy šíří světlo. V okolí trajektorie, která není v čase extrémální, se nacházejí trajektorie s jinými fázemi vlnění, při skládání se tyto vlny vyruší a my zjistíme, že se světlo po takové dráze nešíří.

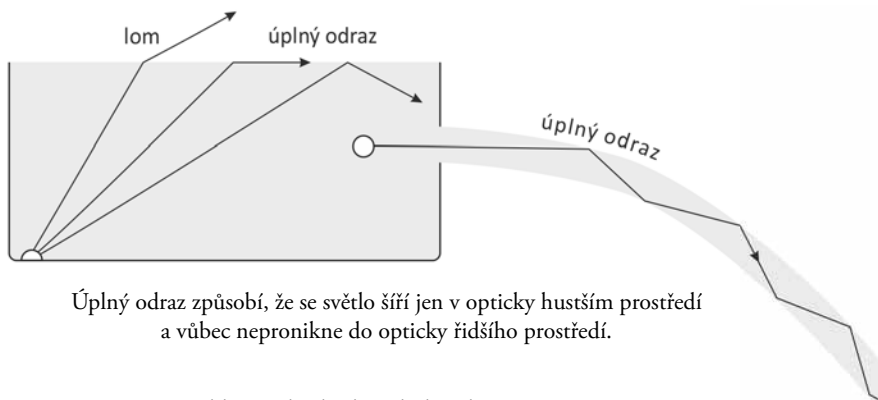
Vlny na rozhraní

Při šíření paprsku z opticky hustšího³ do opticky řidšího prostředí dochází k lomu paprsku od kolmice, tedy lámaný paprsek se šíří blíže rozhraní než dopadající. Můžete si to vyzkoušet s laserem a akváriem nebo s pet lahví naplněnou vodou. Laserem ale musíte svítit skrze obal petky tak, aby paprsek nejprve procházel vodou a na povrchu kapaliny se lámal do vzduchu. Čím šikměji budete svítit, tím se lomený paprsek bude blížit více a více rozhraní. Při úhlu dopadu $48,7^\circ$ (tzv. mezní úhel) dojde ke zvláštnímu jevu. Úhel lomu bude 90° a lomený paprsek se bude šířit podél rozhraní, do opticky řidšího prostředí žádný paprsek nepronikne. Tomuto jevu se říká úplný odraz (totální reflexe) – paprsek pokračuje jen jako odražená vlna do prostředí, z něhož přišel. Úhel lomu je při ní 90° . Při větších úhlech dopadu se paprsek jen odráží, lomený paprsek zcela chybí. Pro rozhraní vody a vzduchu v pet lahvi je tato situace zobrazena na obrázku 21 barevné přílohy. Pokud v pet lahvi navrtáte na boku díru a budete svítit skrze vodu do otvoru (viz obrázek 22 barevné přílohy), bude tryskající pramének plný světla, které se díky totální reflexi odráží od vnitřního povrchu pramínku, který tak „vede“ světlo po parabolické dráze. Na stejném principu jsou založena optická vlákna, jimiž lze vést světelný signál na vzdálenosti mnoha set metrů až kilometrů.

Rozhraní dvou prostředí je vynikajícím médiem pro šíření plošných, tzv. *evanescentních vln*. Při úplném odrazu takovou vlnu vybudíme přesně při mezním úhlu. Amplituda evanescentní vlny exponenciálně klesá od hranice obou prostředí, skutečně se tak šíří jen po rozhraní a do „nitra“ obou prostředí proniká velmi málo. Vlna má výrazně odlišné vlastnosti od běžných vln, které známe z neomezeného prostředí. Například elektrické pole může – zcela atypicky – kmitat podél rozhraní. S tím souvisí i další zajímavost týkající se spinu. Evanescentní vlna na rozhraní má totiž nenulovou projekci spinu do směru kolmého na šíření vlny (u běžné vlny je nenulová jen projekce spinu do směru pohybu). A právě tento transverzální spin

3 Za opticky hustší považujeme ze dvou prostředí to, které má nižší rychlostí šíření signálu.

a jeho vliv na šíření vlny zkoumali v japonském vědeckém centru RIKEN. V roce 2015 zjistila skupina vědců pod vedením Konstantina Bliokha, že se vlny s opačnou hodnotou transversálního spinu šíří opačným směrem. Možná stojíme na hranici další technologické revoluce, která nám umožní ovlivňovat šíření světla za pomoci jeho spinu, což by vedlo k aplikacím netušených možností.

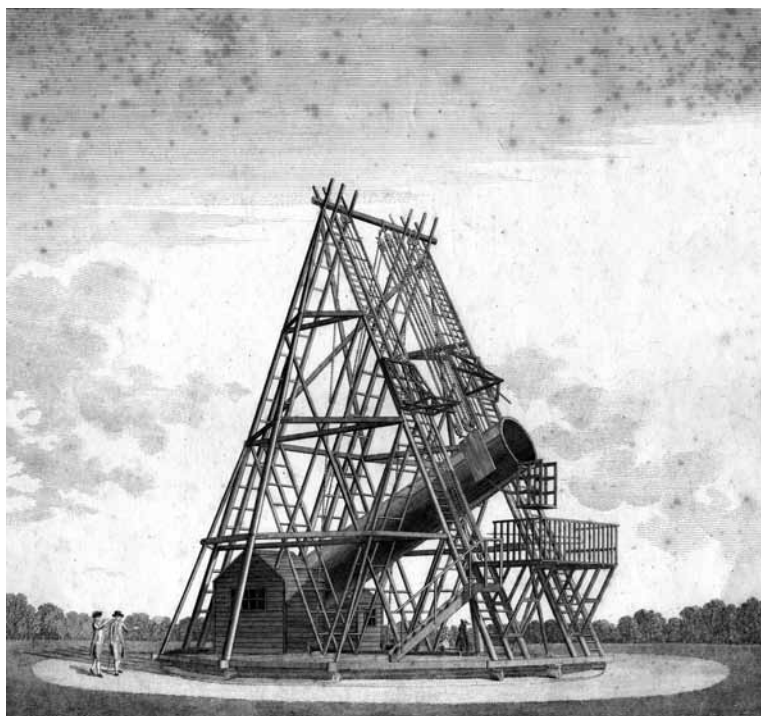


Úplný odraz způsobí, že se světlo šíří jen v opticky hustším prostředí a vůbec neprotraví do opticky řidšího prostředí.

Stavíme velké dalekohledy

Na počátku 17. století zdokonalil Galileo Galilei dalekohled vynalezený v Holandsku a v roce 1609 ho poprvé použil pro astronomické účely. Objevil s ním několik kráterů na Měsíci, čtyři Jupiterovy měsíce, potvrdil existenci fází Venuše, rozlišil některé hvězdy v Mléčné dráze a na Slunci pozoroval sluneční skvrny. Galileo se stal zakladatelem pozorovací astronomie. Vyrobil několik kusů dalekohledů a dosáhl až dvacetinásobného zvětšení. Od těchto pionýrských dob už uplynulo hodně vody a dnešní dalekohledy vypadají úplně jinak.

Zpočátku byly zdokonalovány čočkové dalekohledy, které narazily na základní technologickou bariéru při průměru kolem jednoho metru. Takové čočky už byly velmi těžké a svou vlastní vahou měnily tvar vybroušené plochy. Ukázalo se, že pro větší průměry jsou vhodnější zrcadlové dalekohledy. Světlo se od optické plochy jen odráží a podklad pod odraznou plochou může být i velmi tenký a lehký. K prvním velkým zrcadlovým dalekohledům patřil obří stroj zkonstruovaný sirem Williamem Herschellem v anglickém sídle Slough.



Ďáblův stroj – čtyřicetistopý dalekohled postavený sirem Williamem Herschelem.
Zdroj: Cambridžská univerzita / J. Bunce / J. Walker.

Průměr zrcadla byl 1,2 metru a ohnisková vzdálenost 13 metrů. Stavba byla dokončena v roce 1789 a trvalo přes půl století (do roku 1845) než byl zkonstruován přístroj s ještě větším průměrem zrcadla.

Průměry zrcadel se stále zvětšovaly, v roce 1919 byl na Mt. Wilsonu zprovozněn nový Hookerův dalekohled o průměru 2,5 metru a v roce 1948 pětimetrový Haleův dalekohled na Mt. Palomaru. Oba obří stroje jsou na západním pobřeží Spojených států, v blízkosti města Los Angeles. Na dlouhá léta se zdálo, že jde o vrchol možností astronomických zrcadel (Palomarský dalekohled byl překonán až v roce 1992). U velkých optických přístrojů se začal projevovat neklid atmosféry, její turbulence znehodnocovaly obraz natolik, že se zdálo, že větší průměr už nemá smysl stavět. Novým snem byla stavba velkého dalekohledu na oběžné dráze kolem Země, který by netrpěl rozmary

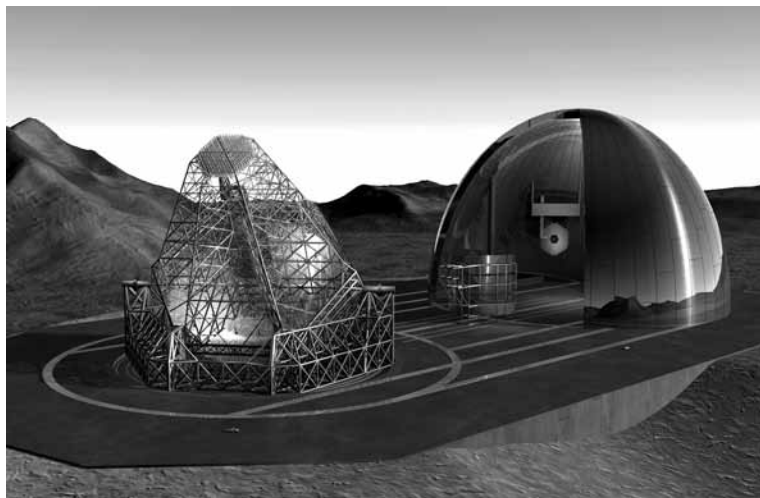
naší atmosféry. Myšlenku dovedl do zdárného konce americký teoretik a astronom Lyman Spitzer (1914–1997), který prosadil stavbu Hubbleova vesmírného dalekohledu. Ten byl vynesena do vesmíru v roce 1990 a je pojmenován po americkém astronomovi Edwinu Hubbleovi (1889–1953), objeviteli expanze vesmíru. Po počátečních problémech začal pracovat na plné obrátky a chrlí nádherné astronomické snímky dodnes. Stal se ikonou moderní astronomie, ale také současně do jisté míry slepou uličkou pozorovací astronomie.

Mezitím se totiž objevily dvě technologie, které byly schopny na velkých zrcadlových dalekohledech korigovat deformace primárního zrcadla a turbulenci atmosféry a nic už nestálo v cestě budování ještě větších optických přístrojů přímo na povrchu Země. Řeč je o tzv. aktivní a adaptivní optice. *Aktivní optika* přímo koriguje nízkofrekvenční (od hertzů k pomalejším dějům) deformace primárního zrcadla způsobené výrobními vadami, gravitací, tepelnými deformacemi, větrem a dalšími vlivy. Poprvé byl systém aktivní optiky vyvinut a použit v roce 1989 u dalekohledu NTT (*New Technology Telescope*) o průměru 3,5 metru, který patří Evropské jižní observatoři a je umístěn na hoře La Silla v Chile. Tvar zrcadla je upravován pomocí soustavy hydraulických pístů, které tlačí na podložku zrcadla.

Vysokofrekvenční změny obrazu způsobené zejména turbulencí atmosféry (až mnoho set korekcí za sekundu) jsou eliminovány tzv. *adaptivní optikou*. Korekce se provádí počítačem řízenými posuny a deformacemi pomocného zrcátka. K vyhodnocení aktuálního tvaru vlnoplochy slouží referenční hvězda, která se musí nacházet v blízkosti pozorovaného objektu. Pouze v 1% případů lze využít přirozenou hvězdu. Většinou je nutné vytvořit umělou hvězdu za pomoci laserového paprsku fokusovaného do výšky přibližně 90 km, kde zpětným rozptylem vzniká skvrna zářících sodíkových atomů. Existuje i varianta umělé hvězdy ve výšce pouhých 10 až 20 km. Umělou hvězdu můžeme vytvořit jakkoli blízko sledovanému objektu, vyvstávají ale problémy spojené s její konečnou výškou a velikostí. Myšlenka adaptivní optiky je velmi stará, objevovala se v různých sci-fi. Její praktická realizace musela počkat až na bouřlivý rozvoj výpočetní techniky v 90. letech 20. století.

Aktivní a adaptivní optiku dnes využívají všechny velké dalekohledy. Vzpomeňme alespoň *Velmi velký dalekohled* – čtveřici dalekohledů s celistvými zrcadly o průměru 8,2 metru umístěnou na Mt. Paranal v Chile, nebo *Keckův dalekohled* – dvojici desetimetrových přístrojů se segmentovanými zrcadly na hoře Mauna Kea na Havajských ostrovech. V současnosti se na hoře Cerro Armazones v Chile staví dalekohled E-ELT (*European Extremely Large Telescope, Evropský extrémně velký dalekohled*) se segmentovaným zrcadlem o průměru 39 metrů. Zrcadlo bude složeno ze 798 šestiúhelníkových segmentů o průměru 1,45 metru. Kopule bude mít průměr 86 metrů a výšku 79 metrů (Petřínská rozhledna má výšku „jen“ 66 metrů). Gigantický stroj staví Evropská jižní observatoř od roku 2014. Zprovoznění dalekohledu je plánováno na rok 2024.

Ale i Hubbleův dalekohled bude mít svého nástupce. Přípravuje se šestimetrový dalekohled Jamese Webba, ten ale bude dominantně pozorovat v infračerveném oboru. Doménou vesmírných observatoří se stanou ty obory spektra, které neprocházejí zemskou atmosférou. Ve vesmíru se budou provozovat rentgenové, gama, ultrafialové, infračervené a mikrovlnné observatoře.



E-ELT, počítačové ztvárnění Evropského extrémně velkého dalekohledu o průměru 39 metrů. Stavba započala v roce 2014 a bude ukončena v roce 2024. Zdroj: ESO.

Hrátky se rtutí

Myšlenka, že ideální paraboloid lze získat rotací tekutiny, pochází již od sira Isaaca Newtona ze 17. století. První dalekohled s tekutým zrcadlem byl ale podle dochovaných zpráv zkonstruován až v roce 1872 Henry Skeyem. Šlo o 35centimetrový přístroj. V roce 1909 zkonstruoval Robert Wood 51centimetrový dalekohled s rozlišovací schopností 2,3". Základním omezením dalekohledů s tekutým zrcadlem je to, že je nelze naklánět. Míří proto stále jen do zenitu. To bylo hlavním důvodem, proč se další pokusy s tekutými zrcadly konaly až na konci 20. století, kdy bylo postaveno několik třímetrových zrcadel ve spolupráci Univerzity v Britské Kolumbii (UBC), Kalifornské univerzity (UCLA) v Los Angeles a americké vesmírné agentury NASA. Klíčovými osobnostmi projektů byli Ermanno Borra a Paul Hickson. Kvalita získaných snímků byla vynikající a pořizovací cena dalekohledů minimální ve srovnání s klasickými optickými dalekohledy. To vedlo k rozhodnutí postavit šestimetrový dalekohled LZT (*Large Zenith Telescope, Velký zenitový dalekohled*), jehož zrcadlo je tvořeno tekutou rtutí.

Ke stavbě bylo vybráno místo 70 km východně od Vancouveru, na vrcholku malého kopce v nadmořské výšce 395 metrů ve výzkumném lese patřícímu univerzitě UBC. Konstrukce dalekohledu byla dokončena v roce 2003, v listopadu 2004 bylo dosaženo rozlišovací schopnosti 1,4", což je blízko teoretické meze dané atmosférickými podmínkami. Jde o největší dalekohled s tekutým zrcadlem na světě. Šestimetrové rotující zrcadlo má hmotnost 3 tuny, jedna otáčka trvá 7 sekund. Dalekohled se skládá z vodorovně uložené rotující podložky s podpůrnou konstrukcí, která je se zemí spojena hydraulickou oporou na vzduchovém polštáři, sekundárních pomocných čoček, stejnosměrného motoru a detektoru. Dalekohled je spojen s řídicím centrem a kompresorovou. Asi největší problémy se očekávaly s odpařováním jedovaté rtuti z velké plochy zrcadla. Pokud byla otevřena střecha observatoře, byla již po hodině provozu koncentrace par nižší než 0,1 mg/m³. Kanadská norma pro pětidenní pracovní úvazek s osmihodinovou pracovní dobou je 0,05 mg/m³. V časové škále několika hodin se nad povrchem rtuti samovolně

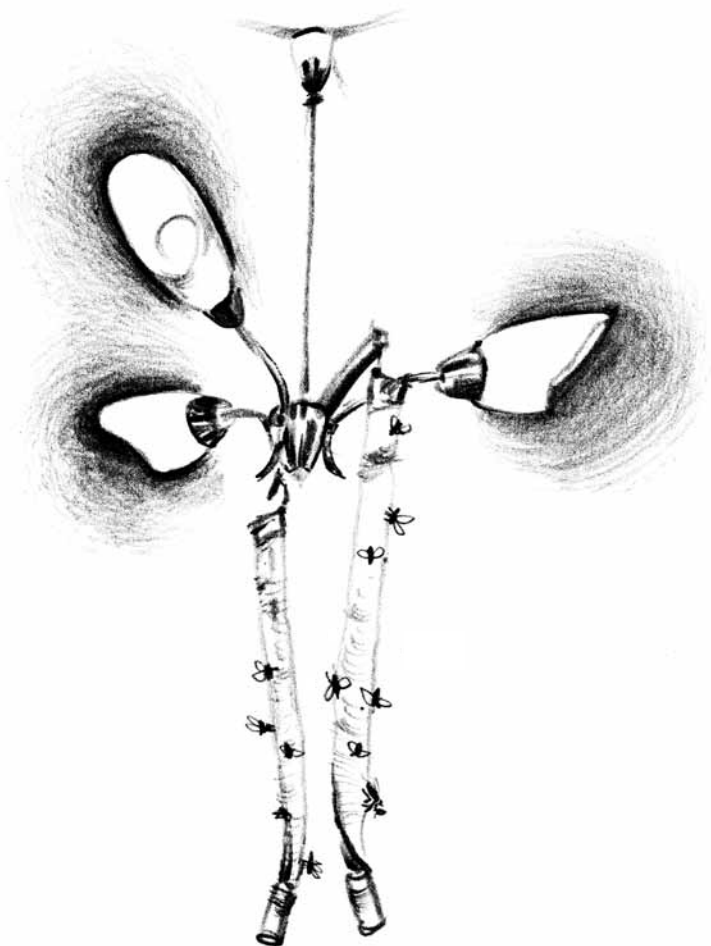
vytvořila izolující vrstva kyslíku. Katalyzátorem jsou vodní páry a nečistoty v ovzduší, samotná rtuť neoxiduje. Tato vrstvička snížila odpařování rtuti o pět řádů. Po dvou týdnech provozu bylo vypařování rtuti zanedbatelné. Nucenou ventilaci je proto nutné použít jen v prvních hodinách po uvedení dalekohledu do provozu, v dalších hodinách je provoz dalekohledu bezpečný. Dalekohled je provozován dodnes, ale jeho webové stránky jsou neupravované a poslední dohledatelná publikace je z roku 2013. V každém případě jde ale o jednu ze zajímavých možností, kterou by se některé dalekohledy budoucnosti mohly ubírat. Fotografie Velkého zenitového dalekohledu naleznete na obrázku 23 v barevné příloze.

Víte, že

- Víte, že zrcadlo v předsíni může mít výšku jen poloviny vaší postavy, a přesto se v něm uvidíte celí? Pokud bude jeho horní okraj ve výšce očí, uvidíte vaše nohy díky paprsku odraženému od spodní části zrcadla.
- Víte, že v řecké matematice nepoužívali funkci sinus, která vystupuje v zákonu lomu, ale funkci chord? Pokud nakreslíme jednotkovou kružnici a z jejího středu povedeme dvě úsečky k obvodu, bude chord úhlu mezi těmito úsečkami roven vzdálenosti jejich průsečíků s kružnicí. Tuto funkci používal například Ptolemaios. Za pomoci dnešního sinu lze psát $\alpha = 2 \sin(\alpha/2)$.
- Víte, že index lomu lze zavést i jako komplexní číslo? Reálná část indexu lomu popisuje závislost rychlosti šíření světla na daném prostředí (disperzi). Imaginární část popisuje (v závislosti na znaménku) absorpci nebo zesílení světla.
- Víte, že kolem roku 2008 americká NASA vážně uvažovala o stavbě rotujícího kapalného dalekohledu na Měsíci? Jako rotující médium měla fungovat iontová kapalina, která má mnohem nižší hustotu než rtuť. Má ale špatnou odrazivost, proto měla být na rotujícím povrchu ještě tenká vrstvička stříbra. Podle dostupných informací je dnes tento projekt mrtvý.

- Víte, že se světlo ve skutečnosti šíří po jakékoli časově extrémální dráze? Může tedy jít o minimum, maximum i inflexní bod.
- Víte, že přístroj zkonstruovaný podle obrazu v zrcadle nemusí fungovat stejně jako originál? Toto narušení levoprávé symetrie v přírodě bylo objeveno v roce 1956 při rozpadu K mezonů a následně ho potvrdila čínsko-americká fyzička Chien-Shiung Wu v roce 1959 při beta rozpadu kobaltu 60.

12. Zalepená huba



*Vynalezl jsem lepidlo, které přilepí cokoli k čemukoli!
... A v čem to svinstvo chcete uchovávat?*

Co je na střepy, už se neslepí – snadno zapamatovatelný rým z písničky Marie Rottrové nemá dozajista nic společného se střepy skutečnými. Dnešní pokročilé technologie dokáží totiž slepit ledacos. A ruce zručných restaurátorů umí oživit anticou krásu i z hromady nevzhledných střepů. Lepením nemusíme jen navracet poškozeným věcem jejich původní funkčnost. Lepidla patří i k výrazným budovatelským prostředkům. Kdysi jsem odbíral časopis ABC a v něm byly vystřihovánky papírových modelů různých autíček, družic, letadel a všelikých jiných udělátek. Tuto činnost jsem miloval. Z placatého papíru narůstal za pomoci lepidla třírozměrný model lunárního modulu, sovětsko-americké orbitální stanice Sojuz-Apollo nebo lunárního vozítka, v němž se astronauti proháněli po povrchu Měsíce. I v mnoha komerčních výrobcích naleznete lepené spoje, bez nichž by daná věc byla nefunkčním šrotem. Lepené spoje drží pohromadě nábytek, bez lepení by se neobešla většina obalů potravin. A v supermarketu vám polepí zboží nejružnějšími nálepkami na nejnevhodnějších místech. Mnohokrát jsem drhnul ohyzdnou cenovku z krásného hrníčku a bál se, abych ho nepoškřábal. Kapitoulou samou pro sebe jsou inventární čísla. Kdykoli na katedře koupíme novou věc a protrpíme byrokratická kolečka spojená s její evidencí, přinese nakonec sekretářka nálepku, kterou je třeba dotýčnou lampičku, podložku či součástku zohyždit. Tvůrkyně nálepek z děkanátu trvají na tom, abych jejich výtvar nalepil na procesor v počítači, okulár v dalekohledu či mlhovinový filtr. Námitka, že tím danou věc zničím, se nepřijímá. Jednou, až opustím své pracoviště, naleznou mí následovníci v druhém šuplíku shora úplný poklad. Snad tisíce evidenčních čísel, která jsem nastřádal za desítky let, tam ukryta čekají na svou příležitost.

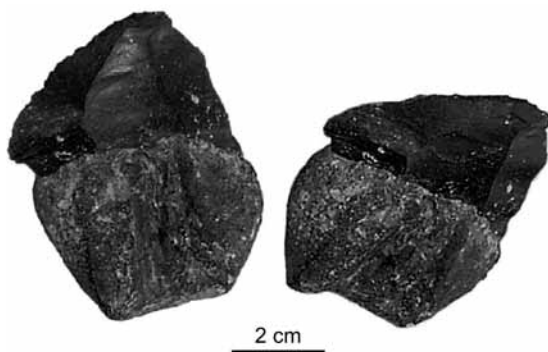
I ve fyzice máme jedno prapodivné lepidlo. Říkáme mu gluonové pole a má hodně společného se skutečným lepením. V našem příběhu se k němu také dostaneme. Nebýt něj, neměli bychom neutrony, protony a ani atomová jádra.

„Co je na střepy, už se neslepí.“ Ano, lepení používáme i v přeneseném smyslu slova: slepit rozbitý vztah, politický slepenec, polepená budoucnost... Pokaždé, když v poslední době odcházím ze schůze katedry, říkám, si, že kdybych si pusu zalepil nějakou páskou, udělal bych lépe. Ale v příběhu, který začínáte číst, schůze, politiku i mezilidské vztahy vynecháme. Vydáme se do říše opravdových lepidel, bez nichž si moderní svět už nedokážeme představit.

První lepidla

Lidé se pokoušeli lepit k sobě předměty už odedávna. Zpočátku k tomu využívali přírodní tekutiny – smolu (pryskyřici) vytékající z poranění jehličnatých stromů, kaučuk, přírodní tér (většinou z břízy) a další látky. V době kamenné se používaly pazourky, které naši předci vkládali do dřevěné vidlice sloužící jako jednoduchá násada. Pazourek byl připevněn pruhy kůže a podle archeologických nálezů se k jeho upevnění používalo i jednoduché lepidlo podobné současnému téru. Nejstarší nalezený pazourek s lepidlem pochází ze střední Itálie. Padesát kilometrů jihovýchodně od Florencie odkryli archeologové v roce 2001 v blízkosti řeky Arno jílovou vrstvu, v níž se nacházely kosterní pozůstatky mamuta a drobných savců a různé artefakty svědčící o osídlení této oblasti ve starších čtvrtohorách. Mezi nimi byly dva kamenné pazourky částečně pokryté přírodním térem. Plynová chromatografie ukázala, že jde o tér obsahující *triterpeny* (*betulin* a *betulon*) získané z kůry břízovitých stromů. Takové látky se v Evropě využívaly k lepení v neolitu (před sedmi až deseti tisíci lety), ale toto je první případ, kdy datace sahá až do období před více než 100 000 lety.

Později se lidé naučili toto první superlepidlo připravovat i horkou cestou (tzv. pyrolýzou, suchou destilací bez přístupu vzduchu). Zkuste uzavřít nadrcenou březovou kůru do plechové nádoby a tu na několik hodin zasypte rozžhavenými uhlíky z ohniště. Po otevření nádoby v ní naleznete popel z břízy a černou látku, tér, která je za tepla tekutá a za studena je vynikajícím lepidlem, které používali už neandrtálci. A mimochodem – jde prý doslova o všelék s dezinfekčními účinky, kterým lze vyléčit celou řadu chorob.



Jeden z pazourků pokrytých térem, který byl nalezen
ve střední Itálii v blízkosti vesničky Bucine.

Z období před 6 000 lety pocházejí nálezy rozbitých hliněných nádob, které byly slepeny přírodními pryskyřicemi z jehličnatých stromů a opětovně používány. V roce 1991 byly na ledovci v Ötztalských Alpách nalezeny velmi dobře zachovalé ostatky člověka, kterému dnes neřekne nikdo jinak než „ledový muž Ötzi“. Tato přírodní mumie je stará zhruba 5 300 roků a můžete se na ni podívat v muzeu v italském Bolzanu, kde je mumie uložena ve speciálním chladicím boxu a návštěvníci na ni čekají dlouhé fronty. Spolu s Ötzim byly nalezeny dva šípy s kamennými hroty a měděná sekera. U všech nástrojů bylo k upevnění použito lepidlo na bázi téru, jenž byl připraven pyrolýzou, tedy zahříváním kůry stromů bez přístupu vzduchu.

Ve starém Egyptě a dalších civilizacích této doby už připravovali kvalitní lepidla nejen z rostlinných zdrojů, ale i lepidla živočišného původu. Egypťané lepili papyry kaseinem, bílkovinou přítomnou v mléce savců. Řekové a Římané se v prvních stoletích našeho letopočtu naučili dýhovat dřevěné výrobky – na dřevo horší jakosti přilepili několik milimetrů tlustou vrstvu (dýhu) z kvalitního dřeva. Tuto techniku dále rozvíjeli a začali kombinovat dýhy různých barev do dekorativních obrazců (tzv. intarzie). K lepení využívali rostlinná i živočišná lepidla nejrozličnějších druhů, například z vajíček, ryb nebo kůže získané vařením zbytků kůží, kostí, rohů a paznehtů hospodářských zvířat.

V Evropě se ve velkém množství začala lepidla využívat v nábytkářském průmyslu v 18. století. Významní výrobci spojovali části nábytku většinou klijem, ať už kaseinovým nebo vařeným z částí zvířecích těl. Živočišné bílkoviny jsou totiž vynikajícím lepidlem.

První továrna na lepidla byla založena v roce 1690 v Holandsku. Lepidla připravovali ze zvířecích tkání. První patent na rybí lepidlo byl podán ve Velké Británii v roce 1750. První syntetická lepidla využívající umělé pryskyřice (na bázi fenolů) se objevila po roce 1910 a sto let jejich používání přineslo nebývalý rozmach a doslova revoluci v technice lepení.

Sám jsem se přesvědčil, že vyrobit lepidlo není žádným velkým uměním. Kdysi jsem na jednom astronomickém soustředění vařil kaši pro větší počet lidí. Vzniklá hmota sice nebyla požitelným pokrmem, ale jako vynikající škrobové lepidlo šla použít okamžitě. Pokud navštívíte čínské restaurace, je na jídelníčku k mání pikantní pálivá polévka lidově přezdívaná „hlen“. Jsem přesvědčen, že i tento produkt by šlo za pomoci minimálních úprav přeměnit na kvalitní lepidlo.

Jak lepidla fungují

Většina lepidel je založena na smáčení povrchu lepící kapalinou neboli pojidlem. Molekuly pojidla i povrchu mají nesymetrické rozložení elektrického náboje a působí na své okolí přitažlivými silami (kladně nabitě části molekul se přitahují k záporně nabitým částem sousedních molekul). Pokud jde o molekuly stejného druhu, hovoříme o kohezních silách. Ty se uplatňují uvnitř lepeného spoje. Pokud jde o působení na rozhraní dvou prostředí, což je případ styku lepidla s lepeným povrchem, hovoříme o adhezní síle. Polární molekuly lepidla se přitahují k molekulám lepeného povrchu. Adheze a koheze stojí za úspěšností většiny lepidel. Lepidlo zpravidla obsahuje rozpouštědlo, které umožní snadné nanesení na povrch. Po vyschnutí rozpouštědla je v některých případech ideální, pokud si lepidlo ponechá vlastnosti silně viskózní kapaliny. Takový spoj je pak pružný nebo dokonce ohebný. Existují i lepidla, která

při zahřátí zkapalní. Toho se využívalo při prvním lepení přírodními pryskyřicemi a térem. Dalším příkladem je obyčejné pájení v elektrotechnice. Jiná lepidla jsou dvousložková; u nich dojde k „vytvrzení“ teprve po smíchání obou složek. Princip lepení je ve všech uvedených případech podobný a je založen na jevech adheze a koheze.

U některých lepidel je adheze doplněna i dalšími fyzikálními jevy. Pokud je látka pórovitá, může lepidlo difundovat do pórů látky a výsledný spoj je výrazně pevnější. Difúze nemusí probíhat na úrovni pórů, ale i na molekulární úrovni, kdy molekuly lepidla difundují mezi molekuly lepené látky. Pokud je toto pronikání do povrchu lepené látky způsobeno adhezními silami, hovoříme o adsorpci. Kvalitě lepeného spoje může také výrazně napomoci vytvoření chemické vazby mezi molekulami lepidla a molekulami povrchu. Ať už je uplatněný mechanismus jakýkoli, lepidlo by mělo vytvořit pevný spoj, který je dlouhodobě stabilní.



Jak lepidla dělíme

Každé lepidlo obsahuje jako hlavní složku pojidlo. Zpravidla je v lepidle také rozpouštědlo, které po slepení dvou částí povrchu vyschne. Lepidla ale obsahují i další látky: plnidla, která vytvářejí kostru pro pojivou látku, změkčovadla, která zajistí, aby lepený spoj zůstal houževnatý a nepraskal, barviva a v některých případech tvrdidla. Tvrdidla se využívají zejména u syntetických lepidel, přidávají se k nim ve velmi malém množství až v okamžiku vlastního lepení. Tvrdidla reagují s pojidlovou částí lepidla a způsobí chemickou reakci, při níž vznikají látky odlišné od původních složek. Lepidlo ztuhne do výsledného spoje. Po přidání tvrdidla je třeba připravené lepidlo velmi rychle zpracovat.

Lepidel používáme v moderní společnosti neskutečné množství a dělíme je z nejrůznějších hledisek. Základní dělení je podle původu. Máme lepidla rostlinná, živočišná a syntetická.

K **rostlinným lepidlům** patří různé přírodní pryskyřice, tér, kaučuk, škrob apod. Dnes jsou nejběžnější škrobová lepidla (například známá bílá lepící pasta). Škroby vznikají v rostlinách fotosyntézou a průmyslově se připravují z brambor, kukuřice, pšenice, rýže a dalších plodin. Extrahovaný škrob je prášek, kterým se mohou zahušťovat omáčky a polévky, škrob je i hlavní součástí oblíbeného pudinku. V lepidlech se škrob používá buď přímo, nebo po zahřátí nad 160°, kdy se škrob mění v dextrin (tzv. škrobovou klovatinu).

Druhou velkou skupinou rostlinných lepidel jsou přírodní pryskyřice, které se získávají z jehličnatých i jiných stromů. Odvodněná pryskyřice jehličnanů, jež je zbavena éterických olejů, se nazývá kalafuna. Dnes se používá jen málo, například k lepení pryžových dílů před vulkanizací, ke zvýšení třecího odporu smyčců u hudebních nástrojů nebo při pájení. K nejznámějším lepidlům připraveným z přírodních pryskyřic patří arabská guma a kanadský balzám. Arabská guma neboli klovatina se vyrábí z mízy akácií. Kdysi ji úředníci hojně používali k lepení papíru. Dnes se arabská guma většinou nahrazuje mnohem levnějšími syntetickými lepidly. Přírodní prys-

kyřice mají ale stále velký význam v optice. Pro spojování optických členů, například různých čoček, se dodnes používá kanadský balzám, který se extrahuje z jedle balzámové a kanadské a který má skvělé optické vlastnosti.

Živočišná lepidla obsahují živočišné bílkoviny, které mají výborné adhezní schopnosti. K nejstarším a dodnes často používaným patří klihy (želatinová lepidla). Připravují se vařením tkání různých zvířat, včetně ryb. Při této proceduře vzniká želatina (glutin), jejímž ohřátím vznikne klíh. Dřevěné spoje lepené klihem jsou velmi pevné, při namáhání se často stane, že dřevo praskne jinde než v lepeném spoji. Tak jako většina přírodních lepidel, jsou i klihy požitelné, alespoň ve formě želatiny. Můžete si pochutnat například na želatinových medvídcích z našich obchodních řetězců. Klihy se občas připravují i z krve domácích zvířat, která obsahuje bílkovinu albumin. Většinou se používá krev z jatek. Albuminová lepidla se dají využít například při dýchování nábytku.

Poslední skupinou živočišných lepidel jsou kaseinová lepidla připravovaná z mléka savců. Kaseinová bílkovina (kasein) se z mléka vysráží za pomoci kyselin a poté se suší a mele na bílý prášek, který vytvoří po smíchání s vodou vynikající lepidlo.

Dnes tvoří nejrozsáhlejší skupinu **syntetická lepidla**, kterých je neskutečné množství. Připomeňme proto jen ta nejznámější. Celulózová lepidla jsou založena na celulóze příbuzných látkách, nejznámějším na našem trhu je Kanagom, se kterým lze snadno slepit papír, kůži, dřevo a obtížně se zaschlý odstraňuje ze zapatlaných prstů. Akrylátová lepidla obsahují polyakryláty. Myslím, že každý



Vteřinové lepidlo, nepostradatelný pomocník každé moderní domácnosti.

zná typické zástupce této skupiny, lepidla Herkules nebo Duvilax. Akryláty se používají nejen k lepení papíru, ale i k lepení obkladaček, textilií, tapet, polystyrenu, polyuretanu a dalších materiálů. Překližky a dřevotřísky se vyrábí za pomoci formaldehydových lepidel. Ta jsou ale při vdechování jedovatá, a proto se je dnes snažíme nahrazovat jinými lepidly. Za zmínku stojí ještě různé roztoky PVC nebo epoxidová lepidla – umělé pryskyřice, k jejichž vytvrzení dojde po přidání tvrdidla. Umělé pryskyřice mají velmi široké použití, můžete s nimi lepit porcelán, kovy, sklo, keramiku. Vynikající jsou také pro zhotovování různých odlitků nebo vyplňování nechtěných děr a nerovností.

V posledních letech jsou velmi oblíbená vteřinová lepidla. Zakoupíte je v každém supermarketu za pár kaček. Hlavní složkou je kyanoakrylát, tzv. akrylátová pryskyřice, která v přítomnosti vody (iontů OH^-) velmi rychle polymeruje. Výhodou jsou relativně pevné spoje, které „drží“ během několika sekund. Nevýhodou je krátká doba skladovatelnosti, po otevření maximálně několik týdnů. Ale i uzavřená tuba vteřinového lepidla je po roce nepoužitelná, neboť kyanoakrylát zpolymeruje. Kyanoakrylátové lepidlo bylo patentováno v roce 1942 společností Goodrich Company pod značkou *Super Glue* a jeho vynálezcem je Harry Wesley Coover (1917–2011). Vteřinová lepidla mají velmi široké použití, hodí se k lepení kovů, keramiky, plastových modelů, akvárií a využívají se i v medicíně ke spojení tkání bez nutnosti šití. Vzhledem k tomu, že kyanoakrylát polymeruje ve vlhkém prostředí, není nic příjemného si kapkami lepidla potřísnit prsty a už vůbec není dobré, aby se lepidlo dostalo na rty, pokud tedy není vašim cílem mít dokonale zalepená ústa.

Gluonové pojivo

První objevenou elementární částicí byl elektron, který detekoval v katodovém záření v roce 1897 anglický fyzik Joseph John Thomson (1856–1940). V roce 1911 objevil novozélandský fyzik Ernest Rutherford (1871–1937) atomové jádro obsahující kladně nabitě částice – protony. Slovo proton bylo ale poprvé použito až kolem roku 1920. V roce 1932 objevil anglický fyzik James Chadwick

(1891–1974) neutron a do částicové ZOO přibyl další přírůstek. Fyzika oné doby byla krásná a jednoduchá: atomové jádro tvořily neutrony a protony a v atomárním obalu se proháněly elektrony.

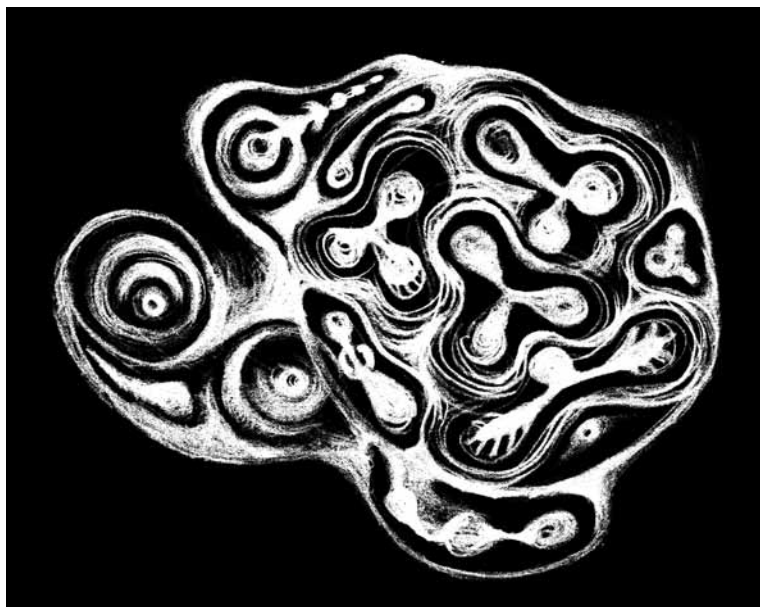
Už v polovině 60. let dvacátého století bylo známo velké množství elementárních částic, z nichž některé měly velmi podobné vlastnosti a tvořily celé rodiny příbuzných částic. Americký fyzik Murray Gell-Mann (*1929) navrhl v roce 1961, že jsou tyto částice složeny z menších celků, které jsou zodpovědné za jejich společné vlastnosti. Prvním úspěchem nové teorie byla předpověď existence částice Ω^- (omega minus), která byla objevena v roce 1964. V témže roce Gell-Mann dokončil svou teorii kvarků, nových částic, ze kterých by měl být složený i neutron a proton. Nezávisle na něm podobně uvažoval také izraelský fyzik a pozdější politik Yuval Ne'eman (1925–2006) a existenci kvarků předpověděl i americko-ruský fyzik George Zweig (*1937). Kvarky byly až do roku 1968 považovány za hypotetické částice, jejichž existence je minimálně nejistá. Za definitivní potvrzení lze považovat experimenty z roku 1968, které proběhly ve Stanfordském urychlovačovém centru SLAC. Při ostřelování protonů za pomoci urychlených elektronů byla uvnitř protonu patrná tři bodová centra a ukázalo se, že proton není skutečnou elementární částicí, ale je složený z menších částic. Jistá nedůvěra ke ztotožnění těchto částic s Gell-Mannovými kvarky krátkodobě přetrvávala i po tomto objevu. Gell-Mann získal za své práce Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1969.

Jenže jak drží kvarky uvnitř neutronu a protonu pohromadě? Příroda nám zde připravila jakési lepidlo nebo pojivo, chcete-li, kterému říkáme gluonové pole (slovo *glue* znamená v angličtině lepit, pojít). Gluonové pole si můžeme představit jako opravdové lepidlo s velmi zajímavými vlastnostmi. Na vzdálenostech menších než 10^{-15} metru toto lepidlo téměř nelepí. Kvarky se uvnitř protonu nebo neutronu pohybují volně. Ale běda, pokud se některý kvark vzdálí od ostatních na vzdálenost větší než 10^{-15} metru. Gluonové pojivo začne intenzivně fungovat a kvark nemůže proton opustit, je v něm doslova uvězněný. Celému mechanismu říkáme silná interakce. V mikrosvětě se objekty chovají někdy jako vlnění a jindy jako částice.

Pokud je naše gluonové lepidlo vlněním, hovoříme o gluonovém poli. Pokud se projevuje jako částice, hovoříme o gluonech, polních částicích, které neustále pendlují mezi kvarky a slepují je tak dohromady.

Volné kvarky nemohou existovat a jsou gluonovým pojivem vždy pospojovány do dvojic (ty nazýváme mezony), nebo do trojic (těm říkáme baryony a patří mezi ně náš dobře známý proton a neutron). Existenci gluonů předpověděl Muray Gell-Mann už v roce 1962. Objeveny byly v německé částicové laboratoři DESY v roce 1979 při srážkách urychlených elektronů s pozitrony na urychlovači DORIS (detektor PLUTO). Ty vedly ke vzniku úzké rezonance (pík v energetickém spektru odpovídající velmi krátce žijící částici) rozpadající se na tři gluony.

Gluonové lepidlo (silná interakce) nespojuje jen kvarky do protonů a neutronů. Prosakuje z nich ven a dokáže také spojit neutrony a protony do větších celků – atomových jader. Bez gluonového pojiva by se atomová jádra rozpadla, kladně nabitě protony se totiž odpuzují a jádro by brzy opustily.



Tři kvarky uvnitř každého protonu a neutronu jsou drženy pohromadě gluonovým pojivem. Stejné pojivo je zodpovědné i za soudržnost atomového jádra.

Víte, že

■ Víte, že na podobných principech, jako je lepení, funguje třírozměrný tisk? Tiskárna postupně nanáší třírozměrný objekt, a to vrstvu za vrstvou. Jednotlivé vrstvy u sebe drží buď kohezními silami (stejný materiál) nebo adhezními silami (různé materiály).

■ Víte, že adhezi může napomoci elektrické pole? Na počátku roku 2016 publikovali na Laussanské polytechnice EPFL zajímavé experimenty s robotem, jehož „prsty“ tvořila ohebná silikonová blána s elektrodami zalitými uvnitř. Po přiložení napětí se na bláně a na blízkém předmětu vytvořil náboj a vzniklá elektrostatická síla způsobila „přilepení“ blány k předmětu, například vajíčku, které pak bylo možné snadno přenášet.

■ Víte, že adhezi využívá k lepení i lidské tělo? Například krevní destičky, ze kterých tělo buduje v poraněném místě „strup“, jsou k vlasečnicím „přilepeny“ adhezními silami. Obdobnými silami drží i různé struktury na buněčných membránách v těle nejrůznějších organismů.

Poučení na závěr: *Tu a tam je lepší, když některé věci zůstanou neslepeny. Než se bezhlavě pustíte do lepení hromádky střepů, zvažte, jak moc je to třeba, a zda by nebylo prospěšnější dělat něco jiného, například zajít s kamarády na pivo.*

13. Propadneš se do pekel



*Když čtu popisy vědecké činnosti,
které napsali sociologové,
říkám si často, že tak nějak by se cítil atom,
kdyby mohl číst učebnice kvantové mechaniky.*
James Trefl

V průběhu studentských let se mým druhým domovem stala Petřínská hvězdárna. Dnes už se jmenuje jinak, když šly komunistické kreatury od války, vrátil se jí původní název Štefánikova hvězdárna. Každý, kdo chtěl dělat demonstrátora a provádět na hvězdárně návštěvníky, musel mít dvouletý kurz zakončený demonstrátorskými zkouškami. První ročník probíhal v planetáriu, druhý byl na hvězdárně, která ale v sedmdesátých letech 20. století procházela rozsáhlou rekonstrukcí. Vše probíhalo více než provizorně – jak přednášky, tak demonstrátorské zkoušky. První částí byla teorie. Vždy šarmantní pan Pavlousek nás zkoušel v růžovém sadě před hvězdárnou. Bylo to mnohem vznešenější prostředí než vnitřek hvězdárny plný suti, hromad písku a pytlů cementu. Na upravených cestičkách mezi řadami růží jsme se střídali a vyprávěli fiktivním i skutečným posluchačům o Marsu, Jupiteru, kulových hvězdokupách a dalších objektech noční oblohy.

Mnohem horší to bylo s praktickou částí, která probíhala až po dokončení rekonstrukce, u mnohých zpětně, protože po znovuotevření hvězdárny byla každá ruka zapotřebí a někteří z nás prováděli návštěvníky bez zkoušek. To se stalo i mně – po půlročním provádění jsem měl oficiálně ukázat, že oba dalekohledy určené pro pozorování veřejnosti dokážu bravurně ovládat. Zkoušejícím nebyl nikdo jiný než obávaný pan Sojka, který měl na starosti dalekohledy, elektroniku, časovou laboratoř (tzv. Sojkovnu) a veškerou techniku na promítání a přednášení. S nikým se nemazlil a byl velmi dobře znám tím, že seřval každého i za sebenepatrnější chybu. Zkouška probíhala v hlavní kopuli u nádherného přístroje, Königova dalekohledu z počátku století. Takový dalekohled se nesmí chvět, a tak je připevněn na železobetonový sloup, který je zakotven do skály hluboko pod hvězdárnou. Samotná budova hvězdárny je „obechnána“ kolem

a není se sloupem spojena, takže se otřesy v budově na dalekohled nepřenáší. Podlaha hlavní kopule byla tenkrát z kvalitního betonu natřeného jakýmsi namodralým sajrajtem. Bylo nás tak šest nebo sedm, třáslí jsme se strachy a báli se věcí příštích. Když jsem přišel na řadu, mým úkolem bylo nasadit na dalekohled helioskopický okulár a namířit ho na Slunce. Tréma byla obrovská. S okulárem jsem vyšplhal na velké dřevěné schody umístěné pod dalekohledem a rozklepanou rukou se pokoušel zasunout okulár do objímky. Sojka pode mnou vyčkával jako orel číhající na kořist. Ticho by se dalo krájet, a činnost, kterou jsem už dělal mnohokrát, se nedařila a nedařila. Pokyn byl jasný. „Slez dolů pitomečku a já ti to předvedu!“ zahřímal hlas na celou kopuli. Bylo mně jasné, že bitva je prohraná, slezl jsem ze schodů, podal dravci okulár a čekal, až mě rozcupuje. Sojka vylezl na schody, pronesl na mou adresu ještě několik sarkasmů a invektiv a začal nasouvat okulár do objímky. A v tu chvíli se to stalo. Okulár vyklouzl zkoušejícímu z ruky, dopadl na betonovou podlahu a roztříštil se na mnoho malých kousků. Dnes bych asi reagoval jinak, ale byl jsem pouhý studentík a stál pod schody jako opařený a ani nedutal. Sojka slezl, já instinktivně poodstoupil obávaje se nadcházejícího útoku. Nadechl se a děsivým hlasem zařval: „Co čumiš, debile, dojdi pro smetáček a lopatku a zameť to!“ Zkoušku jsem kupodivu udělal a od té chvíle se mně už Sojka nezdál tak démonický. Pochopil jsem, že je to také jenom člověk, který má jak své stinné, tak i světlé stránky.

Objev atomu

Proč se okulár z úvodního příběhu roztříštil o betonovou podlahu kopule a neprolétl skrze ni do nitra Země? To je dáno strukturou látky, kterou lidé po staletí jen tušili. Skutečný průlom nastal na přelomu 19. a 20. století, kdy pozorovací technika lidstva dospěla tak daleko, že bylo možné zkoumat základní stavební kameny hmoty. Na konci 19. století experimentoval s katodovými trubici¹ anglický fyzik Joseph John Thomson (1856–1940) a v roce

1 **Katodová trubice** – skleněná vakuovaná trubice, v níž jsou dvě elektrody. Záporná elektroda bývá žhavená. Po přiložení napětí probíhá trubicí elektrický proud, jehož nositeli jsou elektrony vylétávající z katody.

1897 se mu podařilo objevit první elementární částici – záporně nabitý elektron. Za tento objev získal Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1906. Thomson podrobně zkoumal elektrickou vodivost plynů, vynalezl hmotový spektrometr, byl skvělým učitelem a vědcem. Za svou práci byl v roce 1908 povýšen do šlechtického stavu. Zajímavá byla Thomsonova představa struktury látky. Předpokládal, že se všechna tělesa skládají z malých nedělitelných částíček – atomů. Ty musí být elektricky neutrální (jinak by obrovské elektrické síly látku rozmetaly do okolí) a přitom musí obsahovat jím objevené záporně nabitě elektrony. Atom by tedy mohl vypadat jako jakýsi kladně nabitý rosol, do něhož jsou přimíchány záporně nabitě elektrony jako rozinky do pudinku. Dnes této představě říkáme Thomsonův pudinkový model atomu.

V současnosti víme, že atomy vypadají poněkud jinak. Thomsonovu představu zanedlouho překonal jeden z jeho žáků, novozélandský fyzik Ernest Rutherford (1871–1937). V roce 1911 Rutherford ostřeloval za pomoci alfa částic² tenkou zlatou fólií a povšiml si, že se některé částice odrazí od fólie zpět. Jejich počet byl ale vyšší, než by odpovídalo pudinkovému modelu. Vypadalo to, jakoby se částice odrážely od velmi malých, kompaktních, kladně nabitých celků. Ernest Rutherford objevil atomové jádro a přispěl k objevu protonů, z nichž je kladně nabitě jádro složené. Pokud očekáváte, že za objev atomového jádra získal Rutherford Nobelovu cenu, mylíte se. Získal ji už předtím, v roce 1908, a to za chemii – za výzkum rozpadu prvků a vlastností radioaktivních látek. Od té doby si atom představujeme jako malé kladné jádro obklopené oblakem záporných elektronů. Pokud by byl elektron obyčejnou kuličkou obíhající jádro, musel by nutně vyzařovat elektromagnetické vlny, ztrácet svou energii a po spirále spadnout na jádro. Jeho zánik by trval zlomek miliardtiny sekundy. Ve skutečnosti je elektron objekt mikrosvěta, chová se jako vlna i částice současně, nemá v atomárním obalu určitou konkrétní polohu a my známe jen pravděpodobnosti jeho výskytu. Takový elektron může v atomárním obalu přežít libovolně dlouhou dobu.

2 **Alfa částice** – částice vznikající při radioaktivním rozpadu alfa. Má kladný náboj rovný dvojnásobku velikosti náboje elektronu. Dnes víme, že jde o vázaný stav dvou protonů a dvou neutronů, tedy jádro atomu hélia.



Letecký snímek jaderné elektrárny Temelín. Dominantou jsou chladicí věže, z nichž uniká obyčejná vodní pára.

Zkusme si nyní představit poměry v nejjednodušším atomu vůbec – v atomu vodíku, který má v jádře jediný proton a v obalu jediný elektron. Pokud bychom zvětšili atomové jádro (skutečný rozměr protonu je kolem 10^{-15} metru) tak, že by bylo veliké jako pomeranč, nacházel by se elektron tvořící obal v průměru pět kilometrů od jádra! Mezi ním a jádrem je pusto a prázdno. Látku tedy tvoří hlavně prázdnota. Proč tedy neumíme procházet zdí, jako to dělají duchové ve filmových příbězích? Proč při psaní tohoto textu sedím na židli a nepropadnu se někam do horoucích pekel? Za vše může elektromagnetická interakce. Elektrony mého těla reagují na přítomnost elektronů v podlaze a nedovolí mně propadnout se dolů do hlubin Země. Jinak tomu ale je u nenabitých částic. Například pro neutrino je Země zcela průhledná a drtivá většina z nich proletí Zemí stejně snadno jako světlo skleněnou výplní okna.

Atomy se tedy skládají z atomových jader a atomárních obalů. V jádře jsou nejenom kladně nabitě protony, ale i neutrální částice, které objevil anglický fyzik a Rutherfordův spolupracovník James Chadwick (1891–1974) o mnoho let později, až v roce 1932, a kterým říkáme neutrony. Protony a neutrony nazýváme dohromady

nukleony (částice atomového jádra). V jádře jsou k sobě vázány tzv. silnou interakcí a tato vazba je nejefektivnější pro jádra atomů železa. Na jejich rozbití musíme dodat nejvíce energie na nukleon. Z jader atomů lze energii získávat dvojím způsobem. Buď můžeme lehká jádra slučovat, nebo těžká jádra rozbíjet. Posledním stavem je pak vytvoření jader železa, která jsou vázána z energetického hlediska nejlépe. Slučování lehkých jader probíhá v nitru hvězd a je zdrojem jejich energie. Štěpení těžkých jader využíváme v atomových elektrárnách, u nás jsou to Temelín a Dukovany. Často se lidé ptají, k čemu základní výzkum je a jaký má smysl. Ano, primárně jde o pouhopouhou zvědavost a zjišťování, jak věci fungují, většinou bez nějakého konkrétního cíle. Tato přirozená zvědavost nás přivedla od katodových trubíc a výzkumu radioaktivity až k jaderné energetice, o níž nikdo z vědců na počátku 20. století neměl ani tušení. Je to jen jeden z mnoha příkladů užitečnosti základního výzkumu, jehož úroveň a rozsah spolehlivě odráží vyspělost každého státu.

Cihly a malta

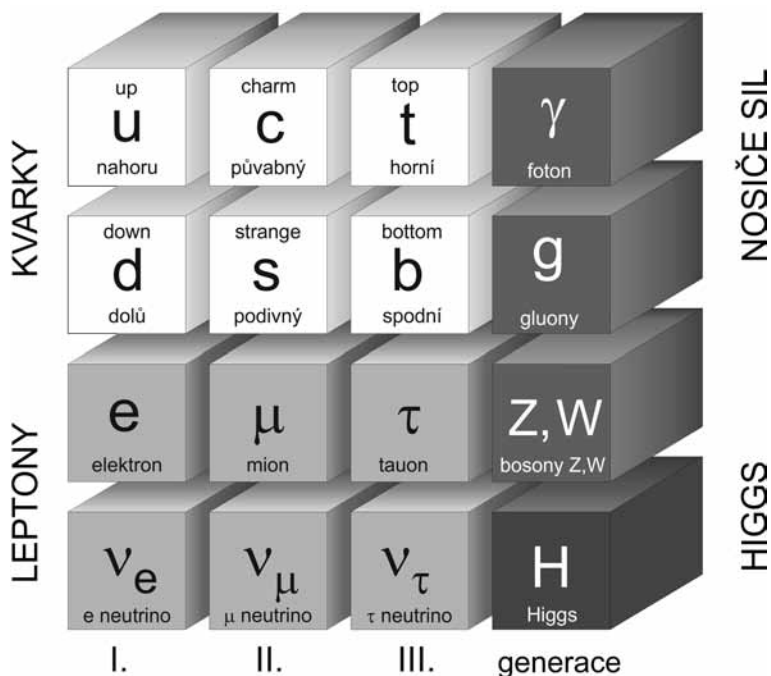
Tak jako dříve bývaly domy postavené z cihel spojených maltou, je i látka složená z částic držených pohromadě interakcemi. V mikrosvětě přísluší i interakcím určitá pole a jim opět částice. Zkrátka jak cihly, tak malta jsou ve světě malých rozměrů tvořeny objekty mikrosvěta a mají částicovou i vlnovou povahu. Když hovoříme o elementárních částicích, můžeme je rozdělit na dvě velké skupiny – částice látky (odpovídají oněm cihlám) a nosiče sil (odpovídají maltě).

Začněme s částicemi látky. S první z nich jsme se již setkali, je to obyčejný elektron. Není ale sám. V roce 1936 objevil v sekundárních sprškách kosmického záření Carl Anderson (1905–1991) těžšího bratra elektronu – mion neboli těžký elektron. Náboj má stejný, ale je 207krát hmotnější než elektron a rozpadá se v průměru za 2,2 mikrosekundy. V roce 1977 byl objeven ještě supertěžký elektron s hmotností 3 500 hmoty obyčejného elektronu a s dobou života 0,3 pikosekundy. Tento elektron se nazývá tauon a je to pěkný cvalík, jeho klidová hmotnost je dvojnásobná v porovnání s protonem.

Elektrony tak existují v přírodě ve třech variantách (někdy hovoříme o generacích). Krátce po vzniku vesmíru byly všechny tři varianty zastoupeny stejně, dnes dominuje obyčejný elektron, mion najdeme jen tam, kde probíhají procesy s vysokou energií (v kosmickém záření nebo v okolí neutronových hvězd a černých děr) a tauon umíme připravit pouze uměle na velkých urychlovačích. Z poměrného zastoupení prvků ve vesmíru plyne, že by měly existovat jen tři generace elektronů, hledání čtvrté je podle současných znalostí tedy zbytečné. Povšimněte si, jak se fyzika mikrosvěta a makrosvěta při výzkumu elementárních částic stávají jednou jedinou vědeckou disciplínou. O počtu generací elementárních částic se dozvídáme z kosmologických úvah o vzniku celého vesmíru.

Objeví-li se při srážce částic některý z elektronů, vždy se spolu s ním objeví také neutrino. Historie objevu neutrina a jeho následného výzkumu je natolik bohatá, že by vystačila na samostatnou knihu, proto se omezíme jen na některá fakta a několik zajímavostí. Neutrina se obdobně jako elektrony vyskytují ve třech variantách: elektronové neutrino, mionové neutrino a tauonové neutrino. Neutrina nemají elektrický náboj, neinteragují ani elektromagneticky ani silnou interakcí. Proto je pro ně látka mimořádně průhledná a neutrina mohou procházet bez zaváhání naším tělem, celou Zemí i Sluncem. Neutrina vznikají v našich jaderných reaktorech, při termojaderné syntéze v hvězdných nitrech, při interakci kosmického záření s horní vrstvou atmosféry, při explozích supernov a v mnoha dalších dějích. Největší tok neutrin přichází z nitra našeho Slunce, každým centimetrem čtverečním naší pokožky projde 60 miliard slunečních neutrin za každou sekundu. Interakce neutrin s látkou je natolik slabá, že se z tohoto obrovského toku neutrin v průměru zachytí v lidském těle jedno jediné za celý lidský život. Obézní lidé mají v tomto případě jasnou výhodu, zachyt neutrina jejich tělem je pravděpodobnější než u anorektiků.

Elektrony a neutrino tvoří společně jednu velkou rodinu elementárních částic, kterým říkáme dohromady *leptony*. Slovo „leptos“ pochází z řečtiny a znamená lehký. V případě tauonu ale rozhodně o lehkou částici nejde, název je tedy spíše historický, než že by odrážel skutečné vlastnosti částic, a vznikl v době, kdy tauon ještě nebyl znám.



Veškeré elementární částice dělíme na částice látky (leptony a kvarky), nosiče sil a Higgsovu částici. Barevnou variaci na toto téma standardního modelu naleznete na obrázku 25 barevné přílohy.

V minulé kapitole jsme se zmínili, že v polovině šedesátých let už bylo známo velké množství „elementárních“ částic a jejich společné vlastnosti vedly k objevu, že mnoho z nich není elementárních, ale skládají se z kvarků. Například v nitru protonu a neutronu kolují tři kvarky. K základním stavebním kamenům látky tedy patří leptony a kvarky. Každá z těchto skupin obsahuje šest částic a šest antičástic. V případě leptonů jde o tři elektrony a tři neutrina, v případě kvarků jde o šestici, která dostala názvy down, up, charm, strange, bottom a top. V českém jazyce tyto názvy překládáme jako dolů, nahoru, působný, podivný, spodní a horní. Celé bohatství látky kolem nás je tedy tvořeno (nepočítáme-li antičástice) pouhými dvanácti částicemi. Mendělejevova tabulka chemických prvků by mohla jednoduchosti tabulky elementárních částic jen závidět.

Nosiče sil a Higgsova částice

Pod pojmem síla si můžeme představit ledacos – od bitky zástupců lidu v parlamentu až po sílu fyzikální, pomocí níž na sebe působí dva objekty. Samo slovo síla má mnoho významů a ve fyzice je obtížné definovatelné, proto se na úrovni elementárních částic hovoří spíše o jejich interakci. Interakce známe celkem čtyři: gravitační, elektromagnetickou, silnou a slabou. Gravitace je doménou obecné teorie relativity, kde silové působení nahrazujeme zakřivením prostoru a času. Ostatní silové interakce jsou doménou kvantové teorie, kde vzájemné působení částic popisujeme jako výměnu polních objektů, které se projevují někdy jako částice a někdy jako pole. Proto třeba u vzájemného působení elektronu a protonu říkáme, že je způsobeno elektromagnetickým polem a stejně tak správně můžeme říct, že je jejich působení zprostředkováno výměnou fotonů. Fotony jsou totiž kvanta energie elektromagnetického pole a je jedno, zda hovoříme o fotonech nebo o poli. Jsou to jen dva různé názvy pro jeden objekt mikrosvěta. Stejně tak tomu je i u všech ostatních nosičů sil – můžeme hovořit jak o polích, tak o částicích.



Kvantový popis interakce předpokládá, že si objekty mezi sebou vyměňují polní částici.

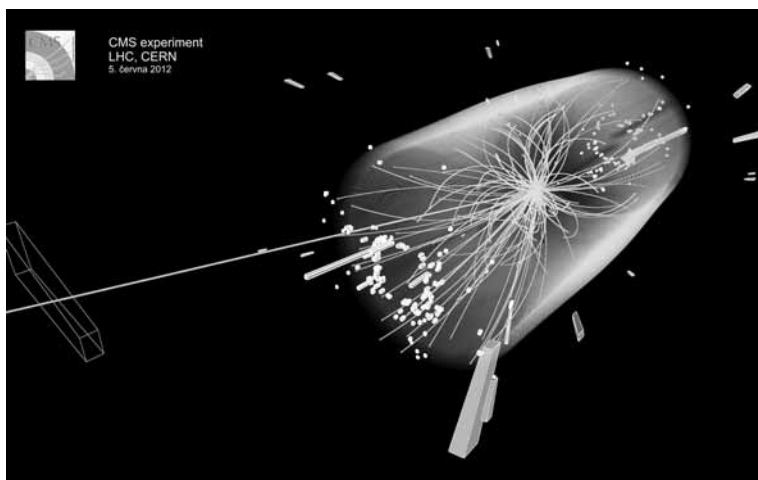
Elektromagnetická interakce má nekonečný dosah, tj. působí i na dálku a jejími polními částicemi jsou fotony (γ). Interakce působí jen na elektricky nabitě částice. Elektromagnetická interakce je zodpovědná za existenci atomů i za vazby atomů a molekul mezi sebou. Je to tedy ona interakce, která zabrání našemu propadnutí podlahou.

Silná interakce má konečný dosah 10^{-15} metru a působí jen na kvarky. Jejími polními částicemi jsou gluony (g), se kterými jsme se již setkali v minulé kapitole věnované lepení všeho druhu. Silná interakce pojí kvarky do větších celků a je zodpovědná za soudržnost atomového jádra.

Poslední z mikroskopických (kvantových) interakcí je slabá interakce. Působí na leptony i kvarky, má krátký dosah 10^{-17} metru a je zodpovědná za rozpady některých částic (například beta rozpad) a za další procesy probíhající při blízkých srážkách, například sloučení dvou protonů na deutron při fúzní reakci v nitru Slunce. Slabá interakce má tři polní částice: Z^0 , W^+ , W^- . Byly objeveny jako poslední polní částice na přelomu let 1983 a 1984 v evropském částicovém středisku CERN³.

K nosičům sil tedy patří fotony, gluony a částice W a Z . Zjednodušeně si můžeme představit, že dvě na sebe působící částice jsou trpaslíčci, kteří mají pátku a mezi sebou si pinkají některou z polních částic. Jednou snad budeme mít takový popis i pro gravitaci. Je ale možné že se gravitace jednotnému popisu vymyká a je od ostatních interakcí zcela odlišná. V každém případě je současná fyzika poněkud schizofrenní: tři ze čtyř interakcí popisuje kvantově (trpaslíčci hrající kvantový ping-pong) a jednu za pomoci pokřiveného prostoru a času. Standardní model elementárních částic obsahuje

3 CERN – *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, Evropské centrum jaderného výzkumu. Komplex urychlovačů a laboratoří na pomezí Švýcarska a Francie založený v roce 1954. Na výzkumu se podílí 20 členských zemí včetně České republiky. K největším objevům patří objev částic slabé interakce, příprava antivodíku a objev kvarkovo-gluonového plazmatu. V CERNu byl také vynalezen a poprvé použit Web. V současné době je zde vybudován největší urychlovač světa – Large Hadron Collider, který byl po závadě na jednom z magnetů opětovně spuštěn na konci roku 2009. V roce 2012 byla na LHC objevena Higgsova částice, poslední částice standardního modelu.



Jedna ze srážek dvou protonů s energiemi 8 TeV, která vedla ke vzniku Higgsovy částice, jež se následně rozpadla na dvojici tauonů. Událost byla zaznamenána na detektoru CMS (Compact Muon Solenoid) dne 5. června 2012. Zdroj: CERN.

částice látky (leptony a kvarky), nosiče sil (γ , g , Z , W) a ještě Higgsovu částici či Higgsovo pole, o němž jsme se zatím nezmínili. Jde o mikroskopický objekt, který při vzájemném působení s jinou částicí způsobí, že se částice začne chovat, jakoby měla nenulovou hmotnost. Tato poslední komponenta standardního modelu byla předpovězena několika skupinami fyziků v roce 1964, nejčastěji je spojována se jménem skotského teoretika Petera Higgse (*1929), po němž nese své jméno. Higgsova částice čekala na svůj objev až do roku 2012 a stala se bezkonkurenčně nejdéle hledanou elementární částicí. Nakonec byla polapena v evropském částicovém středisku CERN.

Jak se rodily atomy

Kde se vzala látka, kterou vidíme všude kolem sebe, kdy a jak vznikaly atomy a jejich součásti? To jsou otázky, na které již dnešní fyzika zná odpověď. Látka se rodila postupně v několika fázích. Na počátku byla ve vesmíru zárodečná polévka složená z leptonů, kvarků a polních částic. Někdy jí říkáme kvarkové-gluonové plazma

a umíme ji dnes připravit uměle jak v evropském středisku CERN, tak v americké Brookhavenské národní laboratoři (viz obrázek 27 barevné přílohy). Kolem jedné mikrosekundy po vzniku vesmíru tu byla už na tehdejší poměry natolik nízká teplota (10^{12} K), že se kvarky začaly spojovat do větších celků. V tomto okamžiku vznikly první protony a neutrony. Každý z nás má v těle takto neskutečně staré částice. Druhá etapa začala kolem jedné minuty, kdy se neutrony a protony spojovaly do lehkých atomových jader. Teplota ve vesmíru poklesla na „příjemnou“ miliardu kelvinů a při překotných srážkách částic vznikala jádra těžkého vodíku, hélia a lithia. Toto prvkotvorné období ale trvalo velmi krátce, pouhých několik minut. V časech kratších byla teplota příliš vysoká a každý vzniklý celek byl doslova rozcupován jinými částicemi, které se s ním srazily. V časech pozdějších byly srážky díky expanzi vesmíru už jen málo pravděpodobné a navíc se většina neutronů rozpadla (volné neutrony mají poločas rozpadu necelých 15 minut). Třetí etapou byl vznik atomárních obalů. K tomu došlo kolem 400 tisíc let stáří vesmíru za teploty několika tisíc kelvinů. Tehdy byly volné elektrony zachyceny toulajícími se lehkými jádry, uvolnilo se reliktní záření a poprvé vznikly takové atomy, jaké známe dnes. Jen jejich skladba byla na současné poměry poněkud chudá. Ve vesmíru totiž v té době chyběly jakékoli těžší prvky.

Jádra těžkých prvků se slučovala až v nitrech prvních hvězd, které se ve vesmíru objevily zhruba 550 milionů roků po vzniku vesmíru. Teplota byla pouhých 200 kelvinů a ve vesmíru už panovala pořádná zima. Tyto hvězdy byly obrovské, měly hmotnost kolem stovky Sluncí a termojaderná syntéza v jejich nitru probíhala velmi rychle. Takoví hvězdní obři se dožili věku jen několika milionů nebo maximálně desítek milionů roků a zakončili svůj život gigantickou explozí supernovy. Do okolí rozházeli jádra kyslíku, dusíku, uhlíku a dalších prvků. V jejich nitrech mohla vznikat jen jádra do hmotnosti jader železa. Těžší jádra vznikala až při závěrečných explozích v rázových vlnách s dostatkem energie pro jejich tvorbu. Příběh látky kolem nás je tak příběhem vývoje vesmíru, jehož poznání umožnilo nezměrné úsilí generací vědců před námi.

Víte, že

■ Víte, že největší dosud objevené atomové jádro obsahuje 118 protonů a 176 neutronů? Bylo objeveno v roce 2002 v ruském jaderném středisku v Dubně. Objev nového prvku byl uznán příslušnými mezinárodními komisemi pro fyziku a chemii až v roce 2015. V roce 2016 bylo pro nový prvek navrženo jméno *oganesson* s chemickou značkou Og. Tento velmi nestabilní prvek je pojmenován podle ruského jaderného fyzika Jurije Colakoviče Oganjesjana (*1933).

■ Víte, že největší stabilní jádra má olovo? Jde o izotop 208, který obsahuje 208 neutronů a protonů. Z hlediska stáří vesmíru je stabilní i vizmut 209, u něhož je poločas rozpadu jádra mnohonásobně větší než současné stáří vesmíru.

■ Víte, že přírodní gejzíry horké vody mají původ ve slabé interakci? Ta způsobuje radioaktivní rozpad hornin hluboko v nitru Země a energie uvolněná při rozpadu zahřívá okolní horninu včetně vody v ní obsažené.

■ Víte, že se při nízkých teplotách velmi odlišuje chování částic látky od polních částic (nosičů sil)? Částice látky obsazují kvantové stavy postupně od nejnižší energie a dvě skutečně elementární částice nikdy neobsadí stejný energetický stav. Proto vytvářejí elektrony v atomárních obalech složité struktury a chemické vlastnosti jednotlivých atomů se liší. Naopak polní částice mohou být ve stejném kvantovém stavu a při nízkých teplotách obsadí všechny nejnižší energetický stav a vytvoří tzv. Boseho-Einsteinův kondenzát, velmi specifickou formu látky, v níž se všechny částice chovají jako jeden jediný makroskopický objekt.

■ Víte, že se uvažuje i o různých elementárních částicích za hranicemi standardního modelu? Jejich existenci vyžadují některé jednotné pohledy na více interakcí dohromady. K takovým teoriím patří například dnes velmi populární teorie strun, podle které jsou elementární částice vibrující jednorozměrné útvary ve vícedimenzionálním časoprostoru. V nejúspornějším případě se používá deset dimenzí, což je pro běžného smrtelníka těžko představitelné.

Existují ale i varianty s 27 dimenzemi. Zatím takové částice nebyly nalezeny ani na největších urychlovačích světa.

Poučení na závěr: *Uhlík, dusík a kyslík, které jsou základními stavebními kameny našich těl, vznikaly při termojaderné syntéze v nitru hvězd. V každém z nás je tak materiál prastarých hvězd a jsme doslova uhnětení z jejich popelu. A vodík v našem těle má ještě starší původ. Protony tvořící jeho jádra vznikaly spojováním kvarků v pouhé mikrosekundě po vzniku vesmíru a jejich stáří lze odhadnout na 14 miliard roků. Lidský věk je tak neporovnatelný se stářím atomů, z nichž je lidská bytost složena.*

Literatura

1. Jak se klouže na ledu

- [1] Fyzmatik: *Regelace ledu*;
online: <http://fyzmatik.pise.cz/801-regelace-ledu.html>
- [2] Wikipedia: *Regelation*; online: <https://en.wikipedia.org/wiki/Regelation>
- [3] Wikipedia: *Ice*; online: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ice>
- [4] Wikipedia: *Amorphous Ice*;
online: https://en.wikipedia.org/wiki/Amorphous_ice
- [5] Michael Faraday: *Note on Regelation*; Proc. R. Soc. London **10** (1860), 440-450
- [6] F. P. Bowden, T. P. Hughes: *The Mechanism of Sliding on Ice and Snow*; Proceedings of the Royal Society A **172** (1939) 280
- [7] Robert Rosenberg: *Why Is Ice Slippery?*; Physics Today (2005) 50
- [8] J. G. Dash, A. W. Rempel, J. S. Wettlaufer: *The physics of premelted ice and its geophysical consequences*; Reviews of Modern Physics **78** (2006) 695
- [9] Federico Formenti, Alberto E. Minetti: *Human locomotion on ice: the evolution of ice-skating energetics through history*; Journal of Experimental Biology **210** (2007) 1825-1833
- [10] Anne-Marie Kietzig, Savvas G. Hatzikiriakos, Peter Englezos: *Ice friction: the effect of thermal conductivity*; Journal of Glaciology **56**/197 (2010) 473
- [11] Chang Q. Sun: *Elastic Coulomb-levitation: why is ice so slippery?*; arXiv:1502.04173 [cond-mat.soft], 14 Feb 2015
- [12] B. N. J. Persson: *Ice friction: Role of non-uniform frictional heating and ice premelting*; The Journal of Chemical Physics **143** (2015) 224701
- [13] Ian Randall: *Does the 'softening' of ice explain its slipperiness?*; Physics World, 6 Jan 2016
- [14] Andrzej Falenty, Thomas C. Hansen; Werner F. Kuhs: *Formation and properties of ice XVI obtained by emptying a type sII clathrate hydrate*; Nature **516**/7530 (2014) 231-233
- [15] Jiming Sun et al.: *The phase diagram of high-pressure superionic ice*; Nature Communications **6**/8156 (2015); online: <http://www.nature.com/ncomms/2015/150828/ncomms9156/pdf/ncomms9156.pdf>

- [16] Becky Oskin: *Vostok: Lake Under Antarctic Ice*; Live Science, 13 Jan 2015; online: <http://www.livescience.com/38652-what-is-lake-vostok.html>
- [17] South Pole Station: *Lake Vostok Drilling Project*; online: <http://www.southpolestation.com/trivia/10s/lakevostok.html>
- [18] D. Hofmann, G. Preuss, C. Mätzler: *Evidence for biological shaping of hair ice*; Biogeosciences **12** (2015) 4261–4273
- [19] Michal Krankus: *Energetický poklad aneb obeň v ledu*; Aldebaran bulletin 17/2014
- [20] Jakub Rozehnal: *O původu vody na Zemi*; Aldebaran bulletin 3/2015
- [21] Petr Kulhánek: *Známe tajemství bruslení a lyžování?*; Aldebaran bulletin 3/2016

2. Kapky se koulí

- [22] Hyperphysics: *Surface tension*; online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/surten.html>
- [23] NASA Goddard Space Flight Center: *The Shape of a Raindrop*; online: <http://pmm.nasa.gov/resources/students-and-educators/the-shape-of-a-raindrop>
- [24] Guillermo Montero-Martínez et al.: *Do all raindrops fall at terminal speed?*; Geophysical Research Letters **36** (2009) L11818
- [25] Steven Weinberg: *To Explain the World: The Discovery of Modern Science*; Harper Collins Publishers, NY, 2015
- [26] Wikipedia: *Leidenfrost effect*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Leidenfrost_effect
- [27] Jearl Walker: *Boliling and the Leidenfrost Effect*; Cleveland University; online: http://www.wiley.com/college/phy/halliday320005/pdf/leidenfrost_essay.pdf
- [28] Youtube: *The Leidenfrost Effect - Growing a droplet*; online: https://www.youtube.com/watch?v=Kt1eRy8x_Us
- [29] Hannes Alfvén: *Worlds-Antiworlds: Antimatter in Cosmology*; W. H. Freeman publ., 1966
- [30] Astro: *Optické úkazy v atmosféře*; online: <http://ukazy.astro.cz/>
- [31] Astro: *Optické úkazy v atmosféře: duha*; online: <http://ukazy.astro.cz/duha.php>
- [32] The Physics Classroom: *Refraction and the Ray Model of Light – Interesting*

Refraction Phenomena – Rainbow Formation;
online: [http://www.physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-4/
Rainbow-Formation](http://www.physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-4/Rainbow-Formation)

3. Když si voda kлокotá

- [33] L. J. F. (Jo) Hermans: *Boiling water (Physics in daily life)*;
Leiden University; online: [http://www.europhysicsnews.org/articles/epn/
pdf/2012/02/epn2012432p13.pdf](http://www.europhysicsnews.org/articles/epn/pdf/2012/02/epn2012432p13.pdf)
- [34] Charles D. H. Williams: *The Science of Boiling an Egg*; University of Exeter;
online: <http://newton.ex.ac.uk/teaching/CDHW/egg/>
- [35] Natalie Wolchover: *The Surprisingly Strange Physics of Water*;
Live Science, 2011; online [http://www.livescience.com/
33505-water-strange-physics.html](http://www.livescience.com/33505-water-strange-physics.html)
- [36] Hyperphysics: *Thermodynamics – Phase Changes*;
online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/phase.html>
- [37] Hyperphysics: *Electricity – Molecular Dipole Moments*;
online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/diph2o.htm>
- [38] Hyperphysics: *Electricity – Chemistry – Water*;
online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/chemical/water.html>
- [39] Wikipedia: *Convection Zone*;
online: https://en.wikipedia.org/wiki/Convection_zone
- [40] University of Tennessee: *Astronomy 162 lectures – Stars, Galaxies,
and Cosmology – Competition between the P-P Chain and the CNO Cycle*;
online: <http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/energy/cno-pp.html>
- [41] University of Cambridge: *Naked Scientists Science Questions: Why does hot
water sound different to cold water when poured?*; online:
<http://www.thenakedscientists.com/HTML/questions/question/2584/>
- [42] Gianluca Memoli: *Why does water make a noise when it boils?*;
Ask a Scientist, 25 Sep 2012; online: [http://askascientist.co.uk/chemistry/
why-does-water-make-a-noise-when-it-boils/](http://askascientist.co.uk/chemistry/why-does-water-make-a-noise-when-it-boils/)
- [43] Wikipedia: *Kavitace*; online: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kavitace>

4. Od mikrovlnky k Velkému třesku

- [44] IEEE Microwaves: *History of the Microwave Oven*;
online: [http://www.microwaves101.com/encyclopedias/
history-of-the-microwave-oven](http://www.microwaves101.com/encyclopedias/history-of-the-microwave-oven)

- [45] John Osepchuk: *A History of Microwave Heating Applications*; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques MTT-**32**/9 (1984) 1205
- [46] Wikipedia: *Microwave Oven*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Microwave_oven
- [47] The Great Idea finder: *Microwave Oven*; online: <http://www.ideafinder.com/history/inventions/microwave.htm>
- [48] Aldebaran: *Elektromagnetické spektrum*; online: http://www.aldebaran.cz/tabulky/tb_spektrum.php
- [49] Aldebaran: *Mikrovlny*; online: http://www.aldebaran.cz/tabulky/spektrum_mikro.php
- [50] J. Kohout: *Plazma v mikrovlnné troubě*; online: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/13-13-Kohout.html>
- [51] Fyzikální korespondenční seminář UK MFF: *Měření rychlosti světla*; online: <http://fykos.org/rocnik18/reseni/reseni6-6.pdf>
- [52] Wikipedia: *Cosmic background radiation*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_background_radiation
- [53] NASA: Stránky věnované družici COBE: <http://science.nasa.gov/missions/cobe/>
- [54] NASA: Stránky věnované sondě WMAP: <http://map.gsfc.nasa.gov/>
- [55] ESA: Stránky věnované sondě Planck: <http://sci.esa.int/planck/>
- [56] BBC Universe: *Arno Penzias and Robert Wilson*; online http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/scientists/arno-penzias_robert_wilson

5. Ušatej magnet

- [57] Petr Kulhánek, Jakub Rozehnal: *Hvězdy, planety, magnety*. Mladá fronta 2007, edice Kolumbus.
- [58] How Magnets Work; online: <http://www.howmagnetwork.com/>
- [59] Wilfred Chan: *Japan's maglev train sets world record: 603 kph*; CNN 28 Apr 2015; online: <http://edition.cnn.com/2015/04/21/asia/japan-maglev-train-world-record/>
- [60] Wikipedia: *Maglev*; online: <https://en.wikipedia.org/wiki/Maglev>
- [61] Cadie Thompson: *SpaceX just announced more details about its Hyperloop test track*; Tech Insider 26 Jan 2016; online <http://www.techinsider.io/spacex-just-announced-more-details-about-its-hyperloop-test-track-2016-1>

- [62] Windell Oskay: *Start seeing magnetic fields*;
Evil Mad Scientist, 5 May 2010; online: <http://www.evilmadscientist.com/2010/start-seeing-magnetic-fields/>
- [63] Spaceweather: Stránka věnovaná kosmickému počasí, naleznete zde i výstrahy týkající se blížících magnetických bouří a polárních září.
Online: www.spaceweather.com
- [64] NASA GSFC SDO homepage; online: <http://sdo.gsfc.nasa.gov/>
- [65] Jay Bennett: *The First Pieces of the Hyperloop Test Track Are Ready for Assembly*; Popular Mechanics, 7 Jan 2016;
online: <http://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure/a18872/hyperloop-technologies-physical-tubes-ready-assemble/>
- [66] Spencer Kelly: *Is Hyperloop the future of high-speed travel?*; BBC News, 21 Jan 2016; online: <http://www.bbc.com/news/technology-35361093>

6. O teplotě

- [67] David N. Blauch: *Virtual Chemistry Experiments*;
vynikající web stránka s java aplety ukazujícími chaotický pohyb molekul, teplotu a další vlastnosti velkých souborů částic; Davidson College,
online: <http://www.chm.davidson.edu/vce/KineticMolecularTheory/>
- [68] Wikipedia: *Thermodynamic temperature*;
online: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermodynamic_temperature
- [69] Aldebaran: *Astrofyzika – Základní vlastnosti hvězd*;
online: http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/hvezdy/stars_1.html
- [70] NASA Sun Factsheet;
online: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>
- [71] Jasem Mutlaq: *Star Colors and Temperatures*;
KDE Project; online: <https://docs.kde.org/trunk5/en/kdeedu/kstars/ai-colorandtemp.html>
- [72] Michal Stránský: *Laserové ochlazování*; Aldebaran bulletin 12/2003;
online: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2003_12_coo.html
- [73] HyperPhysics: *Laser Cooling*;
online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/optmod/lascool.html>
- [74] Arizona State University: *World Weather / Climate Extreme Archive: Highest temperature*; online: <http://wmo.asu.edu/world-highest-temperature>
- [75] Futurism: *Science Explained: What is the Hottest Possible Temperature?*;
online: <http://futurism.com/science-explained-hottest-possible-temperature/>

- [76] Brookhaven National Laboratory: *A New Area of Physics*;
RHIC Science, online: <https://www.bnl.gov/rhic/newphysics.asp>

7. O teple

- [77] Nabla: *Tepelná kapacita, měrná tepelná kapacita*;
online: <http://www.nabla.cz/obsah/fyzika/molekulova-fyzika-a-termika/tepelná-kapacita-merna-tepelná-kapacita.php>
- [78] TZB: *Tabulky a výpočty: Fyzikální vlastnosti vybraných plynů a par*;
online: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypočty/8-fyzikalni-vlastnosti-vybranych-plynu-a-par>
- [79] Petr Kulhánek: *Moderní kosmologie aneb Jak přednášet o kosmologii?*;
str. 43: Hypotézy o temné hmotě a temné energii;
projekt Výstavou ke spolupráci a poznání, 2011;
online: <http://www.aldebaran.cz/download/Kosmologie.pdf>
- [80] Wikipedia: *Entropy*; online: <https://en.wikipedia.org/wiki/Entropy>
- [81] Jacob D. Bekenstein: *Entropy bounds and black hole remnants*;
Physical Review D, Vol. **49**, Issue 4 (1994), pp. 1912-1921;
online: <http://arxiv.org/abs/gr-qc/9307035>
- [82] Hyperphysics: *Second law of thermodynamics*;
online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/seclaw.html>
- [83] Vladimír Vaščák: *Perpetuum mobile, animace*;
online: <http://www.vascak.cz/?p=2086>
- [84] Donald E. Simanek: *Perpetual Futility – A short history of the search for perpetual motion*;
online: <http://www.lhup.edu/~dsimanek/museum/people/people.htm>
- [85] Hyperphysics: *Heat Conduction*;
online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/heatra.html>
- [86] Chris Woodford: *Graphene; Explain That Stuff*;
18 Mar 2016; online: <http://www.explainthatstuff.com/graphene.html>

8. Až vylétnou pojistky

- [87] All for Power: *Zastaralá energetická síť je v Praze definitivně u konce*;
31. 10. 2009; online: <http://www.allforpower.cz/clanek/zastarala-energeticka-sit-je-v-praze-definitivne-u-konce/>
- [88] Václav Kolár: *Výroba a rozvod elektrické energie*;
VŠB, katedra elektrotechniky, 2000; online: http://fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/vyroba_a_rozvod_sylab.pdf

- [89] David Černý: *Rozvod elektrické energie*; AG projekt 2014 (Elektrifikace Prahy); online: <http://slideplayer.cz/slide/3641284/>
- [90] ČEZ: *Významná data z historie české elektroenergetiky*; online: <https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-zajemce-o-informace/historie-a-soucasnost/vyznamna-data.html>
- [91] ČEZ: *Uhelné elektrárny v ČR*; online: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr.html>
- [92] Wikipedia: *Drift velocity*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Drift_velocity
- [93] Fyzmatik: *Elektrina z citronu*; 2009; online: <http://fyzmatik.pise.cz/64-elektrina-z-citronu.html>
- [94] Josip Kleczek: *Plasma ve vesmíru a laboratoři*; Academia 1968
- [95] Anthony Perratt: *Physics of the Plasma Universe*; Springer Verlag 1992

9. Točí se, točí (od mixéru k tekutinovému dynamu)

- [96] Kurz MIT 8.02T: *Elektrina a magnetismus*; česká lokalizace AGA 2007; online: <http://www.aldebaran.cz/elmg/>
- [97] Miroslav Horký, Petr Kulhánek: *Návrh nové definice soustavy jednotek SI*; AB 31/2015; online: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2015_31_sis.php
- [98] Miroslav Horký: *Nový kilogram konečně na obzoru*; AB 30/2016; online: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2016_30_rum.php
- [99] Paul J. Nahin: *Oliver Heaviside – the Life, Work, and Times of an Electrical Genius of the Victorian Age*; John Hopkins University Press, 2002
- [100] Wikipedia: *Electric Motor*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_motor/
- [101] Q-files: *Michael Faraday*; online: <http://www.q-files.com/science/great-scientists/michael-faraday/>
- [102] Wikipedia: *Faraday's law of induction*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Faraday's_law_of_induction
- [103] Richard Fitzpatrick: *MHD Dynamo Theory*; University of Texas 2011; online: <https://farside.ph.utexas.edu/teaching/plasma/lectures1/node70.html>
- [104] Ota Kéhar, Miroslav Randa: Multimedialní učební text *Astronomia – Magnetické dynamo*; ZČU 2010; online: <http://hvezdy.astro.cz/slunce/741-magneticke-dynamo>

10. Točí se, točí (od lístků čaje k Newtonovu vědru)

- [105] Petr Kulhánek, Milan Červenka: *Astrofyzika v příkladech*, kapitola V/13 – Profil hladiny kapaliny v rotující nádobě; FEL ČVUT 2012; online: aldebaran.cz/studium/astrofyzika.pdf
- [106] Amit Tandon et al.: *Einstein's Tea Leaves and Pressure Systems in the Atmosphere*; online: <http://www-paoc.mit.edu/paoc/papers/Einstein'sTeaLeavesTPT.pdf>
- [107] Aiona: *Why Tea Leaves Settle in the Center of a Mug*; online: <https://explainers.wordpress.com/2007/10/05/tea-leaves-explained/>
- [108] Wikipedia: *Tea Leaf Paradox*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Tea_leaf_paradox
- [109] Jan Kadrnoška: *Hledá se ‚Machův‘ Machův princip*; 2008; online: www.themis.cz/mach/machbdd.htm
- [110] Vojtěch Ulmann: *Machův princip a obecná teorie relativity*; osobní stránky; online: <http://astronuklfyzika.cz/GravitaceDodatekA.htm#A2>
- [111] Hynek Bíla: *Machův princip a obecná relativita*; Kvantová koroptev, 20. října 2010; online: <http://koroptew.blogspot.cz/>
- [112] Wikipedia: *Mach's principle*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Mach's_principle
- [113] Petr Kulhánek: *Vybrané kapitoly z teoretické fyziky*, AGA 2016; kapitoly věnované momentu hybnosti a spinu.

11. Zrcadlo, zrcadlo, kdo je na světě nejkrásnější?

- [114] Galileo Galilei, Johannes Kepler: *Hvězdný posel / Rozprava s Hvězdným poslem*; Paseka, 2004
- [115] Steven Weinberg: *Jak vyložit svět – objevování moderní vědy*; Slovart 2016.
- [116] Fyzweb (MFF UK): *Odras a lom – aplety*; online: http://fyzweb.cz/materialy/aplety_hwang/propagation/
- [117] Jaroslav Reichl: *Encyklopedie fyziky, kapitoly Odras světla, lom světla, Fermatův princip*; online: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/436-odraz-a-lom-svetla>
- [118] Wikipedia: *Evanescent field*; online: https://en.wikipedia.org/wiki/Evanescent_field

- [119] Petr Kulháněk: *Naučíme se využívat spin fotonů?*; Aldebaran bulletin 29/2016; online: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2016_29_lig.php
- [120] Caroline Herschel: *Great Forty-Foot Telescope*; University of Chicago; online: <http://ecuiplib.uchicago.edu/multiwavelength-astronomy/optical/history/06.html>
- [121] CalTech: *Welcome to Palomar Observatory*; online: <http://www.astro.caltech.edu/palomar/homepage.html>
- [122] Česká mutace stránek ESO: *Evropský extrémně velký dalekohled (E-ELT)*; online: <http://www.eso.org/public/czechrepublic/teles-instr/e-elt/>
- [123] UBC: *Large Zenith Telescope homepage*; online: <http://www.astro.ubc.ca/lmt/lzt/>
- [124] NASA Science: *Liquid Mirror Telescopes on the Moon*; NASA 2008; online: http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/09oct_liquidmirror/

12. Zalepená huba

- [125] P. Mazza et al.: *A new Palaeolithic discovery: tar-bafted stone tools in a European Mid-Pleistocene bone-bearing bed*; Journal of Archaeological Science **33**/9 (2006); online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440306000197>
- [126] Jan Škeřík: *Technický receptář – 660 receptur pro kutily a profesionály*; FCC Public, Praha 1999
- [127] Wikipedia: *Lepidlo* (v angl. verzi *Adhesive*); online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Lepidlo>, resp. <https://en.wikipedia.org/wiki/Adhesive>
- [128] New World Encyclopedia: *Adhesive*; online: <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Adhesive>
- [129] Scientific American: *What exactly is the physical or chemical process that makes adhesive tape sticky?*; 14 Jul 1997; online: <http://www.scientificamerican.com/article/what-exactly-is-the-physi/>
- [130] Nicole Tinkham: *The Glue Guide – 11 Types of Adhesives and Their Uses*; Keetons, 9 Jan 2014; online: <https://keetonsonline.wordpress.com/2014/01/09/the-glue-guide-11-types-of-adhesives-and-their-uses/>
- [131] Thorin Klosowski: *This Glue Chart Guides You Through Which Glue to Use Where*; Life Hacker; 13 Jan 2012; online: <http://lifehacker.com/5875781/this-glue-chart-guides-you-through-which-glue-to-use-where>

- [132] Adhesives and Sealants: *Types of Glue & Glue Tips*; Adhesives.org;
online: <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesive-selection/types-of-glue-glue-tips>
- [133] New Zealand Institute of Chemistry: *Adhesives*;
online: <http://nzic.org.nz/ChemProcesses/polymers/10H.pdf>
- [134] Patterson Wilson: *Fundamentals of Adhesion*; NC State University, 2010;
online: <http://www.ncsu.edu/biosucceed/courses/documents/Ch4.pptx>
- [135] Bearing Briefs: *History of Adhesives*; Bearing Specialists Association, 2014;
online: http://www.bsahome.org/tools/pdfs/History_of_Adhesives_web.pdf

13. Propadneš se do pekel

- [136] AIP: *Rutherford Nuclear World – Alpha Particles and the Atom*;
Center for History of Physics at AIP 2011–2016;
online: <https://www.aip.org/history/exhibits/rutherford/sections/alpha-particles-atom.html>
- [137] Hyperphysics: *Discovery of the Neutron*;
online: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/particles/neutronsdis.html>
- [138] Petr Kulhánek: *Elementární částice – standardní model*;
Brána do vesmíru 2014;
online: <http://www.branadovesmiru.eu/odborne-clanky/elementarni-castice-standardni-model.html>
- [139] Domovská stránka Evropského střediska pro částicovou fyziku CERN;
online: <https://home.cern/>
- [140] Michal Marčíšovský: *(Elektro)slabá interakcia a Higgsov bozón*;
Aldebaran bulletin 28/2012;
online: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2012_28_hig.php
- [141] Ted Lessons: *Higgs field explained*;
online: <https://www.youtube.com/watch?v=joTKd5j3mzk>,
české titulky: http://www.aldebaran.cz/animace/Higgs_3.srt
- [142] Petr Kulhánek: *Moderní kosmologie aneb Jak přednášet o kosmologii?*
Projekt Výstavou ke spolupráci a poznání, 2013;
online: <http://www.aldebaran.cz/download/Kosmologie.pdf>

Rejstřík

- absolutní
 - horko 94
 - index lomu 177
 - nula 92–93
 - pohyb 166, 168
 - teplota 90, 102, 104
- adheze 32–34, 192–193, 199
- adiabatický děj 48
- albumin 195
- alfa částice 203
- alfa efekt 158
- ampér 134
- antihmota 35–38
- antičástice 36–37, 207
- atmosférická refrakce 178
- Bajkal 26
- BEC 97
- bod varu 35, 44, 45, 47, 52
- Catoptrics 176
- CNO cyklus 49–50
- Curieova teplota 23, 77
- cyklotron 148
- Čerenkovovo záření 25
- černá díra 104
- dalekohled/y
 - E-ELT 184
 - Haleův (Palomar) 182
 - Hookerův (Mt. Wilson) 182
 - Hubbleův vesmírný 183–184
 - Jamese Webba 184
 - Keckův 184
 - LZT 142, 185
 - NTT 183
 - Velmi velký 142, 184
- detektor
 - ALICE 95–96
 - CMS 210
 - Phoenix 95, 144
 - PLUTO 198
- difúze 193
- dipólový moment 44–45, 51, 53–54
- Dopplerův jev 40, 93
- doutnavka 120–121
- družice, sondy
 - COBE 69–70
 - Echo 69
 - Planck 70–71, 84, 94, 134
 - SDO 81, 135
 - TRIAD 125
 - WMAP 70
- duha 29, 38–39, 130
- Dukovany 205
- elektrárna 116–120
 - jaderná 204–206
 - uhelná 119, 126
 - vodní 113, 118, 126, 139
- elektrické napětí 152–156, 199, 202
- elektrický
 - odpor 78, 80, 97, 119, 152
 - proud 89, 114, 121–123, 125, 149–150, 152, 154, 202
- elektrolýza 138, 158
- elektromagnetická indukce 152–154
- entropie 102–104, 107
- elektron 29, 36, 38, 51, 58, 62, 65, 67–71, 80–83, 85, 88, 97, 105,

114–115, 119, 135, 148, 171,
 196–198, 202–208, 211–212
 elektroskop 156
 etanol 45
 Exidiopsis effusa 26
 experiment/y
 Faradayovy 138–139
 Newtonův 150
 regelace 18
 s elektřinou 115
 v mikrovlnce 61
 fázovka 120–121
 fázový přechod 14, 23–24
 fluktuace
 elektromagnetického pole 92,
 158
 reliktního záření 70
 rychlosti 52, 158
 teplotní 77
 fulleren 88–89
 galaxie 37, 70, 84, 134, 136
 gluony 95, 143–144, 189, 196–198,
 209–210
 GPS 67
 grafen 109
 gyrace 148
 Hallův jev 152
 HDO 122
 Higgsova částice 207–210
 hydroklatrát 15, 26
 Hydrometra stagnorum 31
 hydrostatický tlak 164
 Hyperloop 79–80
 chord 186
 IceCube 25
 impregnace 39
 index lomu 178, 186

interakce 205–206
 elektromagnetická 204, 208–209
 gravitační 124–125, 169–170,
 173, 183, 208–209
 silná 95, 197–198, 208–209
 slabá 208–209
 jev
 aberrace 178
 adheze 32–34, 192–193
 alfa efekt 158
 difúze 193
 Dopplerův 40, 93
 elektrolýza 138, 158
 elektromagnetická indukce
 152–154
 Hallův 152
 Josephsonův 152
 kapilarita 33
 kavitace 52
 koheze 30, 33, 192–193
 Leidenfrostův 36–37
 lom 160
 odraz 160
 magnetická bouře 83
 omega efekt 156–157
 precese 84
 regelace ledu 17–19, 23, 25
 totální reflexe 141, 180
 turbulence 43, 182
 var vody 44–45, 47
 vedení tepla 18, 47, 108
 jistič 122–124
 Josephsonův jev 152
 kapilarita 33
 kapilární deprese 33
 kapilární elevace 33
 kapka

tvar 33–34
 rychlost 33–34
 kasein 191–192, 195
 katodová trubice 202
 kavitace 52
 kelvin 90
 klatrát 15
 koheze 30, 33, 192–193
 kometa 16, 25–26
 konstanta
 Boltzmannova 90, 100
 gravitační 94
 Planckova 94, 171
 rychlost světla 94
 konvekce 47, 49–50, 53
 koróna 110
 kosmické záření 36
 kritérium pro vznik proudění 48
 kvantová teorie 91–92, 96, 171,
 179, 201, 208–209
 kvarky 95, 104, 143–144, 197–198,
 207, 209–211, 213
 laser 64, 93, 180, 183
 laserové ochlazování 92–94
 led
 amorfní 16
 fáze 14–16
 HDA 16
 LDA 16
 reglace 17–19, 23, 25
 superionický 17
 VHDA 16
 LED (dioda) 115
 Leidenfrostův jev 36–37
 lepidlo 174–179
 kanadský balzám 194
 kasein 191–192, 195
 klíh 191–192, 195
 roslinné 194
 Super Glue 196
 syntetické 192
 vteřinové 192
 živočišné 195
 leptony 206–207, 209–210
 lodestone 85
 lom 160
 magnety 58, 70, 73–80, 218
 magnetar 65, 84
 magnetická bouře 83
 magnetit 75, 85
 magnetohydrodynamika 36
 magnetron 58–59
 mikrogravitace 54
 mikrovlnná trouba 53–54, 57–71
 mion 205–206
 mlhovina 67, 84, 90, 125, 189
 moment
 hybnosti 170–172
 setrvačnosti 165
 neodym 76–77, 81
 neutrino 25, 204, 206–207
 neutron 16, 48, 76, 89, 95, 104,
 189, 197–198, 203–204, 207,
 211–212
 neutronová hvězda 65, 84, 206
 Newtonovo vědro 160, 166–169
 NID 77
 Nobelova cena 36, 78, 90, 93, 109,
 148, 197, 203
 nulové kmity 92
 obecná relativita 48, 170, 208
 odraz 130, 141, 176–177, 180–181,
 186, 203
 oganesson 212

omega efekt 156–157
 optika
 adaptivní 142, 183–184
 aktivní 142, 183–184
 paradox čajových lístků 146
 perpetuum mobile 99, 105–107,
 110
 Planckovy škály 94
 plazma 36, 49, 62, 68, 82, 90,
 95, 124–125, 137, 144, 157,
 209–210
 pohyby ledovců 13, 19
 pojistka 122–124
 polarizace 70, 84, 134
 polární záře 65, 83, 113
 povrchové napětí 29
 precese 84
 princip
 Machův 168–170
 maxima informací 104
 nejmenšího času (Fermatův)
 176–177
 Principie 166–167
 proton 29, 36, 48–49, 67, 89, 95,
 106, 143, 147, 189, 196–198,
 203–213
 pudinkový model 203
 pyrolýza 190–191
 pp řetězec 48, 50
 Radarange 60
 regelace ledu – viz led
 relativní
 index lomu 178
 pohyb 166
 samarium 77
 sekundární
 duha 39
 sprška 36, 205
 tok 138, 163–165, 172–173
 setrvačnost 165–172
 Schumanova rezonance 67
 SI 90, 152, 158
 siločára 65, 70, 73, 80–82, 84,
 124, 134–135, 137, 147–150,
 153–158, 170
 síla
 adhezní 32–34, 192–193
 Coulombova 24, 29–30
 gravitační 124–125, 169–170,
 173, 183, 208–209
 kohezní 30, 33, 192–193
 magnetická 131, 150
 slapová 125
 van der Waalsova 30
 sluneční vítr 110, 124
 sondy – viz družice, sondy
 SOS 67
 součinitel smykového tření 23–24
 spektrum 63–68, 90, 184
 spin 67, 76, 97, 172, 180–181
 tauon 205–206, 210
 tekutinové dynamo 156–157
 Temelín 204–205
 temná hmota 102
 teorie strun 212
 tepelné ztráty 46, 119
 teplo 11, 14, 19, 44, 47, 57, 71,
 98–110
 teplota 15–17, 19, 21–26, 31,
 35–36, 43–47, 77, 87–97
 Planckova 94, 96
 točivost – viz moment hybnosti
 totální reflexe 141, 180
 turbulence 43, 182
 tvrdidlo 194, 196
 ultrazvuk 52–53

- univerzita
 - Cambridge 22, 182
 - ČVUT 13, 93
 - Göttingen 15
 - Laussanská polytechnika 199
 - Nacional Autónoma de Méxi-
co 35
 - Nanyang Technological Univer-
sity 24
 - Princeton 17
 - UBC 185
 - UCLA 185
- úplný odraz – viz totální reflexe
- urychlovač
 - DORIS 198
 - LHC 95–96, 209
 - RHIC 95, 144
 - SLAC 197
- ústavy, pracoviště
 - Arnold Engineering 74
 - Bellovy telefonní laboratoře 69
 - Brookhavenská národní laboratoř
95, 144, 211
 - CERN 95–96, 209–211
 - DESY 198
 - Dubna 212
 - General Electric 59
 - Goodrich Company 196
 - Institut für Festkörperforschung
23
 - Laueho Langevinův institut 15
 - NASA 57, 81, 185–186
 - NIST 93
 - Raytheon Company 60
 - RIKEN 181
 - SpaceX 80
- uzavřený systém 103
- var vody 44–45, 47
- vazkost – viz viskozita
- vedení tepla 18, 47, 108
- veličina
 - aditivní 100
 - intenzivní 88
- Velký třesk 68, 70
- viskozita 51, 140, 163
- vlny
 - evanescentní 180
 - na rozhraní 180
 - podélné 51
 - seismické 21, 51
 - zvukové 43, 48, 50–52
- vodoměrka – viz Hydrometra stag-
norum
- Vostok
 - jezero 21
 - polární stanice 20, 94
- vulkán 54, 133
- vulkanizace 194
- výkon 57, 62, 113, 119, 122–123,
126
- Weissova doména 23, 77
- Wolfova-Rayetova hvězda 90
- zákon lomu 177
- záření
 - Čerenkovovo 25
 - elektromagnetické 37–38, 49,
63–67
 - katodové 196
 - kosmické 36, 205–206
 - reliktní 68–70
- zkoušečka 120–121
- zrcadlo 142, 158, 174–187

Rejstřík osob

- al Farisi, Kamal al Din 39
al Hákim 39
Alfvén, Hannes 36–38, 124
Ampèr, André-Marie 121, 149–150
Anderson, Carl 36, 205
Aristotelés ze Stageiry 39
Beckenstein, Jacob 104
Beňo, Radek 11
Bhaskara 110
Birkeland, Kristian 124
Bliokh, Konstantin 181
Bohr, Niels 171
Boltzmann, Ludwig 101–102
Borra, Ermanno 185
Boussinesq, Joseph 172
Bose, Satyendra 212
Bowden, Frank 22
Brahmagupta 110
Carnot, Sadi 102, 105
Cohen-Tannoudji, Claude 93
Coover, Harry 196
Cowling, Thomas 156
Clarke, Arthur 57
Clausius, Rudolf 102
Descartes, René 177
Dietrich von Freiburg 39
Dirac, Paul 36
Edison, Thomas 115
Einstein, Albert 162, 165, 169–170, 172, 212
Eukleidés 176
Faraday, Michael 19, 63, 138, 154–156, 158
Fermat, Pierre de 177–179
Gamow, George 68
Geim, Andrej 109
Gell-Mann, Murray 197–198
Gerlach, Walter 76
Gilbert, William 75
Gordon, Andrew 158
Havlíček, Ivan 11
Heaviside, Oliver 148, 150, 156
Hemingway, Ernest 175
Hérón Alexandrijský 176
Herschel, William 65, 181–182
Hertz, Heinrich 64
Hickson, Paul 185
Higgs, Peter 210
Hoyle, Fred 68
Hubble, Edwin 68
Hughes, T. 22
Chadwick, James 196, 204
Chu, Steven 93
Joly, John 22
Kelvin, lord 19
Klezcek, Josip 143
Kracík, Jiří 99
Křížík, František 116–117, 126
Leidenfrost, Johann 36
Lorentz, Hendrik 148
Lucretius, Titus Carus 75
Magnes 74
Mach, Ernest 168–170, 172
Maxwell, James 64, 85, 150, 156
Mentzl, Rudolf 53
Milovič, Alexandr 172

Moffatt, Keith 156
 Montero-Martínez, Guillermo 35
 Mpemba, Erasto 53
 Musk, Elon 79–80
 Ne'eman, Yuval 197
 Newton, Isaac 166–168, 185
 Novoselov, Konstantin 109
 Oganjesjan, Jurij 212
 Ørsted, Hans 63, 75, 149
 Onnes, Kamerlingh 78
 Ötzi 191
 Parker, Eugen 156
 Pavlousek, Jaroslav 201
 Penzias, Arno 69
 Perratt, Anthony 124
 Persson, Bo 23
 Philips, William 93
 Pratchett, Terry 147
 Ptolemaios 186
 Reynolds, Osborn 22
 Rottrová, Marie 189
 Rozehnal, Jakub 10
 Rutherford, Ernest 196, 203
 Sahl, Ibn 177
 Scott, Robert 22
 Schrödinger, Erwin 171
 Schwarzschild, Karl 47–48
 Siemens, Werner von 115
 Skey, Henry 185
 Snellius, Willebrord 177
 Sojka, Petr 201
 Spencer, Percy 58–60
 Spitzer, Lyman 183
 Stern, Otto 76
 Stratón z Lampsaku 35
 Sun, Chang 24
 Thomson, James 19
 Thomson, Joseph 85, 148, 196, 202–203
 Thomson, William 19
 Tesla, Nicola 115
 Trefil, James 201
 Twain, Mark 73
 Vinci, Leonardo da 110
 Weinberg, Steven 35
 Wien, Wilhelm 89–91, 96
 Wilson, Edward 22
 Wilson, Robert 69
 Wineland, David 93
 Wood, Robert 185
 Wu, Chien-Shiung 187
 Yancey, Rick 87
 Zeldovič, Jakov 156
 Zweig, George 197
 Zwicky, Fritz 101, 136

Luxusní kravata a dobrá kniha nikdy nevyjdou z módy.

Kravaty

Lee Oppenheimer

THE LUXURY OF SILK



-5 %

SLEVA na nákup
s kódem*

ALDEBARAN2016

*platnost do odvolání



www.lee-oppenheimer.com



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ ČVUT V PRAZE

Fakulta elektrotechnická (FEL) byla založena roku 1950 a je součástí nejstarší a nejprestižnější technické univerzity v České republice – Českého vysokého učení technického v Praze a nabízíme bakalářské, navazující magisterské i doktorské studium.

V současné době má fakulta 17 kateder v nově zrekonstruované budově v Dejvicích a v historickém komplexu na Karlově náměstí. FEL poskytuje prvotřídní vzdělání v oblasti elektrotechniky a informatiky, energetiky, elektroniky, telekomunikací, automatického řízení, kybernetiky, robotiky a počítačového a softwarového inženýrství.

Studovat lze i v anglickém jazyce. Část studia lze strávit v zahraničí, například v rámci programu Erasmus, a získat praktické zkušenosti při spolupráci s průmyslovými společnostmi jako je např. Samsung, Škoda, T-Mobile, ABB, ČEZ nebo Valeo. Již třetím rokem byla Fakulta elektrotechnická vyhodnocena v žebříčku Hospodářských novin jako nejlepší v oboru informatika. FEL také patří do první desítky výzkumných center v ČR.



Výhodou studia na fakultě je nízký počet studentů na pedagoga, což zajišťuje posluchačům individuální přístup, a rovněž velký počet špičkově zařízených laboratoří. Absolventi mají tradičně široké uplatnění na trhu práce a stávají se uznávanými odborníky.

Studijní programy na FEL:

- Elektrotechnika, energetika a management (Bc., Mgr.)
- Elektronika a komunikace (Bc., Mgr.)
- Kybernetika a robotika (Bc., Mgr.)
- Otevřená informatika (Bc., Mgr.)
- Otevřené elektronické systémy (Bc., Mgr.)
- Softwarové inženýrství a technologie (Bc.)
- Elektrotechnika, elektronika a komunikační technika (Bc. – pouze kombinované)
- Inteligentní budovy (Mgr.)
- Biomedicínské inženýrství a informatika (Mgr.)



fel.cvut.cz

facebook.com/CVUTFEL



Z kuchyně prodejny SUPRA Praha ...hvězdám



blíž.

www.supra-dalekohledy-cz

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS PRO FYZIKU

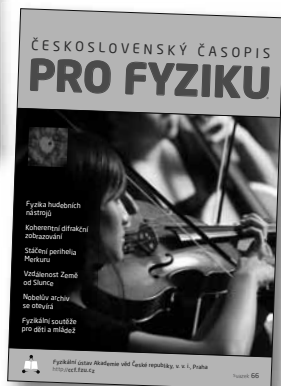


vědecko-populární časopis českých a slovenských fyziků

ČČF je časopisem nejen pro fyzikální badatele, studující fyziku, pedagogické pracovníky vyučující fyziku, ale i pro techniky, matematiky, astronomy, přírodovědce jiných oborů a poučené laiky.

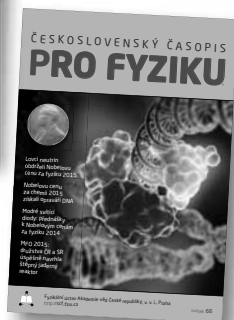


Mít přehled ve světě fyziky...



Recenzovaný
neimpaktovaný
dvouměsíčník

<http://ccf.fzu.cz>



Objednávky: <http://ccf.fzu.cz>, e-mail: ccsfafzy@fzu.cz, tel.: +420 266 052 152.

Aktuální čísla zakoupíte i v prodejnách v Praze (Národní třída 7, Václavské nám. 34, Na Florenci 3, Technická 6, Celetná 18, Žitná 25), Brně (nám. Svobody 13), Ostravě (Zámecká 2) a v Olomouci (Biskupské nám. 1).

SOUSTŘEDĚNÍ

každým rokem pořádáme
pro studenty
Astrosoustředění
s přednáškami
a pozorováním

VÝUKA

členové spolku
Aldebaran se podílejí
na výuce na středních
i vysokých školách

SERVER

18 let kvalitních
informací
a novinek
z astronomie
a fyziky

EXPEDICE

spolek Aldebaran
pořádá pravidelně
expedice za zatměními
Slunce,
polárními zářemi
a do zajímavých
vědeckých
pracovišť

NAKLADATELSTVÍ

recenzované publikace
a materiály
z přírodních věd



PETR KULHÁNEK

Z KUCHYNĚ DO VESMÍRU

ANEB TŘINÁCTERO PŘÍBĚHŮ

NEOBYČEJNĚ OBYČEJNÝCH

Žádná část této publikace nesmí být publikována
a šířena žádným způsobem a v žádné podobě bez výslovného
svolení autora a sdružení AGA.

Autor: prof. RNDr. Petr Kulhánek, CSc.

Sazba: Ing. Radek Beňo, beno@aldebaran.cz

Grafika a obálka: ing. arch. Ivan Havlíček, havlicek@aldebaran.cz

Předsádky: Pieter Brueghel starší: Alchymista (1558).

Jan van der Straet: Distillatio (konec 16. století).

Oba obrazy převedl do rytin Phillip Galle.

Formát: 13×20 cm, 240 stran

Obrázky: 90 černobílých, 28 barevných

Nakladatelství: AGA (Aldebaran Group for Astrophysics)

Vydání: první, Praha 2016

Tisk: EUROPRINT a.s.

www.aldebaran.cz

ISBN 978-80-904582-9-1