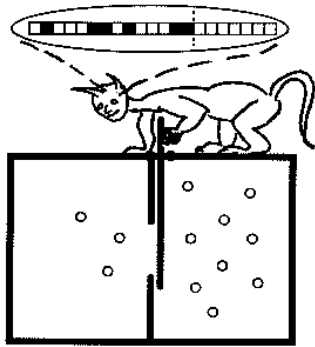


## Čo je to Maxwellov démon?

Druhá veta termodynamická je jedným zo základných prírodných zákonov riadiacich chod nášho sveta. Existuje niekoľko ekvivalentných formulácií: 1) teplo nemôže prechádzať zo studenšieho telesa na teplejšie, 2) neexistuje perpetuum mobile, 3) entropia uzavretého systému nemôže klesať. Tento zákon nám vysvetľuje prečo pozorujeme rozbitie šálky na črepy, ale samovoľné pozliepanie črepov nie, prečo sa vzduch v miestnosti nesústredí iba v jednom kúte, prečo prekladáním vecí v byte vytvárame iba neporiadok. V súvislosti s týmto zákonom hovoríme o termodynamickvej šípke času, t.j. termodynamická veta svojim spôsobom určuje, ktoré procesy sú prírode vlastné, a ktoré nie.



V roku 1871 *James Clark Maxwell* vo svojej knižke „*Teória tepla*“ napísal veľmi krátku kapitolu s názvom „*Ohraničenia platnosti druhého zákona termodynamiky*“. Vychádza z toho, že podstata termodynamiky je štatistika, t.j. teória pracuje s pravdepodobnosťami, a preto aj jej pravidlá majú iba štatistický charakter a platnosť, čo by mohlo znamenať, že druhá veta termodynamická platí iba v priemere, t.j. ak popisujeme obrovské množstvo (typicky  $10^{23}$ ) častíc. Termodynamika je teóriou efektívnou a pojmy ako tlak, alebo teplota sú iba štatistické pojmy charakterizujúce priemerné vlastnosti pohybu jednotlivých molekúl. Maxwell predpokladá, že ak by sme vedeli kontrolovať jednotlivé molekuly, tak by sme vcelku jednoducho boli schopní narušiť druhý zákon termodynamický, t.j. vedeli by sme zvýšiť entropiu, alebo postaviť funkčné perpetuum mobile. Uveďme si pôvodný Maxwellov príklad.

Predstavme si že máme nádobu vzduchu, ktorú si rozdelíme na dve rovnaké časti pomocou nejakej membrány, cez ktorú molekuly vzduchu nevedia preniknúť. Obidve časti majú rovnakú teplotu, t.j. priemerná kinetická energia molekúl je v oboch

polovičkách nádoby rovnaká. Označme si ľavú polovicu písmenom A a pravú polovicu písmenom B. Teraz si predstavme postavu trpaslíka veľkosti molekuly, ktorý je schopný otvárať a zatvárať dvierka umiestnené v membráne. Vždy ak v sektore B prilieta smerom k dverám častica s rýchlosťou väčšou ako je priemerná rýchlosť, tak trpaslík dvere otvorí a molekulu nechá preletieť do sektoru A. Naopak, ak uvidí, že v sektore A sa pohybuje smerom k dverám molekula s rýchlosťou menšou ako je priemerná rýchlosť, tak opäť pootvorí dvere a nechá molekulu preniknúť do oblasti B. Touto činnosťou trpaslík docielia, že v ľavej časti nádoby sa budú nachádzať iba tie rýchlejšie častice, kdežto v ľavej časti iba tie pomalšie častice. To zodpovedá tomu, že sektor A má väčšiu teplotu ako sektor B. Vieme, že ak dokážeme vytvoriť rozdiel teplôt v plyne, tak tento plyn vieme využiť na konanie užitočnej práce. Na tomto princípe funguje aj pohon motora. Takýto proces je však v rozpore s tvrdením druhej vety termodynamickvej, ktorá nepovoľuje existenciu perpetua mobile, t.j. stroja, ktorý by konal prácu z ničoho.

Samozrejme za činnosť takéhoto stroja je plne zodpovedný trpaslík, ktorého *William Thompson* v roku 1874 pomenoval Maxwellovým démonom. Namiesto je otázka, či skutočne tento démon nepotrebuje žiadnu energiu pre svoje fungovanie. Z vlastnej skúsenosti vieme, že otvorenie a zatvorenie dverí predsa nie je možné bez vynaloženia energie. Skutočnosť je však taká, že na otvorenie, resp. zatvorenie dobre namazaných dverí (žiadne trenie), potrebujeme limitne malé množstvo sily a teda aj energie. Maxwellov démon však svojou činnosťou vytvára prakticky neobmedzené množstvo energie, ktoré vieme premeniť na užitočnú prácu. Takýto démon by svojou činnosťou vedel pospájať črepy a vytvoriť šálku, t.j. v istom zmysle ide síce o veľmi malého, ale veľmi efektívneho reštaurátora, ktorý nespotrebuje takmer žiadnu energiu, pretože sily trenia sa ho netýkajú.

Ako to teda je s platnosťou druhej vety termodynamickvej? Povedali sme si, že problém s Maxwellovým démonom nie je v energii potrebnej na jeho fyzickú činnosť (otváranie/zatváranie dverí). Bolo uskutočnených množstvo analýz, ktoré ukázali skutočné dôvody, prečo Maxwellov démon nefunguje ako perpetuum mobile a záver je taký, že druhá veta termodynamická platí naďalej. Ten správny dôvod je skrytý v schopnosti démona rozlišovať rýchlosti častíc, t.j. inými slovami v tom, že démon má istý stupeň inteligencie. Skutočná

definícia Maxwellovho démona je, že ide o veľmi malú, ale inteligentnú entitu, ktorá je schopná obsluhovať dvere bez trenia. V požiadavke inteligencie je skrytá schopnosť démona pracovať s informáciou v jej abstraktnom tvare, t.j. démon má istú pamäť a zariadenia, ktoré mu umožňujú s touto pamäťou, resp. s informáciou obsiahnutou v nej, pracovať. Presne ako naša nervová sústava, resp. mozog. Práve spracovanie informácie démonom je ten proces, na ktorý potrebuje démon energiu, ktorá sa presne rovná, alebo je väčšia ako energia, ktorú démon vytvorí. Tu prichádzame asi k najzaujímavejšiemu aspektu Maxwellovho démona, a síce jeho vzťahu k pojmu informácie, resp. k spracovaniu informácie, t.j. procesu, ktorý nazývame počítaním a vykonávame na dnešných počítačoch.

Maxwellov démon spája dve zdanlivo úplne odlišné oblasti ľudského bádania: svet fyziky a svet informatiky. Práve tento vzťah priviedol

*Rolfa Landauera* k výroku, že *informácia je fyzikálna*, t.j. že práca s informáciou je obmedzená zákonmi fyzikálnymi. Minimálna energia potrebná na vymazanie jedného bitu informácie je daná vzťahom  $kT \ln 2$ , kde  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  J/K je Boltzmannova konštanta a  $T$  je teplota (v stupňoch Kelvina), pri ktorej pamäť pracuje. Toto je presne energia, vďaka ktorej je činnosť démona v súlade s druhou vetou termodynamickou a súčasne tento vzťah vyjadruje minimálne množstvo energie, ktoré určuje minimálnu produkciu tepla pri práci počítačov, aj keď dnes sme od tejto hranice ešte poriadne ďaleko a teplo, ktoré sa vytvára je o niekoľko rádov väčšie.

Počas zhruba 130 rokov života myšlienka Maxwellovho démona prekonala svoj pôvodný rozmer a žije ďalej. Dáva nám nový pohľad na pôvod druhého zákona termodynamiky a do fyziky vnáša pojem informácie.

MARIO ZIMAN