Autor: Drahoslav Vajda

Termodynamiku môžeme považovať za najobecnejší fyzikálny obor, lebo je len málo fyzikálnych veličín, javov a procesov, ktoré by neboli teplotne závislé.Termodynamické princípy sú neprekonateľnou prekážkou pre darvinizmus a evolučné nazeranie na vznik vesmíru a života. V tomto článku som sa pokúsil tieto princípy vysvetliť jednoduchým spôsobom, aj keď som sa pre spoľahlivosť a jasnosť výkladu nevyhol použitiu príslušných odborných pojmov a matematických vzťahov.

**Obsah**

Úvod.

Prvý princíp termodynamiky.

Druhý princíp termodynamiky.

Entrópia a pravdepodobnosť stavu sústavy.

Tretí princíp termodynamiky.

Aké závery vyplývajú z termodynamických princípov?

## Úvod

Termodynamika poskytuje spoľahlivý základ pre teóriu a konštrukciu tepelných strojov - a teda poznatky a závery dosiahnuté v termodynamike majú uplatnenie aj v širšom merítku než len v medziach teoretických fyzikálnych úvah. Je to pochopiteľné, pretože predmetom skúmania fyziky je všetko obklopujúce nás materiálne bytie. A tak ako to platí pre každú vedeckú teóriu, tak je to aj so závermi a teóriami dosiahnutými v termodynamike: spätne dávajú výpovede a predpovede o materiálnom bytí v rámci ktorého táto teória bola formulovaná. Umožňuje nám pochopiť javy a procesy prebiehajúce v materiálnom svete.

Úvahy a postupy v termodynamike nevyžadujú znalosť molekulovej či časticovej štruktúry vyšetrovaných makroskopických sústav (t.j. sústav zložených z veľkého počtu častíc). Termodynamika je založená na niekoľkých princípoch (nazvaných tiež hlavné termodynamické vety), vyslovených axiomaticky, ktoré sú v zhode so skúsenosťou, a odvodzujú sa z nich logickou cestou zákonitosti platné pre makroskopické sústavy. Tieto princípy termodynaniky teda nevyplývajú a nie sú odvodené zo zákonov a princípov mechaniky, ale vyplývajú zo skúsenosti, z odpozorovaných súvislostí medzi veličinami, ktoré sú v termodynamike zavedené (energia, teplota, tlak, objem atď.).

Termodynamika teda pojednáva o vlastnostiach a procesoch v makroskopických sústavách, bez prihliadnutia k mikroskopickému (molekulovému) pôvodu týchto vlastností a procesov. Takáto teória sa nazýva *fenomenologická teória*. V tejto teórii sú vlastnosti, procesy a podmienky, v ktorých sa sústava nachádza, popisované a charakterizované makroskopickými veličinami (parametrami), ktoré sú mierou jednotlivých vlastností a podmienok. Sú to také veličiny ako hmotnosť sústavy m, jej objem V, tlak p a teplota T. Tieto (a ďalšie) parametre nazývame stavové parametre (alebo stavové veličiny), lebo určujú stav sústavy. Konečný stav sústavy a tomu odpovedajúca hodnota stavových veličín, je určený vonkajšími podmienkami. Konečný stav sústavy je charakterizovaný časovo stálymi hodnotami stavových veličín a tieto hodnoty veličín sa zachovávajú tak dlho, pokiaľ nedôjde k zmene vonkajších podmienok alebo k zásahu do sústavy zvonku, napr. zmenením objemu sústavy. Takto vzniknutý stav sa nazýva *stav termodynamickej rovnováhy*
. V ďalšom budeme používať kratší názov:
*rovnovážny stav*
.

Je zrejmé, že vlastnosti makroskopických sústav sú podmienené vlastnosťami a chovaním jednotlivých častíc (molekúl), z ktorých sa sústava skladá a úlohou fyzikálnej teórie je vlastnosti makroskopických sústav z tohoto hľadiska vysvetliť. To je úlohou tzv. molekulovej fyziky. Principiálne by bol možný taký postup, pri ktorom by sme na pohyb jednotlivých molekúl, či častíc sústavy, aplikovali Newtonove pohybové rovnice. Išlo by o mikroskopický pohľad na

"vnútorný život" molekúl príslušnej sústavy. V skutočnosti k použitiu pohybových rovníc by bolo treba poznať polohu a pohybový stav každej častice vo zvolenom okamžiku a časové a priestorové silové pôsobenie na každú časticu, čo ale prakticky nie je možné.

Tento "vnútorný život" molekúl sa však prejavuje makroskopickými vlastnosťami sústavy ako tlakom, objemom, teplotou atď., teda prostredníctvom makroskopických vlastností sústavy, teda tých vlastností, ktoré môžeme merať prístrojmi alebo inak určovať. Povedané inými slovami: mikroskopické vlastnosti sústavy sa prejavujú prostredníctvom stavových parametrov.

Pri meraní makroskopických vlastností sústav ide vždy o interakciu (vzájomné pôsobenie) medzi veľkým počtom molekúl (vyšetrovaná sústava) a meracím prístrojom, takže prístroje môžu udávať alebo zaznamenávať len stredné hodnoty týchto veličín. V molekulovej fyzike sa teda postupuje tak, že sa určujú stredné hodnoty príslušných veličín pre veľký počet molekúl a porovnáva sa, ako sa príslušné výsledky zhodujú s makroskopickými vlastnosťami sústav. K výpočtu stredných hodnôt zase treba niečo vedieť o tom, ako sú jednotlivé hodnoty príslušných veličín molekúl sústavy rozdelené (rozložené). To je úloha štatistiky, založenej na zákonoch *poč tu pravdepodobnosti.*
Preto sa molekulová fyzika nazýva tiež
*štatistická fyzika*
.

Prístup štatistickej fyziky k vyšetrovaniu mikroskopických vlastností sústav, napr. nejakého množstva plynu, vysvetlíme prirovnaním: Plyn v termodynamickej rovnováhe môžeme porovnať s obyvateľstvom, žijúcim za celkom stálych podmienok. Všetci obyvatelia tvoria súbor. "Mikroskopický" pohľad na súbor obyvateľov ukazuje pestrý, stále sa meniaci, údel jednotlivých

ľudí, narodenie a smrť, nemoc, presťahovanie atď. Pri "makroskopickom" pohľade na obyvateľstvo, teda pohľad metódami štatistiky, ukazujú tabuľky rok čo rok ten istý obraz, pokiaľ sa nemenia vonkajšie podmienky. Každý rok onemocnie priemerne rovnaký počet obyvateľov na chrípku alebo na ischemickú chorobu srdca a pod. Ktorý konkrétny obyvateľ je týmto údelom (touto zmenou stavu) postihnutý, to štatistiky neukazujú, to je pre štatistiku bezvýznamné. Jednotliví obyvatelia štatistiku zaujímajú anonymne a aj to len potiaľ, pokiaľ k nejakému tabuľkovému údaju prispievajú.

Štatistický prístup má však význam len vtedy, keď ide o veľký počet individuí (častíc). Nemal by zmysel, keby sme ho použili napr. na obyvateľov rodinného domu.

**Prvý princíp termodynamiky**

Veličiny, ktoré popisujú stav sústavy ako celku, sa nazývajú *stavové funkcie.* Hodnota stavovej funkcie závisí od stavu v ktorom sa sústava nachádza. Alebo inak: stavová funkcia poukazuje na stav sústavy, hovorí v akom stave sa sústava nachádza. Stavové funkcie závisia od stavových parametrov (sú ich funkciami. Takou stavovou funkciou je
*celková energia sústavy*
. Celková energia sústavy zahrňuje všetky stavové parametre určujúce termodynamickú rovnováhu sústavy.

Prvý princíp termodynamiky vyjadruje *princíp zachovania energie* pre makroskopické sústavy. Podľa tohoto princípu *sa energia nemôže ani stratiť ani vzniknúť z ničoho, jej celková hodnota pre izolovanú sústavu je konštantná (časovo nepremenná).*
Sústava je izolovaná, ak okolité telesá, ktoré ju obklopujú, ale ktoré do sústavy nezahrňujeme, na ňu nijako nepôsobia. Pritom ale jeden druh energie sa môže meniť na iný druh, ale vždy len tak, že prírastok jedného druhu energie je rovný úbytku iného druhu energie.

Prvý princíp môžeme vysloviť aj takto:

*Nie je možné zostrojiť stroj, ktorý by trvale alebo periodicky dodával mechanickú energiu bez toho, aby pri tom nespotreboval ekvivalentné množstvo inej energie.*

Takýto stroj sa nazýva *perpetuum mobile prvého druhu* a prvý princíp termodynamiky jeho existenciu vylučuje: *Nie je možné zostrojiť perpetuum mobile prvého druhu*
- a toto je iná formulácia prvého princípu termodynamiky. To znamená, že nie je možné zostrojiť taký stroj, ktorý by bol raz uvedený do chodu a potom by už len dodával prácu. Napr. motor auta by sme naštartovali a on by potom ďalej už len bežal a pracoval bez toho, aby sme mu dodávali ďalšiu energiu (napr. vo forme paliva). Tento stroj by produkoval kladnú prácu z ničoho.

Prvý termodynamický princíp je vhodné vyjadriť pomocou tzv. *vnútornej energie.* Rozumieme ňou *celkovú energiu sústavy*, keď z celkovej energie sústavy vylúčime kinetickú a potenciálnu energiu prislúchajúcu mechanickému pohybu sústavy ako celku (do úvahy berieme iba mikroskopický pohyb častíc a nie vonkajší, makroskopický, pohyb sústavy ako celku). Alebo môžeme vnútornú enrgiu sústavy definovať ako celkovú energiu, ktorú musíme sústave dodať, aby prešla z jedného rovnovážneho stavu (základného) do iného (daného) rovnovážneho stavu. Vnútorná energia je stavová funkcia (je funkciou stavu sústavy, tzn. že závisí od stavu, v ktorom sa sústava nachádza) a charakterizuje sústavu v stave termodynamickej rovnováhy. Ak sústava prejde z jedného rovnovážneho stavu nejakým procesom do iného rovnovážneho stavu (inej termodynamickej rovnováhy), bude tomuto novému (inému) rovnovážnemu stavu prislúchať istá (ale iná) hodnota vnútornej energie, závislá len od stavu sústavy v novom rovnovážnom stave, t.j. bude závisieť od stavových parametrov v novom rovnovážnom stave. Vnútorná energia sústavy nezávisí na spôsobe prechodu sústavy z jednej termodynamickej rovnováhy do druhej. Je funkciou len stavu sústavy a nie spôsobu (cesty) prechodu sústavy z jedného stavu do druhého stavu. Matematicky povedané: elementárny prírastok vnútornej energie makroskopickej sústavy je úplný diferenciál, tzn. že integrál takéhoto diferenciálu nezávisí od integračnej cesty (nezávisí na spôsobe prechodu sústavy z jedného rovnovážneho stavu do druhého rovnovážneho stavu).

Za jeden zo spôsobov vyjadrenia prvého princípu termodynamiky môžeme považovať výrok:

*Elementárny prírastok vnútornej energie makroskopickej sústavy je úplným (totálnym) diferenciálom.*

## Druhý princíp termodynamiky

Ak porušíme rovnovážny stav makroskopickej sústavy zmenou vonkajších parametrov, napr. objemu, silovým pôsobením okolia a pod. (teda zásahom zvonku), dôjde v nej k zmene, ktorá trvá tak dlho, pokiaľ sústava zase nenadobudne iný rovnovážny stav. Tieto zmeny sú obecne nevratné (ireverzibilné). Porušíme teda rovnovážny stav sústavy jednorázovým zásahom zvonku (jednorázovou zmenou vonkajších parametrov) a potom ju ponecháme samú na seba. V makroskopických izolovaných sústavách s porušenou rovnováhou ponechaných samých na seba prebiehajú zmeny do rovnovážneho stavu vždy len určitým smerom, a preto príslušné fyzikálne procesy a zmeny nazývame *prirodzenými procesmi (pozitívnymi)*. Uvedieme niekoľko príkladov:

a. *Premena mechanickej energie na teplo.* Táto premena je úplná a v uzavretej (izolovanej) sústave prebieha vždy v smere: mechanická energia sa mení na teplo. Obrátená premena: premena tepla na mechanickú energiu nie je v uzavretej sústave možná.

b. *Prechod tepla z telesa vyššej teploty na teleso nižšej teploty*. Nech sústavu tvoria dve telesá, ktoré sú izolované od okolia a izolované sú aj od seba navzájom pomocou tepelnej prepážky. Jedno z nich má vyššiu teplotu a druhé má nižšiu teplotu. Celá sústava je v rovnováhe. Túto rovnováhu porušíme zásahom zvonku tak, že izolačnú prepážku medzi telesami odstránime a tým sa obe telesá dostanú do tepelného kontaktu. Odstránením prepážky medzi telesami vznikne nerovnovážny stav, ktorý má za následok proces vedúci do nového rovnovážnemu stavu, ktorého podstatou je vyrovnanie teplôt oboch telies. Tento proces môže prebiehať len

tak, že sa teplejšie teleso ochladzuje a chladnejšie otepľuje.

c. *Rozopnutie plynu do vákua*. Majme nádobu rozdelenú prepážkou na dve časti. V jednej časti nádoby sa nachádza plyn a v druhej je vákuum. Rovnovážny stav udržuje prepážka. Rovnováhu porušíme tým, že odstránime prepážku. Po odstránení prepážky plyn bude prúdiť do prázdnej časti nádoby tak dlho, až nastane nová rovnováha pri ktorej bude mať plyn v celej nádobe (v oboch častiach nádoby) rovnaký tlak. Opačný proces, t.j. proces, ktorého výsledkom by bol pôvodný stav (plyn zhromaždený v jednej časti nádoby a v druhej časti vákuum) v sústave ponechanej samú na seba, nie je možný.

d. *Zmiešanie dvoch plynov* (vzájomná difúzia plynov). Opäť majme nádobu rozdelenú prepážkou na dve časti. V jednej časti nádoby je plyn A a v druhej časti je iný druh plynu B. Ak porušíme rovnováhu odstránením prepážky, vznikne nevratný proces, ktorého podstata je v tom, že plyn A bude difundovať do plynu B a plyn B do plynu A to tak dlho, až oba plyny rovnomerne vyplnia celý objem nádoby, ktorý im je k dispozícii.

Nevratnosť prirodzených zmien v makroskopických sústavách spočíva teda v tom, že sa nedajú opatreniami vykonanými vo vnútri sústavy (niečo také, že by si toto opatrenie sústava urobila sama od seba) zmeniť tak, aby sa obnovil východzí stav. Napr. neexistuje spôsob, ktorý by navzájom oddelil plyny A a B v sústave bez zásahu zvonku.

Deje, prebiehajúce obrátene než prirodzené deje, nazývame *neprirodzenými (negatívnymi).* Neprirodzené sa nazývajú preto, že v tých istých sústavách, v akých by prebehli príslušné prirodzené deje, neprirodzené deje samovoľne (sami od seba) nemôžu nastať. Môžeme ich v týchto sústavách vyvolať len zásahom zvonku (teda umele; neprebehnú samovoľne).

Neprirodzeným procesom je napríklad premena tepla na mechanickú prácu. Keby neprirodzená premena tepla na mechanickú prácu mohla prebiehať samovoľne, bola by veľmi užitočným procesom, lebo by sme mohli napr. ochladzovaním morskej vody získať neobmedzené množstvo mechanickej energie. Okrem toho, pri vykonávaní práce sa časť energie opäť zmení na teplo (napr. trením), takže by vznikol kolobeh energie, ktorý by umožňoval trvale vykonávať mechanickú prácu len ochladzovaním jedného telesa. Príslušný stroj, ktorý by síce pracoval v zhode s prvým princípom termodynamiky (so zákonom zachovania energie), ale trvale by vykonával mechanickú prácu len odnímaním tepla jedinému telesu (bez akýchkoľvek ďalších zmien, napr. že by vracal časť prijatého tepla späť okoliu), nazval Ostwald *perpetuum mobile druhého druhu* .

Slovne je druhý princíp termodynamiky vyjadrený rôznymi autormi rôzne, ale s rovnakým obsahom:

Claussius: *Teplo nemôže samovoľne prechádzať z chladnejšieho telesa na teplejšie.*

Thomson a Planck: *Nie je možné zostrojiť periodicky pracujúci stroj, ktorý by trvale, poprípade periodicky, vykonával kladnú mechanickú prácu len ochladzovaním jedného telesa bez toho, aby dochádzalo k iným zmenám v ostatných telesách.*

Ostwald: *Nie je možné zostrojiť perpetuum mobile druhého druhu.*

Prvé dve formulácie vyjadrujú to isté čo tretia.

Druhý princíp termodynamiky určuje smer, v ktorom prebiehajú prirodzené procesy v makroskopických sústavách smerujúcich do nového rovnovážneho stavu. Ako to vyplýva z uvedených formulácií? Obrátený, t.j. neprirodzený (negatívny) proces v sústave ponechanej na seba samú, by umožnil existenciu perpetua mobile druhého druhu.

## Entrópia a pravdepodobnosť stavu sústavy

Entrópia sústavy je definovaná nasledovne: dS = (d´Q)/T, kde dS je úplný diferenciál stavovej funkcie S, ktorú nazývame *entrópia sústavy.* Teplo (d´Q) je teplo, ktoré sústava prijme pri prechode z daného rovnovážneho stavu do ďalšieho (susedného, nasledovného) rovnovážneho stavu. Teplo (d´Q) v tomto vzťahu je teda vždy teplo sústave dodané. Prírastok entrópie pri konečnej zmene určíme pomocou integrálu (zintegrujeme výraz pre úplný diferenciál entrópie). Pretože dS je úplný diferenciál, hodnota entrópie v nejakom rovnovážnom stave nezávisí od cesty po ktorej sa sústava do tohoto stavu dostala, ale iba od hodnoty entrópie v predchádzajúcom stave a od hodnoty entrópie tohoto výsledného rovnovážneho stavu.

Praktický význam entrópie (predovšetkým v technickej termodynamike) je v tom, že ju môžeme ako funkciu rovnovážneho stavu sústavy spolu s ďalšou stavovou veličinou (najvýhodnejšie s termodynamickou teplotou T) použiť k určeniu a zobrazeniu stavu sústavy bodom v diagramoch, podobne ako sa stav sústavy udáva a zobrazuje bodom napr. v diagrame tlak - objem.

Prvý princíp termodynamiky potreboval k matematickej formulácii stavovú funkciu - *vnútornú energiu sústavy*
. Podobne aj druhý princíp je možné vyjadriť pomocou stavovej funkcii, ktorou je *entrópia*
. To je z fyzikálneho hľadiska jej obecnejší a hlbší význam.

*Entrópia* je makroskopická veličina, a teda je priamo či nepriamo merateľná veličina. Môžeme na prirodzených nevratných procesoch makroskopickej sústavy spomenutých v predchádzajúcej časti a smerujúcich do rovnovážneho stavu ukázať, ako sa entrópia pri nich chová. Zisťujeme, že prirodzené nevratné zmeny prebiehajúce v izolovaných sústavách, majú tú spoločnú vlastnosť, že pri nich entrópia sústav vzrastá. Môžeme preto vysloviť tvrdenie:

*V izolovaných sústavách sú možné len také zmeny (procesy), pri ktorých entrópia sústavy vzrastá alebo zostane nezmenená.*

Posledný prípad (entrópia sa nemení) sa vzťahuje k vratným zmenám. Pripomíname, že prirodzené zmeny (procesy) sú zmeny nevratné. V sústavách ponechaných samých na seba prebiehajú len zmeny nevratné, preto z našich ďalších úvah vynecháme vratné zmeny.

Pretože sústavy pri nevratných zmenách smerujú (spejú) z pôvodného rovnovážneho stavu do nového rovnovážneho stavu za súčasného rastu entrópie, po dosiahnutí nového rovnovážneho stavu entrópia sústavy nadobúda svoju maximálnu hodnotu. Inými slovami: Keď v sústave nastala zmene (porušil sa rovnovážny stav tým, že začal v nej prebiehať nejaký dej, nejaká zmena), sústava speje do nového rovnovážneho stavu a nový rovnovážny stav pre ňu bude ten,

v ktorom v rámci príslušnej zmeny (prebiehajúceho deja) entrópia bude mať maximálnu hodnotu a jej hodnota v tomto novom rovnovážnom stave bude väčšia ako v pôvodnom rovnovážnom stave. Ak by sústava po skončení deja/zmeny v novom rovnovážnom stave mala mať menšiu hodnotu ako v pôvodnom rovnovážnom stave (na začiatku deja/zmeny), tak takýto dej (proces, zmena) v sústave nenastane - k takejto zmene jednoducho nemôže dôjsť; je nedovolená, je neprípustná!

Termodynamická rovnováha sústavy sa vyznačuje *maximálnou entrópiou*. Podmienka

$$S_2 - S_1 > 0,$$

ktorá charakterizuje smer prirodzených procesov v izolovaných sústavách (tiež charakterizuje ich rovnovážny stav), je matematickou formuláciou druhého princípu termodynamiky, ktorý sa preto nazýva tiež *princíp rastu entrópie*. Tento znie: *V sústave môžu prebiehať len také zmeny, pri ktorých entrópia sústavy vzrastie.* V tomto vzťahu $S_2$ je entrópia sústavy v jej konečnom rovnovážnom stave a $S_1$ je entrópia sústavy v jej predchádzajúcom (počiatočnom) rovnovážnom stave.

Doterajší výklad je príkladom fenomenologického prístupu. Axiomaticky bol vyslovený prvý princíp termodynamiky, vyjadrujúci zákon zachovania energie do ktorého je zahrnuté aj teplo bez toho, aby sme sa zaujímali o jeho podstatu. Axiomaticky môžeme formulovať aj druhý princíp termodynamiky konštatovaním, že nie je možné zostrojiť perpetuum mobile druhého druhu. Všetko je odpozorované z makroskopických procesov v prírode a zatiaľ sme si nepoložili otázku prečo je to tak. Prečo je napr. jeden smer procesov v sústavách prirodzený a opačný smer neprirodzený? Prečo je jeden smer v sústave ponechanej samú na seba možný a iný nie je uskutočniteľný (možný)? Prečo v sústave ponechanej samú na seba prebiehajú len prirodzené procesy a neprirodzené procesy neprebiehajú, nie sú možné? Na túto otázku (prečo?) nedokáže fenomenologická termodynamika odpovedať. Je treba použiť metódy molekulovej fyziky a konkrétne Boltzmanovu štatistiku, ktorá umožňuje logicky odpovedať na otázku, prečo sa makroskopická sústava musí dostať do rovnovážneho stavu a prečo práve cestami, pri ktorých entrópia sústavy dosahuje maximálnej hodnoty, cestami, pri ktorých entrópia sústavy vzrastie. Závery štatistických úvah sú zhrnuté do tzv. Boltzmanovho princípu, ktorý znie:

*Entrópia makroskopickej sústavy je funkciou pravdepodobnosti stavu sústavy, $S = S(P)$.*

kde P je pravdepodobnosť výskytu daného stavu sústavy. Táto funkcia je známa (je možné ju určiť) a prírastok entrópie ľubovolného látkového množstva tvoriaceho uvažovanú sústavu zo stavu 1 (v ktorom má entrópia hodnotu $S_1$) do stavu 2 (v ktorom má entrópia hodnotu $S_2$) pomocou Boltzmanovho princípu je možné vyjadriť nasledovne:

$S_2 - S_1 = k(\ln P_2 - \ln P_1)$,

kde $P_2$ je pravdepodobnosť výskytu stavu 2 a $P_1$ je pravdepodobnosť výskytu stavu 1 a k je Boltzmanova konštanta.

V sústave ponechanej samú na seba prebiehajú procesy po ceste (v smere) po ktorej sa sústava dostáva z menej pravdepodobného stavu do stavu viac pravdepodobného ($P_2 > P_1$, $\ln P_2 > \ln P_1$ a teda $S_2 - S_1 > 0$). Stav viac pravdepodobný je stav s väčšou hodnotou entrópie a princíp rastu entrópie nám hovorí, že v sústavách ponechaných samých na seba sú možné len také procesy, pri ktorých sústava prechádza z menej pravdepodobného stavu do stavu z väčšou pravdepodobnosťou, zo stavu z nižšou hodnotou entrópie do stavy s vyššou hodnotou entrópie (hodnota entrópia musí vzrásť, teda jej zmena musí byť kladné číslo). Tiež tento princíp hovorí, že v sústave ponechanej samú na seba nie je možný proces, v priebehu ktorého by sa sústava dostala zo stavu viac pravdepodobného do stavu menej pravdepodobného - čiže zo stavu z vyššou hodnotou entrópie do stavu z nižšou hodnotou entrópie.

Napr.: Nejaký usporiadaný stav (poriadok) makroskopickej sústavy častíc je menej pravdepodobný ako neusporiadaný stav (chaos, neporiadok). A princíp rastu entrópie hovorí, že

v sústave ponechanej samú na seba je možný len proces pri ktorom sústava prechádza zo stavu usporiadaného (z poriadku) do stavu neusporiadaného (do chaosu) a nie naopak. Opačný proces (z chaosu do usporiadaného stavu) v sústave ponechanej samú na seba podľa princípu rastu entrópie nie je možný.

Kde je ale skrytý počet častíc sústavy, od ktorého prírastok entrópie závisí? Zo štatistických úvah vyplýva, že pravdepodobnosti jednotlivých makrostavov danej sústavy sú úmerné počtu mikrostavov, pomocou ktorých je možné makrostavy realizovať.

**Tretí princíp termodynamiky**

Z druhého princípu termodynamiky vyplýva, že nie je možné všetko teplo získané z jedného zdroja bezo zbytku transformovať na mechanickú prácu. Tepelná účinnosť každého stroja pracujúceho na princípe premeny tepla na mechanickú prácu je daná vzťahom

učinnosť < 1,

čo je tiež jedna z foriem vyjadrenia druhého princípu termodynamiky.

Z účinnosti tepelného stroja pracujúceho na základe Carnotovho cyklu tak, že stroj od telesa teploty T (ohrievača) odoberá teplo, pričom časť tohoto prijatého tepla premení na mechanickú prácu a časť vracia späť okoliu (chladiču) o teplote $T_0$,

účinnosť (Carnotovho cyklu) = 1 - ($T_0$/T),

ale plynie, že účinnosť tohoto stroja by bola rovná jednej, keby chladnejšie teleso (chladič) mal termodynamickú teplotu $T_0$= 0 K. V tomto prípade by sa všetko prijaté teplo premenilo na mechanickú prácu. Tak ako prvý princíp potrebuje doplnenie vo forme druhého princípu, tak aj druhý princíp vyžaduje doplnenie, ktoré je obsahom tretieho princípu termodynamiky. Odpovedá na otázku, či je možné dosiahnuť teplotu 0 K. (Keby to bolo možné, bolo by možné mať stroj s účinnosťou rovnou jednej a bolo by možné premeniť všetko prijaté teplo na

mechanickú prácu).

Experimentálnym štúdiom látok pri veľmi nízkych teplotách sa zistilo, že sa ich niektoré vlastnosti v blízkosti 0 K nemenia s teplotou a že niektoré (isté) fyzikálne veličiny sú pri veľmi nízkych teplotách prakticky rovné nule. Je to napr. merná či molárna tepelná kapacita, elektrický odpor vodičov a pod. Ak nie sú vlastnosti látok v blízkosti nulovej termodynamickej teploty závislé od teploty nemôžeme už vonkajším pôsobením znižovať ich teplotu, takže tretí termodynamický princíp môžeme vysloviť (podľa Plancka) takto:

*Čistú pevnú látku nie je možné konečným pochodom ochladiť na nulovú termodynamickú teplotu.*

Nie je možný preto Carnotov cyklus s tepelnou účinnosťou rovnou jednej a nie je teda principiálne možné teplo, dodané pracujúcej sústave, úplne (t.j. bezo zbytku) premeniť na mechanickú prácu. Len časť prijatého tepla sa mení na mechanickú prácu a časť sa vracia späť okoliu.

V blízkosti nulovej termodynamickej teploty (O K) prestáva, "zamŕza" zrejme tepelný pohyb

molekúl, takže nerovnovážne stavy (nie celkom rovnomerné rozdelenie častíc) môžu ľubovoľne dlho existovať. Z toho môžeme usudzovať, že pravdepodobnosť všetkých stavov ležiacich v blízkosti teploty 0 K je rovnaká. Ak je $P_2 = P_1$, plynie z Boltzmanovho princípu, že zmena entrópie $S_2 - S_1 = 0$, tzn. že entrópia látok sa v blízkosti 0 K nemení a je možné položiť ju rovnú nule pre T = 0 K. Pretože tým je daná entrópia pre jeden stav, môžeme z toho vypočítať hodnotu entrópiu aj pre ľubovolný iný stav.

Podľa tretieho termodynamického princípu môžeme teda nulovú hodnotu termodynamickej teploty, 0 K, považovať za hraničnú teplotu, ku ktorej sa síce môžeme tesne priblížiť, ktorú ale dosiahnuť nemôžeme.

***Aké závery vyplývajú z termodynamických princípov?***

To najpodstatnejšie do diskusie o možnosti alebo nemožnosti vzniku vesmíru a života samovoľnými procesmi vnáša *princíp rastu entrópie*. Teraz si o ňom povieme z hľadiska tejto diskusie. Tento princíp hovorí, že:

Sústava ponechaná sama na seba sa z jedného stavu dostáva do druhého stavu len takou cestou (len takým spôsobom), že pritom jej entrópia vzrastie. Inými slovami: Sústava ponechaná sama na seba prechádza z menej pravdepodobného stavu do stavu viac pravdepodobného (do stavu s väčšou pravdepodobnosťou). Práve toto, že:

Sú možné len také zmeny stavov pri ktorých entrópia sústavy vzrastie alebo inak: Sú možné len také zmeny sústavy, pri ktorých sústava prechádza z menej pravdepodobného stavu do stavu viac pravdepodobného. Tiež aj takto: V sústave ponechanej samu na seba nie sú možné také zmeny stavu, pri ktorých by entrópia sústavy klesala (sa zmenšovala), alebo: Sústava nemôže prechádzať zo stavu viac pravdepodobného do stavu menej pravdepodobného - je kameňom úrazu darvinizmu, je neprekonateľnou prekážkou pre evolučné učenie o vzniku vesmíru a života samovoľnými náhodnými procesmi.

Povedané jednoducho: Usporiadaný stav (poriadok) je menej pravdepodobný stav ako neusporiadaný stav (ako neporiadok, chaos). Princíp rastu entrópie vylučuje možnosť, žeby z chaosu (z neporiadku) samovoľne vznikol usporiadaný stav (poriadok). Evolúcia (darvinizmus) učí presne naopak, učí presne v rozpore s princípom rastu entrópie. Učí, že najprv bol chaos (neporiadok, neusporiadaný stav, viac pravdepodobný stav) z ktorého sám od seba, cestami náhody, samovoľnými procesmi vznikol usporiadaný vesmír galaxií, slnečných sústav a tiež život ako organizovaný a usporiadaný systém (menej pravdepodobný stav). A to je jedno, či sa v evolučnom učení vychádza z počiatočného stavu vytvoreného Veľkým treskom (Veľkým výbuchom, Big Bangom) alebo zo stavu, ktorý vznikol "prasknutím vákua" a následným vyrojením sa veľkého počtu častíc a antičastíc.

Usporiadaná sústava ponechaná sama na seba sa rozpadne, dostáva sa z usporiadaného

stavu (z poriadku) do neusporiadaného chaotického nefungujúceho stavu - do chaosu. Auto ponechané samé na seba sa rozpadne a nie naopak. Z hŕby súčiastok ponechaných samých na seba sa auto nezloží - a nielen auto, ale aj čokoľvek iné. K tomu, aby sa sústava z neusporiadaného stavu dostala do usporiadaného stavu, je potrebný zásah vonkajšieho činiteľa, ktorého pôvod je mimo tejto hromady súčiastok - a o tom je to, keď poukazujeme na to, že princípy termodynamiky, ako aj celá veda, sama popiera možnosť vzniku vesmíru a života cestami samovoľných náhodných procesov.

Evolučné učenie nepripúšťa existenciu žiadneho vonkajšieho činiteľa. Látka (hmota, matéria) je v ňom osamotená - povedané rečou fyziky: je braná ako izolovaná sústava a všetky v nej prebiehajúce procesy sú brané za samovoľné; za procesy prebiehajúce bez vonkajšieho vplyvu. A to je ten jeho problém, jeho rozpor s princípom rastu entrópie. Keď je látka ponechaná sama na seba, môžu v nej prebiehať len prirodzené procesy; môžu prebiehať v nej len procesy, pri ktorých entrópia vzrastie; sústava môže prechádzať len zo stavu menej pravdepodobného (usporiadaného) do stavu viac pravdepodobného (neusporiadaného, do chaosu) - a nie naopak. V evolučnom učení sa so zažmúrenými očami a ignorovaním princípov termodynamiky tvrdí, že vesmír a život vznikli tak, že látka (častice) samovoľne prešli z počiatočného neusporiadaného viac pravdepodobného stavu do usporiadaného menej pravdepodobného stavu.

Literatúra:

J.Krempaský: *Fyzika*, Alfa Bratislava & SNTL Praha, 1982.

V.Hajko, J.Daniel-Szabó: *Základy fyziky*, Veda Bratislava, 1983.

Z.Horák, F.Krupka: *Fyzika I*, Praha 1976.

F.Krupka, Ľ.Kalivoda: *Fyzika*, SNTL Praha, 1989.

Vytvorené dňa: 15. 10. 2004.

Upravené dňa: 18. 2. 2014.