

$A = Q_1' - Q_2$, alebo $Q_1' = A + Q_2$. Činnosť pozitívne (vľavo) a negatívne (vpravo) vedeného tepelného stroja, v ktorom sa uskutočňuje Carnotov cyklus, je schematicky znázornená na obr. 12.12.

Výraz pre A' v podieli $\eta = \frac{A'}{Q_1}$ môžeme ešte upraviť. Podľa Boylovho a Poissonovho zákona pre jednotlivé štyri časti opísaného kruhového deja platia rovnice $p_1 V_1 = p_2 V_2$, $p_2 V_2' = p_3 V_3'$, $p_3 V_3 = p_4 V_4$ a $p_4 V_4' = p_1 V_1'$. Ich vynásobením a úpravou získanej rovnice vychádza $V_1 : V_2 = V_4 : V_3$. Preto

$A' = R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}$, a teda

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$

kde T je teplota definovaná ideálnym plynom.

12.12. Druhá termodynamická veta. Podľa prvej vety termodynamickej pri všetkých premenách foriem energie jej celkové množstvo ostáva nezmenené. Táto veta však nič nehovorí o tom, či sa môžu jednotlivé formy energie premeniť úplne na iné, alebo či to nie je vždy možné. Touto otázkou sa zaoberá druhá veta termodynamická.

Zo skúsenosti vieme, že mechanická energia sa môže bez zvyšku použiť na ohrievanie telies, čím sa zväčšuje ich vnútorná energia. Napríklad na osi uložený a roztočený zotrvačnik trením ohrieva ložiská, ak nie sú naolejované. Presne obrátený pochod nie je však možný; zastavený zotrvačnik nemôžeme opäť roztočiť jednoducho tak, že by sme začali ohrievať jeho ložiská. Príčinou toho je, že vznik tepla trením je dej úplne nevratný.

Avšak aj pri vratne vedenom Carnotovom cykle, ktorým sme sa zaoberali v predošlom článku, len časť pri vyššej teplote prijatého tepla sa mení na mechanickú energiu; druhá časť sa musí odovzdať telesu s nižšou teplotou. Zaujímať by bol stroj založený na vhodnom kruhovom deji (aby sa v ňom trvale nič nemenilo), v ktorom by sa celé prijaté teplo menilo na energiu mechanickú. Pri takom stroji by chladič bol zbytočný a na konanie práce potrebná mechanická energia by v ňom vznikala z tepla odoberaného z jediného zásobníka tepla. Pomocou takéhoto stroja by bolo možné získavať mechanickú energiu z nevyčerpatelných zásob tepla našej Zeme, takže by odpadla potreba pohonných látok, tzv. palív. Takýto stroj by v sebe dokonca spájala výhody pracovného aj chladiaceho stroja. Ostwald ho nazval *perpetuum mobile druhého druhu*. Pretože sa takýto stroj dosiaľ nikomu nepodarilo zostrojiť, oprávnene sa domnievame, že zásadne nie je to možné. Tento poznatok, t. j. nemožnosť perpetuum mobile druhého druhu je obsahom *druhej vety termodynamickej*, ktorú Planck formuloval takto:

*Nemožno zostrojil periodicky pracujúci tepelný stroj, ktorý by nič iného ne-
spôsobil, len uberal teplo zo zásobníka a konal rovnomernú prácu.*

Druhú vetu termodynamickú objavili však už skôr a od seba nezávisle Clausius (1850) a W. Thomson (lord Kelvin, 1851). Zatiaľ čo Clausius ju vyslovil slovami: *Pri styku dvoch telies s rozličnou teplotou teplo prechádza vždy z telesa teplejšieho na teleso chladnejšie a nikdy naopak*, formulácia Thomso-
nova je v podstate totožná s neskoršou a jednoduchšou formuláciou Planckovou.

Že Planckovo vyjadrenie druhej vety termodynamickej sa kryje s Clausio-
vým, možno dokázať nasledovnou úvahou.

Predpokladajme, že by Planckovo tvrdenie neplatilo. V tom prípade by bolo možné zostrojil taký tepelný stroj, ktorý by uberal teplo Q_1 zo zásobníka a menil ho celé na mechanickú energiu $A' = Q_1$. Taktó získanú energiu by sme mohli použiť na poháňanie reverzibilného Carnotovho cyklu v negatívnom smere. Ten by prijal prácu A' , pritom však by prijal z chladnejšieho zásobníka aj teplo Q_2 a odovzdal teplejšiemu teplo $Q'_1 = Q_2 + A' = Q_2 + Q_1$. Výsledná bilancia stroja získaného spojením týchto cyklov by bola takáto: Z chladnejšieho zásobníka by sa ubralo teplo Q_2 a odovzdalo by sa teplejšiemu bez toho, že by tento dej bol sprevádzaný dodaním mechanickej energie zvonku, čo však nie je možné, pretože sa protíví Clausiovmu princípu. Z tejto úvahy vyplýva: Ak je správna veta Clausiova, platí aj tvrdenie Planckovo.

Úplne analogickou úvahou môžeme dospieť k tomu, že nie je možné, aby neplatil Clausio v princípu, ak predpokladáme platnosť Planckovej formulácie.

Ukážeme, že zo všeobecne známeho experimentálneho poznatku, ktorého konštatovanie predstavuje Clausiovu formuláciu druhej vety termodynamickej, t. j. že teplo samovoľne prechádza len z telesa teplejšieho na chladnejšie, vyplýva, že *všetky tepelné stroje pracujúce vratne medzi týmiže teplotami majú rovnakú účinnosť (Carnotova veta)*.

Uvažujme za týmto cieľom o účinnosti dvoch tepelných strojov pracujúcich medzi tými istými teplotami. Prvý z nich nech naberie z teplejšieho zásobníka teplo Q_1 a vykoná prácu A' . Ak by mal druhý účinnosť väčšiu, stačilo by, aby na vykonanie práce A' nabral teplo $Q_1^* < Q_1$. Túto prácu použijeme na poháňanie prvého stroja v opačnom zmysle. Celková bilancia výsledného cyklu je nasledovná: Z teplejšieho zásobníka sa ubralo teplo Q_1^* a tento zásobník súčasne prijal teplo Q_1 , čiže rozdiel $Q_1 - Q_1^*$ bol dodaný z chladnejšieho zásobníka bez toho, že by bola dodaná mechanickej energia zvonka, čo však je v rozpore s Clausioovou formuláciou druhej vety termodynamickej, a preto účinnosť druhého stroja nemôže byť väčšia ako účinnosť stroja prvého.

Obdobnou úvahou, lenže s vymenením činnosti oboch strojov, by sme mohli

dospieť k záveru, že ani prvý stroj nemôže mať účinnosť väčšiu ako stroj druhý, čiže každé dva vratné stroje pracujúce medzi tými istými teplotami musia mať rovnakú účinnosť.

Dôsledkom týchto okolností je, že ak tepelný stroj naberie z teplejšieho zásobníka teplo Q_1 , len jeho určitú časť môže premeniť na mechanickú energiu A' . Zvyšok $Q_2' = Q_1 - A'$ musí sa odovzdať chladnejšiemu zásobníku.

Stroje *nevratné* (ireverzibilné) majú účinnosť η' vždy *menšiu*, ako je účinnosť vratného stroja η , pracujúceho medzi týmiže teplotami,

$$\eta' < \eta \quad (1)$$

12.13. Termodynamická definícia teploty. Podľa Carnotovej vety účinnosť všetkých tepelných strojov pracujúcich medzi týmiže teplotami je rovnaká, teda len od týchto teplôt závislá. Účinnosť ktoréhokolvek je preto daná účinnosťou jedného z nich, napríklad založeného na striedavej expanzii a kompresii ideálneho plynu prekonávajúceho vratný Carnotov kruhový dej, pre ktorú sme už našli vyjadrenie

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$

kde T je (zatiaľ) teplota stanovená zmenami tlaku alebo objemu ideálneho plynu.

Teplotu však môžeme merať aj takto: Ľubovoľne zvolenú a kedykoľvek reprodukovateľnú teplotu (napríklad teplotu skupenskej premeny nejakého chemického jedinca za zvoleného tlaku) označíme ľubovoľne zvoleným číslom τ_1 a merné číslo τ_2 inej teploty určíme tak, že medzi obidvoma teplotami necháme pracovať nejaký tepelný stroj a určíme jeho účinnosť η . Teplotu τ_2

vypočítame potom zo vzorca, ktorý teplotu τ_2 teraz definuje, $\eta = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1}$.

Takto stanovenú teplotu, pretože je nezávislá od látky, ktorá sa nachodí v tepelnom stroji, voláme *absolútnou*. Je však ešte závislá od voľby merného čísla τ_1 teploty zvolenej za základ.

Pretože je tiež $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, je splnená rovnica

$$\frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

a teda aj úmera

$$\tau_1 : \tau_2 = T_1 : T_2$$

čiže $\tau = kT$.