Studiul aburului fără ajutorul entropiei*)

de ULISE ISSĂCESCU

Absolvent al Şcoalei Politecnice din Bucureşti

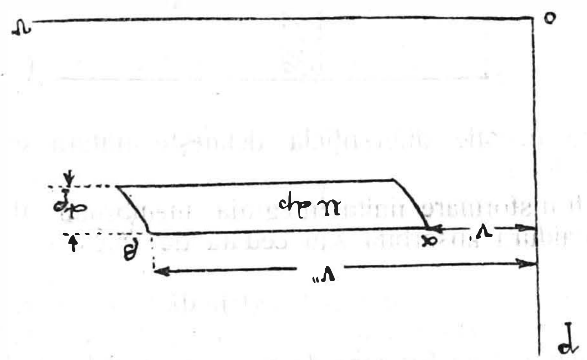
Studiul aburului e condiţionat de principiul al 2-lea al termodinamicei, care conduce la noţiunea de entropie. In speţă această noţiune este un rezultat al studiului gazelor perfecte supuse transformărilor unui ciclu Carnot.

Mai jos voi expune felul cum se poate găsi titlul aburului într'o transformare adiabatică, fără a mă servi de entropie.

Formulele vor fi aceleaşi caşi cele existente în termodinamica actuală, scoase însă pe consideraţii mai naturale.

Ecuaţia Clapayron-Clausius

Fie într'o raportare p, v o transformare de vaporizare sub presiune constantă, dela volumul lichid v' al unui Kgr, de



apă la v", volumul aburului uscat. Ciclul se completează cu condensarea la p-dp şi cu 2 curbe oarecari în α şi β (oricari ar fi aceste 2 curbe, elementul de suprafaţă se asimilează unui dreptunghiu),

*) Studiul aburului nu se poate face azi fără noţiunea entropiei. In ediţia IV, 1921 la I. Springer Berlin, *W. Schüle* enunţă la pag. 225: „Studiul transformărilor gazelor se poate face şi fără noţiunea entropiei. Aceasta s'a putut ca atare trata la sfârşitul capitolului despre gaze. Pentru transformările aburului, lucrurile stau, în ce priveşte noţiunea entropiei, invers ca la gaze. Numai când se presupune noţiunea entropiei cunoscută şi aplicabilă aburilor se pot urmări teoretic transformările aburilor, în special în ce priveşte cantităţile de căldură transformate în travaliu. Importanţa generală a noţiunei de entropie şi aplicabilitatea ei la toate speciile şi stările corpurilor reese din al 2-lea principiu al termodinamicei, (Cap. 40. 43). Că noţiunea de entropie, aşa cum a fost găsită la gaze (Cap. 27) se poate aplica la toate stările aburilor, este tocmai expresiunea celui de al 2-lea principiu pentru transformările aburilor (Cap. 43). *Acestea au aflat o perfectă explicare dupăce Clausius a găsit al 2-lea principiu si dupăce din el a desvoltat noţiunea de entropie.*

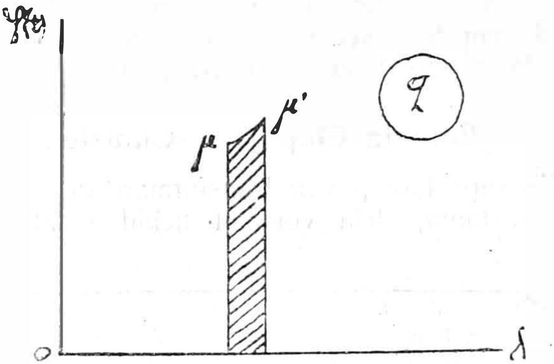
https://biblioteca-digitala.ro

Se pune în disponibilitate un travaliu echivalent căldurii

$$A(v''-v')\,dp = Au\,dp$$

Construesc o diagramă corespunzătoare celei de mai sus într'o altă raportare astfel ca ordonatele - axe retangulare - să fie funcţiuni de t°, $\varphi(t^0)$. Să însemnez cu λ abscisele, de aşa natură ca ariile să reprezinte calorii.

Plecând dela o stare a amestecului de aburi şi apă, reprezentată de punctul μ în această nouă raportare, într'o transformare elementară pe curba $\mu\mu'$, elementul de arie haşurat va reprezenta o cantitate de căldură $dq = \varphi(t).d\lambda$.



Această ecuaţie diferenţială defineşte natura şi dimensiile fizice ale lui λ.

Intr'o transformare finită integrala membrului al II-lea va masura căldura absorbită sau cedată de amestec.

$$q = \int \varphi(t^0).\,d\lambda$$

Fie acum o transformare de vaporizare dela v' la v'' sub presiunea p. In sistemul λ, $\varphi[t^0]$ această transformare se face pe $\varphi[t^0] = \text{constant}$, dela α_1 la β_1. Cantitatea de căldură absorbita este căldura de vaporizare r din tabelele lui Regnault.

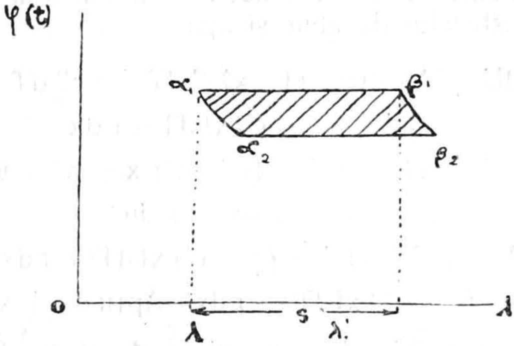
Exprimat analitic $r = \int_{\lambda_1}^{\lambda'_1} \varphi(t^0).\,d\lambda\,;\ \varphi(t^0) = \text{const.}$

$$r = \varphi(t')(\lambda'_1 - \lambda_1) = \varphi[t^0].\,s$$

punând $\lambda'_1 - \lambda_1 = s$. $\quad s = \dfrac{r}{\varphi[t^0]}$

https://biblioteca-digitala.ro

Cu acest parcurs al vaporizării dela α_1 la β_1 alcătuesc un ciclu închis prin o condensare la t—dt, respectiv $\varphi[t]$—d$\varphi[t]$ (unde d$\varphi[t]$ corespunde lui dp din raportarea p, v) şi prin alte 2 curbe $\alpha_1 \alpha_2$ şi $\beta_1 \beta_2$ construite punct cu punct după curbele trase în α şi β în raportarea p, v.



Aria acestui ciclu, care este o altă vedere a aceluiaşi proces, reprezentat şi de ciclul raportat la p, v va fi

$$\alpha_1 \beta_1 . \ d\varphi(t) = \frac{r}{\varphi(t)} d\varphi(t)$$

Egalând cele 2 expresii ale aceleiaşi călduri rezultă

$$Au\ dp = \frac{r}{\varphi(t)}\ d\varphi(t).$$

Nu cunoaştem forma funcţiunii $\varphi(t)$. Facem supoziţia că d$\varphi(t)$ este acelaşi cu dt centigrad şi cu aceasta $\varphi[t]$ diferă prin o constantă de t. $\varphi[t] = b + t = T$, o temperatură asemănătoare temperaturei absolute. Asupra mărimii lui b nu putem anticipa.

$$\text{Ca urmare } \frac{r}{T}\ d\,T = A.\,u.\,dp. \qquad \textit{căci } dt = dT.$$

Aceasta e ecuaţia găsită de Clapayron. Ea defineşte mărimea lui b şi fixează la abur origina temperaturilor zise absolute. Cu acestea ecuaţia lui Clapayron nu mai este o ecuaţie de verificare între u, $\frac{dp}{dT}$, r şi T.

https://biblioteca-digitala.ro

Ea devine o ecuaţie *tranzitorie*)* în vederea găsirei titlului de aburi, introducând funcţiunea $\varphi[t]$ în general şi definind în speţă T la abur, mărime împrumutată până acum studiului gazelor [într'o regiune extrapolată domeniului experienţei].

Mai departe caut o relaţie care să dea titlul aburului în transformările adiabatice.

Fie c' căldura specifică a apei, c" aceea a aburului uscat, x titlul amestecului de abur şi apă.

$$dQ = dU + A p\, dv = (1-x)\, c'\, dT + x\, c''\, dT + r\, dx =$$

$$[c' + (c''-c')\, x]\, dT + r\, dx$$

$$v = x.\, v'' + (1-x)\, v' = (v''-v')\, x + v' = u.\, x + v$$

$$dv = u\, dx + x\, du$$

$$dU = dQ - Ap\, dv = [c' + (c''-c')\, x]\, dT + r\, dx - Ap\, dv =$$

$$[c' + (c''-c')\, x]\, dT + r\, dx - Ap(u\, dx + x\, du).$$

Energia internă U este o funcţiune de starea finală a transformării, adica de coordonatele p, v, T sau numai de v, T deoarece $p = F(T)$. Ca formă analitică d U trebue să fie o diferenţială exactă.

Ecuaţia de mai sus se modifică scriind:

$$v''-v' = u = f(T) \quad du = f'(T)\, dT.$$

$$dU = [c' + (c''-c')x]\; dT + (r - A.\, p.\, u.)\, dx - A.\, p.\, x.\, f'(T)\, dT.$$

$$= [c' + (c''-c')\, x - A.p.\, x.\, f'(T)]\, dT + (r - A.p.\, u.)\, dx.$$

Condiţia ca dU să fie o diferenţială exactă este:

$$\frac{\delta}{\delta x}\left[\, c' + (c''-c')\, x - A.\, p.\, x.\, f'(T)\,\right] = \frac{\delta}{\delta T}\,(r - A.p.\, u) \text{ sau}$$

$$(c''-c') - A.\, p.\, f'(T) = \frac{\delta r}{\delta T} - A.\, p.\, \frac{\delta u}{\delta T} - A.\, u.\, \frac{\delta p}{\delta T}$$

$$\text{dar } \frac{\delta u}{\delta T} = \frac{du}{dT} = f'(T)\; \frac{\delta p}{\delta T} = \frac{dp}{dT} \qquad \frac{\delta r}{\delta T} = \frac{dr}{dT}$$

*) Se mai pot găsi şi alte ecuaţii transitorii de asemenea natură. De ex. în loc de $\varphi(t)$ se iau în ordonate $\varphi'(p)$. In mod analog obţin abscisele de natura $\frac{r}{\varphi'(p)}$ iar ciclul inchis cuprinzând o cantitate de căldură $\frac{r}{\varphi'(p)}\, d\, \varphi'(p)$.

Dacă pun $d\,\varphi(p) = dp$; $\varphi(p) = p + po = P$ unde $po =$ const.

$$Au\, dp = \frac{r}{P}\, dp\, ; \qquad Au = \frac{r}{P}\; ; \qquad r = A.\, u.\, P.$$

Se ştie că $r = \rho + A.\, u.\, p. = Au.\, P$ de unde $\rho = Au\,(P-p)$, o echivalare p căldurii interne de vaporizare în travaliu xterior.

https://biblioteca-digitala.ro

Cu ecuaţia lui Clapayron, găsită şi mai sus, se obţine relaţia cunoscută:

$$c''-c'=\frac{dr}{dT}-\frac{r}{T}$$

Ducând această valoare în expresia lui dQ voi găsi formula definitivă care determină titlul teoretic al aburului într'o transformare adiabatică.

Pentru claritate introduc noţiunea căldurii specifice adiabatice. Fie aceasta Ca ; $dQ=Ca.\,dT=o$. Intr'o transformare adiabatică, această căldură specifică rămâne constant nulă.

$$dQ=Ca.\,dT=[c'+(c''-c')\,x]\,dT+r\,dx=o \qquad dT \neq o$$

$$Ca=c'+[c''-c']\,x+r\frac{dx}{dT}=o \text{ iar cu } c''-c'=\frac{dr}{dT}-\frac{r}{T}$$

$$Ca=c'+\left(\frac{dr}{dT}-\frac{r}{T}\right)x+r\frac{dx}{dT}=T.x\frac{d}{dT}\left(\frac{r}{T}\right)+T\frac{r}{T}\,\frac{dx}{dT}+c'$$

$$=T\left[x\frac{d}{dT}\left(\frac{r}{T}\right)+\frac{r}{T}\cdot\frac{dx}{dT}\right]+c'=T\frac{d}{dT}\left(\frac{x\,r}{T}\right)+c'=o$$

$$Ca=d\left[\frac{x.\,r}{T}+c'\int_b^T\frac{dT}{T}\right]=o$$

$$\frac{r.\,x}{T}+c'\int_b^T\frac{dT}{T}=K, \text{ o constantă } \frac{r_1\,x_1}{T_1}+c'=\int_b^T\frac{dT}{T}$$

definită de starea iniţială în transformarea adiabatică. (Limita inferioară a integralei este b, egal sau în jurul lui 273). Precum se ştie, aceasta e formula pe care termo dinamica o găseşte cu ajutorul entropiei.

Notă.— Din condiţionarea diferenţialei exacte de mai sus, se vede că n'am făcut nici o rezervă asupra lui c' şi c'', cari pot fi şi funcţiuni de T.

https://biblioteca-digitala.ro