TERMODINAMICA VIS-À-VIS DE MECANICA CLASICA

Prof.dr.ing. ***Stoian PETRESCU***

UNIVERSITATEA POLITEHNICA , Bucuresti

De ce ***Termodinamica*** *e mai greu de inteles si mai greu de predat decit* ***Mecanica Clasica****, de ce este atit de important studiul termodinamicii pentru ingineri, chimisti, fizicieni, biologi etc. - ca* Stiinta generala a energiei si a entropiei - *si ce se poate face pentru* intelegerea e*i ?*

Sunt intrebari la care am tot raspuns de-a lungul celor peste 45 de ani de cind predau cursul de Termotehnica studentilor mei.

Termodinamica se preda (sau se prezinta / trateaza in carti) mai greu si se intelege mai greu, fata de *Mecanica*, deoarece este prin originea, esenta si sfera universala de aplicabilitate a ei mai dificila decit mecanica clasica.

În esenta, conceptele din Mecanica clasica: coordonate, viteza, acceleratie, forta, greutate, masa, lucru mecanic sunt mult mai simplu de inteles (pentru ca sunt mai intuitive si mai apropiate de experienta noastra zilnica), fata de conceptele fundamentale din Termodinamica: temperatura, energie interna, entalpie, caldura, lucru termodinamic, entropie, exergie, potentiale termodinamice (care sunt mai putin intuitive, mult mai abstracte, si mai putin legate de experienta noastra directa cotidiana).

Din pacate, adesea experienta noastra zilnica, legata de conceptele de *temperatura* si *caldura* chiar „ne incurca" mai tirziu in liceu si universitate, producind confuzii din cele mai grave intre cele patru concepte fundamentale: *Temperatura*, *Energie termica, Caldura, Entalpie.*

Un exemplul celebru il poate constitui conceptul de *entalpie,* numita mult timp (chiar dupa Clausius–parintele termodinamicii) „continut de caldura" (tradus din germana „warmeinhalt", sau tradus nefericit si in engleza „heat content"), desi privind atent definitia sa: $H = U + +pV$, se vede imediat ca termenul drept nu contine nici pe departe vre-o caldura – Q, ci contine doar: U – energia interna, p – presiunea si V – volumul.

Motivul diferentei dintre situatia *Termodinamicii* vis-à-vis de *Mecanica clasica* devine din ce in ce mai clar, daca „ne amintim", in ce ordine, cind si cum au aparut si s-au dezvoltat cele doua stiinte?

Pe cind Mecanica clasica s-a constituit (in mintea unui singur om, cu siguranta genial) deja ca s*tiinta axiomatic-deductiva*, odata cu aparitia celebrei lucrari monumentale a lui Newton „Principiile matematice ale filozofiei naturale", in anul 1687, in care *formuleaza axiomatic* Principiile Mecanicii, si apoi *construieste deductiv*, intreaga Mecanica, Termodinamica abia incepe o dezvoltare extrem de dificila, controversata, si uneori dramatica, (dupa cum arata foarte sugestiv Truesdell in „The Tragicomedy of Clasical Thermodynamics") mult mai tirziu (dupa 137 de ani), odata cu celebra lucrare a lui Carnot „Reflections sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a developer cette puissance", in 1824 si continua, mai mult de 100 de ani, cu descoperirile successive ale Principiilor Termodinamicii, de catre minti devenite celebre : Joule, Mayer, Helmholtz, Hess (1940), Clausius (1850-1865), Poincare, Born (1900), Planck (1900-1910), Eisntein (1905), Nernst (1906), Caratheodory (1909), Onsager (1930), Prigogine etc.

„Sa nu uitam", de exemplu ca:

► Aplicarea Principiului al doilea, prin utilizarea *Entropiei* (sugerata de Boltzmann), in cautarea unei formule pentru spectrul radiatiei solare l-a condus pe Planck la cuantificarea energiei in 1900 si apoi prin aceasta descoperire fundamentala la revolutia Mecanicii Cuantice (Einstein, Schrodinger, Heisemberg, Bohr, Pauli, Dirac etc.)

► Principiul III a fost descoperit de Nernst in 1906 si apoi a fost formulat mai simplu si mai elegant de catre Planck (anume: atunci cind temperatura absoluta $T \rightarrow 0$ K si entropia $S \rightarrow 0$) abia in 1911. Tocmai aeasta formulare a lui Planck a condus in curind la posibilitatea calcularii entropiilor absolute S, si apoi la prima sinteza a amoniacului (1914 – in Germania), folosind metoda Potentialelor termodinamice dezvoltata de Gibbs (1887): $G=H-TS$, (in care intra *entropia* absoluta, S). Aceasta prima sinteza a amoniacului a condus apoi la toate sintezele legate de ingrasamintele artificiale (azotati, fosfati) cu ajutorul carora s-a realizat revolutia din agricultura. Asa se explica faptul ca o tara ca SUA, cu agricultura cea mai avansata din lume foloseste doar 3 % din forta de munca in agricultura. Tot in Germania s-a realizat si benzina sintetica (produsa din carbune si apa) in timpul celui de al doilea razboi mondial, dupa „faimosul" bombardament al rafinariilor de la Ploiesti. Au urmat apoi sintezele relativ recente (dupa 1993) ale combustibilului Diesel si ale combustibililor sintetici (tot din carbune si apa), pentru motoarele de avion cu reactie, precum si intreaga industrie farmaceutica de sinteza, care folosesc din plin metoda potentialelor termodinamice, pentru determinarea valorilor parametrilor de stare necesari a fi atinsi in reactorul chimic (presiune si temperatura) pentru ca reactiile sa se desfasoare in sensul producerii componentilor de sinteza doriti

►Aplicarea principiului al doilea la sistemele biologice a fost recunoscuta abia dupa 1931, prin lucrarile lui Onsager [1] si apoi Prigogine, creatorii *Termodinamici fenomenologice ireversibile*, in cadrul careia sursa de entropie joaca un rol esential.

► Abia dupa 1929 s-a solutionat paradoxul numit „Demonul lui Maxwell", care ar putea ordona moleculele cu viteza mare separindu-le de cele cu viteza mica, si astfel ar crea doua surse de caldura „din nimic", cu posibilitatea de a produce apoi lucru mecanic nelimitat, pe seama „caldurii din mediul ambient" (desigur o violare a principiului al doilea), solutionare adusa de Szilard [2] folosind conceptul de *Informatie*. Apoi a urmat *Entropia informationala* introdusa in 1948 de Shannon [3], si mai tirziu generalizarea informationala a principiului al doilea al termodinamicii. Au urmat tratarile informationale ale termodinamicii (Jaynes [4]) cu mari sperante de clari-

ficare, la inceput, dar cu mai mici succese dupa citiva ani de incercare de predare la studenti.

► Termodinamica ireversibila inginereasca, foloseste din plin conceptul de *Sursa de Entropie*, introdus mai intii in Termodinamica fenomenologica ireversibila (Onsager [1]) dar si conceptual de *Exergie*, introdus de Zoran Rant [15] in 1956, in locul conceptului de *Availability* (Lucrul mecanic maxim disponibil), introdus anterior in SUA de catre Keenan in 1941 [16]).

De remarcat este faptul esential ca ambele folosesc direct sau indirect (in cazul exergiei) conceptul de entropie. De exemplu: *Metoda minimizarii generarii de entropie*, dezvoltata de Bejan Adrian - dupa 1982 [8]) si care face apel direct la sursa de entropie a capatat o larga aplicare in optimizarile masinilor si echipamentelor termice [6], s-a dezvoltat in paralel cu *Metoda exergetica* (Baehr [7], Radcenco [8]), uneori interactionind cu aceasta. Întelegerea profunda a acestor metode si utilizarea lor in mod eficient, adica „in cunostinta de cauza" de catre studenti si apoi de catre viitorii ingineri, implica cunoasterea si intelegerea mai intii a Principilor termodinamicii si desigur a Entropiei.

► Termodinamica ireversibila cu viteza finita [9 – 11], bazata pe noua expresie matematica a Principiului intii pentru procesele cu viteza finita, poate conduce prin *Metoda directa* [12 - 14] la studiul performantelor de randament si putere pentru toate ciclurile termodinamice cu viteza finita, si totodata la calculul sursei de entropie functie de viteza finita a proceselor din ciclu. Deci *generarea de dezordine* prin diferitele ireversibilitati (viteza finita, frecare, laminare) se poate evalua cantitativ prin calculul sursei de entropie interna si externa. Minimizarea acestei surse poate duce la optimizarea performantelor masinilor termice si la elaborarea de scheme de calcul cu validare experimentala, atit de necesare pentru proiectarea unor masini din ce in ce mai eficiente energetic, ca de exemplu masinile Stirling [13], cele mai performante masini, care la limita reversibila si cu regenerare perfecta au aceiasi eficienta ca ciclul Carnot. De aceea asistam la dezvoltarea extraordinara a acestora in ultima vreme, si la punerea unor mari sperante in folosirea lor in *Energetica Solara*, ca ultima solutie, pentru rezolvarea „Crizei de energie", si a „Încalzirii globale".

Trecind in revista exemplele de mai sus, care ilustreaza dezvoltarea treptata si indelungata a Termodinamicii, odata cu intelegerea tot mai profunda a Principiilor Termodinamicii, si a conceptelor fundamentale introduse de acestea rezulta ca:

Motivul pentru care *Termodinamica* a aparut deci mai tirziu decit *Mecanica* devine foarte clar si foarte simplu, anume, ceea ce este mai greu de inteles si de construit, a fost atacat, inteles si construit mai greu si mai tirziu in cadrul dezvoltarii istorice a cunoasterii umane. De aceea, chiar si astazi, desi toti ne masuram *temperatura* cu un termometru cind avem gripa, si toti vorbim din ce in ce mai mult ca platim tot mai scump nota de plata a *energiei* termice sau a *energiei* electrice consumata, sau pentru *energia* „consumata" de automobilul personal (prin pretul benzinei sau motorinei), pentru a produce *lucrul mecanic* necesar accelerarii masinii si apoi, mersului cu viteza constanta, putini din cei care folosesc aceste concepte le inteleg de fapt, desi le folosesc curent. Ele abunda in limbajul de zi cu zi si in media (presa, TV etc.) si adesea contribuie la confuzii suplimentare.

Daca conceptele de temperatura T – introdus riguros de Principiul Zero –, energie interna U, caldura Q, lucru mecanic (termodinamic) L – introduse de Principiul intii – apoi conceptual de entalpie H, se mai pot intelege cit de cit, atunci cel de entropie S – introdus de Principiul al doilea e si mai abstract si mai „confuz", si deci mai greu de inteles, daca nu se asociaza cu cel de „dezordine" asa cum a propus Boltzman.

În volumul ***Tratat de inginerie termica. Principiile termodinamicii,*** publicat recent la Editura AGIR, incearca o analiza si sinteza asupra tratarilor clasice si moderne ale *Conceptelor fundamentale* si ale *Principiilor Termodinamicii*, vazute de un profesor care si-a dedicat aproape 50 de ani din viata pentru a incerca sa le inteleaga, „cit de cit", si care a avut numeroase sanse extraordinare de interactiune cu mari profesori si cercetatori din intreaga lume (M. W. Zemansky [17], H. C. Van Ness [18] s.a.) .

Desi as fi dorit, nu am putut si nici nu cred ca se pot epuiza toate problemele legate de *Fundamentele* si *Principiile Termodinamicii* intr-o singura carte. De aceea, cu respect pentru eventuala curiozitate manifestata pentru aceste chestiuni, il anunt pe cititor ca scopul urmarit in lucrarea amintita a fost in principal acela de a-l atentiona asupra acestor probleme si de a-i suscita interesul in abordarea si aprofundarea lor, in speranta de al ajuta sa inteleaga mai bine ceea ce stie deja … si eventual sa contribuie la o si mai riguroasa clarificare a sa si a altora. Totodata am incercat sa informez cit mai amplu cu putinta, asupra diverselor conexiuni ale *Principiilor Termodinamicii* (pentru edificarea unui public cit mai larg - studenti, profesori, cercetatori, ingineri, chimisti, fizicieni) si abia in ultimul rind am facut unele modeste tentative de solutionare (macar partiala) a unora dintre dilemele si problemele mentionate.

BIBLIOGRAFIE

[1] L. Onsager, In: Phys. Rev. (a), 37, 405 (1931).
[2] L. Szilard, In: Z. Phys, 53, p.840, 1929
[3] C. Shannon, In: Bell.System Tech, J. 27,379 si 623 (1948)
[4] E. T. Jaynes, *Information Theory and Statistial Mechanics*, In: Phys. Rev., 106, p.620, (1957);108,p.171,(957)
[5] A. Bejan, *Entropy Generation through Heat and Fluid Flow,* Wiley, 1982.
[6] A. Bejan s.a., *Thermal Design and Optimization*, Wiley, 1996.
[7] H. D. Baehr, *Definition und Berechnung Exerie und Anergie,* in BWK, 17, 1, 1965.
[8] Vs. Radcenco, I. Nerescu, *Analiza Exergetica a Proceselor Termice,* Editura Tehnica, Bucuresti, 1970.
[9] S. Petrescu, et. al., *Energy Conversion*, Bucknell University, Lewisburg, PA, USA, 1993.
[10] L. Stoicescu, S. Petrescu, *The First Law of Thermodynamics for Processes with Finite Speed*, IPB, 1964.
[11] Monica Costea, S. Petrescu, *Thermodynamics – Theory and Applications*, UPB, 221p., 2001.
[12] S. Petrescu, C. Harman, *The Connection Between the First Law and Second Law of Thermodynamics for Processes with Finite Speed - A Direct Method for Approaching and Optimization of Irreversible Processes,* JHTS, Japan, Vol. 33, 128, 1994.
[13] S. Petrescu s.a., *Application of the Direct Method to Irreversible Stirling Cycles with Finite Speed,* IJER, Vol. 26, 2002.
[14] S. Petrescu, G. Stănescu, *Metoda directă de studiu a proceselor ireversibile care se desfăsoară cu viteză finită in sisteme inchise*, *Rev. Termotehnica*, nr.1, (1993).
[16] Z. Rant, *Exergie –e ine neues Wort fur Technische Arbeitsfahigkeit,* In: Forsch. Ing. Wes., 22, 1, 1956.
[16] J. H. Keenan, *Termodynamics,* New York, Wiley, 1941.
[17] M. W. Zemansky, H. C. Van Ness, *Basic Engineering Thermodynamics,* Mc. Graw-Hill, New York, 1966.
[18] H. C.Van Ness, *Understanding Thermodinamics (Intelegerea Termodinamicii),* Mc. Graw-Hill, New York, 1969.