



*Zcela  
netušené  
souvislosti*

PAVEL  
VORÁČEK

# **Sběrač rosný, druhá termodynamická věta a rozpínání vesmíru**

**P**řed téměř třemi lety jsem si ve švédském populárně-vědeckém – leč velmi seriózním – časopisu *Výzkum a pokrok (Forskning och Framsteg*; 1/2002) přečetl poutavý článek o Namibské poušti, ve kterém se jeho autor, emeritní profesor zoologie Uppsalské univerzity Staffan Ulfstrand pozastavuje nad tím, proč je brouk „sběrač rosný“<sup>1</sup> (*Onymacris unguicularis*) – slovy autora – „tak smolně černý“. O uvedené skutečnosti se autor vyjádřil jako o „záhadě“. Jako fyzika mne řešení napadlo zcela bezprostředně a za nějaký čas jsem autorovi článku zatelefonoval a své vysvětlení mu sdělil. Prof. Ulfstrandovi se velice zamlouvalo a vybídl mne k napsání a uveřejnění příslušného článku. Po delší době jsem se konečně odhodlal...

### Nejprve něco z entomologie

Sběrač rosný patří do čeledi brouků potemníkovitých (Tenebrionidae) a žije na poušti Namib v jihozápadní Africe. Ve dne zalézá hluboko do písku, aby se chránil před vysokou teplotou na povrchu. Za svítání, před východem slunce, vylézá na vrcholový hřeben písčné duny, tam se „postaví na hlavu“ a pije vodu. Ptáte se, odkud se bere voda právě na takovém zcela netypickém místě? Ze vzduchu. Z Atlantického oceánu přináší teplý západní vítr vlhkost, která se sráží na pevnině v noci vychladlé. V těsné blízkosti mořského pobřeží je kondenzace vody – hlavně na četných skalách – velmi intenzivní, ale trochu dále nad pouští je už rosný bod o málo nižší než teplota písku. Vzduch již svoji vlhkost neztrácí tak rychle a pokles je určen převážně jen mísením se suchým vzduchem. V určité vzdálenosti od pobřeží, právě v místech s vhodnou vzdušnou vlhkostí, pak stojí na hlavě vynalézavý hmyz. Na jeho těle se srážejí kapky rosy, stékají po něm dolů a shromažďují se na nejnižší položeném místě, kam náš potemník lstivě nastrčil hlavu s ústním otvorem.

### Poté trocha termodynamiky

Ne každý člověk s technickým či přírodovědným vzděláním bez protestu připustí, že se ve vzdušném prostředí kolem nás mohou některá tělesa samovolně zbavovat v sobě obsažené tepelné energie, přičemž jejich teplota klesá pod teplotu okolního vzduchu. Odvolává se při tom na druhou větu termodynamiky, tedy na skutečnost, že (v uzavřených systémech) teplo nikdy nepřechází z těles chladnějších na tělesa teplejší. To sice nikdo nepopírá, ale pravdou zůstává například to, že při teplotách mírně nad bodem mrazu se za jasného počasí, hlavně v noci, vytváří na skle oken zaparkovaných auto-

mobilů námraza (někdy i při mírném vánku), nebo že se za stejných podmínek vyskytne dokonce i v létě noční přízemní mráz, ačkoliv je ve výši oken prvního patra domu teplota dejme tomu +3 °C. Vysvětlení je jednoduché a spočívá v tom, že se teplo předává více způsoby, a to s různou intenzitou, podle stávajících podmínek. Známe předávání tepla vedením (kondukcí), prouděním (konvekce), zářením (radiací) a prostřednictvím změny skupenství (ablace).

V našem případě je intenzita vyzařování tělesa v infračervené oblasti spektra větší, než činí souhrnná intenzita přivádění tepla vedením a prouděním. Rozdíl intenzit je tím větší, čím vyšší je teplota tělesa. Z důvodu popsané nerovnováhy mezi výdejem a příjmem tepla teplota tělesa klesá. Tím se zmenšuje intenzita vyzařování, ale zvyšuje se tempo přivádění tepla ze vzduchu, protože roste rozdíl teplot vzduchu a tělesa; zcela zákonitě, podle druhé termodynamické věty, přechází teplo z tělesa teplejšího (vzduchu) na těleso chladnější. Tak je po určité době dosaženo termodynamické rovnováhy v toku tepla, přičemž se těleso ochladilo pod bod mrazu.

Pokud je obloha zatažená, vyzařované teplo nemůže unikat do volného mimozemského prostoru a (jsouc vydáváno velkými plochami) odráží se zpět k tělesu, které v důsledku toho nemůže chladnout. Zde je na místě zmínit se též o *fyzilogicky vnímané teplotě* prostředí, která je (mimo vlhkost a proudění vzduchu) ovlivněná též vyzařováním tepla z okolí. Není myšlena jen ta zřejmá skutečnost, že je v horkém létě mezi chladnými stromy (ochlazujícími se odparem vody) příjemnější než mezi zdmi rozpálených domů, což v noci způsobuje obvykle opačný pocit – alespoň v našich krajích (ale sotva někde na Sicílii). Jde spíše o srovnání *pocitu tepla* při stejné teplotě na místech stejného typu, za bezvětří a při stejné vlhkosti vzduchu. Sám jsem při teplotě 25 °C a bezvětří při zatažené obloze v noci ve Stockholmu pocitoval příjemné teplo, zatímco za přibližně stejných přírodních podmínek – až na to, že bylo perfektně jasno – jsem zažil na centrální vrcholvině Cejlonu pořádný chlad. Zdůrazňuji, při téže teplotě.

Některé látky, jako sklo, určité druhy plastických hmot a další, jsou velice dobrými vyzařovači (tedy i pohlcovači) infračerveného záření, přičemž dobře propouštějí viditelné světlo, nebo mohou být bílé. Tyto vlastnosti jsou u skla na jedné straně příčinou skleníkového jevu, na druhé straně toho, že jsou skleněné předměty studené. Ve starověku si bohatí Římané za horkých dnů chladili ruce tím, že je přikládali na křišťálové koule, které měli na stolech ve svých palácích a vilách. Námraza na vychladlém automobilu vzniká nejdříve na oknech. Ale se skleněnou vyfouknutou koulí by staří Římané spokojeni nebyli. To proto, že se tenká vrstva skla zahřeje teplem odváděným z rukou dřívě, než stačí zchladit přehřáté dlaně. Masivní sklo má naproti tomu, díky velkému objemu



Nahoře dva blíže neurčené druhy rodu *Onymacris*, dole *O. plana*. Snímky © Vladimír Tichý.

Mgr. Pavel Voráček, CSc., (\*1946) vystudoval matematiku a fyziku při Pedagogické fakultě v Plzni a nástavbovou školu astronomie při Hvězdárně ve Valašském Meziříčí. Poté pracoval jako samostatný odborný pracovník při Lidové hvězdárně a planetáriu v Plzni. V roce 1971 emigroval do Švédska. V současné době externě spolupracuje s katedrou astronomie Univerzity v Lundu, kde si předtím doplnil své vzdělání. Zabývá se teorií relativity a kosmologií.

1) Český název neexistuje, proto byl užít přímý překlad z angličtiny dew collector či švédštiny daggsamlaren.



(tzn. i množství a hmotnosti), vyšší tepelnou kapacitu.

K témuž účelu by bylo možno užít i masivní kouli z kovu. Teplo by se z rukou odvádělo rychleji (nejlépe stříbrem nebo alespoň mědí), ale kvůli nízkému měrnému teplu kovů ve srovnání se sklem by se schopnost takové kovové koule chladit poměrně rychle vyptřebovala. Kdyby byla teplota rukou vyšší než teplota okolního vzduchu, bylo by z ní teplo rychleji odváděno, než je tomu u skla. V opačné situaci, při teplotě vzduchu vyšší než teplota rukou, by měla kovová koule teplotu vzduchu a ruka by se při přiložení ještě ohřívala. Naproti tomu by skleněná koule ve stejné situaci mohla stále ještě vyzařovat natolik, že by byla – ale také nemusela být – chladnější než teplota okolního vzdušného prostředí. Skleněná koule tedy chladí díky vyzařování ze sebe sama, kovová naopak díky odvádění tepla do okolního vzduchu; splněno však musí být více podmínek a možnosti je řada.

Bezpochyby pak tepelné vlny nejlépe vyzařují – ale stejně dobře i pohlcují – tělesa černá.<sup>2</sup> Náš brouk potemník z Namibské pouště je tedy při sběru rosy úspěšný právě díky své smolně černé barvě, která bude nejspíš svým složením vylepšena tak, aby brouk dobře vyzařoval i v těch částech spektra, jež jsou pro naše oko neviditelné. Tuto vlastnost zřejmě vyvinul zcela v souladu s vývojovou teorií páne Darwinovou. Za úsvitu před východem slunce je nejchladnější, ale rosný bod leží níže, než je teplota vzduchu. Písek nevyzařuje příliš mnoho tepelného záření, protože je poměrně světlý, a pokud je chladnější než okolní vzduch, je jeho teplota stále ještě vyšší než teplota rosného bodu.

Sběrač rosný v tom však umí chodit a díky své černosti vyzařuje mnohem více tepelného záření než okolní písek. Tím klesne teplota povrchu jeho těla pod teplotu rosného bodu a vzdušná vlhkost se v důsledku toho na něm sráží, aby pak v kapkách stékala ve formě rosy k dole se nacházející hlavě. Přitom probíhá ablativní přenášení tepla – srážením vody se uvolňuje skupenské kondenzační teplo, které je vzápětí černými plochami vyzařováno. Brouk musí tudíž mít podobný pocit, jako když člověk přijde do horké vlhké sauny.<sup>3</sup> Tam má naše tělo teplotu nižší, než je teplota rosného bodu, a proto se na něm hned srážejí kapky vody jako na sklenici se studeným nápojem v letním vlhkém horku.

Většina lidí se zcela mylně domnívá, že se ve vlhké sauně silně potí. Přitom máme pocit intenzivního tepla, protože ze srážející se vody přijímáme její skupenské teplo

← Nahoře a na s. 766: Písečné duny na poušti Namib. Oba snímky © Jiří Bálek.

Dole: Velký potemník rodu *Pimelia* (pravděpodobně *P. angulata*) v egyptské oáze *El-Hajez* zaujímá zvláštní postoj při chytání krůpějí ranní rosy. Nad rozpálenou Saharou se tvoří málo oblačnosti, a proto tu prší jen vzácně. Hlavním zdrojem vlhkosti tu jsou horizontální srážky. Snímek © Petr Pokorný.

## MÝTY KOLEM SBĚRAČE

Téměř všichni příbuzní potemníci široko daleko kolem sběrače jsou také černí. Je to totiž pro ně velmi výhodné:

- Jsou špatně vidět za šera nebo v temných koutech, kde se potloukají.
- V noci se ochladí, a to i na jiných pouštích, kde není tak vlhko, aby se na nich srážela rosa. Jen mají prostě snesitelnou tělesnou teplotu.
- Jsou odolní proti mechanickému poškození včetně abraze pískem na použití. Melanin je nejen všeobecně rozšířené barvivo, ale také dost tvrdá výztuž. A potemníci takovou výztuž vskutku potřebují, neboť jsou dlouhověcí. Některé druhy – praví metuzalémové mezi brouky – se dožívají sedmi i osmi let, a jak se zdá, umírají nikoli sešlostí věkem, ale právě opotřebením kutikuly.

Uhrnem lze říci, že sběrači jsou černí ne proto, že tak byli selektováni pro sběr rosy, ale proto, že už měli černé předky. Je to preadaptace (exaptace). Adaptace by to byla, kdyby vážně uměli vyzařovat více v infračerveném spektru než normálně černý potemník, ale to zatím asi nikdo neměřil.

Preadaptací bude s velmi vysokou pravděpodobností i charakteristický postoj potemníků s vysoko zvednutým zadečkem a dolů skloněnou hlavou. Takto „nezdvořile“ se chová velmi mnoho druhů při obraně před nepřitelem. Některé dokonce mají v zadečku žlázy, z nichž vystřikují obranný sekret. O jeho nepříjemných účincích se mohl přesvědčit každý neopatrný entomolog, který dostal přímý zásah do oka (podobně se brání i někteří střevlci – čeled' Carabidae).

Preadaptací jsou rovněž dlouhé končetiny, které podivný postoj brouku umožňují. Primárně jsou tak dlouhé proto, aby běžícího brouka co nejvíce vzdálily rozpálenému podkladu pouště.

A konečně preadaptací jsou i vyhloubení hrudi a rýhy na zadečku, o nichž v článku sice není zmínka, ale které často bývají uváděny jako další přizpůsobení pro sběr vzdušné vlhkosti. Vypadá to totiž, jako by kapičky vznikající na těle stékaly k ústnímu otvoru brouka právě těmito kanálky. Ve skutečnosti jsou struktury na povrchu těla výsledkem celkové stavby vnější kostry. Kdo měl navíc možnost pozorovat „chytání rosy“ na vlastní oči nebo alespoň ve filmu, tomu je zřejmé, že žádných kanálků netřeba. Vody se vysráží tolik, že nakonec je potemník téměř utopen v jedné obrovské kapce.

V úhrnu je to tedy tak, že sběrače rosného předchází evoluce (nebo kdo?) vybavila několika zlepšováky – dlouhýma nohama, černou barvou, zvláštním postojem a kanálkovitě zvlněným povrchem těla. Připočteme-li k tomu tu šťastnou okolnost, že žije v klimaticky optimální oblasti, nezbyvá než konstatovat: „To se to vynalézá...“ Jediným snad původním zlepšovákem sběrače rosného by mohla být schopnost odhadnout nejpříhodnější dobu k sběru vody.



kondenzační. Naopak v tzv. suché sauně je pocit tepla při stejné teplotě menší, protože se na těle návštěvníka nesráží voda. Vlhkost pokožky je proto známkou skutečného pocení, které se samozřejmě dostaví po chvílce pobytu v obou druhých saunách, ale teprve od okamžiku, kdy se organizmus začne přehřívat. K tomu však může dojít až za poměrně dlouhou dobu, pokud byl návštěvník předtím fyziologicky podchlazen.

## A nakonec kosmologie

Zbývá již jen vysvětlit, jakou má tohle všechno souvislost s rozpínajícím se vesmírem. A tu se musíme opět vrátit k našemu potemníkovi. Pro něj se na vrcholovém hřebenu písečné duny dělí okolní prostor na poloprostor písku a poloprostor oblohy. Poloprostor písku sice i ráno před východem slunce vyzařuje tepelné infračervené záření odpovídající jeho teplotě, ale písek je poměrně světlý, což platí i pro okem neviditelné vlnové délky světla, které jsou v té souvislosti nejdůležitější. Intenzita vyzařovaného tepla je tedy menší, než kdyby šlo o písek ideálně černý. Takovou nevýhodu však nemá brouk, který teplo velmi účinně vyzáří svým smolně černým povrchem těla, a to do všech směrů; to málo, co se k němu vrátí zpět odrazem a co znovuvyzáří písek, je možno za daných podmínek zanedbat.<sup>4</sup> Okolnost, že k němu při-

2) Velmi účinný chladič je černé sklo, které v sobě kombinuje, vysokou vyzařovací schopnost, nízkou tepelnou vodivost a vysokou tepelnou kapacitu. Lékaři proto varují revmatiky před používáním skleněných desek na pracovním stole, zvláště pak desek černé barvy.

3) Ve Skandinávii se rozlišuje mezi vlhkou saunou, kde je zdrojem vlhkosti odpařovač vody na výtopném tělese, a naší parní lázni, kde je do horkého vzduchu vstříkována vodní mlha.

4) Jinak by tomu bylo jen tehdy, kdyby se sběračů rosných nacházelo na jednom místě takové množství, že by na dunách hlídávali těsně jeden vedle druhého.



4. Stopa potemníka v písku připomíná otisk jednostopého pásového vozidla. Snímek © Jirí Bálek.

cháží málo tepla zářením, je však hlavně určena tím, že k němu nepřichází téměř žádné teplo z poloprostoru oblohy, tedy z vesmíru. Vzduch s vodními nenasycenými parami sice zmíněné vyzářování z těla brouka svou absorpcí a následnou reemisí značně tlumí, ale za ním je téměř ideální chladič (propad záření) – vesmírný prostor s teplotou  $2,7253 \pm 0,0007$  K. Ale proč je tomu tak? Tu otázku si již dávno položil H. W. Olbers (1758–1840). V jeho době panoval názor, že vesmír je nekonečný, věčný a statický (tedy, že se nerozpíná). Olbers je znám svou úvahou, kterou před ním udělali E. Halley a J. Kepler, označovanou jako *Olbersův paradox*. V nekonečném vesmíru je nekonečně mnoho hvězd, a proto musíme nutně v každém směru, který si vybereme, narazit na nějakou hvězdu, kte-



rá se v tomto směru nacházela, když ji opouštělo světlo dopadající dnes do našeho oka. V principu to mohlo být již pořádně dávno, protože příslušná hvězda byla také pořádně daleko, ale to světlu putujícímu vesmírným vakuem nevadí. Obloha by tedy neměla být převážně černá s poměrně řídkce po ní rozestými hvězdami, ale celá žhavá, byť i s různými teplotami v různých směrech, převážně od 3 do 50 000 stupňů Kelvina (v extrémech od 0 až do 215 000 K), tvořícími jemnou mozaiku oblohy. Přepočteno na izotropní (tzn. všesměrově jednolitě) záření, měla by teplota oblohy být 4200 K. (Tento údaj se týká naší oblasti vesmíru, jinde by mohla být tato teplota asi až o 300 K vyšší.) V takové peci kosmického krematoria by však náš potemník věru jen stěží nasbíral nějakou rosu!

Za skutečnost, že je tomu naopak, může sběrač rosný – a vlastně i člověk – poděkovat několika důležitým okolnostem:

1. Vesmír není věčný, světopočátek (velký třesk) se podle nedávno přehodnoceného pozorování družice WMAP udál před  $13,7 \pm 0,3$  miliardy let. Světlo k nám dosud nestačilo přijít ze vzdáleností větších, než odpovídá věku vesmíru, ať již je otevřený nebo uzavřený (příčemž jsem zastáncem druhé alternativy).

2. Vesmír se rozpíná, čímž (a) hustota fotonů v něm poletujících klesá takovým tempem, které zářící hvězdy zdaleka nestačí kompenzovat a (b) fotony pohybující se vesmírem ztrácejí svoji energii díky expanzi vesmíru. Jinak – nicméně zcela slučitelně vysvětleno – se zmenšuje frekvence fotonů v důsledku růstu tempa času plynoucího v expandujícím vesmíru, což znamená, že se délka jedné vteřiny vzhledem k periodě kmitu<sup>5</sup> fotonu zkracuje. Jestliže byl v nějaké dávno minulé kosmické epoše počet kmitů elektromagnetické vlny za jednu tehdejší vteřinu  $n$ , jde v současné epoše pozorování této vlny o stejný počet kmitů, ale za dnešní např. tři vteřiny. Frekvence klesla z  $n$  Hz na  $n/3$  Hz.<sup>6,7</sup>

Bez kosmické expanze by tedy sběrač rosný na poušti opravdu vůbec neuspěl! ☞

*Děkuji tímto doc. RNDr. Josefu Reischigovi, vedoucímu katedry biologie na Lékařské fakultě UK v Plzni, za cenné rady z oboru entomologie, prof. Františku Maršíkovi z Ústavu termomechaniky AV ČR, v. v. i., za aktivní podporu a odbornou kontrolu textu, jakož i paní Lucii Ó'Súilleabhainové-Špalkové za český přepis rukopisu na počítači.*

5) Doba, za kterou projde daným místem jedna vlna.

6) V literatuře často uváděné vysvětlení, že prostor ve vesmíru expandoval a s ním i elektromagnetická vlna, vypadá sice na první pohled správně, ale je zcela mylné. Veškeré hierarchické útvary (např. galaxie, hvězdy, planety, lidé), které jsou vlastně odchylkou od absolutně ideální homogenity vesmíru, nesledují to, čemu říkáme kosmická expanze. Takzvaný *vlnový balíček* příslušný určitému fotonu je však též odchylkou od ideální stejnorodosti vesmíru, tentokrát na úrovni kvantové fyziky. Skutečnost, že vlnová délka světla roste úměrně s kosmickou expanzí, je pouze druhotným důsledkem této expanze, prostřednictvím shora vysvětleného mechanismu při zachování lokálně měřené rychlosti světla ve vakuu, tj.  $299\,792\,458$  m/s.

7) Pozn. red.: Recenzent nesouhlasí s formulací vysvětlení zmenšování frekvence fotonů v předposledním odstavci článku a se zněním poznámky 6. K tomuto problému se vrátíme v následujících číslech Vesmíru.

