

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Vítězslav Felber

Několik poznámek k první a druhé základní větě termodynamiky

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 38 (1909), No. 2, 177--184

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123781>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1909

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## Několik poznámek k první a druhé základní větě thermodynamiky.

Napsal inž. dr. **Vítězslav Felber**, docent a supplemt české techniky v Praze.

1. První základní věta thermodynamiky, zákon Mayer-Jouleův, vyslovuje se nejčastěji následovně: *Teplota a mechanická práce jsou ekvivalentní.*

Podrobme tento princip, považovaný obecně za veledůležitý zákon empirický, stručnému kritickému rozboru.

2. K tomu třeba ovšem nejdříve objasnit a určitě definovat pojem tepla.

K poznání tepla dospíváme z pojmu teploty, jež při obvyklém podání zásad nauky o teple třeba tedy považovati za prvý základní pojem. — Pojem teploty zavádíme opět na základě zkušenosti, že tělesa způsobují v nás při doteku jisté dojmy citové, z jichž intensity soudíme na velikost či výši teploty. Samozřejmě považujeme tedy teplotu za kvantitu.

Zkušenost opět učí, že dvě tělesa, jimž přisuzujeme různé teploty, po vzájemném styku po jakési době na nás stejně působí, čili jak pravíme, teploty jejich jsou stejné. Toto vyrovnání představujeme si tak, že jisté kvantum něčeho přešlo s tělesa teplejšího na chladnější. Připisujeme tedy tělesům jistou veličinu, jež se kvantitativně mění s teplotou a nazýváme tuto veličinu teplem.

Zákon, že při sdělování tepla přechází s tělesa vyšší teploty na těleso nižší teploty, jeví se tedy jako pouhý předpoklad.

Tím ovšem pojmy teploty a tepla jsou toliko objasněny.

Definice teploty plyne na základě známého měření teploty, založeného na známých zkušenostech, a lze ji následovně vysloviti:

*Teplota jest vlastnost přisuzovaná tělesům, na jejíž velikost od zvoleného základního stavu soudíme ze změny objemu, resp. měrného tlaku jakéhosi množství zvolené látky thermometrické od základního stavu, při stavu tepelné rovnováhy s tělesem, a o které přijímáme, že její přírůst jest přímo úměrný příslušné změně objemu, resp. specifického tlaku oné látky.*

Při skutečném měření tepelná rovnováha, závislá na shodě teplot tělesa a látky termometrické, jest ovšem pouze supponována.

Zkušenost učí, že, je-li těleso  $A$  (na př. látka termometrická) s tělesy  $B$  a  $C$  v tepelné rovnováze, jsou i tělesa  $B$  a  $C$  při vzájemném styku rovněž ve stavu tepelné rovnováhy. -- Sdílení tepla jest tedy podmíněno jedině rozdílem teplot, což jest prvý empirický zákon nauky o teple.

Na zvolené škále termometrické závisí kapacita tepelná a specifické teplo. ke kterýmžto pojmům lze snadně empiricky dospěti na základě předpokladů, že množství tepla, obsažené v tělese homogenním nad zvoleným základním stavem, jest při téže teplotě přímo úměrno jeho hmotě, a že množství tepla odvedené při udílení jednomu tělesu rovná se množství přijatému druhým tělesem.

*Lze pak definovati teplo jako veličinu, která za jinak stejných okolností mění se s teplotou tělesa, jejíž velikost nad určitým zvoleným základním stavem jest přímo úměrna hmotě homogenního tělesa a elementární přírůst úměrný elementárnímu přírůstu teploty.*

Tedy ani pojem teploty, ani pojem tepla nevyjadřují v tomto smyslu nic skutečného, nýbrž jen vlastnosti přisuzované tělesům.

3. Jest tedy množství tepla tělesa nad zvoleným základním stavem v podstatě závislé na dvou libovolných volbách: na zvolené látce termometrické a předpokladu, že množství tepla tělesa stejnorodého nad základním stavem při téže teplotě jest přímo úměrno jeho hmotě.

A na základě těchto dvou dohod dospíváme k empirickému zákonu Mayer-Jouleovu, že mezi množstvím tepla a mechanickou prací jest stálý ekvivalent.

Jest zjevné, že tento výsledek jest podmíněn učiněnými šťastnými volbami. Za jiných voleb onen ekvivalent nebyl by konstantní, nýbrž obecně funkcí teploty a hmoty, kterážto okolnost nebyla by však zajisté nijak na závalu existenci termodynamiky. Její rovnice byly by ovšem složitějšími, tedy učiněné konvence mají velkou cenu ekonomickou.

Ostatně nelze ani při vodíkové škále termometrické považovati ekvivalent práce pro jednotku tepla za stálý, nýbrž mění se s teplotou.

4. Vyslovení zákona Mayer-Jouleova, že teplo a mechanická práce jsou ekvivalentní, jest neurčité a neúplné.

Platilo by, když by veškeré vzájemné přeměny tepla a mechanické práce byly reversní.

Z rozšířeného zákona Clausiova, tvořícího druhou základní poučku termodynamiky, pravícího, že nelze teplo převést s tělesa nižší teploty na těleso vyšší teploty bez trvalých změn ve stavu jiných těles, aneb vyslovujícího nemožnost perpetua mobile druhého druhu, plyne existence změn irreversních.

Každou jednotku práce lze sice přeměnit v teplo, nikoli však naopak.

Zákon Mayer-Jouleův bylo by tedy vysloviti takto: *Teplo a mechanická práce jsou při vzájemných přeměnách sobě přímo úměrné.*

Plyne pak ovšem přímo, že thermický efekt kalorického stroje (definovaný obvyklým způsobem) nemůže nikdy rovnati se jednotce.

5. Zákon Mayer-Jouleův jest zvláštním případem obecného principu zachování energie.

Přijímáme-li Planckovu definici energie, lze vysloviti zákon tento následovně:

*Energie v jistém daném stavu soustavy, ve které dějí se změny, vztahovaná ke zvolenému základnímu stavu této soustavy, má určitou hodnotu stálou, necht jsou změny ty jakékoliv, čili součet ekvivalentů všech účinků, jež vznikají mimo systém, při jeho přechodu z libovolného stavu do základního, jest nezávislý na změnách, které dějí se v systému.*

V tomto vyslovení jest ovšem obsažena též nemožnost perpetua mobile.

Rozšíří-li se soustava na celý vesmír, plyne z předchozí poučky přímo hypotetická věta: Energie všehomíra jest konstantní.

Zákon zachování energie nikterak však nevyžaduje konstantního ekvivalentu energie tepelné a mechanické.

*Stálost tohoto ekvivalentu tvoří nový empirický poznatek, jenž v zákonu zachování energie není obsažen.*

V•tom ohledu záleží tedy rozdíl energie tepelné od ostatních energií.

Uvedené poznámky nejsou ovšem veskrze nové, nýbrž souhlasí částečně se známými názory Machovými. Leč bylo třeba je předeslati k odůvodnění následujícího, pokud mi známo, nového podkladu termodynamiky.

6. Stálost (přibližná) ekvivalentu práce pro jednotku tepla jest podmíněna volbou látky termodynamické (vodíku) a položenou supposicí, že teplo tělesa homogenního při téže teplotě jest přímo úměrno jeho hmotě, tedy jednotnost všech energií v tomto směru jest pouhá náhoda.

Jest na snadě myšlenka, *zvoliti zákon Mayer-Jouleův jako předpoklad* a na jeho základě definovati pojem teploty.

Podklad termodynamiky tvořily by pak as následující objasnění, poučky a definice:

Objasnění: *Tělesa při doteku způsobují u nás jisté pocity, jichž příčinu přisuzujeme jisté vlastnosti těles, teplotě.*

I. Poučka. ze zkušenosti: *Změna teploty tělesa jest spojena za určitých stejných okolností s určitými změnami ve stavu těles (objemu, resp. měrného tlaku).*

Má-li tedy těleso za určitých stejných okolností týž stav, třeba souditi, že má i touž teplotu.

II. Poučka ze zkušenosti: *Tělesa, uvedou-li se do styku, mění obecně svou teplotu, až po určité době nabude teplotu každého stálé hodnoty.*

Objasnění: *O dvou tělesích, která při styku teploty své nemění, pravíme, že mají stejnou temperaturu.*

Objasnění: *Změnu teploty libovolného tělesa způsobuje teplo.*

III. Poučka ze zkušenosti: *Mechanickou prací lze vytvořiti teplo a naopak.*

1. Předpoklad: *Teplo a mechanická práce spotřebovaná k jeho vytvoření jsou sobě přímo úměrná.*

Tím dána jest též definice tepla, ovšem toliko pro vzájemné přeměny s mechanickou prací.

a) Volba: *Přírůst teploty tělesa, které při této změně nekoná práce vnější, jest tohož znamení s příslušným přírůstem tepla přivedeného tělesa ve formě mechanické práce.*

b) Volba: *Přírůst tepla sděleného jakémusi tělesu jiným tělesem jest při jistém přírůstu teploty přímo úměrný spotřebované práci, již lze docílití téhož přírůstu teploty při shodné změně.*

Touto volbou jest podána definice tepla nezískaného mechanickou prací.

Definice: *Množství tepla jest veličinu příslušející přírůstu teploty tělesa, jejíž velikost jest přímo úměrna mechanické práci potřebné k docilení téhož přírůstu teploty při shodné změně stavu tělesa.*

IV. Poučka ze zkušenosti: *Stýkají-li se dvě tělesa, ať direktně neb indirektně, jest vždy množství tepla přivedeného, jednomu tělesu rovno množství tepla odvedeného tělesu druhému, když stav zprostředkujícího media jest týž.*

Na základě této poučky, volby a) a uvedené definice tepla plyne přímo, že bez spotřeby mechanické práce (změny energií jiného druhu jsou dosud vyloučeny) přechází teplo vždy s tělesa vyšší teploty na těleso nižší teploty (zákon Clausiův).

V. Poučka ze zkušenosti: *Množství tepla sděleného homogennímu tělesu při témž přírůstu teploty, nekoná-li vnější práce, jest přímo úměrno jeho hmotě.*

Na základě uvedených vět lze dospěti definice teploty a tudíž i škály termometrické.

Lze dokázati, že thermický efekt Carnotova procesu jest nezávislý na látce konající oběh, z čehož dále plyne :

Vytkněme si u libovolného tělesa dvě určité adiabaty a převedme těleso po isothermě  $T_1$  s adiabaty na adiabatou, při čemž třeba přivéstí množství tepla  $Q_1$ ; u jiného tělesa lze vždy pro jednu danou adiabatou stanoviti druhou tak, že při přechodu po isothermě  $T_2$  příslušející tomuto tělesu přivede se totéž množství tepla  $Q_1$ .

Pak platí však tento výsledek pro přechod s adiabaty na adiabatou každého tělesa po příslušné libovolné isothermě  $T$ ,

tedy množství sděleného tepla  $Q$  jest jediné funkce teploty  $T$ , tedy též naopak

$$T = \Phi(Q).$$

Tvar funkce  $\Phi$  lze voliti libovolně.

c) Volba: *Teplotu volíme přímo úměrnou množství tepla přivedeného při uvažované změně.*

Tedy

$$T = c \cdot Q.$$

Tím jest též pojem teploty definován a tudíž i určena škála termometrická, patrně *totožná s absolutní stupnicí Thomsonovou.*

Jeví se tedy pojem teploty jako úplně nezávislý na jakémkoli tělese.

7. O skutečné možnosti této absolutní škály termometrické nelze zajisté pochybovati. K měření teploty uvedeným způsobem bylo by třeba jen *znáti rovnici adiabaty a isothermy* libovolné látky, uvést ji sdělováním tepla do takového stavu, že má tutéž teplotu s uvažovaným tělesem — což jest na základě I. poučky ze zkušenosti možné — načež provede se s ní uvažovaná změna, při čemž množství přivedeného tepla vytvoří se mechanickou prací.

Rovnici adiabaty a isothermy lze vyvoditi empiricky na základě výše uvedených vět.

Míra přesnosti stupnice takto stanovené byla by tedy závislá jediné na dokonalosti upotřebených přístrojův.

Pro praksi byl by ovšem uvedený způsob měření nevýhodným; leč na základě I. poučky ze zkušenosti bylo by lze snadně získati kopie této škály, tak že by ve skutečnosti stačilo, určití naznačenou cestou jen jedinou stupnicí.

Absolutní škála termometrická souhlasí ovšem pro určitou hodnotu konstanty  $c$  se stupnicí absolutních teplot ideálních plynů, *supponuje-li se* konstantní ekvivalent práce pro jednotku tepla.

8. O mezích absolutní teploty nelze ničeho tvrditi. Dolní mez  $T = 0$  vyžadovala by shody isothermy s adiabatou u všech látek. Snižuje-li se teplota těles spotřebou mechanické práce,

nelze ještě tvrditi, že může vésti toto snižování až na absolutní bod nulový; neboť není vyloučeno, že od jisté hodnoty počnou se objevovati změny docela jiného druhu, což též III. poučka ze zkušenosti připouští. Totéž platí ovšem též pro horní mez. — Škála termometrická má tedy skutečnou cenu jen v rozsahu zkušenosti.

9. Položením předpokladu, že teplo a příslušná spotřebovaná práce mechanická jsou sobě přímo úměrná, nabývá zákon zachování energie omezenějšího, ale též jednoduššího významu.

Vybudujeme-li analogicky nauku o ostatních energiích, plyne přímo z předpokladů, že mechanická práce jest ekvivalentní získanému množství tepla, resp. jiné energie, a rovněž jest pouhým důsledkem přijaté definice tepla, resp. jiné energie, že množství tepla, resp. jiné energie jest přímo úměrné získané práci. — Zákon zachování energie nepraví pak nic jiného, než že všechny energie jsou při vzájemných přeměnách sobě přímo úměrné.

Podklad nauky o energiích bylo by lze takto podati:

Objasnění: *Energie jakéhosi systému jest jeho schopnost způsobovati jakékoliv účinky v sobě samém neb v jiných soustavách.* — Záleží-li tato schopnost v poloze tělesa neb jeho rychlosti, sluje energií mechanickou, závisí-li na jeho vlastnostech tepelných, elektrických atd., sluje tepelnou, elektrickou atd.

Poučka ze zkušenosti: *Mechanickou prací lze vykonati přímo neb nepřímou zcela libovolné účinky.*

Definice: *Změna energie mechanické tělesa či soustavy při libovolné změně stavu tohoto tělesa neb systému měří se spotřebovanou či získanou prací.* — V prvním případě označuje se tato změna jako kladná, v druhém jako záporná.

Předpoklad: *Při přeměně energie mechanické v energii jiného druhu jsou příslušné změny energií sobě rovné.*

Definice: *Změna energie libovolného druhu jakési soustavy, spojená s jejími změnami téhož druhu, měří se mechanickou prací, již bylo by lze tytéž účinky způsobiti.*

Poučka ze zkušenosti: *Energie v jistém daném stavu soustavy, ve které dějí se změny, vztahovaná ke zvolenému základnímu stavu této soustavy, má určitou stálou hodnotu, necht změny ty jsou jakékoliv (zákon zachování energie).*



Tuto poučku bylo by lze ovšem rovnocenně též jinak formulovati, na př.: Vzájemné změny energií jsou sobě ekvivalentní neb p.

Zákon ten podává prostě mathematickou poučku ve fyzikálním rouše: Dvě veličiny rovné třetí jsou i mezi sebou stejné.

V podaném podkladě mechaniky tepla zastupuje zákon zachování energie IV. poučku ze zkušenosti.

10. Bylo výše uvedeno, že Clausiův zákon jest obsažen již v podaných větách a netvoří tedy při naznačeném způsobu vybudování thermodynamiky nové empirické poučky. — Jest ještě rozhodnouti, zda třeba považovati za nový princip i rozšířený zákon Clausiův, vyjadřující nemožnost perpetua mobile druhého druhu (podle Ostwalda), či vyslovující identicky, že nelze teplo převést s tělesa nižší teploty na těleso vyšší teploty bez trvalých změn ve stavu jiných těles, tedy bez spotřeby jakékoliv energie.

Na základě podané definice energie a zákona zachování energie jest tento rozšířený zákon patrně důsledkem užšího principu Clausiova, že nelze teplo převést na těleso vyšší teploty bez vynaložení práce a netřeba tedy tento zákon považovati za nový empirický princip.

Nemůže tedy při žádném zařízení, jímž má se z tepla vyběti mechanická práce, thermický efekt rovnati se jednotce. — Záleží-li vzniklé účinky při tomto zařízení jedině ve změnách teploty, objemu měrného a specifického tlaku, podává cyklus Carnotův neb Reitlingerův jeho maximum; přistupují-li též při dějích otevřených změny látky, po př. současně změny chemické, může býti efekt i vyšší, než jest u procesu Carnotova, je-li entropie látek vyfukovaných do atmosféry *větší* než entropie látek nassávaných, jak dovodil jsem na jiném místě\*).

Nelze tedy tvrditi, že by i při jiných změnách, na př. elektrických, nebylo lze docíliti vyšší hodnoty thermického efektu, než podává cyklus Carnotův.

---

\*) Technický Obzor r. 1908: O maximálním thermickém efektu strojů kalorických.