



**ACADEMIA DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA**

# **DEZBATERI ȘTIINȚIFICE**

**organizate de Secțiile de specialitate ale  
ACADEMIEI DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA**

**Vol.I**

- Principiul al II-lea al Termodinamicii și Cosmosul
- Procese de transfer de căldură în micro – și nanostructuri
- Entropia în gândirea economică a lui Nicolas Georgescu Roegen

## **Secția - INGINERIE MECANICĂ**

**Coordonator: prof. dr. ing. Florea Chiriac**

**Editura AGIR**



***DEZBATERI ȘTIINȚIFICE***  
**organizate de secțiile de specialitate ale**  
**ACADEMIEI DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA**

---

**Vol. I**  
**Secția – INGINERIE MECANICĂ**

- *Principiul al II-lea al Termodinamicii și Cosmosul*
- *Procese de transfer de căldură în micro – și nanostructuri*
- *Entropia în gândirea economică a lui Nicolas Georgescu Roegen*

## **SCIENTIFIC DEBATE AT WORKSHOPS OF ASTR SECTIONS**

---

### **Vol. I Section – MECHANICAL ENGINEERING**

Autorii comunicărilor științifice publicate în volum  
(în ordine cronologică):

- Prof.dr.ing. ***Florea CHIRIAC***
- Acad. ***Radu P. VOINEA***
- Prof.dr.fiz. ***Mircea BECIU***
- Conf.dr.fiz. ***Nicolae TRUȚĂ***
- Prof.dr.ing. ***Viorel BĂDESCU***
- Prof.dr.ing. ***Stoian PETRESCU***

Îngrijire de ediție:  
Dr.ing. ***Ioan GANEA***



***DEZBATERI ȘTIINȚIFICE***  
organizate de secțiile de specialitate ale  
**ACADEMIEI DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA**

**Vol. I**

**Secția – INGINERIE MECANICĂ**

- *Principiul al II-lea al Termodinamicii și Cosmosul*
- *Procese de transfer de căldură în micro – și nanostructuri*
- *Entropia în gândirea economică a lui Nicolas Georgescu Roegen*

**Coordonator: Prof.dr.ing. Florea CHIRIAC**



**Editura AGIR**  
**București, 2010**

ASOCIAȚIA GENERALĂ A INGINERILOR DIN ROMÂNIA

Copyright © Editura AGIR, 2010

Editură recunoscută de CNCSIS

Toate drepturile asupra acestei ediții

sunt rezervate Editurii AGIR

**Editura A.G.I.R.**

Calea Victoriei, nr. 118, sector 1,  
010093 București;

Tel.: 4021-316.89.92, 4021-316.89.93 (redacție)

4021-319.49.45 (difuzare); Fax: 4021-316.89.92

e-mail: editura@agir.ro; www.agir.ro; www.edituraagir.ro

Tehnoredactor: **Mihaela-Cristina MARIUȚĂ**  
Coperta: ing. **Ion Marin**

---

Bun de tipar: 25.09.2010

ISBN: 978-973-720-321-2

---

Imprimat în România

## ***CUVÂNT ÎNAINTE***

Această lucrare reflectă preocuparea *Secției de Inginerie Mecanică* a ACADEMIEI DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA de a organiza dezbateri științifice care să antreneze membrii săi în abordarea unei palete largi ale științei și tehnicii actuale și în același timp să contribuie la creșterea prestigiului său ca for științific în rândul diverselor categorii de cercetători. În acest sens, în cursul anului 2009, au fost organizate treidezbateri cu temele „Principiul al II-lea al Termodinamicii și Cosmosul”, „Procese de transfer de căldură în micro - și nanostructuri” și „Entropia în gândirea economică a savantului american, de origine română - Nicolas Georgescu Roegen”, care s-au bucurat de prezența unor personalități importante din învățământ, cercetare și din viața economică - productivă. Referatele prezentate, din care cităm cel prezentat de Academicianul Radu VOINEA, au fost completate de discuții ce s-au bucurat de aprecierea unanimă a auditoriului.

În final considerăm că publicarea acestordezbateri într-un volum este deosebit de utilă și mulțumim Editurii AGIR pentru sprijinul acordat. Sperăm că exemplul *Secției de Inginerie Mecanică a ASTR* va fi urmat și de celealte secții iar seria *Dezbateri Științifice* se va îmbogății cu noi volume.

Prof.univ.dr.ing. ***Florea CHIRIAC***  
Secretar științific al Secției INGINERIE MECANICĂ



# CUPRINS

## I. Principiul al II-lea al Termodinamicii și Cosmosul / 1

1. Universul și principiul al II-lea al termodinamicii / 3
2. Discuții / 9
  - 2.1. Entropia în descrierea proceselor de dezordine (*acad. Radu Voinea*) / 9
  - 2.2. Despre două tipuri de entropii (*prof.univ.dr.fiz. Mircea Beciu*) / 12
  - 2.3. Expansiunea universului. forțe fundamentale în natură (*conf.univ.dr.fiz. Nicolae Truță*) / 14
  - 2.4. Entropie și dezordine (*prof.univ.dr.ing. Viorel Bădescu*) / 20
  - 2.5. Opinii despre Principiul al doilea al Termodinamicii. Entropie, Ordine-Dezordine, Univers (*prof.univ.dr.ing. Stoian Petrescu*) / 22

## II. Procese de transfer de căldură în micro- și nanostructuri / 41

Nanostructuri în microelectronică și procese de transport de căldură și masă în nanostructuri (*prof.univ.dr.ing. Florea Chiriac*) / 43

## III. Entropia în gândirea economică a savantului american de origine română *Nicholas Georgescu - Roegen* / 51

Legea entropiei și procesul economic (*acad. Radu Voinea*) / 53





ACADEMIEI DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA  
Secția – INGINERIE MECANICĂ

I  
**PRINCIPIUL AL II-LEA  
AL TERMODINAMICII ȘI COSMOSUL**

(Dezbaterea științifică din 17 iunie 2009  
**Moderator:** Prof.univ.dr.ing. *Florea Chiriac*)

**Referatul:**

- *Universul și Prinzipiul al II-lea al Termodinamikii,*  
Prof.univ.dr.ing. *Florea Chiriac*

**Materiale prezentate în cadrul Discuțiilor:**

- *Entropia în descrierea PROCESELOR DE DEZORDINE,*  
Acad. *Radu P. Voinea*
- *Despre două tipuri de entropii,*  
Prof.univ.dr.fiz. *Mircea Beciu*
- *Expansiunea Universului. Forțe fundamentale în natură,*  
Conf.univ.dr.fiz. *Nicolae Truță*
- *Entropie și dezordine,*  
Prof.univ.dr.ing. *Viorel Bădescu*
- *Opinii despre Prinzipiul al doilea al Termodinamikii. Entropie, ordine-dezordine, univers,*  
Prof.univ.dr.ing. *Stoian Petrescu*

## **Participanți:**

Acad. ***Radu Voinea*** – Președintele Academiei de Științe Tehnice; Acad. ***Marius Peculea***; Prof. emerit ***Panaite Mazilu*** – Membru de onoare al Academiei Române, Membru fondator al Academiei de Științe Tehnice; Prof.dr.ing. ***Floreacă Chiriac*** – Membru al Academiei de Științe Tehnice – coordonator al Dezbaterii; Prof.dr.fiz. ***Mircea Beciu*** – Șeful Catedrei de Fizică a UTCB; Conf.dr.fiz. ***Nicolae Truța*** – Catedra de Fizică a UTCB; Conf.dr.ing. ***Florin Baltărețu*** – Catedra de Termotehnică a UTCB; Lector ***Luminița Anghel*** – Catedra de Fizică a UTCB; Lector ***Codărălă Gheorghe*** – Catedra de Fizică a UTCB; Lector dr. ***Cornelia Grofu*** – Catedra de Fizică a UTCB; Lector dr. ***Mona Levai*** – Cat. de Fizică a UTCB; Șef lucr. dr. ing. ***Ion Sora*** - Cat. de Termotehnică a UTCB; Șef lucr.ing. ***Alina Girip*** Cat. de Termotehnică a UTCB; Asist. ***Mihai Niță*** – Catedra de Fizică a UTCB; Asist. ***Marius Mitrea*** – Catedra de Fizică a UTCB; Asist. ***Cristina Radu*** – Catedra de Fizică a UTCB; Asist. ***Gabriela Manolache*** – Catedra de Fizică a UTCB; Dr.ing. ***Ștefan Săvulescu*** – Cercetător; Dr.ing. ***Valentin Feodorov*** – Director General IRIDEX CROUP CONSTRUCTII; Prof.dr.ing. ***Mircea Marinescu*** – Membru Fondator al Academiei de Științe Tehnice; Prof.dr.ing. ***Stoian Petrescu*** – Membru de onoare al Academiei de Științe Tehnice; Prof.dr.ing. ***Alexandru Dobrovicescu*** – Șeful Catedrei de Mașini Termice și Frigorifice Univ. Politehnica București; Prof.dr.ing. ***Liviu Drughiān*** – prodecan Facultatea de Instalații a UTCB; Prof.dr.ing. ***Viorel Bădescu*** – Catedra de Termotehnică, Mașini Termice și Frigorifice a Universității Politehnica București; Prof.dr.ing. ***Robert Gavriliuc*** – Catedra de Termotehnică a UTCB; Prof.dr.ing. ***Grațiela Tărlea*** – Catedra de Termotehnică a UTCB; Prof.dr.ing. ***Dan Paul Stănescu*** – Catedra de Termotehnică a UTCB; Conf.dr.ing. ***Ioan Druică*** – Catedra de Fizică a UTCB; Ing. ***Ioan Corneliu Hențiu*** – IRIDEX GROUP Construcții; Ing. ***Constantin Dumitru*** – Director General MEC; Ing. ***Ioan Zabet*** – doctorand; Ing. ***Răzvan Calotă*** – preparator și doctorand la UTCB

# 1

## UNIVERSUL ȘI PRINCIPIUL AL II-LEA AL TERMODINAMICII

*Prof.univ.dr.ing. Florea Chiriac*

Teoriile științifice actuale stabilesc că universul a apărut printr-un Bing Bang (o mare explozie) acum 13,7 miliarde de ani. Știința modernă nu poate descrie sau explica nimic din ceea ce s-a întâmplat în primele  $10^{-43}$  secunde după Bing Bang (cunoscut și ca timpul Planck, după numele savantului Max Planck, creatorul teoriei cuantice).

Bing Bang-ul a creat spațiul, materia și timpul.

Spațiul exista numai în cadrul universului care nu are exterior. Mărimea universului nu poate fi definită. Infinitul Universului nu se poate defini în limbaj obișnuit; nici Einstein nu a putut să-l definească. După matematicieni, Universul este finit, dar fără margini. Universul observabil este acea parte a Universului de la care lumina ar fi putut să ajungă la noi; are o mărime finită, deoarece, conform estimărilor actuale, a apărut acum 13,7 miliarde de ani și această margine observabilă se îndepărtează cu un an lumină pe an.

După primul timp Planck, Universul inimagineabil de mic și de fierbinte, a început să se destindă și să se răcească. Universul era un ocean de quarcuri fierbinți, fiecare cu o energie enormă, mișcându-se cu o viteză uriașă; nu erau atomi și molecule. *Quarcurile* nu puteau fi „captate” și „închise” în protoni și neutroni. Mai exista și *antiquarcuri* – identice cu sarcini electrice opuse.

Ciocnirile dintre particule și antiparticule duc la dispariția lor și la eliberarea unei cantități mari de energie, o scurtă radiație. Universul era compus în întregime din radiație, care putea produce perechi de particule, care prin ciocnire dispăreau, eliberând energia lor radiației de fond. Expansiunea Universului a dus la scăderea temperaturii. După prima microsecundă temperatura a scăzut sub valoarea critică, de aproximativ zece milioane de grade, quarcurile sunt captate de forța de atracție reciprocă (forță puternică), formând protoni și neutroni (barioni) ce cuprind câte trei quarcuri. S-au format și antibarioni. Numărul acestor particule nu este egal.

***Universul este uniform*** ca structură și temperatură, cu galaxii, distribuite în același fel, fiind denumite „conspirația cosmică”.

Există o lege ce guvernează fizica Bing Bang-ului.

„Perioada de inflație” de la  $10^{-35}$  la  $10^{-32}$  s după Bing Bang, în care Universul s-a mărit de mai multe miliarde de ori, după care viteza de expansiune s-a redus la o valoare relativă stabilă, comparabilă cu cea observabilă astăzi. Această perioadă de inflație explică Uniformitatea Universului. „Viteza de expansiune” în perioada de „inflație” nu a putut fi explicată de savanți; încă se cercetează.

La aproximativ 3 s după Bing Bang temperatura scăzuse la aproximativ 1 miliard de K; trei sferturi din materia Universului era formată din H<sub>2</sub> și restul He. Când universul s-a răcit la o temperatură de numai 3000 K, după aproximativ 300.000 de ani de la Bing Bang, s-a produs o schimbare bruscă; apar primii atomi neutri. Paralel cu materia, s-a separat și radiația de unde electro-magnetice formată din *fotoni*. Universul a devenit transparent, ca urmare a formării *Fondului Cosmic de Microunde* – FCM. Frecvența acestei radiații cosmice de fond – FCM, corespunde unui emițător la o temperatură medie de numai 2,7 K. Se consideră că radiația a fost emisă când Universul avea o temperatură de 3000 K și pe măsură ce a călătorit spre noi, spațiul în care se mișca se mărea continuu, lumina se propaga la lungimi de undă din ce în ce mai mari, ceea ce a condus la temperaturi din ce în ce mai mici. O analiză a FCM a relevat variația de temperatură de ordinul a zecea miile dintr-un grad, variații care reprezintă fluctuații ce au condus la neuniformitatea Universului.

## PRINCIPIUL AL II-lea al TERMODINAMICII

Oamenii de știință aplică Prinzipiul al II-lea al Termodinamicii la studiul universului, considerat ca un *sistem termodinamic izolat*, cu fluctuații interne, care determină variații ale *entropiei sistemului*, fără a ajunge la starea de echilibru termodinamic, moartea termică, caracterizat de *entropie maximă*.

**Entropia** reprezintă numărul de căi (variante) conforme cu legile fizice, prin care o stare fizică se poate realiza. Entropie mare, înseamnă multe variante; de exemplu, dacă o carte are paginile numerotate în ordine 1, 2, ... n, sistemul format din carte este caracterizat de *entropie scăzută*, fiind singura variantă de formare a macrostării. Dacă nu sunt pagini așezate în ordine, avem o *entropie ridicată* a sistemului.

Entropia este o măsură a dezordinii într-un sistem fizic. Sistemele fizice cu mulți constituenți au tendința să evolueze spre dezordine mare, aceasta putându-se realiza pe mai multe căi (variante), deci spre Entropie mare.

Prinzipiul al II-lea al termodinamicii se poate exprima astfel: „*Tendința sistemelor fizice de a evoluă spre stări cu Entropie ridicată*”.

Principiul al II-lea se bazează pe considerente statistice: există mai multe variante pentru ca un sistem să aibă o entropie ridicată, adică sunt mai probabile evoluții ale sistemului spre configurații cu entropie ridicată. Totuși aceasta nu este o lege în sens convențional, putând fi și evenimente care să conducă de la o stare cu entropie mare, la o stare cu entropie mică. De exemplu, o carte dezmembrată aruncată în aer capătă o entropie mare și la cădere să poată fi captate, o parte din pagini, într-un suport, în ordine numerică, atunci entropia sistemului scade.

Principiul al II-lea al termodinamicii ajută și la indicarea unei *sägeți a timpului*, în condițiile în care sistemul are un număr mare de constituenți. De exemplu, dacă într-un film se prezintă modul în care o grupare de oameni, aflați într-un spațiu închis, ies în exterior, atunci ne dăm seama de săgeata timpului, dacă filmul se desfășoară direct sau invers, spre entropie ridicată sau spre entropie scăzută.

Deci: pentru sistemele cu mulți compozienți, trecerea de la entropie scăzută la entropie ridicată – de la ordine la dezordine – este mai ușoară, decât trecerea de la entropia ridicată la entropia scăzută – de la dezordine la ordine – care este mai grea și se produce rar. Această *sägeată entropică* nu este „rigidă”. Există situații în care procesele pot să se desfășoare în sens invers.

*Creșterea entropiei* este numai un adevăr statistic și nu o lege a naturii. Aici este valabilă ecuația lui L. Boltzmann,

$$S = k \cdot \ln P$$

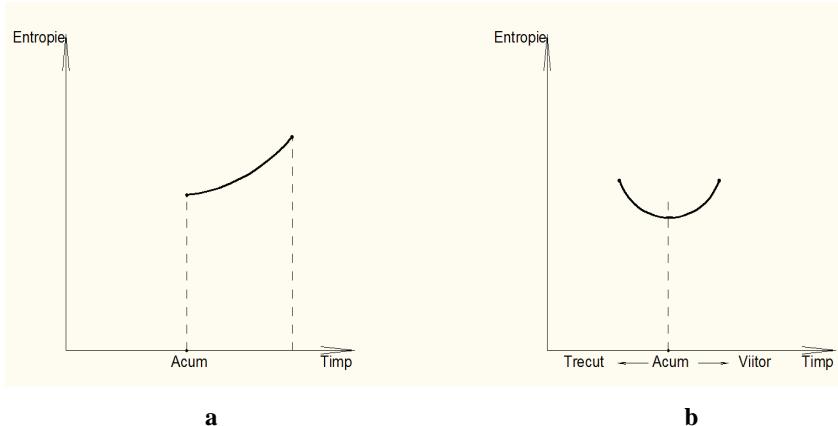
Considerente statistice și probabilistice au dat Principiul al II-lea al termodinamicii și acesta la rândul lui ne asigură o distincție intuitivă între ce înseamnă trecut și viitor; de aici avem o explicație practică a fenomenelor, corespunzător căror lucruri cu un număr mare de constituenți se pot desfășura într-un mod, altele se pot desfășura în alt mod.

Legile fizicii nu fac diferență între trecut și viitor. Legile lui Newton nu au nici o orientare în timp, toate argumentele folosite să arătăm că sistemele evoluează de la entropie mică la entropie mare, spre viitor, lucrează la fel de bine când se aplică spre trecut. Spunem că legile fizicii sunt simetrice în timp.

Principiul al II-lea al termodinamicii stabilește că *entropia crește* în viitor (Fig. 1). Conform legilor fizicii care sunt simetrice în timp, Principiul al II-lea al termodinamicii, implică creșterea entropiei și în viitor și în trecut.

Se propune ca Entropia să fie *sägeata timpului experimental*.

Sistemele termodinamice, pe baza Principiului al II-lea al termodinamicii, au tendința de transformare spre stări cu entropie ridicată și de a rămâne în această stare de entropie ridicată. Entropia ridicată este starea naturală de existență. Această stare de entropie ridicată nu trebuie explicată. Starea caracterizată de entropie scăzută (starea ordonată) trebuie explicată. Aceste stări nu sunt normale.

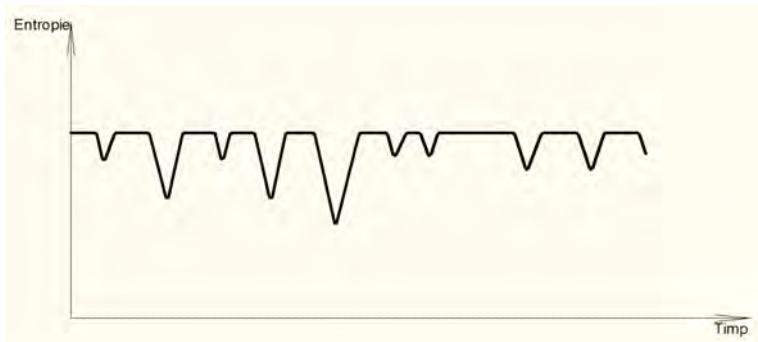


**Fig. 1.** Variația entropiei în timp conform Prinzipiului al II-lea al Termodinamicii:  
**a** - entropia crește spre viitor la momentul  $\tau$ ; **b** - entropia crește spre viitor și spre trecut, conform legilor fizicii, care sunt simetrice în timp

Universul se află în stare de totală dezordine, o stare de entropie ridicată. De la această stare se produc fluctuații de stare către forme de ordine, cu entropie scăzută.

Cu cât este mai mare căderea de entropie, cu atât mai puțin probabilă este fluctuația.

Gazul care umple Universul are o entropie scăzută: Bing Bang-ul a avut stare inițială caracterizată de entropie scăzută. Această stare de ordine este o rămășiță cosmologică.



**Fig. 2.** Fluctuațiile de entropie ale Universului.

Între Entropie și Gravitație există o interdependență. De exemplu, la prima vedere am putea aprecia că norul de gaze inițial rezultat din Bing Bang, fiind fierbinte, avea o entropie ridicată. Dar nu s-a întâmplat acest lucru, Entropia era scăzută din cauza lipsei *Gravitației*.

Gravitația determină formarea de aglomerații de gaz, structură mult mai ordonată. Dacă entropia scade la formarea aglomerărilor, prin degajările de căldură și de energie din reacțiile nucleare se ajunge la creșterea entropiei. Deci Prințipiu al II-lea al termodinamicii subliniază că formarea ordinii este mult depășită de formarea dezordinii.

Formarea stelelor este depășită de creșterea entropiei.

Cu cât aglomerațiile de gaz sunt mai dense, mai masive și mai compacte, cu atât este mai mare entropia.

**Corpurile negre** sunt corperi cu cea mai mare gravitație și compactitate în Univers. Atractia gravitațională este aşa de mare, că nici lumina nu poate să scape din ea și de aceea se numesc *găuri negre*. Spre deosebire de alte corperi cerești găurile negre opresc toată entropia ce o produc (Stephan Hawkung – 1970); ele au entropia maximă.

Vîitorul este direcția creșterii entropiei.

Nu pot să închei această introducere fără a enunța câteva întrebări care au preocupat, preocupa și se pare că nu pot, încă, să fie clarificate.

Se admite faptul că descoperirile care se fac sunt legate de evenimente, de fenomene, dar nu se poate explica întregul film al evoluției sistemului. Amintesc câteva din aceste necunoscute:

Sunt 35 de parametri ai Universului care trebuie să aibă valori cuprinse într-un interval îngust, pentru a face posibilă existența oricărei forme de viață fizică. Dintre acestea mă opresc la câteva:

- **Constanta forțelor de atracție puternice**

Sunt forțe de atracție între protoni și neutroni, care permit existența elementelor chimice, altele decât hidrogenul. Dacă ar fi puțin mai slabe, atunci în Univers ar exista numai hidrogen; aşadar nu ar exista elemente grele, cum ar fi carbonul sau oxigenul, care sunt necesare vieții. Dacă ar fi mai puternice, atunci în Univers nu ar exista hidrogen; din nou, viața nu ar putea exista, de vreme ce hidrogenul este necesar în procesele biochimice.

Domeniul în care aceste forțe pot să varieze este de numai 2% în sensul slabirii lor, până la 0,3% în sensul creșterii lor.

- **Raportul dintre masa neutronului și masa protonului**

Masa neutronului este cu 0,138 % mai mare decât masa protonului și de aceea neutronii au nevoie de puțin mai multă energie pentru a se forma, în comparație cu protonii.

În cursul procesului de răcire a Universului, care a urmat Bing Bang-ului, s-au format de șapte ori mai mulți protoni decât neutroni. Dacă masa neutronilor ar fi cu numai 0,1% mai mare, s-ar forma atât de puțini neutroni, încât n-ar fi existat nici un element chimic greu, necesar vieții.

Surplusul de masă al neutronilor determină și viteza cu care neutronii se dezintegreză în protoni și protonii se constituie în neutroni. Dacă masa

neutronilor ar fi cu numai 0,1% mai mică, s-ar transforma atât de mulți protoni în neutroni, încât toate stelele Universului s-ardezintegra rapid, fie în stele neutronice, fie în găuri negre.

#### • *Raportul dintre electroni și protoni*

Numărul electronilor trebuie să fie egal cu numărul protonilor, cu abatere de  $\pm 1$  din  $10^{37}$ . Dacă această abatere este mai mare sau mai mică, atunci forțele electromagnetice din Univers ar depăși forțele gravitaționale, împiedicând astfel formarea galaxiilor, stelelor și planetelor.

#### • *Viteza de expansiune a universului*

Dacă viteza de expansiune a Universului ar fi mai mică, atunci materia s-ar aglomera în aşa măsură încât s-ar transforma în întregime într-o gaură neagră gigantică. Dacă viteza de expansiune a Universului ar fi mai mare, atunci materia s-ar dispersa în aşa măsură, încât n-ar mai fi posibilă nici formarea stelelor și a planetelor.

Viteza de expansiune a Universului este guvernată de densitatea cosmică masică și de densitatea energiei spațiului cosmic.

Densitatea cosmică masică trebuie să fie foarte precis reglată, cu o eroare mai mică de  $1/10^{60}$ .

Densitatea energiei spațiului cosmic trebuie să fie foarte precis reglată, cu o eroare mai mică de  $1/10^{120}$ .

Lawrence Krauss a afirmat că aceasta este cea mai precisă reglare descoperită până în prezent în fizică.

Sir Fredrich Hoyle, un ateu convins, reflectând asupra rezultatelor obținute de știință, spunea „o suprainteligență s-a jucat cu fizica, chimia și biologia”.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. Brian Green. *The Fabric of the Cosmos*.
- [2]. Brian May, Alfred A. Kneph, Patrick Moore. New York 2006. **Bang**, Enciclopedia RAO, 2007.
- [3]. Florea Chiriac, Ben Chambers, Rodica Dumitrescu, **Cuceririle științei confirmă existența actului de creație a universului**.

## 2

### DISCUTII

#### **2.1. ENTROPIA ÎN DESCRIEREA PROCESELOR DE DEZORDINE**

*Acad. Radu P. Voinea*

În orice domeniu al unei științe se disting două mărimi esențiale: o **mărime de stare și o mărime de proces**, fenomenul studiat fiind o evoluție între două mărimi de stare, printr-o mărime de proces. Astfel, în mecanica clasică **energia cinetică** este o **mărime de stare** ce caracterizează un sistem mecanic, iar **lucrul mecanic** este o **mărime de proces** care depinde de drumurile parcuse de particulele sistemului. De exemplu, în cazul unei singure forțe  $\bar{F}$  acționând asupra unui punct material

$$E - E_0 = \int \bar{F} \cdot d\bar{r} = \int (X dx + Y dy + Z dz) \quad (1)$$

Firește, există și cazuri particulare în care lucrul mecanic al unei forțe nu depinde de drumul parcurs de forță, când forța  $\bar{F}$  este gradientul cu semn schimbat al unei funcții  $V$ , deci când avem

$$E - E_0 = - \int \text{grad } V \cdot d\bar{r} = - \int \left( \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz \right) = V_0 - V \quad (2)$$

relație din care se deduce celebra lege a conservării energiei mecanice.

$$E + V = E_0 + V_0 = \text{constantă} \quad (3)$$

În acest caz  $V$  este de asemenea o mărime de stare și poartă numele de **energie potențială**. Denumirea este justificată, ca de exemplu în cazul unei uzine hidroelectrice care, pentru un moment nu funcționează și la care, multiplicând greutatea volumului de apă din spatele barajului cu înălțimea centrului de greutate al acestui volum, deasupra axului turbinei hidroelectrice aflăm o energie potențială, posibilă de a fi valorificată dacă se pune în funcțiune turbina hidraulică, cuplată cu generatorul de curent electric.

Fenomenele mecanice ideale (fără frecări, fără rezistență aerului etc.) sunt reversibile. Dacă se aruncă o particulă materială în sus, în ipoteza neglijării rezistenței aerului, ea va urca până la o înălțime  $h$  într-un anumit interval de timp  $\Delta t$ , după care va coborî în același interval de timp, ajungând

în punctul din care a fost aruncat cu o viteza egală în modul cu viteza inițială. În anul 1926 Max PLANCK ajunsese la concluzia că: „Toate procesele în care apare frecare, sunt ireversibile”. În realitate toate procesele naturale sunt ireversibile; procesele reversibile sunt cazuri idealizate, la granița proceselor ireversibile.

În Termodinamică a intervenit o mărime nouă, cea de *cantitate de căldură*. Cantitatea elementară de căldură  $dQ$  nu trebuie interpretată ca diferențiala totală a unei funcții  $Q$  aşa cum în mecanică  $dE$  și  $dV$  sunt diferențiale totale ale funcțiilor  $E$  (energie cinetică) și  $V$  (energie potențială). **Mărimea  $dQ$  este o formă diferențială neintegrabilă**, aşa cum, de exemplu în Mecanica Analitică sunt formele Plaff, caracteristice sistemelor neolonom, adică celor sisteme mecanice la a căror mișcare se pun condiții vitezelor, fără a exista condiții și asupra coordonatelor, cum ar fi de exemplu cazul rostogolirii fără alunecare în care se pune condiția ca viteza punctului de contact să fie nulă. În anumite condiții o formă diferențială neintegrabilă poate deveni integrabilă dacă este multiplicată cu o anumită funcție care poartă numele de *factor integrant*. Astfel, forma diferențială  $ydx - xdy$ , neintegrabilă deoarece nu sunt egale, devine integrabilă dacă este multiplicată cu  $1/x^2$ . În acest caz:

$$(ydx - xdy)/x^2 = d(y/x)$$

În termodinamică este meritul lui Max PLANCK și al lui Rudolf CLAUSIUS de a fi găsit un factor integrant al formei diferențiale  $dQ$ , egal cu  $1/T$ , în care  $T$  este temperatura absolută. S-a ajuns astfel la noțiunea de **entropie**, definită prin relația cunoscută:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (4)$$

În termodinamică se arată că pentru procese ciclice reversibile variația entropică este nulă în timp ce, la procesele ireversibile, entropia crește.

Entropia, definită pentru început, ca o mărime de stare, a unui sistem termodinamic, a căpătat pe parcurs importanță și în analiza evoluțiilor sistemelor din alte domenii ale vieții științifice, precum economia, cosmologia, științele sociale etc. Așa cum se sublinia și în referatul prezentat, entropia a căpătat o utilizare și în descrierea PROCESELOR DE DEZORDINE, ca procese de desfășurare a fenomenelor naturale. Prin creșterea dezordinii crește și entropia proceselor, dar această creștere este un proces probabilistic, în care apar fluctuații, cu scăderi de entropie și care în cazul universului nu conduc la o stare de echilibru cu entropie maximă, și deci la o „MOARTE TERMICĂ”, cum a prezis R. Clausius.

Creșterea entropică în cazul ciclurilor proceselor ireversibile, practic a tuturor fenomenelor din natură, a condus la concluzia că entropia ar fi o măsură a dezordinii. Plecând de la această interpretare, Ludwig Boltzmann a căutat

să rezolve prin calculul probabilităților problema unei funcții care să măsoare dezordinea și a definit această funcție ca fiind entropia și anume

$$S = k \ln P \quad (5)$$

unde prin  $k$  s-a notat constanta lui Boltzmann (egală cu  $k = 1,38065 \cdot 10^{-23}$  J/K), iar  $P$  este probabilitatea termodinamică. Personal nu sunt convins că formulele (4) și (5) reprezintă aceeași mărime și continu să cred că adevărata definiție a entropiei este dată de expresia (4).

\* \* \*

De câteva zeci de ani noțiunea de entropie a fost folosită în analiza fenomenelor economice. Este vorba de lucrările omului de știință american, de origine română **Nicholas Georgescu-Roegen**. Așa cum a declarat în anul 1970 la Universitatea Alabama din SUA „*din punctul de vedere al termodinamicii materialele și energia care intră în procesul economic se află într-o stare de joasă entropie și vor părăsi procesul economic într-o stare de înaltă entropie*” și că „*procesul economic transformă numai resurse naturale valoroase (cu entropie scăzută), în pierdere (entropie ridicată)*”. În continuare spune „*numai resursele naturale terestre ne oferă materialele cu entropie scăzută din care prelucrăm majoritatea elementelor utile*” și că „*dezvoltarea economică în abundență industrială poate fi binecuvântată pentru noi acum și pentru cei ce se vor bucura de ea în viitorul apropiat, dar va avea efecte distructive asupra speciei umane*”.

Altfel spus, procesul economic transformă resursele naturale valoroase (cu entropie scăzută), în deșeuri (cu entropie ridicată). Dezvoltarea economică în condițiile unei abundențe industriale, poate fi binecuvântată pentru noi, cei de astăzi și pentru cei din viitorul apropiat, dar cu efecte nocive pentru specia umană.

În aceeași perioadă, 1969 sau 1970, Nicholas Roegen a făcut o vizită, împreună cu soția, în România. Eu eram secretarul general al Academiei Române și mă ocupam printre altele și de primirea oamenilor de știință din străinătate. Am avut astfel prilejul să stau mai mult de vorbă cu dânsul. A ținut o frumoasă conferință în localul Institutului de Matematică în care a arătat că bunurile materiale sunt de două feluri: **fond** și **flux**. Se numește **fond** un bun material care poate fi consumat imediat sau într-un interval de timp foarte scurt, cum ar fi, de exemplu o cutie cu bomboane oferită unor copii. A menționat că și bogățiile subterane intră în aceeași categorie. Dacă aceste resurse – petrol, cărbune, gaze naturale, substanțe minerale etc. – se vor termina în 50, 100, 150 de ani, având în vedere ritmurile de exploatari actuale este mai puțin important; important este faptul că se vor termina. Se numește **flux** un bun material cu o durată foarte mare, dar care nu poate fi consumat

imediat sau într-un timp foarte scurt, ci treptat, treptat, un asemenea flux fiind, de exemplu o cameră de hotel în care pot fi cazați mai mulți turiști, dar nu toți în același timp, ci în fiecare zi, câte unul. A mai dat exemplul energiei solare care nu poate fi folosită toată deodată, ci în fiecare zi câte o parte. Având în vedere faptul că energia solară este practic vorbind, inepuizabilă, ea va fi energia viitorului îndepărtat al omenirii. Roegen a atras însă atenția că utilizarea energiei solare este imposibilă fără puțină energie extrasă din pământ și a dat ca exemplu agricultura modernă care folosește din plin energia solară, dar în care tractoarele, pentru a funcționa au nevoie de motorină. De aici obligația morală pe care o avem de a folosi cu chibzuință bogățiile subterane. În partea a doua a expunerii, Nicholas Roegen a mai dat un exemplu, de data aceasta pur economic.

„Să ne închipuim că undeva se află depozitată o sumă uriașă de bani, din care se poate scoate zilnic bani cu ajutorul unor cecuri speciale. Numărul acestor cecuri este uriaș. Pentru a putea totuși scoate banii, cecurile trebuie scrise cu o cerneală specială, aflată într-o sticluță nu prea mare. Știind că, în momentul în care se termină cerneala specială din sticluță, nu se mai poate scoate niciun ban, deși numărul de bani și de cecuri este enorm, s-a întrebat N. Roegen, ne-am permite luxul să scriem cu cerneala specială scrisori de dragoste?” Și a încheiat frumoasa conferință cu fraza:

„Este ceea ce facem noi astăzi!”

Savantul de origine română, Nicholas Georgescu-Roegen a militat zadarnic pentru ceea ce am putea numi o gândire entropică în economie. Glasul lui a vorbit în deșert în SUA. A fost propus de mai multe ori pentru a fi laureat al premiului Nobel, dar n-a fost reținut niciodată. Gândirea „entropică” a prof. Nicolae Georgescu-Roegen, este recomandabil să ne aplecăm asupra ei cu mai multă silință și să-o supunem în continuare atenției economistilor. Propun ca într-una din ședințele viitoare ale cercului nostru să purtăm discuții cu privire la operele lui Nicholas Georgescu-Roegen.

În încheiere apreciez că dezbaterea organizată astăzi este interesantă și importantă și se poate continua în cercurile științifice.

## 2. 2. DESPRE DOUĂ TIPURI DE ENTROPII

*Prof.dr.fiz. Mircea Beciu*

Am o singură obiecție față de interesanta prezentare a antevorbitorului, nu există o entropie ci mai multe mărimi care poartă acest nume (ex. entropia Tsallis, entropia Renye etc.)

Scopul intervenției mele este de a vorbi despre două tipuri de entropii: „coarse-grained entropy” și „fine-grained entropy” care se deosebesc fundamental. În lipsa unei traduceri fericite și încetătenite în limba română

voi păstra denumirile englezesti încercând să fac sensibili acești termeni prin definiții (genul proxim și diferența specifică) și exemple.

Entropia „*course grained*” corespunde cu ceea ce se înțelege de obicei în termodinamică prin *entropie*. Asupra ei nu există nicio îndoială: această entropie este o funcție nedescrescătoare în timp în condiții adecvate (sisteme izolate, evoluții reversibile).

Pe de altă parte o teoremă din mecanica clasică (teorema Liouville) ne asigură că volumul din spațiul fazelor rămâne constant în cursul evoluției. Numărul de grade de libertate care prin logaritmare ne dă expresia entropiei rămâne același și, deci, entropia este o mărime conservativă. Aceasta corespunde mai sus-menționatei entropii „*fine-grained*”. Din punct de vedere practic spațiul fazelor poate deveni din ce în ce mai convolut și fractal și atunci neglijând detaliile prin mediere trecem la o entropie „*course grained*”.

În mecanica cuantică echivalentul teoremei Liouville este dat de unitariitatea matricii S (evoluția stărilor cuantice se face printr-o matrice unitară); această afirmație reflectă faptul că suma probabilităților diverselor procese trebuie să fie egală cu 1. Deci, chiar la un nivel fundamental entropia „*fine-grained*” este o mărime conservativă. O altă denumire posibilă pentru aceasta din urmă ar putea fi „*entropie informațională*” în sensul definit de Shannon și Von Neumann.

În orice caz deosebirea dintre cele două tipuri de entropii „*fine-grained*” și respectiv „*coarse-grained*” este mai mult decât semantică, prima fiind o mărime strict conservativă. Distincția este importantă și în legătură cu paradoxul informațional al găurilor negre și privitor la disputa (care a durat vreo 20 de ani) între două școli de gândire: pe de o parte S. Hawking (Cambridge U.) care susținea că găurile negre sunt niște malaxoare de informație și, pe de alta L. Susskind (Stanford U.). Câștigătorul acestei dispute este L. Susskind care printr-o serie de experimente *gedanken* subtile (experimentele de laborator cu găuri negre nu sunt fezabile!) a demonstrat că informația se conservă chiar și în sisteme fizice exotice precum găurile negre. Câștigul acestei dispute a fost principiul holographic: entropia, în prezența gravitației, **nu** este o mărime extensivă (proporțională cu volumul) ci proporțională cu aria orizontului de evenimente (A); trăim într-o iluzie: spațiul nu este tridimensional, toată informația este codificată pe o suprafață de tip luminos, asemănătoare unei holograme.

Dar, despre principiul holographic, strict legat de semnificația entropiei voi vorbi cu altă ocazie.

Mulțumesc pentru atenție.

## 2.3. EXPANSIUNEA UNIVERSULUI. FORȚE FUNDAMENTALE ÎN NATURĂ

*Conf.dr.fiz. Nicolae Truță*

Apreciez că despre cele trei subiecte abordate: expansiunea Universului, forțele fundamentale și Marea Unificare și Fizica Statistică ca abordare teoretică asociată abordării experimentale, sunt foarte ample și nu suportă o prezentare numai în câteva rânduri. Voi încerca totuși să fac câte un mic rezumat al primelor două.

### EXPANSIUNEA UNIVERSULUI

Prima idee importantă este aceea că **Universul nu are un exterior!** Materia și energia există doar în cadrul Universului, iar ele determină și proprietățile spațiale și temporale locale.

Modelul Big Bang-ului susține că Universul pe care-l cunoaștem s-a format acum 13,7 miliarde de ani. Există la acel moment o „singularitate” (o „gaură neagră primordială” – dacă dorți) despre care știința actuală nu permite să se facă afirmații privind ceea ce se întâmplă în „interiorul” său (presupunând că un astfel de „interior” ar fi existat). Timpul și spațiul erau noțiuni fără sens fizic la acea vreme. Este posibil – de exemplu, printr-o fluctuație cuantică – ca un proces necunoscut să fi generat „explozia” acelei găuri negre primordiale.

**Modelul Standard** poate face supozitii doar despre fapte petrecute **după** un interval de timp – numit *timpul Planck* – care are o valoare de circa  $10^{-43}$  s.

$$(\tau \approx \sqrt{\frac{hG}{c^5}})$$

unde  $h$  este constanta lui Planck,  $G$  este constanta atracției universale, iar  $c$  este viteza luminii în vid.

Atunci, Universul ar fi trebuit să aibă o dimensiune egală cu *lungimea Planck*, circa  $10^{-35}$  m

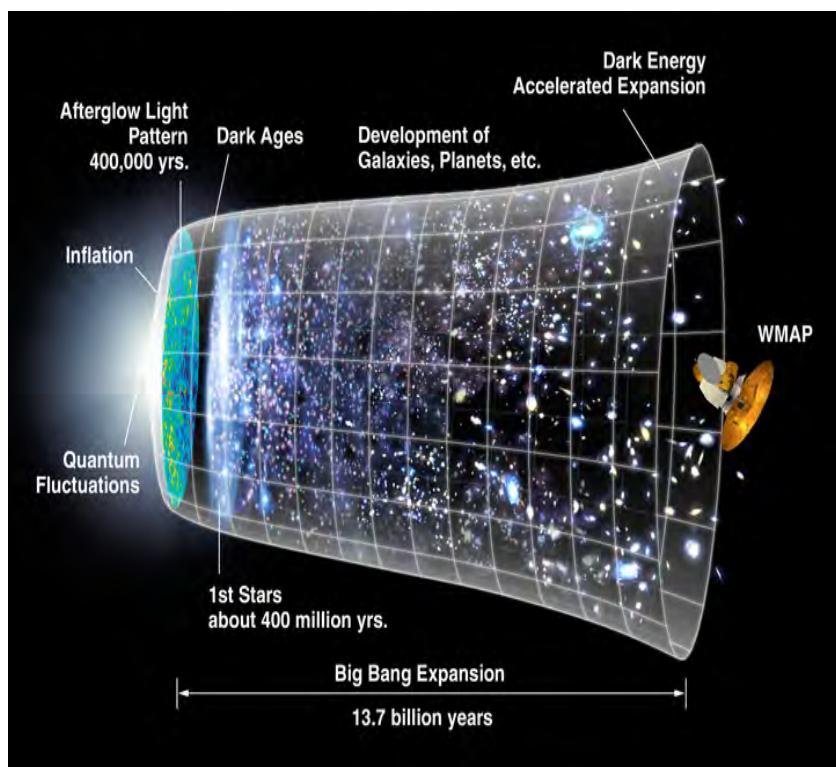
$$(l \approx \sqrt{\frac{hG}{c^3}}).$$

La această „vârstă fragedă” temperatura era inimaginabil de mare, de ordinul a  $10^{32}$  K. Apoi, Universul a continuat să se mărească și să se răcească.

La momentul  $0 + 10^{-37}$  s, a avut loc o tranziție de fază, în cursul căreia s-a produs aşa numita *inflație*, proces caracterizat de o creștere exponențială

a dimensiunilor spațiale. În urma inflației, conținutul Universului se prezenta ca o plasmă formată din quarci și gluoni, ca și din unele particule elementare. În cursul proceselor extrem de rapide se formau și se anihilau perechi de particule și antiparticule.

Un moment special a fost acela al unei violări de simetrie (violarea legii conservării numărului de barioni), când numărul quarcilor a fost cu unul la 30.000.000 mai mare decât al antiparticulelor corespunzătoare, ceea ce este valabil și pentru leptoni (în proporție de 1 la 10.000.000). Urmarea? Dispariția treptată a antimateriei după procese de anihilare și predominanța materiei asupra antimateriei în Universul actual. Astfel, la momentul  $0 + 10^{-10}$  s s-ar părea că numărul de protoni și neutroni a atins valoarea actuală, ceea ce pentru electroni s-a întâmplat la momentul  $0 + 1$  s.



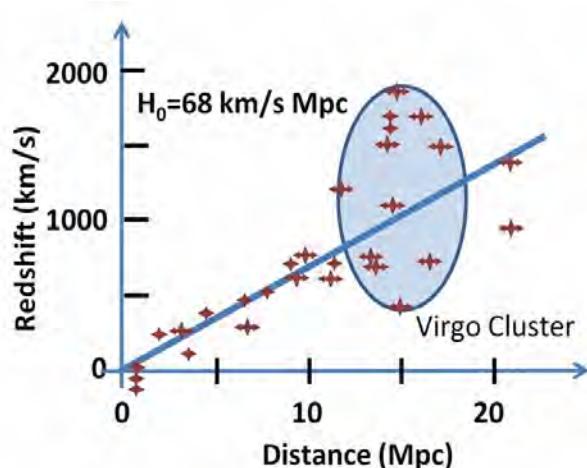
[http://www.news.cornell.edu/stories/March06/CMB\\_Timeline300.jpg](http://www.news.cornell.edu/stories/March06/CMB_Timeline300.jpg)

A urmat nucleosinteza (formarea primelor nucleee atomice). Apoi, au început să se formeze primii atomi, radiația s-a decuplat de substanță, Universul devenind transparent la radiație, iar gravitația și-a început rolul major în evoluția Universului (cam cu 400.000 de ani după momentul zero).

„Amintirea” acestui moment este reprezentată de radiația relicvă (sau „radiația cosmică de fond”).

Sub influența gravitației, materia a început să „coaguleze”, formându-se în cele din urmă protostelete, stelele, galaxiile etc. În acest context, se pare că Soarele s-a format acum circa 4,6 miliarde de ani, ca o consecință a unei sau unor supernove produse în această regiune a spațiului.

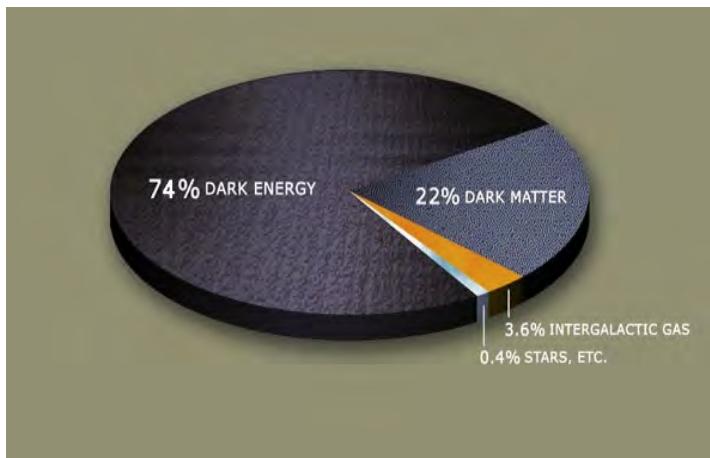
Ce se întâmplă astăzi? Constatăm că Universul continuă să se extindă. Mai mult, dilatarea Universului pare să se accelereze, ceea ce pare curios dacă luăm în considerare doar forțele gravitaționale care ar trebui să producă o încetinire a expansiunii.



[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hubble\\_constant.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hubble_constant.jpg)

Cum putem să tragem această concluzie? Se poate examina spectroscopic lumina emisă de stele sau galaxii foarte îndepărtate. Analiza rezultatelor a condus la concluzia că deplasarea spre roșu a acestor spectre este direct proporțională cu distanța până obiectele observate. Pe de altă parte, deplasarea spre roșu este o consecință a vitezei de îndepărțare a obiectelor respective în raport cu locul în care se face observarea. În concluzie: **orice obiect cosmic se îndepărtează în raport cu orice observator cu o viteză cu atât mai mare cu cât el este mai îndepărtat**. Situația este perfect similară cu aceea a punctelor aflate pe suprafața unui balon de cauciuc care se depărtează toate în raport cu celelalte în cursul umflării balonului. Chiar dacă punctele de pe suprafața balonului sunt nemîșcate în raport cu această suprafață și cu o rețea de coordonate trasa pe ea, distanța fizică dintre ele crește în timp! În acest sens trebuie înțeleasă expansiunea Universului, scara dimensiunilor fizice crește accelerat în timp.

Fenomenul descris mai sus este oarecum incomod, iar explicațiile pot fi destul de diverse. Una dintre explicații ar fi aceea că există în univers o mare cantitate de energie (masă) care nu este accesibilă observației noastre. Materia „vizibilă” reprezintă doar 4% din masa Universului. Materia „neagră”, inaccesibilă observației directe, ar constitui 22%. Restul de 74% ar fi „energia neagră”, responsabilă pentru crearea unei presiuni negative, având ca efect creșterea ratei de expansiune a Universului.



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:DarkMatterPie.jpg>

Voi încheia spunând că nivelul actual de cunoștințe teoretice nu permite încă certificarea unui anumit model cosmologic, atât privind „începuturile” evoluției Universului (momente de timp sub  $0 + 10^{-15}$  s), cât și evoluțiile ulterioare ale acestuia.

## BIBLIOGRAFIE

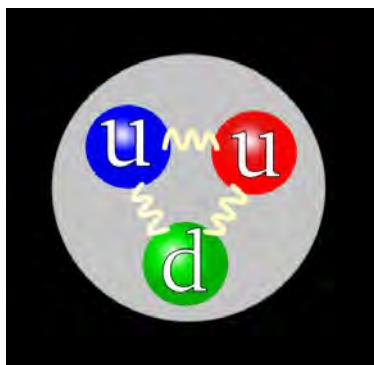
- [1]. Singh S., *Big Bang: The Origin of the Universe*.
- [2]. Hawking S.W., *A Brief History of Time*.
- [3]. Steven Weinberg, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*.

## TEORIA DESPRE ORICE (THEORY OF EVERYTHING – TOE)

Există patru forțe fundamentale în natură: forța electromagnetică, forța slabă, forța tare și gravitația.

**Forța electromagnetică** este forța cu care câmpul electromagnetic acționează asupra sarcinilor electrice. Particulele de schimb sunt fotonii.

**Forța slabă** are ca particule de schimb bozonii W și Z. Este singura interacțiune care are capacitatea de a schimba „aroma” unui quark (quarcii au șase feluri de „arome”: u, d, s, c, t, b, și trei „culori”). Interacțiunea slabă explică, de exemplu, dezintegrarea beta, în care din nucleu se emite o particulă beta (electron sau pozitron). În figura alăturată este prezentată odezintegrare beta negativă în cursul căreia un neutron se transformă într-un proton, iar un quark **d** devine quark **u**.



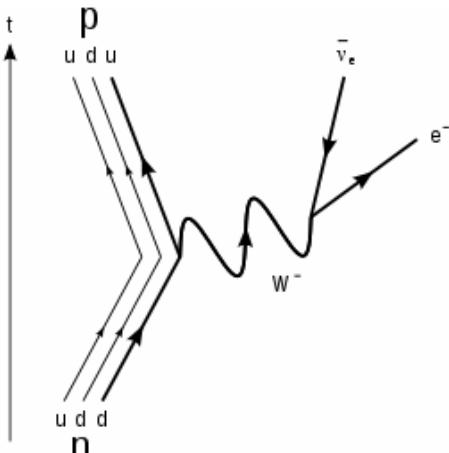
**Structura unui proton**

**Forța tare** este acea forță care asigură coeziunea dintre quarcii ce compun un barion sau un mezon, precum și forța care, ca efect secundar (rezidual), asigură stabilitatea nucleului atomic.

Particulele de schimb care caracterizează forța tare se numesc *mezoni*. Interacțiunea tare are ca sarcină „culoarea” quarcilor sau gluonilor (particule care mediază interacțiunea tare). Interacțiunea tare se manifestă atât asupra quarcilor cât și asupra gluonilor. Studiul forței tari este obiectul cromodinamicii cuantice.

**Forța gravitațională** caracterizează atracția dintre corpurile care au masă. Particula de schimb în cazul câmpului gravitațional se presupune a fi gravitonul (existența acestuia nu este confirmată experimental).

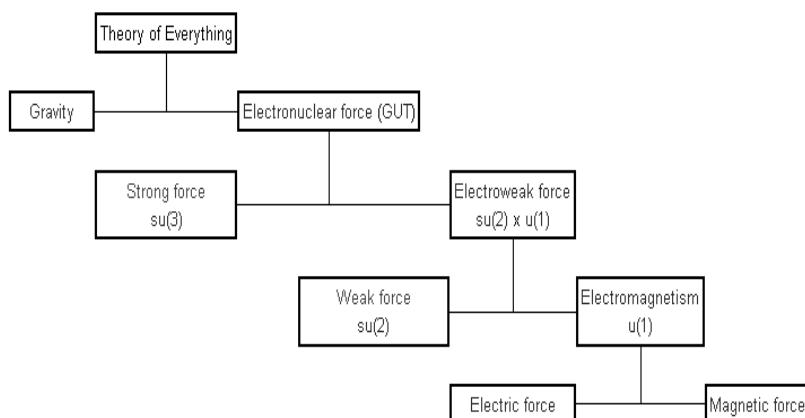
Forța tare este de circa 100 de ori mai puternică decât forța electromagnetică, de  $10^{13}$  ori mai puternică decât forța slabă și de  $10^{38}$  ori mai puternică decât forța gravitațională.



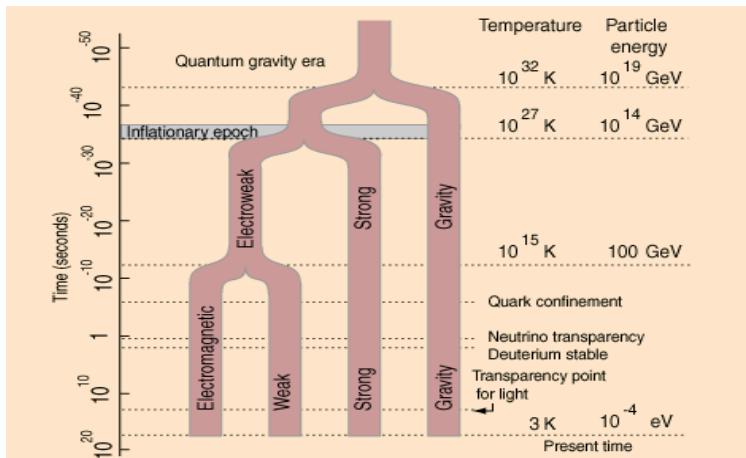
Secoulul 19 a adus după sine o teorie unificatoare privind forța electrostatică și forța magnetică. Tendința secolului 20 a fost aceea de a găsi o explicație comună privind esența tuturor celor patru forțe fundamentale. Aceste încercări s-au dovedit dificile și nu încununate toate de succes. În mare parte aceste încercări se bazează pe un aparat matematic complex și trebuie supuse verificării experimentale. În parte, dovezile experimentale par să confirme anumite teorii, dar capacitatele

tehnice actuale nu permit încă verificarea tuturor ipotezelor teoretice. În mod special, testarea teoriilor privind gravitația cere construirea unor acceleratoare de particule extrem de performante, care să asigure energii de coliziune similare cu cele din primele momente de după Big Bang.

Schema de mai jos prezintă rezultatele obținute până acum. Pare cert drumul până la forța electroslabă, este încă în discuție forța electronucleară, rămânând o singură piedică majoră: unificarea interacțiunii electronucleare cu cea gravitațională. Un pas crucial în acceptarea concluziilor teoretice ar putea fi descoperirea bozonului Higgs în experimentele de la Geneva. Existența bozonului Higgs ar explica de ce particulele au masă și ar confirma Modelul Standard pe care se bazează teoriile referitoare la Big Bang.



Prezint în încheiere o schemă care, conform Modelului Standard, ar înfățișa momentele în care se produce decuplarea celor patru interacțiuni fundamentale. Schema poate fi înțeleasă mai bine în asociere cu scurta istorie a evoluției Universului pe care am făcut-o în materialul precedent.



## 2.4. ENTROPIE ȘI DEZORDINE

*Prof.dr.ing. Viorel Bădescu*

Intervenția d-lui Acad. Radu Voinea a deschis un subiect interesant, acela al relației dintre entropie și dezordine. Entropia Boltzmann-Gibbs-Shannon este definită prin relația cunoscută:

$$S = -k \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i \quad (1)$$

unde  $p_i$  este probabilitatea celei de a lua stări din cele  $N$  stări accesibile sistemului, iar  $k$  este constanta lui Boltzmann. Relația (1) este valabilă atât la echilibru cât și la ne-echilibru. Cazul cel mai simplu, al unui sistem izolat aflat la echilibru, corespunde distribuției echiprobabile:

$$p_{i,ech} = \frac{1}{N} \quad (2)$$

care conduce la un maxim al entropiei, obținut înlocuind relația (2) în relația (1), adică:

$$S_{ech} = k \ln N \quad (3)$$

Această faimoasă relație (3) este cea gravată pe piatra mormântului lui Boltzmann, cu o notație diferită.

Există o tradiție deja în asocierea entropiei Boltzmann-Gibbs-Shannon cu noțiunea de dezordine. Pe linia acestei tradiții, creșterea entropiei înseamnă în același timp și creșterea dezordinii. Acest lucru are sens dacă prindezordine înțelegem incertitudinea de a găsi sistemul într-o stare particulară din cele permise. Într-adevăr, pentru același  $N$ , entropia de echilibru dată de (3) are valoare mai mare decât entropia corespunzătoare unui ne-echilibru oarecare, dată de (1). În același timp, la echilibru, oricare dintre stările  $i$  are aceeași probabilitate de realizare; prin urmare dezordinea este maximă. Deci la entropie maximă ar corespunde dezordine maximă.

Totuși, interpretarea anterioară are un neajuns, care derivă în ultimă instanță din faptul că relațiile (1) și (3) se referă la o proprietate extensivă. Prin creșterea mărimei sistemului, crește numărul stărilor accesibile  $N$  și entropia crește. Consecința este că, dacă asocierea entropie-dezordine se menține, dezordinea va crește prin creșterea mărimei sistemului. Se poate ajunge astfel (de exemplu) la afirmația, inacceptabilă pentru unii, că un sistem format din doi moli de heliu este mai dezordonat decât un sistem format dintr-un singur mol de heliu (la aceeași presiune, temperatură etc).

Observația anterioară a creat dificultăți mai ales în cazul aplicațiilor termodinamicii în biologie, unde sistemele, prin creștere, arată în mod evident o creștere a gradului de organizare (care de obicei este asociată unei scăderi a dezordinii).

O primă încercare de a defini riguros dezordinea  $\Delta$  a unui sistem căruia îi poate fi asociată o entropie  $S$  a fost făcută în 1984 de Peter Landsberg [1]:

$$\Delta \equiv S / S_{\max} \quad (4)$$

unde  $S_{\max}$  este entropia maximă a sistemului, în condițiile unor restricții particolare (de exemplu, constanta energiei sau a numărului de particule).

Ulterior dezordinea a fost definită în numeroase alte moduri, trecute în revistă de exemplu în [2]. Toate aceste dezvoltări, inclusiv relația (4), au în comun faptul că mărimea (cantitatea, proprietatea) denumită dezordine nu depinde de mărimea sistemului.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. P. T. Landsberg, Phys Lett 102A, 171, 1984
- [2]. M. Davidson, J. S. Shiner, Adv Complex Systems, 8, 125, 2005.

## 2.5. OPINII DESPRE PRINCIPIUL AL II-LEA AL TERMODINAMICII. ENTROPIE, ORDINE – DEZORDINE, UNIVERS

*Prof.univ.dr.ing. Stoian Petrescu*

Cred că domnul Profesor Florea Chiriac merită sincere felicitări pentru inițiativa foarte lăudabilă de a ne invita la o dezbatere ca aceasta și a provoca prin prezentarea făcută, și prin lucrarea publicată (pe care am citit-o anterior) discuții foarte interesante și utile despre conexiunile ce ar putea exista între Prinzipiul II al Termodinamicii și Univers, și respectiv rolul pe care eventual Entropia l-ar putea juca în aprecierea/evaluarea *Ordinei* sau *Dezordinei* din Univers.

În cele ce urmează voi expune, în esență, ceea ce am spus cu ocazia discuțiilor care au urmat comunicării prezentate ca introducere la dezbateri, dar vă rog totodată să-mi permiteți să mai adaug (și chiar să dezvolt puțin) unele idei, tocmai pentru că au fost stimulate atât de către dl. Prof. Chiriac, cât și de discuțiile și părerile exprimate de colegi cu această ocazie. În plus voi trimite la câteva surse [1-15], unde am dezvoltat sau se dezvoltă mai mult, unele dintre aceste idei.

Cred că este foarte bine „să mai gândim și chiar să regândim”, sau să mai ținem cont și de părerile altora și să dezbatem de fapt acest subiect fascinant, dar și extrem de important, atât pentru Știință în general cât și pentru Inginerie, în special, datorită implicațiilor privind dezvoltarea noilor Metode de Evaluare, Studiu și Optimizare a Proceselor Irreversibile din mașinile și instalațiile termice.

De aceea am optat imediat foarte favorabil, energetic și entuziasmat pentru continuarea acestor dezbateri, în luarea mea de cuvânt, cât și după aceea.

Propunerea domnului Academician Radu Voinea de a face o expunere scrisă a ideilor spuse cu acea ocazie am primit-o cu mare entuziasm. Si iată ca am trecut la lucru...

Aceste discuții le consider că sunt deosebit de utile, chiar și pentru clarificarea noastră ca profesori, pentru a înțelege mai bine Prinzipiul II și în consecință de „a-l preda mai bine”, astfel încât studenții noștri - viitorii absolvenți și utilizatori ai acestor noțiuni și concepte - să poată la rândul lor să stăpânească mai bine Prinzipiul II, Entropia, precum și utilizarea ei, ca „instrument de lucru extrem de puternic și important” în proiectare, cercetare, optimizare, îmbunătățiri, perfecționări, și chiar în analize de invenții și inovații...

După scurta mea introducere... care cred că nu a atras prea mult atenția... am formulat o frază menită să atragă atenția (deci să scadă Entropia și să crească Ordinea...), dat fiind faptul că intervenția mea s-a întâmplat să fie ultima, și... deja timpul, răbdarea și atenția erau către sfârșitul „resurselor obișnuite”, pentru astfel de manifestări...

Și cum între Entropie și Timp știam deja cu toții că există o strânsă corelație... „Săgeata Timpului” (după Edington) riscam să vorbesc „în van” sau cu „mult zgomot de fond” (crescuse deja Dezordinea, deci Entropia începea să crească în „sistemu nostru închis” ... dincolo de orice control...) Așa că „mi-am asumat riscul să zic ceva de genul”:.... „Dar nu cred că dorîți să ascultați ceea ce urmează...”

Desigur că „la o astfel de afirmație” s-a așternut liniștea, și Entropia a scăzut, ca urmare a unui efort binevenit și apreciat de creștere a atenției (Ordinei) auditoriului... (pe care desigur l-am apreciat atunci... și îl apreciez în continuare foarte mult).

Ceea ce eu aveam de gând să spun atunci, nu cred însă că făcea parte din „așteptările auditoriului”...

Eu aveam de gând să afirm o poziție destul de sceptică privind „adoptarea directă și nu suficient de critică” a conceptului de Entropie din Termodinamica Clasică (Fenomenologică - Clausius sau chiar Statistică - Boltzmann), aplicat la „Întregul Univers”, urmând de fapt aici unele din ideile lui Prigogine din finalul cărții sale: „*Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes*” [1], devenită celebră, care ulterior a dezvoltat-o, „până la obținerea unui premiu Nobel”...

[Profesorul sau Onsager, care a luat și el un premiu Nobel prin anii 1980', a deschis de fapt acest domeniu în 1930, și a afirmat pentru prima oară că Prinzipiul II se aplică și la organisme („sistemele” vii-plante și animale. Cu aceasta, după aplicarea de către Planck la radiație și de către Onsager la sistemele vii, generalizarea Prinzipiului II era „aproape completă”].

Așa cum mă așteptam, mi s-a părut că auditoriul a fost surprins de „poziția lui Prigogine” [1], având de fapt aceeași reacție pe care am avut-o și eu, cu mulți ani în urmă, când și eu am fost surprins atunci, când am aflat citând în finalul cărții [1] că:... Entropia, așa cum era introdusă în Termodinamica Clasică și chiar aşa cum era folosită deja în cadrul Termodinamicii Fenomenologice Irreversibile (ca Sursă de Entropie - măsurând ireversibilitatea generată în sistem, în unitatea de timp), este de fapt „limitată la sistemele aflate nu foarte departe de echilibru”.

Pentru sistemele departe de echilibru, Prigogine afirma foarte clar și fără echivoc, (poate chiar foarte categoric, de pe poziția sa de laureat al premiului Nobel) că e nevoie de „un fel de Generalizare a conceptului de Entropie”. Dar tot el a remarcat imediat, cu destul scepticism că de fapt cu cât sistemul e mai departe de echilibru, cu atât este nevoie a fi elaborat/inventat „un alt concept decât cel clasic de Entropie”, din ce în ce mai complex, de fapt...

Și din păcate nu există nici o „rețetă de căutare, descoperire, inventare” a sa și nu avem nici o garanție ...că ne vom descurca într-un timp relativ scurt pe această direcție... El a încercat acolo ceva dar cu pretenții destul de rezervate, ca grad de generalitate... deci fără pretenții că s-ar aplica Universului...

El vorbește, deci, chiar despre posibilitatea de a exista/inventa „o infinitate de concepte similare, în principiu, cu Entropia”, referitor la sisteme din ce în ce mai depărtate de echilibru, și mai complexe.

Pentru cineva rămas „în limitele clasice ale conceptului de Entropie” aceste afirmații ale lui Prigogine, pot părea fie şocante, fie descurajante, fie sceptice, fie cam destul de puțin motivaționale de a încerca măcar să le abordăm etc. ...

Acesta era de fapt sensul cuvintelor mele, anume:

„Nu cred că doriți să auziți aşa ceva...”, desigur gândindu-mă în acel moment doar la cei care nu doreau sau nu erau încă dispuși „să depășească sau să descopere” noi sensuri/semnificații/interpretări ale conceptului de Entropie clasic...

Între timp, după Prigogine, s-au făcut și alte încercări de „depășire a conceptului clasic de Entropie”. La unele dintre acestea s-a referit colegul meu de catedră domnul Prof. Viorel Bădescu, și care în materialul scris face trimiteri bibliografice foarte importante și interesante, pe care desigur doresc să le studiez mai aprofundat... deoarece mărturisesc că nu știam de ele..., deși auzisem despre altele.

Spunând că am dedicat deja 50 de ani de viață, din cei 70 de ani pe care îi împlinesc anul acesta, am anunțat (sper cu destulă modestie) că încă începând cu teza mea de doctorat (în anii 1960’[2]) m-am ocupat de aceste probleme și că în 6 cărți ulterioare [7 - 11, 16], și în câteva articole [4 - 6] am încercat să mă lămuresc și eu asupra multor semne de întrebare pe care le aveam, și că de fapt unele dintre acestea încă mă „mai încearcă și mă preocupă aproape zilnic”... fiind încă insuficient de clarificate, atât pentru mine cât și pentru alții...

Deși nu mi-am răspuns singur (sau nu am găsit la alții) încă la multe întrebări (pe care le-am sintetizat în ultima carte publicată recent [11]), frământările a 50 de ani, în jurul acestor chestiuni, au condus totuși la dezvoltarea unei noi ramuri a Termodinamicii Irreversibile, pe care am numit-o: „Termodinamica cu Viteză Finită” [11, 17 - 91].

În ciuda neclarităților care mai persistă încă și în mintea mea (pomenite mai sus) pot să vă spun totuși ceva ce cred că este adevărat cu siguranță...

Anume:

După cum se știe, Prinzipiul II al Termodinamicii are două părți. Prima parte afirmă de fapt - existența Entropiei, ca o nouă mărime de stare, iar a doua parte afirmă: creșterea ei în procesele adiabate ireversibile.

Aceste două laturi/părți reprezintă *esența Prinzipiului II*, și în acest sens diferă de Prinzipiul I, și de Prinzipiul Zero, care fiecare dintre acestea au doar o singură latură/partă; esența Prinzipiului Zero fiind *introducerea Temperaturii*, ca o nouă mărime de stare, iar esența Prinzipiului I, fiind *introducerea Energiei Interne*, ca nouă mărime de stare (după Sommerfeld [2, 5 - 11]), lucru subliniat foarte clar de către colegul meu antevorbitor, domnul prof. Alexandru Dobrovicescu.

Din păcate nici Clausius și nici chiar Planck [14] nu au subliniat la început în suficientă măsură existența acestor două părți/laturi ale Prinzipiului II, din care motiv Afanasiewa Ehrenfest i-a criticat.

Ca urmare Planck și-a schimbat schema inițială (1887) de tratare a Prinzipiului II într-o ediție ulterioară (1927) a „Tratatului de Termodinamică” [14], schema devenită ulterior una dintre cele trei scheme clasice (Clausius – Thomson - Poincaré, Planck, Caratheodory - Born) [2, 5 - 11].

Dacă în prima tratare (1887) Planck insista mai ales asupra introducerii conceptului de Entropie, mai întâi pe baza studierii gazului perfect, și apoi încercând să o generalizeze (Entropia) pentru orice corp/sistem (de asemenea tratare criticată de Afanasiewa), în tratarea din 1927 introduce Entropia direct pentru orice corp, și apoi dezvoltă (de data aceasta) substanțial și partea a două a Prinzipiului II, anume creșterea Entropiei în procesele adiabate ireversibile [14]. (Această tratare este descrisă în limba română amănunțit și puțin dezvoltată cu figuri sugestive - care din păcate lipsesc la Planck, „inventate de mine special” pentru o mai ușoară înțelegere, în [9, 11]).

Planck [14] se referea la nota unei pagini și la aşa-zisa „Moarte Termică a Universului” elaborată/dezvoltată/propusă de Clausius [5 - 11], adoptând o poziție prin care afirma că de fapt „Universul Nostru” fiind la limită practic lipsit de interacțiuni cu „Restul Universului” se poate considera că este de fapt „închis”, și deci că Clausius ar avea în acest sens (la limită) dreptate...

Evident că pornind de aici, a face sau introduce mai departe „ipoteza” că „Universul Nostru Accesibil informațional” ar fi tot una cu „Întregul Univers” este cel puțin discutabil... și de aici apar foarte multe implicații și semne de întrebare [11].

Lăsând pentru moment în pace „Universul Nostru Accesibil”, sau „Întregul Univers”, trebuie să accentuăm un merit esențial al abordării lui Planck, esențial atât pentru Termodinamică în general cât și pentru Termotehnică în special.

Anume, este acela că Planck arăta primul și chiar insista că: tocmai Entropia, prin variația sa poate fi folosită pentru a împărți toate procesele în trei categorii:

$$\begin{aligned} & \text{- Reversibile, când } \Delta S = 0, & (1) \\ & \text{- Irreversibile, când } \Delta S > 0, & (2) \\ & \text{- Imposibile, când } \Delta S < 0. & (3) \end{aligned}$$

Desigur, ultima variantă (3) este esențială atunci când „inventăm pe hârtie sau în mintea noastră” ca ingineri, ca oameni de știință, sau „ca simpli inventatori” (fără prea multe cunoștințe despre principiul II) un proces în

care  $\Delta S < 0$ , pe care apoi am dori să-l vedem dacă ar putea în principiu să funcționeze în realitate... „ca de exemplu o mașină care ar transforma energia mediului ambient în lucru mecanic”... adică un perpetuum mobile de speță două.

Această „condiție“ (3) este desigur domeniul „inventatorilor insuficient informați”, dintre care încă și azi unii mai încearcă să „violeze” principiul II, inventând procese în care Entropia ar urma să descrească, și deci sistemul să evolueze de la Dezordine către Ordine.

Această chestiune este de asemenea, legată și de *Demonul lui Maxwell*, care ar fi capabil să facă acest lucru, paradox rezolvat încă de Szilard (în 1929) pe baza Generalizării Informaționale a Principiului II [15, 11]... Pentru ca Demonul să sorteze moleculele trebuie să fie informat, și pentru a fi informat trebuie să existe în sistem „o sursă de lumină” pentru a „vedea” moleculele, care Demon în final se dovedește că ar consuma mai multă energie (electrică, de exemplu) decât s-ar produce ca lucru mecanic, pe baza generării unei anumite diferențe de temperatură, ca urmare a activității de sortare a moleculelor repezi față de cele lente, de către Demon...[13, 9, 11]

Dar această chestiune esențială descrisă foarte sintetic de relațiile (1) – (3) este legată și de „utilizarea foarte practică” a Metodei Potențialelor Termodinamice (a lui Gibbs - 1887) pentru a găsi condițiile favorabile realizării unor sinteze chimice (care să îndeplinească condiția (2), sau una echivalentă cu aceasta:  $dG = d(H-TS) > 0$ ), cum a fost de exemplu prima sinteză a producerii amoniacului (1914, în Germania), urmată de sinteze de extremă importanță pentru agricultură, a fertilizatorilor conținând azot, și mai târziu sinteza producerii de benzină din apă și cărbune (de asemenea în Germania în timpul celui de al doilea război mondial, după bombardarea de către americani a rafinăriilor de la Ploiești) [11], iar relativ recent, în SUA (anii 1990') producerea de combustibil strategic „tip Diesel sintetic” sau „petrol sintetic” pentru avioanele cu reacție militare (pentru cazul în care „se întrerupe din diverse motive” aprovisionarea cu „petrol natural”).

Între timp, în 1909 Caratheodory criticase și el schema Clausius - Thomson - Poincare și chiar schema Planck, insistând asupra faptului că introducerea Entropiei nu trebuie legată de cicluri în general și nici chiar de ciclul Carnot - care reprezenta baza tratării lui Clausius a Principiului II.

Pentru a introduce Entropia el recurge la o nouă formulare a principiului II: „În vecinătatea oricărei stări a unui sistem există stări care nu pot fi atinse nici reversibil și nici ireversibil adiabat”.

Anterior Boltzmann (anii 1880') formulase principiul II într-o manieră în care insista asupra proceselor ireversibile (adică asupra părții a două a principiului II, spunând că: „Toate procesele naturale sunt ireversibile”.

Desigur corolarul acestei formulări ar fi că: „În toate procesele naturale (adiabate) Entropia crește”.

Cum tot el a corelat Entropia cu conceptul de Dezordine, rezulta corolarul că: „În toate procesele naturale Dezordinea crește de la sine”.

Această ultimă formulare are desigur legături strânse cu concepția „Morții Termice a Universului”, introdusă/sugerată de Clusius, și ca atare are legătură cu tema discuției noastre de astăzi. Dacă acceptăm ipoteza „Morții Termice a Universului”, apare imediat întrebarea... cine reclanșează „arcul” (sau ceasul) Universului... și rezultă inevitabil concluzia logică/răspunsul: „evident că numai Dumnezeu...ar putea să facă aşa ceva!”

Înainte de a mă referi la această ultimă chestiune - dar în corelație cu aceasta, aş dori însă să trec foarte sumar în revistă evoluția concepțiilor asupra domeniilor de aplicabilitate a Prinzipiului II și a conceptului de Entropie, precum și asupra limitelor lui atât clasice cât și în varianta Prigogine.

Dacă de la 1865 când Clausius a introdus denumirea de Entropie pentru nouă mărime de stare  $S$ , descoperită/inventată de el încă din anul 1850, și până în 1900 se admitea că principiul II, și implicit Entropia se aplică doar la sistemele formate din atomi și molecule, atunci devin foarte importante două momente în care „*acest domeniu limitat de valabilitate*” se extinde semnificativ.

În acest sens...

Este celebră întâmplarea de pe culoarul Universității în care Tânărul Planck, lucrând la teza lui de doctorat, privind radiația corpului absolut negru, este întâlnit de fostul său Profesor Boltzmann, care îl întreabă... „de ce este aşa de îngândurat”. Planck îi răspunde că nu a reușit să găsească încă formula care să descrie teoretic spectrul corpului absolut negru, care era deja cunoscut (ca o curvă gen clopot) pe baze experimentale. Boltzmann, continuând să meargă, întoarce capul și îl întreabă/sugerează... “dar ai încercat să folosești și principiul II, și implicit Entropia...?”

Surpriză mondială... și soc conceptual, în lumea fizicii, după ce Planck aplică și principiul II (folosind Entropia), nu numai principiul I, ceea ce tot încerca să facă, și desigur introducând și ipoteza cuantificării energiei la nivel atomic – molecular, găsește formula corectă (1900) care îi aduce aprecierea universală și Premiul Nobel, și apoi conduce la dezvoltarea de către Einstein, Bohr, De Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Dirac, a „Mecanicii Cuantice” și a „Mecanicii Ondulatorii”, cu toate implicațiile formidabile ale acestei revoluții științifice...

Când te gândești că lipsea principiul II, și Entropia... în încercările sale... „disperate de a rezolva” catastrofa ultravioletului, unde intensitatea de radiație a corpului absolut negru se ducea la infinit în loc să scadă către zero, aşa cum arăta/cerea experiența!...

Cu această realizare „chiar epocală”, putem spune că principiul II și implicat Entropia a fost acceptat/acceptată că se aplică și în „Domeniul Radiației”, nu numai în cazul sistemelor formate din atomi și molecule, ceea ce se acceptă până la acea vreme (1900).

Au urmat încă 30 de ani, până când să se accepte că principiul II și Entropia se aplică și la sistemele biologice vii, plante și animale..., prin lucrările de pionierat ale lui Onzager (1930) și continuat de Prigogine (și alții: Degrot, Mazur...), ambii laureați ai premiului Nobel pentru aceste descoperiri și contribuții la dezvoltarea Termodinamicii Fenomenologice Irreversibile, bazată pe conceptul de „Sursă de Entropie”, pe „formularea locală a Principiului II”, pe „Relațiile de liniaritate Forțe Termodinamice - Fluxuri Termodinamice”, și respectiv pe „Relațiile de Reciprocitate ale lui Onsager”...

Iată deci, încă o „Victorie a Principiului II și a Entropiei” pe drumul majestuos al generalizării aplicării sale... Dar oare a urmat același triumf și la „Întregul Univers”, sau măcar la „Universul Nostru Accesibil”...?

Părerea lui Prigogine este aici diferită de ceea ce unii afirmă sau acceptă încă, anume că același concept clasic al Entropiei s-ar aplica Întregului Univers. După cum am anticipat Prigogine consideră că acest concept clasic de Entropie nu se aplică nici măcar „Universului Nostru Accesibil Informațional”, deoarece acesta știm cu siguranță că este foarte departe de echilibru, și deci ar fi nevoie de concepte, poate „similară Entropiei clasice, dar diferite de aceasta”, și cu atât mai diferite cu cât sistemul în discuție ar fi mai departe de echilibru.

Ce poate fi mai complex, complicat și mai departe de echilibru decât Universul Nostru Accesibil, care se admite că „este consecință” după  $10^9$  ani de la Marea Explosie numită „Big Bang”? Deci, în concepția lui Prigogine, Entropia aşa cum o știm cei mai mulți dintre noi, atât din Termodinamica Clasică Fenomenologică (Clausius, sau Planck, sau Caratheodory) cât și din cea Statistică Clasică (Boltzmann) nu se poate folosi/aplica Universului...

Asta am încercat și eu să afirm, bazat pe... concepția lui Prigogine. Poate unii din auditoriu au fost de acord, alții nu, dar tocmai asta e partea frumoasă a dezbatelii. Avem ce discută în continuare, și eventual clarifica, cât de cât pentru noi, mai întâi, și apoi poate găsim argumente și pentru alții...

Apoi am încercat, în spusele mele, unele clarificări pe care, de data asta le consider ca absolut esențiale pentru modul cum predăm cursul de Termodinamică/Termotehnică, studenților noștri.

Aici „nu mai cred că există loc de interpretări/îndoieri/neclarități”, și deci aici am fost „destul de categoric”, tocmai datorită faptului că uneori la curs, când ne grăbim, sau chiar în unele manuale, lipsesc clarificările pe care le-am menționat.

De aceea unii tineri care ne urmează nu au reținut, din păcate importanța acestor clarificări și deci transmit lucrurile mai departe cu anumite „incertitudini”. Desigur nu e vina lor, e vina noastră, că nu ne-am ocupat suficient de mult de ei... iar ei nu se pot ocupa suficient de mult la rândul lor de studenții lor...

Este vorba despre definiția de bază a *Entropiei fenomenologice* introdusă de Clausius, dar dezvoltată de Planck, Caratheodory, Nernst și alții, mai ales în corelație cu calculul ei în valoare absolută (pe baza principiului III) dar și cu modul în care o folosim în Termotehnică, pentru Studiul și Optimizarea unor procese din mașinile și ciclurile termodinamice.

Se cunoaște definiția corectă a diferențialei Entropiei:

$$dS = \delta Q_{rev.} / T \quad (4)$$

Aici sunt esențiale simbolurile  $\delta$  și „rev.”

Simbolul  $\delta$  ne atrage atenția asupra faptului că termenul de la numărător nu este o diferențială exactă, și că numai împărțind prin factorul integrând  $T$ , raportul devine „o diferențială a unei noi mărimi de stare care este tocmai Entropia -  $S$ ”.

A doua remarcă esențială provine din indicele „rev.” atașat căldurii  $Q$ , care atrage atenția că nu se poate calcula în principiu variația de entropie pentru nici un proces care nu se poate înlocui cu un proces reversibil care ar aduce sistemul din starea inițială în starea finală. Numai așa este posibilă folosirea „variației de entropie” - drept măsură a ireversibilității, în procesele ireversibile, unde crește (dacă procesul este adiabat). Desigur că atunci când procesul în discuție nu e adiabat, se include și „Mediul Ambient” în proces, și se consideră:

$$\text{Supersistemul} = \text{Sistem} + \text{Mediul Ambient},$$

care „devine” astfel adiabat.

Așa intervine de exemplu frecarea și laminarea, ca pierderi interne generate de ireversibilitățile din mașini (prin generare de căderi de presiune, care sunt responsabile pentru generarea de entropie), și evaluarea lor poate conduce la Optimizare, Studii de sensibilitate și propunerile de îmbunătățire a mașinilor, cu performanțe de *randament* și *putere* sporite continuu de-alungul istoriei dezvoltării Termotehnicii, dacă se reușește exprimarea/calcularea Sursei de Entropie...

Așa s-au dezvoltat de exemplu *Metoda Entropică* a lui Bejan și *Metoda Directă* din *Temodinamica cu viteză finită* [17-104].

Tinând cont de pierderile prin ireversibilitate generate de căderile de temperatură la surse ( $\Delta T$ -uri) s-a dezvoltat „Termodinamica în Timp Finit”. O comparație între acestea am prezentat-o în lucrarea [74], arătând esența

lor, avantajele și dezavantajele fiecăreia. În esență pe când „Termodinamica în Timp Finit” poate lua în considerare (în principal) doar pierderile externe, generate de  $\Delta T$ -uri, „Termodinamica cu Viteză Finită” ia în considerare atât pierderile externe generate de  $\Delta T$ -urile de la surse, dar și pierderile generate de  $\Delta P$ -urile interne cauzate de frecare și laminare.

Metoda Entropică (Bejan) poate ține cont de asemenea de ambele tipuri de pierderi, de aceea este „foarte puternică”.

Din nou am insistat că este esențial în Termotehnică, și în Termodinamică în general, să putem găsi „cel puțin un proces reversibil” care ar putea aduce sistemul din starea inițială în starea finală, în care a ajuns pe calea reală ireversibilă, pentru a putea folosi formula (4) prin integrare pentru acel proces reversibil și calcula astfel *creșterea de entropie* în procesul ireversibil „echivalent”... Dacă nu explicăm studenților noștri acest „mecanism” de calcul a variației de entropie în procesele ireversibile, îi lăsăm din păcate „complet descoperiți” în evaluarea corectă și înțelegerea a ceea ce ei calculează de fapt, chiar atunci când fac unele calcule referitoare la procesele ireversibile, în teme de casă, proiecte, chiar examene, și ulterior în proiectele reale...

Ar mai fi de adăugat că: „în principiu nu putem calcula *entropia absolută* a Universului”, deoarece nu putem imagina un proces reversibil de încălzire a Universului de la temperatura 0 K la temperaturile din fiecare corp ceresc, în care știm că există gradienți uriași ai temperaturii (vezi de exemplu gradienții de temperatură din Sistemul Soare-Pământ în [11, fig.1.2, pag.8]).

În consecință, drept concluzii sumare la intervenția mea, aş sintetiza că:

- Sunt necesare clarificările de mai sus referitoare la cum se definește și cum se calculează variația de entropie în procesele reversibile și ireversibile din Termotehnică și Termodinamică, în general, la toate cursurile și seminariile noastre ca profesori... atunci când introducem, tratăm și aplicăm Prinzipiul II, și folosim/calculăm Entropia, respectiv Variația de Entropie...  $\Delta S$ .
- Nu se poate folosi acest concept clasic al Entropiei la „Întregul Univers”, sau nici măcar la „Universul Nostru Accesibil”, deoarece nu putem imagina nici un proces reversibil care ar aduce acest Univers în starea inițială de unde a pornit „Big Bang-ul”...;
- Poate cu alte concepte „similară dar diferite față de Entropia clasică”, în sensul generalizărilor pomenite de Prigogine [1], să putem asocia „Expansiunea Universului Accesibil” cu o creștere a Dezordinei, dar în nici un caz să folosim conceptul clasic de Entropie pentru această caracterizare/ilustrare. După cum am subliniat este în principiu exclusă posibilitatea calculării unei „eventuale creșteri a Entropiei (clasice) a Universului”.

- Poate cu „conceptul de Entropie” menționat de Prof. Viorel Bădescu, să avem ceva șanse în acest sens, deși personal încă mai am mari dubii că știința Termodinamicii a ajuns în faza aceea, deoarece Universul Nostru este mult prea complex și foarte departe de echilibru...
- Și totuși..., probabil că conceptul de *dezordine* (într-un sens mai general decât cel al lui Boltzmann) se poate folosi în continuare, chiar dacă nu știm cum se calculează „nici exact” dar nici măcar „aproximativ”... acea „nouă Entropie”... sugerată de către Prigogine ca fiind necesară a fi descoperită/inventată, pentru sistemele foarte departe de echilibru.

De aici și expresia mea de la început... „Nu cred că doriți să auziți ceea ce am să vă spun”... pentru că sună cam sceptic...

Sună cam sceptic dar totodată „sună și a modestie” (adică fără infatuare...)

Dacă nu am adopta o astfel de abordare, adică „cu modestie” - cel puțin în stadiul actual de dezvoltare și înțelegere a Universului de către ființa umană - atunci mie mi s-ar părea că aceasta ar fi „o atitudine, puțin cam arogantă”, față de „măreția, grandoarea și complexitatea Universului”...

Totodată ar fi o atitudine arogantă și față de posibilitatea existenței unei superființe/entități atotputernice „imens de mult superioare nouă”, care eventual ar fi „creat, generat, determinat, influențat, conceput, adaptat” legile acestui Univers din care noi facem parte (desigur temporar), fără să fim întrebați dacă vrem sau nu să ne naștem sau să murim...chiar înainte de a fi înțeleas vre-o esență.

Desigur putem specula, putem încerca ipoteze, putem elabora modele, le putem eventual pune și pe calculator, putem crede... putem spera să înțelegem mai bine, sau... în fine... „ne putem ruga la acea entitate super-super-superioră”... pomenită mai sus.

Așa că am încheiat cu Rugăciunea Seninătății, pe care am găsit-o recent (cu o noapte înainte de Dezbaterea noastră) în finalul cărții ziaristului american de origine română Fântânaru [90]:

„*Dă-mi, Doamne, Seninătatea:*

- *să accept lucrurile pe care nu le pot schimba...*

(Creșterea „Dezordinei” din Univers... Expansiunea Universului);

- *curajul să schimb lucrurile pe care le pot schimba...*

(să îmbunătățesc performanțele de Randament și Putere a Mașinilor Termice, totodată fiind atent/atenții să nu produc/roducem prea multă Dezordine în mediul ambiant Terestru, în care ne-am născut, trăim... și vom muri în final... pe planeta Pământ);

• și înțelepciunea de a face diferență între ele... ”

(ca să nu irosesc/irosim resurse și eforturi inutile în a încerca să schimb/schimbăm ce nu e în puterea mea/noastră, ca de exemplu „să violez principiul II prin invenții nerealiste”... și mai degrabă să încerc, să mă străduiesc, cu curaj și energie, să le schimb pe acelea care sunt în puterea mea/noastră, cum sunt cele care țin de îmbunătățiri, perfecționări, economisiri, optimizări, adaptări, reciclări, folosire și dezvoltare de surse de energie regenerabile, sustenabilitate, inovații și invenții care respectă Principiile Termodinamicii, și celealte legi ale Naturii...)

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. I. Prigogine, “**Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes**”, Springfield, Illinois, USA, Charles C. Thomas, Publisher.
- [2]. A. Sommerfeld, “**Thermodynamics and Statistical Mechanics**”, Lectures on Theoretical Physics, Vol. V, Academic Press, New York and London, 1964.
- [3]. S. Petrescu, “**Contribuții la studiul unor interacțiuni și procese de neechilibru în mașinile termice**”, Institutul Politehnic București, 1969, Teza de doctorat: (Conducător științific: Prof. Lazăr Stoicescu).
- [4]. S. Petrescu, “**Determinarea Lucrului Mecanic în procesele de viteză finită folosind Metoda Termodinamicii Irreversibile Fenomenologice**”, Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnică, Nr. 2, Tomul 19, pp. 249-254, Editura Academiei, 1969.
- [5]. S. Petrescu, V. Petrescu, “**Considerații istorice asupra Principiului II al Termodinamicii**”, Progresele Științei, Academia Română, Anul VII, Nr. 10, 1971.
- [6]. S. Petrescu, “**On Introducing Entropy and the Second Law**” (This study was done in USA, at Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, in 1968, unde am colaborat cu profesorul H. C. Van Ness [11] în calitate de Fulbright Visiting Scholar). Rev. Rom. Sci. Techn. - Electrotech. et Energ., Romanian Academy, 17, 1, pp. 145-154. 1972.
- [7]. S. Petrescu, V. Petrescu, “**Principiile Termodinamicii și Mașinile Termice**”, Editura Tehnică, București, 1981.
- [8]. S. Petrescu, V. Petrescu, “**Ireversibilitate, Entropie, Timp...**”, Editura Tehnică, București, 1982.
- [9]. S. Petrescu, V. Petrescu, “**Principiile Termodinamicii**”, Editura Tehnică, București, 1983.
- [10]. S. Petrescu, V. Petrescu, “**Metode și Modele în Termodinamică**”, Editura Tehnică, București, 1988.

- [11]. S. Petrescu, “**Tratat de Inginerie Termică. Principiile Termodinamicii. Tratări Clasice și Moderne**”, Editura AGIR, 467 pagini, 2007, ROMÂNIA.
- [12]. E. Schrodinger, “**Ce este viața? Si Spirit și Materie**”, Editura Politică, București, 1980.
- [13]. H. C. Van Ness, “**Understanding Thermodynamics**”, Mc. Graw Hill Book Company, New York, USA, 1969.
- [14]. M. Planck, “**Vorlesungen über Thermodynamik**”. Ed. A XI-a, Walter de Gruyter & Co. Berlin, 1964. Prima ediție a acestei lucrări a apărut în 1887. În ediția a opta (1927) Planck afirma că a schimbat tratarea principiului II (ca urmare a criticei aduse de Afanasieva, referitor la tratarea din prima ediție. În prima ediție (1987) Planck împarte deja, cu ajutorul principiului II, toate procesele în procese reversibile și ireversibile, dar introduce entropia mai întâi pentru gazul perfect și apoi “o generalizează la orice corp”. Tocmai această “fază de generalizare” a fost criticată de Afanasieva.
- [15]. L. Szilard, in Z. Phys, 53, p.840, 1929.
- [16]. S. Petrescu, s.a., “**Molecular Thermodynamics**”, Polytechnic Institute of Bucharest, 1976.
- [17]. L. Stoicescu, S. Petrescu, “**The First Law of Thermodynamics for Processes with Finite Speed**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, Vol. XXVI, Nr. 5-1964, pp. 87-108, ROMANIA.
- [18]. L. Stoicescu, S. Petrescu, “**Thermodynamic Processes with Constant Finite Speed**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, Vol. XXVI, Nr.6-1964, pp.79-119.
- [19]. L. Stoicescu, S. Petrescu, “**Thermodynamic Processes with Variable Finite Speed**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, Vol. XXVII, Nr. 1-1965, pp. 65-96.
- [20]. L. Stoicescu, S. Petrescu, “**Thermodynamic Cycles with Finite Speed**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, Vol. XXVII, Nr. 2-1965, pp. 82-95.
- [21]. L. Stoicescu, S. Petrescu, “**The Experimental Verification of The New Expression of the First Law for Thermodynamic Processes with Finite Speed**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, Vol. XXVII, Nr. 2-1965, pp. 97-106.
- [22]. S. Petrescu, “**An Expression for Work in Processes with Finite Speed Based on Linear Irreversible Thermodynamics**”, Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnica Romanian Academy, Vol. 19, Nr. 2, p. 249-254, 1969.
- [23]. S. Petrescu, “**Kinetically Consideration Regarding the Pressure on a Movable Piston**”, Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnica Romanian Academy, Vol. 21, 1, 1971, pp. 93-107.
- [24]. S. Petrescu, “**Study of the Gas - Gas Interaction with Finite Velocaty for Flow Processes**”, Studii și Cercetări de Energetică și Electrotehnica Romanian Academy, 23, 2, 1973, pp. 299-312.
- [25]. S. Petrescu, “**Experimental Study of the Gas - Piston Interaction with Finite Speed in the Case of an Open System**”, (This study was made in USA, at Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY), Studii și Cercetări de Mecanică Aplicată Romanian Academy, 31, 5, 1972, pp. 1081-1086.

- [26]. S. Petrescu, V. Petrescu, “**A Treatment of the Concentration Overpotential Using the Thermodynamics of Irreversible Processes**”, Revue Romaine de Chimie, Romanian Academy, 16, 9, September 1971, pp. 1291-1296.
- [27]. S. Petrescu, G. Stănescu, Roxana Constantinescu, A. Dobrovicescu, “**The First Law of Thermodynamics for Closed Systems, Considering the Irreversibilities Generated by the Friction Piston - Cylinder, the Throttling of the Working Medium and the Finite Speed of the Mechanical Interaction**”, ECOS '92, Proceedings of the International Symposium on Efficiency, Costs, Optimization and Simulation of Energy Systems, ASME, New York, 1992, Zaragoza, June 15 - 18, 1992, pp. 33-39, SPAIN.
- [28]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**A Calculation and Optimization Method for the Stirling Machines**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, 1993.
- [29]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**The Study of the Finite Speed Adiabatic Process Taking Into Account the Viscosity of the Working Medium and the Inertia Forces**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, 1993.
- [30]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**A Simple Optimization Method for Otto Cycle with Finite Speed**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, 1993.
- [31]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**Optimization of Otto Cycle Taking into Account the Finite Speed of the Combustion Process, Finite Speed of the Piston and Throttling Processes in Valves**”, Polytechnic Institute of Bucharest Bulletin, 1993.
- [32]. S. Petrescu, G. Stănescu, M. Costea, “**A Direct Method for Optimization of Irreversible Cycles Using a New Expression for the First Law of Thermodynamics, for Processes with Finite Speed**”, Proceedings of The First International Thermal Energy Congress ITEC-93, Marrakech, MARROKO.
- [33]. S. Petrescu, M. Costea, G. Stănescu, “**The Dimensional Optimization of a Cavity Type Receiver for a Solar Stirling Engine Taking into Account the Influence of the Pressure Losses, Finite Speed Losses, Friction Losses and the Convective Heat Transfer**”, Proceedings of The Energy Systems and Ecology Congress (ENSEC '93), July 1993, Krakow, POLAND.
- [34]. S. Petrescu, M. Costea, G. Stănescu, “**The Study of Some Oscillating Systems of the type of Thermodynamic Pendulum**”, Proceedings of The Energy Systems and Ecology Congress (ENSEC '93), July, 1993, Krakow, POLAND.
- [35]. S. Petrescu, M. Costea, G. Stănescu, “**The Study for Optimization of the Carnot Cycle which Develops with Finite Speed**”, Proceedings of The Energy Systems and Ecology Congress (ENSEC '93) July, 1993, Krakow, POLAND.
- [36]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**Thermodynamics Oscillators, Comparative Study of Adiabatic and Isothermal Oscillators**”, Proceedings of The First National Conference of Engineering Thermodynamics, ICEMENERG, Bucharest, 1992.

- [37]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**The Influence of the Nature of Thermal Agent on the Behavior of Adiabatic Pendulum**”, Proceedings of The First National Conference of Engineering Thermodynamics, ICEMENERG, Bucharest, 1992.
- [38]. “**Optimization of the Brayton Cycle with Finite Speed**”, Proceedings of The First National Conference of Engineering Thermodynamics, Bucharest 24-25, May 1991, ICEMENERG, 1992, Bucharest.
- [39]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**Numerical Method for Determination of Characteristic Parameters of Theoretical Otto Cycle Taking into Account the finite Speed of Processes**”, First National Conference of Engineering Thermodynamics, Bucharest, 24-25, May, 1991. Proceedings Published by ICEMENERG, 1992, Bucharest.
- [40]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**The Study of the Reversible Thermodynamic Pendulum in the Small Oscillations Hypothesis**”, Energetica Review, 41, A, Nr. 2, 1993, pp.66-70.
- [41]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**The Study of the Double Thermodynamic Pendulum Forced Oscillations**”, Proceedings of the 3rd National Conference of Engineering Thermodynamics, Bucharest, May 28-29, Ed. Tehnică, Vol. I, 1993, p.150-153.
- [42]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**The Gas-Springs Coupling. The Thermodynamic Pendulums Parallel Coupling**”, Proceedings of the 3rd National Conference of Engineering Thermodynamics, Bucharest, May 28-29, Ed. Tehnică, Vol. I, 1993, pp 154-157.
- [43]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**The Reversible and Irreversible Adiabatic Thermodynamic Pendulum în the Hypothesis of Large Oscillations**”, Energetica Review, 41, A, Nr.3, 1993, pp.116-122.
- [44]. 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**”, Journal of The Heat Transfer Society of Japan, Vol. 33, No. 128, January, 1994, pp. 60, JAPAN.
- [45]. M. Costea, S. Petrescu, R. Dănescu, “**Thermal and Dimensional Optimization of a Solar Stirling Cavity Type Receiver**”, Florence World Energy Research Symposium, FLOWERS' 94, Energy for the 21 Century: Conversion, Utilization and Environmental Quality, ASME Proceedings, July, 1994, Florence, ITALY.
- [46a]. S. Petrescu, C. Harman, A. Bejan, “**The Carnot Cycle with External and Internal Irreversibility**”, Florence World Energy Research Symposium, FLOWERS' 94, Energy for the 21 Century: Conversion, Utilization and Environmental Quality, ASME Proceedings, July, 1994, Florence, ITALY.
- [46b]. S. Petrescu, C. Harman, A. Bejan, “**The Carnot Cycle with External and Internal Irreversibility**”, Florence World Energy Research Symposium, FLOWERS' 94, Energy for the 21 Century: Conversion, Utilization and Environmental Quality, ASME Proceedings, July, 1994, Florence, ITALY.
- [47]. S. Petrescu, G. Stănescu, “**Study of Non Linear Oscillations of the Thermodynamic Pendulums**”, ASME International Congress and Exposition, Nov. 6-11, 1994, Chicago, USA.

- [48]. S. Petrescu, “**The Optimal Spacing of Parallel Plates Cooled by Forced Convection**”, Comments published, Int. J. Heat and Mass Transfer, May 1994, USA.
- [49]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, “**Stirling Cycle Optimization Including the Effects of Finite Speed Operation**” ECOS'96, Royal Institute of Technology Stockholm, June 25-27, 1996, SWEDEN.
- [50]. S. Petrescu, C. Harman, “**Introduction of Exergy Concept Using Intuitive Models**”, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, November 17-22, 1996, Atlanta, Georgia, USA.
- [51]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, “**The Effect of Irreversibility on Solar Stirling Engine Cycle Performance**”, Proc. of the Inter. Conf. On Efficiency, Costs, Optimization Simulation and Environmental Aspects of Energy Systems, ECOS'98, Nancy, France, edited by A. Bejan, M. Feidt, M.J. Moran and G. Tsatsaronis, Nancy, pp. 821-828, 1998, FRANCE.
- [52]. M. Costea, S. Petrescu, C. Harman, “**Synthesis on Stirling Engine Optimization**”, Thermodynamics Optimization of Complex Energy Systems, edited by A. Bejan and E. Mamut, Kluwer Academic Publishers, pp. 403-410, 1999, USA.
- [53]. M. Costea, S. Petrescu, C. Harman, “**The Effect of Irreversibility on Solar Stirling Engine Cycle Performance**”, Energy Conversion & Management, Vol. 40, pp. 1723-1731, 1999.
- [54]. S. Petrescu, “**A criterion of the critical state of the matter. Jinescu Criterion**”, Journal of Chemistry, 50, No. 7, pp. 473-479, 1999.
- [55]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, “**Finite Speed Thermodynamics Applied to Stirling Stirling Machines**”, Proc. of BIRAC'1999 Conference, Bucharest, pp. 35-42, 1999.
- [56]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, “**A Method for Calculating the Coefficient for the Regenerative Losses in Stirling Machines**”, Proc. of the 5th European Stirling Forum 2000, Osnabruck, pp. 121-129, 2000, GERMANY.
- [57]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, T. Florea, “**A Method for Determination of the Performances of Stirling Machines Based on a PV/Px Diagram and First Law for Processes with Finite Speed**”, Proc. of the Fifth World Conference on Integrated Design & Process Technology, Dallas, June 4-8, 2000, USA.
- [58]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, T. Florea, “**Determination of the Pressure Losses in a Stirling Cycle through Use of a PV/Px Diagram**”, Proc. of the Inter. Conf. on Efficiency, Costs, Optimization and Simulation of Energy Systems, ECOS'2000, edited by G.G. Hirsh, Enschede, pp. 659-670, 2000, NETHERLAND.
- [59]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, T. Florea, “**Heat Transfer Conductance or Area Minimization in a Stirling Cycle Engine**”, Proceedings of the Inter. Conf. On Efficiency, Costs, Optimization Simulation and Environmental Aspects of Energy Systems ECOS'2000, edited by G.G. Hirsh, Enschede, pp. 647-658, 2000, NETHERLAND.

- [60]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, T. Florea, “**Stirling Refrigeration and Heat Pump Cycles with Finite Speed**”, Proc. of National Conference on Thermodynamics, Sibiu, Vol.II, pp. 178-183, 2000.
- [61]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, T. Florea, “**A New Technique for Determining the Coefficient of Regenerative Losses in Stirling Machines**”, Proc. of the Inter. Conf. on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS'2001, edited by A. Öztürk and Y. A. Göğüs, İstanbul, Vol. I, pp. 377-386, 2001, TURKEY.
- [62]. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, “**Optimization of a Carnot Cycle Engine using Finite Speed Thermodynamics and the Direct Method**”, Proc. of the Inter. Conf. on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS'2001, edited by A. Öztürk and Y. A. Göğüs, İstanbul, Vol. I, pp. 151-161, 2001, TURKEY.
- [63]. M. Costea, M. Feidt, S. Petrescu, “**Optimal Allocation of Heat Exchangers Inventory Associated to Fixed Power Output of Fixed Heat Transfer Rate Input**”, Proc. of the Inter. Conf. on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS'2001, edited by A. Öztürk and Y. A. Göğüs, İstanbul, Vol. I, pp. 207-216, 2001, TURKEY.
- [64]. S. Petrescu, M. Costea, T. Florea, “**Intuitive and Unified Presentation of the Internal and External Irreversibility by using the PV/Px diagrams for the Direct and Reversed Stirling Cycles**”, Proc. of National Conference on Thermodynamics, Galați, 2001.
- [65]. M. Costea, M. Feidt, S. Petrescu, “**Heat Transfer Correlations modeling the Unsteady-State Heat Transfer in Porous Media**”, Proc. of National Conference on Thermodynamics, Galati, 2001.
- [66]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, “**Optimization of a Carnot Cycle Engine with Internal and External Irreversibilities by using Thermodynamics with Finite Speed**”, Proc. of the 8th Francophone Congress Recent Progress on Process Design, CFGP'2001, Nancy, France, 2001; A. Stpreck, J. Boudrant, T. Tondeur, eds., Tech&Doc, Paris, Vol. 15, No. 83 (2001), pp. 149-156, FRANCE.
- [67]. M. Costea, M. Feidt, S. Petrescu, “**From Carnot's Efficiency to the Finite Time Thermodynamics**”, Proc. of the Francophone Conference on Process Design, CFGP'2001, Nancy, 2001, FRANCE.
- [68]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, T. Florea, “**Application of the Direct Method to Irreversible Stirling Cycles with Finite Speed**”, International Journal of Energy Research, 2002, Vol. 26, pp.589-609, USA.
- [69]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, “**Les cycles des machines à froid et des pompes à chaleur à vitesse finie**”, Rev. Entropie, No. 232, pp. 48-54, 2001, FRANCE.
- [70]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, “**Optimization of the Irreversible Carnot Cycle Engine for maximum Efficiency and Maximum Power through Use of Finite Speed Thermodynamic Analysis**”, Int. ECOS-2002 Conference, Berlin, 3-5 July 2002; G. Tsatsaronis, M. Moran, F. Cziesla and T. Bruckner, eds., Vol. II (2002), pp. 1361-1368, GERMANY.

- [71]. M. Costea, M. Feidt, S. Petrescu, “**Thermodynamically Time Dependent Models of the Heat Regeneration Process in a Stirling Engine**”, Int. ECOS 2002 Conference, Berlin 3-5 July 2002; G. Tsatsaronis, M. Moran, F. Cziesla and T. Bruckner, eds., Berlin, Vol. II (2002), pp.1344-1351, GERMANY.
- [72]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, “**Analysis and Optimization of Solar-Dish/Stirling Engines**”, Proceedings of SOLAR 2002 Conference, Proceedings of 31th ASES Annual Conference, Sunrise on the Reliable Energy Economy, Reno, Nevada, June 15-20, 2002, USA.
- [73]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, “**Thermodynamics with Finite Speed versus Thermodynamics in Finite Time in the Optimization of Carnot Cycle**”, Proceedings of the 6th ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference, Hawaii, March 16-20, 2003, USA.
- [74]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, C. Petre, “**A Scheme of Computation, Analysis, Design and Optimization of Solar Stirling Engines**”, ECOS-2003, Proceedings of the 16th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Copenhagen, June 30-July 2, 2003, DENMARK.
- [75]. M. Costea, M. Feidt, S. Petrescu, “**Optimisation du Cycle de Stirling a Vitesse Finie par Raport a cele du Cycle de Carnot a Vitesse Finie**”, COFRET-2004, Colloque Franco-Roumain sur Energie-Environnement-Economie et Thermodynamique, Nancy, 22-24 April, 2004, FRANCE.
- [76]. M. Costea, M. Feidt, S. Petrescu, “**Optimal Allocation of Heat Exchanger Inventory Associated with Fixed Power Output or Fixed Heat Transfer Rate Input**”, Int. J. Applied Thermodynamics, Vol.5, (No.1), pp.25-66, March-2002, USA.
- [77]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, M. Feidt, C. Petre, “**A General Model for the Study of Thermal Machines with two Heat Sources Applied to Thermal Engines**”, BIRAC-Conference, Bucharest, November 2003.
- [78]. M. Costea, M. Feidt, S. Petrescu, “**Influence de la Regeneration imparfaite et des irreversibilites internes du moteur de Stirling sur l'optimum de puissance developpe**”, Congres Francais de Thermique, SFT 2003, Grenoble, 3-6 Juin 2003, FRANCE.
- [79]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, T. Florea, “**Analysis and Optimization of Irreversible Stirling Cycles Based on the Direct Method**”, International Journal of Applied Thermodynamics, 2004, USA.
- [80]. S. Petrescu, “**Application of the Direct Method to Irreversible Stirling Cycles with Finite Speed**”, NATO-Summer School, Sept. 2000, Constanța.
- [81]. S. Petrescu, “**The Direct Method for the Study and Optimization of Irreversible Cycles with Finite Speed**”, NATO-Summer School, Sept. 2000, Constanța.
- [82]. T. Florea, S. Petrescu, M. Costea , M. Feidt, E. Florea, T.V. Florea, “**Exergie chimique des melanges reactifs carbone+ dioxygene: comparaison des systemes de reference universel et conjoncturel**”, A XIX-a Sesiune de Comunicări Științifice cu participare internațională, 2-4 iunie 2005, „NAV-

- MAR-EDU 2005”, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, CD-ROM, pp.283-292.
- [83]. T. Florea, S. Petrescu, M. Costea, M. Feidt, E. Florea, T.V. Florea, “**La méthode directe utilisée dans la thermodynamique à vitesse finie pour l’optimisation des machines thermiques**”, A XIX-a Sesiune de Comunicări Științifice cu participare internațională, 2-4 iunie 2005, „NAV-MAR-EDU 2005”, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, CD-ROM, pp. 273 - 282.
- [84]. T. Florea, S. Petrescu, A. Beazit, E. Florea, T.V. Florea, “**Le moteur ERICSSON, un moyen de valorisation de l'énergie thermique à rehabiliter?**”, A XIX-a Sesiune de Comunicări Științifice cu participare internațională, 2-4 iunie 2005, „NAV-MAR-EDU 2005”, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, CD-ROM, pp.21-30.
- [85]. T. Florea, S. Petrescu , A. Beazit, E. Florea, T.V. Florea, “**Turbines a gaz et combustion par voie humide**”, A XIX-a Sesiune de Comunicări Științifice cu participare internațională, 2-4 iunie 2005, „NAV-MAR-EDU 2005”, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, CD-ROM, pp.9-20.
- [86]. S. Petrescu, et. al., “**Irreversible Isothermal Processes treated on the bases of the First Law of Thermodynamics with Finite Speed**”, BIRAC 2000 Conference, Bucharest, 2000.
- [87]. Costea Monica, Petre Camelia, Feidt Michel, Petrescu Stoian, “**Model général de machine de Carnot soumis à diverses contraintes de fonctionnement**”, Congrès français de Thermique, SFT'05, Reims, p.707-712, 30 mai-2 iunie 2005, FRANCE.
- [88]. S. Petrescu, et. al, “**Optimization and Entropy Generation Calculation for Thermodynamic Cycles with Irreversible due to Finite Speed**”, ECOS-2005 Conference, Trondheim, June 20-23, NORWAY.
- [89]. S. Fintinaru, “**Legea celor Puternici. Lupta mercenarilor din Irak**”, Editura Litera International, București, 2008.
- [90]. S. Petrescu, “**The Development of Thermodynamics with Finite Speed and the Direct Method**”, Buletinul Institutului Politehnic Iași, Tom. LVI, Fasc. 3a, Proceedings of COFRET 2010, 5-7 Mai, Iași, România, 2010.
- [91]. S. Petrescu, C. Petre, M. Costea, O. Malancioiu, N. Boriaru, A. Dobrovicescu, M. Feidt, C. Harman, “**A Methodology of Computation, Design and Optimization of Solar Stirling Power Plant using Hydrogen/Oxygen Fuel Cells**”, Energy, Volume 35, Issue 2, February 2010, Pages 729-739.
- [92]. M. Feidt, B. Cullen, J. McGovern, S. Petrescu, “**Thermodynamic Optimisation of the Endoreversible Otto/Stirling Combined Cycle**”, ECOS-2010, 15-17 June, Lausanne, ELVETIA.
- [93]. S. Petrescu, N. Boriaru, M. Costea, P. Camelia, A. Ștefan, C. Irimia, “**Optimization of the Irreversible Diesel Cycle using Finite Speed Thermodynamics and the Direct Method**”, Bulletin of the TRANSILVANIA University of Brașov, Vol. 2(51) – Series I, special issue No.1, vol.1 ed. Universitatea Transilvania, p.87-94. ISSN 2065-2119, ISBN 978-973-598-521-9, 2009, ROMANIA.

- [94]. S. Petrescu, C. Petre, M. Costea, V. Mariș, O. Mălăncioiu, M. Feidt, “**Geometrical Aspects of Polygonal Fresnel Mirrors with Double Tracking designed for a Solar Stirling Engine**”, *Bulletin of the TRANSILVANIA*, University of Brașov, Vol. 2(51) – Series I, special issue No.1, vol.2, ed. Universitatea Transilvania, p.551-558, ISSN 2065-2119, ISBN 978-973-598-524-0, 2009, ROMANIA.
- [95]. S. Petrescu, C. Harman, P. Camelia, M. Costea, M. Feidt, “**Irreversibility Generation Analysis of Reversed Cycle Carnot Machine by using the Finite Speed Thermodynamics**”, *Revista Termotehnica*, Editura AGIR, (ISSN122-4057), Anul XIII, Nr.1, pp.43-48, 2009, ROMANIA.
- [96]. S. Petrescu, C. Harman, M. Costea, C. Petre, C. Dobre, “**Irreversible finite speed thermodynamics (IFST) in simple closed systems. I. Fundamental concepts**”, *Termotehnica*, 2009, 13(2): pp.8-18, ROMANIA.
- [97]. B. Cullen, J. McGovern, S. Petrescu, M. Feidt, “**Preliminary Modelling Results for an Otto – Cycle/Stirling Cycle Hybrid-Engine-Based Power Generation System**”, Proceedings of ECOS 2009, The 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Foz de Iguaçu, Parana, pp. 2091-2100, August 31- September 3, 2009, BRAZIL.
- [98]. C. Petre, S. Petrescu, M. Feidt, M. Costea, O. Malancioiu, V. Maris, “**Dimensioning Calculations for a Modular Fresnel Mirror Designed for a 25 kW Stirling Solar Engine**”, CIEM 2009, Proceedings of The 4th International Conference on Energy and Environment, Bucharest, 12-14 November 2009, ROMANIA.



**ACADEMIEI DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA**  
**Secția – INGINERIE MECANICĂ**

## **II**

# **PROCESE DE TRANSFER DE CĂLDURĂ ÎN MICRO - ȘI NANOSTRUCTURI**

(Dezbaterea științifică din 15 iulie 2009)

**Moderator:** Prof.univ.dr.ing. *Florea CHIRIAC*)

### **Referatul:**

, „*Nanostructuri în microelectronică și procese de transport de căldură și masă în nanostructuri*”, Prof. univ. dr. ing. *Florea Chiriac*

### **Participanți la discuții:**

- Prof.dr.ing. *Viorel Bădescu*
- Prof.dr.ing. *Mircea Marinescu*
- Dr.ing. *Ioan Ganea*
- Prof.dr.ing. *Ana Maria Bianchi*
- Prof.dr.ing. *Valeriu Jinescu*

## **Participanti:**

Academician **Radu Voinea** – Președintele Academiei de Științe Tehnice; Academician **Marius Peculea**; Profesor emerit **Panaite Mazilu** – Membru de onoare al Academiei României, Membru fondator al Academiei de Științe Tehnice; Prof.dr.ing. **Floreacă Chiriac** – Membru al Academiei de Științe Tehnice – coordonator al Dezbaterii; Conf.dr.ing. **Florin Baltărețu** – Catedra de Termotehnică a UTCB; Lector **Codărli Gheorghe** – Catedra de Fizică a UTCB; Șef lucr.dr.ing. **Ion Sota** – Cat. de Termotehnică a UTCB; Prof.dr.ing. **Mircea Marinescu** – Membru Fondator al Academiei de Științe Tehnice; Prof.dr.ing. **Alexandru Dobrovicescu** – Șeful Catedrei de Mașini Termice și Frigorifice Univ. Politehnica București; Prof.dr.ing. **Viorel Bădescu** - Catedra de Termotehnică, Mașini Termice și Frigorifice a Universității Politehnica București; Prof.dr.ing. **Robert Gavrilieci** – Catedra de Termotehnică a UTCB; Dr.ing. **Ioan Ganea** – AGIR; Prof.dr.ing. **Ana Maria Bianchi** – Catedra de Termotehnică a UTCB; Prof.dr.ing. **Valeriu Jinescu** – Universitatea Politehnica București.

# NANOSTRUCTURI ÎN MICROELECTRONICĂ ȘI PROCESE DE TRANSFER DE CĂLDURĂ ȘI MASĂ ÎN NANOSTRUCTURI

*Prof.univ.dr.ing. Florea CHIRIAC*

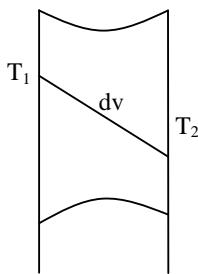
În structurile solide, energia termică este transportată prin electroni și fononi în structurile metalice, prin fononi în dielectrice, izolatori, semiconductori și prin fotoni în corpurile solide, care prin interacțiune cu fononii, definesc proprietățile radiative ale solidelor.

Transferul de căldură în macrostructuri, în toate modurile de transportori este bine stăpânit pe baza teoriei mediului continuu.

Transportul de căldură în structurile macro se studiază pe baza legii lui Fourier, cu expresia analitică:

$$\bar{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T$$

Într-un perete considerat unidimensional, distribuția de temperatură are forma liniară, în regim staționar.



**Fig. 1.** Distribuția de temperatură  
într-un perete unidimensional.

În structurile macroscopice sunt valabile legile pentru continuitatea acestora și este valabil echilibrul termodinamic local. Aceasta înseamnă că în fiecare punct al structurii se definește o temperatură; temperatura se definește numai în condiția de echilibru termodinamic. Definim un echilibru termodinamic local, adică echilibrul unui volum din sistem mult mai mic decât volumul total al sistemului.

Când dimensiunile sistemului devin de ordinul acestui foarte mic volum, teoria mediului continuu, a macrosistemului nu mai este valabilă și sunt necesare noi legi bazate pe termodinamica neechilibrată (neechilibrului).

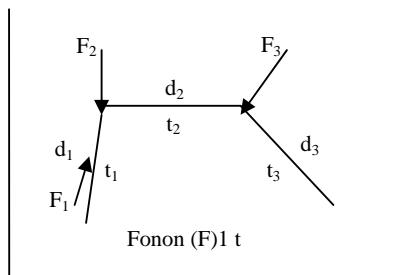
Condițiile de neechilibru impun restricții atât de dimensiuni geometrice cât și de scală de timp.

De exemplu, timpul de reacție al electronilor în metal este mult mai mic decât cel al vibrației rețelei cristaline sau a fononilor. Dacă încălzim un metal cu un impuls termic foarte scăzut în timp și cantitativ, numai electronii vor fi energizați și vor părăsi fononii, ce vor rămâne relativ nemîșcați. Aceasta creează neechilibru între electroni și fononi în metale, lucru ce conduce la fenomene de neechilibru.

Efectele de continuum și noncontinuum se diferențiază prin caracteristicile de timp și de lungime de scală a purtătorilor de energie.

Cea mai mică lungime de scală pentru transportorii de energie (electroni, fononi, fotoni) este lungimea de undă “ $\lambda$ ”. Pentru electroni în metale,  $\lambda \approx 1\ldots10$  nm ( $1$  nm =  $10^{-9}$  nm); pentru fononi, în semiconductori și materiale izolatoare,  $\lambda = 3\ldots20$  nm, la temperatura camerei și poate crește la  $1\text{ }\mu\text{m}$ , când temperatura scade.

Pentru reamintirea unor noțiuni se prezintă figura de jos. Se consideră că fononul  $F_1$  se ciocnește cu fononii  $F_2$  și  $F_3$  pe distanțele  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , și la timpii,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ .



**Fig. 2.** Ciocnirile fononilor în nanostructuri.

Energia unui fonon este data de relația lui Planck,

$$E = h \cdot \nu$$

în care  $h$  este constanta lui Planck;  $\nu$  - frecvența de vibrație, la temperatura  $T$ ;  $\nu \approx 10^{13}\text{ s}^{-1}$ .

Se definește drumul liber mediu al ciocnirilor,

$$l = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$$

Timpul liber mediu al ciocnirii fononilor,

$$\tau = \frac{(t_2 - t_1) + (t_3 - t_1) + (t - t_3)}{3} = \frac{(t - t_1)}{3}$$

La transferul de căldură se produc mii de asemenea ciocniri.

Structura MACRO este caracterizată de dimensiuni,  $L \gg l$  și procese de transfer care se realizează la tempi  $\theta \gg \tau$ .

Timpul lung de stabilizare a transferului de căldură, cu fononi este timpul staționar. Timpul de relaxare  $\tau_r$  este timpul de atingere a echilibrului termo-dinamic local.

În fizica clasică, în macrostructuri ciocnirea se consideră instantanee, pe când la nanostructuri, ciocnirea se consideră că are loc în timp finit. Timpul este dat de raportul dintre lungimea de undă  $\lambda$  și viteza de propagare; pentru propagarea electronilor în metale, acest timp de ciocnire este  $\approx 10^{-15}$  s, iar timpul de ciocnire pentru un fonon este de  $10^{-13}$  s. Acești tempi îi numim tempi de scală  $\tau_{sc}$ .

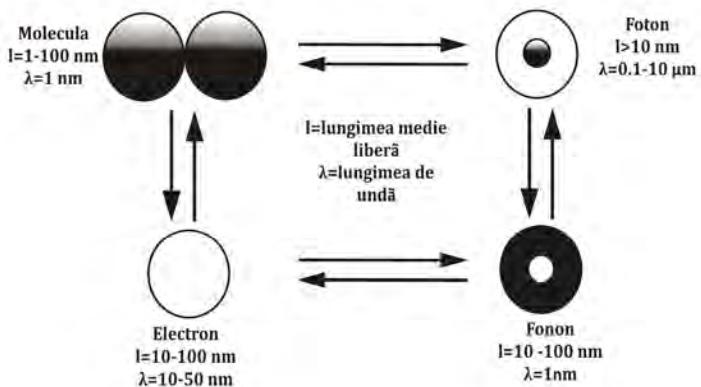


Fig. 3. Particulele elementare ce transportă energie.

Timpul liber mediu pentru mișcarea electronilor în metale este  $\tau \approx 10^{-14}$  s, pentru fononi  $\tau \approx 10^{-11}$  s. Timpul de relaxare, de atingere a echilibrului termo-dinamic local, este atins de 5...20 coliziuni și deci  $\tau_r > \tau$ .

În figurile care urmează se prezintă regimurile de transport în macro și nanostructuri.

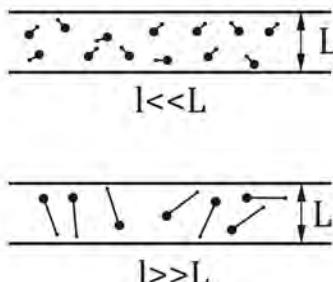


Fig. 4. Dimensiunile nano și macrostructurilor.

Se definește numărul lui Knudsen:

$$Kn = l/L$$

unde:  $Kn \ll 1$  pentru nanostructuri;  $Kn \gg 1$  pentru macrostructuri.

Teoria cinetico-moleculară, care confirmă pentru macrostructuri, legea lui Fourier, nu se aplică la nanostructuri.

Teoria cinetico-moleculară necesită adoptarea ipotezei echilibrului termodinamic local și ne dă densitatea de flux de căldură pentru macrostructuri:

$$q = -\frac{1}{3}Cwl \frac{dT}{dn}$$

unde:  $C$  este capacitatea termică pe unitatea de volum,  $J/m^3K$ ;  $w$  – viteza particulei;  $l$  – drumul liber mediu.

Relația de sus este legea lui Fourier, unde conductivitatea termică este:

$$\lambda_c = Cw \frac{l}{3}$$

sau

$$\lambda_c = \frac{1}{3}[(Cwl)_{fon} + (Cwl)_{el}]$$

unde:  $(C \cdot w \cdot l)_{fon}$  reprezintă contribuția mișcării fononilor, iar  $(C \cdot w \cdot l)_{el}$  – contribuția mișcării electronilor.

Pentru transportul de căldură în nanostructuri sunt patru modele de calcul:

- modelul de interacțiune electron-fonon;
- modelul de împrăștiere al fononilor;
- modelul radiativ fononic de transfer;
- modelul cu unde termice.

## MODELUL CU INTERACȚIUNE FONONI - ELECTRONI

Acest model se aplică la transportul de căldură prin metale.

Capacitatea energetică a gazului electronic este de până la 2 ori mai mică decât cea a împrăștierii fononilor (a rețelei metalice).

Interacțiunea electron-fonon, pentru scurt timp, produce o excitație energetică a norului electronic și încălzirea rețelei metalice.

Modelul a fost propus de Kaganovici (1957) și Anisimov (1974) și definitivat de Qiu și Tien (1993) pe baza mecanicii cuantice și a teoriei statistice.

Ecuările de timp parabolic ale transferului de căldură sunt:

$$C_e \frac{\partial T_e}{\partial t} = \nabla(K \nabla T_e) - G(T_e - T_r) \quad (1)$$

$$C_r \frac{\partial T_r}{\partial t} = G(T_e - T_r) \quad (2)$$

Ecuăția (1) reprezintă ecuația transferului de căldură prin norul de electroni.

Ecuăția (2) reprezintă ecuația transferului de căldură prin fononi.

În ecuațiile de mai sus semnificația mărimilor este:

$C_e$ ,  $C_r$  reprezintă capacitatele termice volumetrice ale norului de electroni și ale rețelei cu fononi;  $K$  - conductivitatea termică a norului de electroni;  $e$ ,  $r$  - electroni și rețea;  $G$  - factorul de cuplare fononi – electroni.

Efectul conduceției căldurii prin rețeaua cristalină metalică este neglijabil în ecuația (2). FOTONII exteriori introdusi în structură, ca de exemplu a radiației LASER, vor duce la creșterea temperaturii electronilor liberi, conform ecuației (1).

Prin interacțiunea electroni – fononi treapta a II-a a transportului căldurii, reprezentată de ecuația (2), rețeaua cristalină metalică este încălzită prin ciocnirile de electroni-fononi.

Factorul de cuplare are expresia:

$$G = \frac{\pi^3}{6} \frac{m_e n_e e^3}{\tau_e T_e} \text{ pentru } T_e > T_r \quad (3)$$

unde:  $m_e$  este masa electronului;  $n_e$  - concentrația electronilor/volum;  $c$  - viteza sunetului.

$$c = \frac{1k}{2\pi h} (6\pi^2 n_a)^{-1/3} T_D \quad (4)$$

$h$  - constanta lui Planck;  $k$  - constanta lui Boltzmann;  $n_a$  - densitatea atomică/volum;  $T_D$  - temperatura Debye;  $\tau_e$  - timpul liber mediu pentru ciocnirea electronilor.

Conductivitatea termică  $K$  se calculează cu relația Wiedemann-Franz-Lorentz, pentru  $T_r > 0,48 T_D$  temperaturi moderate ale rețelei.

O serie de cercetători (Qiu și Tien-1992) indică valori ale coeficientului de cuplaj  $G$  pentru diverse metale.

Ecuările cu derivatele parțiale (1) și (2) sunt neliniare și se integrează prin considerarea mărimilor termice  $C_e$ ,  $C_r$ ,  $K$  independente de temperatură.

## MODELUL DE TRANSFER RADIATIV AL FONONILOR

Modelul a fost propus de Majumdar (1993) bazându-se pe soluția ecuației de transport linearizată a lui Boltzmann. Acest model diferă de celelalte modele prin faptul că se aplică la transportul de căldură pentru un mediu subțire acustic, adică o structură mai mică decât lungimea medie a fononilor  $l$ .

Drumul liber mediu al fononilor,  $l = [\text{viteza sunetului (a fononilor)}] * [\tau \text{ timpul liber mediu de ciocnire a fononilor}]$ .

În transportul unidimensional de căldură Majumdar (1993) a dedus ecuația sa, din ecuația Boltzmann introducând aproximarea de timp de relaxare:

$$\frac{\partial f_w}{\partial t} + c_x \frac{\partial f_w}{\partial r} = (\frac{\partial f_w}{\partial t}) \cong \frac{f_w^0 - f_w}{\tau_r} \quad (5)$$

unde:  $f_w$  este funcția de distribuție a fononilor cu frecvență de vibrație;  $c_x$  - viteza unidimensională a fononilor;  $\tau_r$  - timpul de relaxare;  $f_w^0$  - funcția de distribuție în starea de echilibru;

Sub forma generalizată, ecuația de transport Boltzman (BTE) este:

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} + \bar{w} grad f + \bar{F} \frac{\partial f}{\partial p} = \frac{f_0 - f}{\tau(\bar{r}, \bar{p})} \quad (6)$$

unde:  $f(\bar{r}, \bar{p}, \tau)$  este funcția de distribuție statistică a ansamblului de particule;  $\bar{r}$  - vectorul de poziție a particulelor;  $\bar{p}$  - vectorul moment al particulelor;  $\bar{F}$  - forța aplicată particulelor;  $f_0$  - distribuția de echilibru;  $\tau_r$  - timpul de relaxare.

Primii doi termeni din membrul stâng reprezintă termenii convectivi de difuzie și al treilea este termenul de accelerație. Termenul din dreapta este termenul de difuzie conductivă, de dispersie fononică. Ecuatia (6) generalizează legile specifice sistemelor macroscopice, precum legea lui Fourier, legea lui Ohm, legea lui Fick și ecuația de transport de energie Fourier-Kirchhoff, ecuație de tip hiperbolic. De asemenea din BTE se deduc și ecuațiile de conservare a masei, impulsului și energiei, ca și ecuația de transfer radiativ de energie.

Ecuatia (6) este linearizată, ce are ca urmare faptul că dacă sistemul este scos din starea de echilibru, prin faptul că  $f - f_0$  nu este nul, atunci ciocnirile restabilesc echilibru prin impulsul...

$$f - f_0 = \exp(-\frac{\tau}{\tau_r})$$

Distribuția de echilibru  $f_0$  poate fi de tipul:

- Maxwell-Boltzmann, pentru moleculele de gaz;
- Fermi-Dirac, pentru electroni;
- Bose-Einstein, pentru fononi și fotoni

După determinarea funcției de distribuție  $f(\bar{r}, \bar{p}, \tau)$ , se poate calcula densitatea de flux de căldură:

$$q(\bar{r}, \tau) = \int_V \bar{w}(\bar{r}, \tau) \cdot f(\bar{r}, \bar{p}, \tau) \cdot \varepsilon(p) d^3 p \quad (7)$$

sau cu introducerea densității de stare  $D(\varepsilon)$ ,

$$q(\bar{r}, \tau) = \int \bar{w}(\bar{r}, \tau) \cdot f(\bar{r}, \bar{p}, \tau) \cdot \varepsilon \cdot D(\varepsilon) \cdot d\varepsilon$$

### *Simplificări:*

Dacă  $\tau \gg \tau_r$ , din ecuația (6) dispar termenii ce variază în timp și:

$$f = f_0 - \tau w_x \frac{\partial f_0}{\partial x} \quad (8)$$

Aceasta este o aproximare de cvasi-echilibru. Echilibrul termodinamic local este dat de condiția:

$$\frac{df}{dx} \approx \frac{df_o}{dx} \quad (9)$$

Distribuția de echilibru locală,  $f_0$ , este definită numai pentru lungimea "l", se poate scrie:

$$\frac{df_0}{dx} \approx \frac{\Delta f_0}{l} \quad (10)$$

sau

$$\frac{\partial f_0}{\partial x} = \frac{df_0}{dT} \frac{dT}{dx} \quad (11)$$

Această relație se poate introduce în (8) și prin integrare se obține:

$$q(x) = - \frac{\partial T}{\partial x} \int w_x^2 \tau_r \frac{df_o}{dT} \varepsilon D(\varepsilon) d\varepsilon \quad (12)$$

Integrarea termenului cu  $f_0$  este nulă după toate direcțiile.

Ecuația (12) este ecuația lui Fourier pentru sistemele macroscopice.

Conductivitatea

$$\lambda_c = \int w_x^2 \tau_r \cdot \frac{df_o}{dT} \cdot \varepsilon \cdot D(\varepsilon) \cdot d\varepsilon = w_x^2 \cdot \tau_r \int \frac{df_o}{dT} \cdot \varepsilon \cdot D(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$\lambda_c = \frac{1}{3} \cdot C \cdot w^2 \cdot \tau_r$$

Din teoria cinetico-moleculară rezultă:

$$\lambda_c = \frac{1}{3} \cdot C \cdot w \cdot l$$

În mod similar se obține și ecuația lui Fick pentru difuzia de masă.

## ELEMENTE DE TRANSFER DE CĂLDURĂ ÎN MICROELECTRONICĂ

Tendința de miniaturizare a elementelor electronice a condus la sisteme cu dimensiuni de micro și nanometri. De exemplu sunt în construcție tranzistori cu lungimea deschiderii de ordinul 65 nm și se pregătesc pentru fabricație tranzistori de silicon pe izolator (SOI) cu lungimea deschiderii de 45 nm. Conductivitatea termică a siliconului la aceste dimensiuni este mai mică decât a siliconului cu dimensiuni mai mari, din cauza dispersiei purtătorilor de energie spre bordurile elementului. Dispersia căldurii devine obiectiv de primă importanță, deoarece supraîncălzirea conduce la reducerea drastică a fiabilității tranzistorilor. În scopul intensificării procesului de răcire a tranzistorilor se utilizează o serie de dispozitive precum fire de dimensiuni nano, tuburi nano și rețele super (rețele de pelicule subțiri); asemenea dispozitive se găsesc la aparatelor optoelectronice, lasere semiconductoare și în sisteme termoelectrice. Dintre aceste soluții, Carbon nanotuburile se caracterizează printr-o conductivitate termică foarte mare.

Carbon nanotuburile sunt structuri de dimensiunea ~ 1 nm diametru cu aproximativ 10 atomi în jurul unui diametru. Pot fi metalici sau semiconductori organizați în hexagoane, cu orientare diferită. Mecanic au o rezistență ridicată, cu proprietăți bune de compresie și întindere.

În calcul transferul de căldură printre aceste structuri cu dimensiuni "nano" alături de ecuația Boltzmann trebuie utilizate și ecuații de dinamica moleculelor, care implică integrarea ecuațiilor de mișcare atomice, din care se obțin proprietățile termice și proprietățile fizice ale fononilor. Se stabilesc cu acest prilej timpul de relaxare și curba de dispersie care apoi se introduc în BTE.

Ecuația Boltzmann de transport BTE, odată integrată, conduce la o altă formă alternativă, pentru BTE, ce cuprinde densitatea de energie drept necunoscută.

Integrarea BTE necesită valorile pentru densitatea de energie și densitatea de flux de căldură care se obțin cu metoda Matricei Boltzmann (LBM) care este o metodă numerică, puternică.



ACADEMIEI DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA  
Secția – INGINERIE MECANICĂ

# III

## ENTROPIA ÎN GÂNDIREA ECONOMICĂ A SAVANTULUI AMERICAN DE ORIGINE ROMÂNĂ NICHOLAS GEORGESCU ROEGEN

(Dezbaterea științifică din 31 august 2009)

Moderator: prof.univ.dr.ing. **Florea CHIRIAC**)

### Cuvânt introductiv:

,Legea entropiei și procesul economic”, Academician **Radu VOINEA**.

### Participanți la discuții:

- Prof.dr.ing. **Stoian Petrescu**
- Prof.dr.ing. **Valeriu Jinescu**
- Prof.dr.ing. **Mircea Marinescu**



# LEGEA ENTROPIEI ȘI PROCESUL ECONOMIC

*Acad. Radu VOINEA*

În anul 1971 a apărut în Editura Harvard University lucrarea „*The Entropy Law and the Economics Process*” de Nicholas Georgescu Roegen. În anul 1979 apare în Editura Politică, traducerea în limba română a acestei lucrări, cu un „Cuvânt înainte” al autorului și un „Studiu introductiv” semnat de Aurel Iancu, Gheorghe Mihoc și Barbu Zaharescu. Urmează o prefată semnată de N. Georgescu Roegen, o introducere, 11 capitole și 7 anexe.

Nicholas Georgescu Roegen s-a născut în Constanța la 4 februarie 1906. A urmat cursurile liceului militar „Mândstirea Dealu”, apoi ale facultății de matematică ale Universității din București pe care le-a absolvit în 1926. În 1930, în urma unei burse a susținut teza de doctorat la Institutul de Statistică al Universității din Paris. În perioada 1932-1946 a fost profesor la Institutul de Statistică al Universității din București, înființat de Octav Onicescu, după care a părăsit țara stabilindu-se în USA în anul 1948, ca profesor la Universitatea Vanderhilt din Nashville, devenind unul dintre cei mai de seamă economiști din USA. A încetat din viață la 30 octombrie 1994.

În volumul propriu-zis N. Georgescu Roegen arată că fondatorii științei economice au creat-o după modelul mecanicist, ca un flux continuu între producție și consum. Lipsa de legătură cu natura se datorează unor economiști, ca Marx, după care **natura ne oferă totul gratis** și pe care nu i-a impresionat războaiele pentru asigurarea controlului asupra resurselor naturale. De asemenea, pe fondatorii științei economice nu i-a interesat consecințele procesului de producție, al deșeurilor, asupra mediului.

În capitolele ce urmează autorul comentează unele noțiuni, expunându-și părerile lui personale, de exemplu pe cele de știință și modul cum a evoluat, de la dialectică, schimbare, calitate și gândire, măsură, mărime și identitate, nouitate, evoluție și entropie, ordine, probabilitate, hazard, cauză și scop, evoluție, locomoție etc.

Georgescu Roegen folosește noțiunea de **aritmonostatic** pentru un număr real oarecare, noțiunea de **dialectică** pentru o noțiune care nu este aritmomorfă și care, în definiția ei este încunjurată de o zonă de penumbră. Se dovedește un adept al lui Hegel și neagă afirmația lui Schopenhauer că Hegel este un monument de prostie germană și consideră probabilitatea ca o ilustrare

a dialecticii hegeliene. Georgescu Roegen consideră că fără noțiunea de **schimbare** întreaga știință s-ar reduce la geometrie. Referitor la gândire el consideră că o mașină, un calculator nu gândește. Este citat J.P. Eckert, unul dintre proiectanții lui ENIAC - primul calculator electronic digital - care a fost nevoie să accepte definiția “*Gândirea este ceea ce nu poate face computerul*” și pe A.I. Samuel care a spus: “*Computerile sunt cretini uriași, nu creiere uriașe*”.

În ceea ce privește **măsurarea**, Georgescu Roegen distinge *măsurarea cardinală* și *măsurarea ordinală*. **Duritatea** a sfidat ingeniozitatea fizicienilor și scara ei a rămas calitativă. La fel este și **entropia**. Nu toate mărimile pot fi aduse la citirea cu ajutorul unui aparat cu ac indicator. Georgescu Roegen mai afirmă că *nelinearitatea* este forma sub care apare reziduul calitativ în formula numerică a unui fenomen legat de calitate. Este citat și Galileu, care a explicat de ce un animal nu-și poate mări dimensiunile păstrându-și forma (Greutatea crește cu puterea a treia a dimensiunilor lui, iar tensiunea numai cu pătratul dimensiunilor, fapt care conduce rapid la depășirea tensiunii admisibile și a celei de rupere). Georgescu Roegen constată că fizica nu s-a unit cu chimia, deoarece ea are un număr finit de elemente calitativ diferite și un număr finit de legi fundamentale, în timp ce în chimie există puține legi fundamentale. Poate în viitor, când se va constata că numărul de particule elementare este infinit, va exista o apropiere mai mare între aceste două științe.

În sfârșit ajungem la noțiunea de ENTROPIE. În volum se arată că termodinamica s-a născut în urma unei memorări despre eficiență mașinilor cu abur, publicat de Sadi Carnot în 1824. Ca rezultat al memoriului lui Carnot, FIZICA a fost nevoie să recunoască drept științific un fapt elementar, cunoscut din timpuri străvechi: *căldura se deplasează întotdeauna de la sine de la corpurile mai calde spre cele mai reci*. Și, pentru că mecanica nu poate explica prin legile ei o mișcare unidirectională, a fost nevoie să se creeze o nouă ramură a fizicii, care folosește explicații nemecanice. Descoperirile ulterioare au arătat că toate formele de energie cunoscute se deplasează de asemenea, de la un nivel mai ridicat la altul mai coborât. În 1865 R. Clausius a putut da formularea clasică a primelor două principii ale termodinamicii:

- Energia Universului rămâne constantă;
- Entropia Universului se îndreaptă întotdeauna spre un maxim.

Povestea este simplă - afirmă Georgescu Roegen, dacă ignorăm amănuntele: După termodinamica clasică, energia are două calități: (1) **liberă** sau **disponibilă** și (2) **legată** sau **nedisponibilă**. **Energia liberă** este acea energie care poate fi transformată în lucru mecanic (înțial căldura liberă a fost definită aproximativ ca acea căldură cu care corpurile calde le depășesc pe

cele reci și singură pune în mișcare o mașină cu abur, de exemplu). Asemenea căldurii, energia liberă se răspândește întotdeauna de la sine (fără nicio pierdere) devenind energie nedisponibilă. Universul material suferă deci în permanență o degradare calitativă, de fapt o degradare calitativă a energiei. Rezultatul final este o stare în care toată energia este nedisponibilă - *moartea termică a Universului* -, cum a fost numită la început teoria termodinamicii.

Din motive tehnice, care nu ne privesc în acest moment, afirmă Georgescu Roegen, entropia a fost definită prin formula:

$$\text{Entropie} = (\text{Energie legată}) / (\text{Temperatură absolută})$$

Formula consacrată din punct de vedere teoretic este însă:

$$dS = \delta Q/T \quad (1)$$

unde:  $dS$  este creșterea entropiei;  $\delta Q$  - creșterea căldurii transferate de la corpul mai cald la cel mai rece;  $T$  este temperatura absolută la care are loc transferul.

Un aspect important, care nu însăștează niciodată formula, este că aceste creșteri sunt determinate în direcția timpului, adică de la un moment aflat **mai devreme** la cel aflat **mai târziu** în timp. Cuvântul „entropie” a fost creat de Clausius dintr-un cuvânt grecesc echivalat ca sens cu „evoluție”.

Georgescu Roegen face o distincție între un timp  **$T$**  folosit în termodinamică și timpul  **$t$**  folosit în mecanică:  **$T$**  este o succesiune de momente, iar  **$t$**  este un interval de timp. Fenomenele mecanice depind de  **$t$** , indiferent că au avut loc într-o eră geologică oarecare, fie că au loc în zilele noastre, de exemplu oscilațiile unui pendul. Entropia depinde de  **$T$** .

Dând acest exemplu, Georgescu Roegen discută problema măsurării timpului cu ceasul, fapt care presupune că acesta este atemporal, deci insensibil la creșterea entropiei. Este citat Edington, care a afirmat că un ceas, cu cât este mai bun, cu atât arată mai puțin precis trecerea timpului, fapt care l-a determinat pe Einstein să considere atomul în vibrație, ca fiind cel mai adevarat mecanism de ceasornic. Fizica nu ne oferă nici o posibilitate să verificăm dacă ora care tocmai a trecut este egală cu cea care de abia a început, pentru că nu le putem suprapune. Pearson a afirmat că în fiecare oră omul îngrămădește „aceeași cantitate de conștiință”. De aceea bătrânilor li se pare că timpul trece mai repede, deoarece conținutul conștiinței noastre descrește cu vîrstă.

Georgescu Roegen reproșează termodinamicii că nu poate prevedea. Se poate spune numai că peste o oră entropia Universului va crește, dar nu și cu cât va fi mai mare.

Lordul Kelvin a subliniat odată faptul că mintea omenească nu poate înțelege un fenomen decât dacă-l poate reprezenta printr-un **model mecanic**. Fizicienii s-au străduit din greu să reducă fenomenele termice la locomoție, adică la fenomene mecanice. În noua disciplină astfel creată, denumită **mecanică statistică** s-au păstrat legile termodinamicii în forma pe care le-a dat-o Clausius. S-a schimbat numai sensul noțiunilor fundamentale și explicația echilibrului termodinamic a fost schimbat în noua știință. Potrivit acestei teorii, căldura constă în **mișcare neregulată** a particulelor iar echilibrul este rezultatul unui proces de **amestecare** a particulelor și a vitezelor lor. Nimic nu este distrus, dar totul este risipit în cele patru vânturi. (Principiul întâi al termodinamicii). În natură ordinea tinde în permanență să se transforme în dezordine. Universul se îndreaptă spre **haos**, o imagine mult mai înfricoșătoare decât aceea a morții termice. Entropia a fost definită ca o măsură a gradului dedezordine.

Ludwig Boltzmann a plecat de la faptul că, dacă există  $m$  microstări și  $N$  particule și dacă în fiecare microstare se află respectiv un număr de  $N_1, N_2, N_3 \dots N_n$  particule, măsura dezordinii macrostării  $(N_1, N_2, N_3 \dots N_n)$  cu  $\sum N_i = N$  este dată de formula cunoscută din calculul probabilităților

$$W = \frac{N!}{N_1! N_2! N_3! \dots N_m!} \quad (2)$$

De exemplu, pentru cazul a 5 microstări și 4 particule cea mai mare dezordine se realizează când fiecare particulă se află în câte o microstare, iar cea mai mică dezordine se realizează când toate particulele se află într-o singură microstare, de exemplu în prima. Se obțin rezultatele următoare:

$$W_{\max} = \frac{N!}{N_1! N_2! N_3! \dots N_m!} = \frac{4!}{1!1!1!1!0!} = 24$$

$$W_{\min} = \frac{4!}{4!0!0!0!0!} = 1$$

Boltzmann a definit entropia ca fiind logaritmul natural al probabilității termodinamice, multiplicat cu o constantă

$$S = k \cdot \ln W \quad (3)$$

unde constanta lui Boltzmann are valoarea:

$$k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ energie/grad de temperatură} \quad (4)$$

Boltzmann a afirmat că dacă o macrostructură are o structură haotică ea va păstra întotdeauna această structură, iar dacă nu este o structură haotică, va tinde inevitabil către ea. Întrucât entropia este maximă în stare haotică, enunțul de mai sus este echivalentul legii entropiei sub forma ei **tare**, adică nu ca o propoziție probabilistică.

Pentru valori mari ale lui  $N_i$ , folosind formula asimptotică a lui Stirling, relația (2) devine:

$$\ln W = N \ln N - N - \sum N_i \ln N_i + \sum N_i = - \sum N_i \ln (N_i/N)$$

în care, dacă notăm  $N_i/N = f_i$  putem scrie

$$S = -kH \quad (5)$$

unde

$$H = \sum f_i \ln f_i \quad (6)$$

este calculată funcția  $H$ , folosită de Boltzmann în abordarea statistică a termodinamicii. Este limpede că  $kH$  reprezintă **entropia medie** a unei particule. De reținut că  $S$  și  $H$  variază în sensuri opuse. Din cauza aceasta funcția  $H$  a lui Boltzmann se numește **negentropie**. De fapt probabilitatea a fost introdusă în termodinamică pentru a salva imaginea mecanicistă a naturii. Mulți fizicieni consideră mecanica statistică o știință neinteresantă pentru fizică. Trebuie însă menționat că Boltzmann, descoperitorul teoriei cinetice a gazelor, a dus o luptă tragică pentru a răspândi o știință termodinamică pe o temelie hibridă în care rigiditatea legilor mecanicii este întrețesută cu incertitudinea caracteristică noțiunii de probabilitate. Amărât de criticele tot mai numeroase aduse ideilor lui s-a îmbolnăvit de nervi și și-a curmat singur firul vieții.

\* \* \*

Problema care-l interesa pe Carnot era de natură economică: determinarea condițiilor în care se poate obține cea mai mare cantitate de lucru mecanic dintr-o cantitate dată de căldură liberă. Carnot poate fi deci socotit primul specialist în *econometrie*. Singurul motiv pentru care termodinamica a deosebit de la început căldura din apele oceanelor de cea din cazonul unui vapor este acela că o putem folosi pe ultima, dar nu și pe prima.

Întreaga noastră viață economică se bazează pe *entropie joasă* (tesături, cherestea, porțelan, cupru etc., care toate sunt structuri ordonate). Cantitatea de entropie joasă din mediul înconjurător descrește continuu și ireversibil. Când transformăm un minereu de cupru într-o foaie de cupru care are mai puțină entropie decât minereul, noi, de fapt, cheltuim mai multă entropie joasă decât diferența între entropia produsului finit și cea a minereului de cupru. Deci, trebuie înlocuită zicala „Nu poți obține ceva din nimic” cu „Nu poți obține ceva decât cu o cheltuială mult mai mare de entropie joasă”. Ar fi însă o mare greșală să ne închipuim că procesul economic se reduce la un consum de entropie joasă și de transformarea ei în entropie înaltă, respectiv în deșeuri. Nu producerea de deșeuri este scopul procesului economic, ci

**plăcerea de a trăi, de a activa**, care nu se pot măsura în unități fizice. Fiecare fir al procesului economic este entropic, dar de modul cum este țesut depinde utilitatea lui pentru om.

S-a emis uneori părerea că toate valorile economice pot fi reduse la un numitor comun, reprezentat de entropia joasă. Primul autor care a susținut că **banul constituie echivalentul economic** al entropiei joase este fizicianul german G. Helm în volumul „*Die Lehre von der Energie*” (1887).

În continuare se analizează puțin noțiunea introdusă de Georgescu Roegen „**plăcerea de a trăi**” și se ajunge la concluzia că ea se compune din

*Plăcerea consumului + Plăcerea timpului liber – Corvoada muncii*

pentru a ajunge la concluzia că „Tot ce contribuie, direct sau indirect la plăcerea de a trăi face parte din categoria **valori economice**”.

Sunt analizate apoi diferite probleme, printre care și problema Japoniei, care a progresat datorită calităților japonezilor (față de muncă extrem de eficientă, ușor de calificat, talente tehnice pline de fantezie) dar și faptului că japonezii plătesc redevențe națiunilor de la care importă materii prime și materiale cu entropie joasă. Georgescu Roegen se întrebă ce se va întâmpla când aceste națiuni își vor industrializa țările lor și nu vor mai putea exporta materii prime și materiale în Japonia sau vor scumpi foarte mult redevențele.

Agricultura îl învață pe om, îl obligă chiar să fie răbdător. Energia solară nu poate fi folosită decât în anumite perioade de timp. De aceea țărani au în viață o atitudine filosofică foarte diferită de aceea a celor ce lucrează în societățile industriale.

O comparație între oameni și animale îl conduce pe autor la concluzia că în timp ce animalele folosesc instrumente *endosomatice* pentru a se hrăni (o pasăre zboară cu propriile aripi și prinde o insectă cu propriul cioc), omul folosește instrumente *exosomatice*. Când activitatea lui a devenit o activitate socială, au apărut și conflictele sociale.

Pareto a arătat că fiecare elită este de regulă răsturnată de o minoritate invidioasă care agită masele, denunțând abuzurile conducerii și până la urmă înlocuiește elita aflată la putere.

În ultimul capitol al volumului, intitulat „**Știința economică: Câteva concluzii generale**” este discutată *frontiera* procesului economic. Plecând de la faptul că particulele obiectelor concrete și îndeosebi ale evenimentelor, sunt fenomene dialectice, că de exemplu este imposibil să spunem unde se termină procesul chimic și unde începe cel biologic și că nici științele naturale nu au frontiere fixate strict și trasate net, nu există motiv pentru ca economia să facă excepție.

**Ştiinţa economică nu este o știinţă teoretică:** pentru că o teorie însuimează o clasificare logică a **tuturor** cunoştinţelor existente într-un anumit domeniu, astfel încât fiecare propoziţie cunoscută să fie conţinută în temelia logică sau să poată fi dedusă din aceasta. Această clasificare permite inteligibilitatea, dar presupune o comprimabilitate a cunoştinţelor existente, ireversibilă de realizat în cazul unui număr mare de cunoştinţe. Unii au susținut că totuşi este posibil pentru că toate fenomenele economice se bazează pe „dorinţa de avere”, caracteristică oricărui individ normal și pe două legi:

- un câştig mai mare este preferabil unui câştig mai mic;
- tendinţa de a obține cea mai mare cantitate de avere, cu cât mai puțină muncă și abnegație.

O mare dificultate de abordare a știinţelor economice o constituie faptul că ele evoluează foarte rapid. În ultimii ani Macroeconomia a ajuns să înăbuşe aproape complet Microeconomia.

Coordonate ca: nivelul de trai, venitul național real, producția globală etc. sunt mult mai importante pentru procesul economic decât gusturile domnului X sau modul de fixare a prețurilor folosit de întreprinzătorul Y. Acestea sunt noțiuni dialectice, pseudomărimi. Macromodelele sunt incomplete pentru că: 1) numărul de coordonate semnificative este prea mare și depășește capacitatea noastră analitică și 2) macromodelele conțin ecuații cu funcții analitice deoarece suntem încinăți să atribuim realității un anumit grad de ordine. Se știe că, ajutat de o secure potrivită, poți dovedi că într-o buturugă se află ascunsă o madonă.

În paragraful „**Economia politică și omul**” Economia politică are nevoie de modele matematice, dar, la fel ca în cazul Biologiei, cum spunea Schrödiger, obiectul însuși este mult prea complicat pentru a fi deplin accesibil matematicii. Cauza principală în cazul Economiei politice este rolul important care-l joacă înclinațiile culturale ale omului.

Se pomenește în continuare, în această ordine de idei de deosebirea dintre economia „standard” și „școala istorică germană”. Economiștii „standard” nu-i înțeleg pe colegii lor germani când aceștia folosesc idei obscurantiste ca **Geist** și **Weltanschaung**, iar pe de altă parte „școala germană” respinge ideea că procesul economic este analog unui proces mecanic.

Este citată **Rosa Luxemburg** care a considerat că economia studiază de fapt modul în care un sistem haotic și necordonat cum este capitalismul poate totuși să funcționeze. Ea prevedea că știința economică va muri de inanitie odată cu instaurarea societății socialiste în care planificarea științifică va înlocui tatonarea.

În continuare Georgescu Roegen pune problema unei societăți raționale. Se întreabă dacă este rațional să fie sacrificiați toți porcii dintr-un sat de Crăciun, când se mănâncă pe săturate, pentru ca în restul anului să se sufere de foame.

Bridgman a afirmat că nu se va putea avea o știință socială **adevărată** decât după ce societatea omenească va fi mai rațională.

Georgescu Roegen afirmă că **progresul** este rezultatul noutății și nu al unei simple creșteri numerice. Creșterea numerică a cărturilor poate fi dăunătoare, din cauza creșterii lucrărilor mediocre, nesemnificative.

Este criticat celebrul chirurg Christian Barnard, realizatorul primului transplant de inimă care a declarat că pregătește un transplant de creier, arătându-se că, de fapt, nu primitorul este salvat, ci donatorul. Astfel, nu se poate spune că a fost salvată viața unui savant genial care suferea de o tumoare cerebrală canceroasă, printr-un transplant de la un donator cretin.

În ultimul paragraf al capitolului al XI-lea, intitulat „Omul și tradiția” se arată că, potrivit teoriei lui Darwin *evoluția biologică* nu transmite caracterele câștigate. În schimb, *tradiția* este hotărât harmakiană, adică transmite numai caractere câștigate. Tradiția transmite de la o generație la alta atât cunoștințe cât și înclinații. Toate culturile au rămas în urma progresului tehnic de pe vremea lor.

**Leonard Doob** a subliniat că nici o planificare nu poate reuși dacă nu se bazează pe cunoașterea tradiției poporului căruia i se aplică.

**J.J. Spengler** susține că ritmul creșterii economice depinde de gradul compatibilității dintre componentele economice și cele neeconomice ale culturii respective.

***Legea entropiei și problemele economice  
(The entropy law and the economic problem)***

Nicolae Georgescu - Roegen 1970 Universitatea Alabama

Unii economisti fac aluzie la faptul că omul nu poate creea și nici distrugе materia sau energia - un adevărat care provine din Principiul Conservării Materiei și energiei - adică primul principiu al termodinamicii.

Apare o problemă foarte încurcată - ce face procesul economic? Cu toții am învățat faptul esențial că omul produce utilități - remarcă ce accentuează încurcătura. Cum este posibil ca omul să producă ceva material fără să producă nici materie nici energie.

Ca să răspundem la această chestiune, să privim procesul economic ca "un întreg" și numai dintr-un punct de vedere pur fizic.

Ceea ce observăm de la început este faptul că este vorba de un proces parțial și ca toate procesele parțiale este circumscris de o graniță prin care în mod continuu se schimbă materie și energie cu restul universului.

Răspunsul la întrebarea: ce face acest proces material este foarte simplu: nu produce și nici nu consumă materie sau energie; absoarbe numai materie și energie și o aruncă în mod continuu.

Cu toate acestea, economia nu este fizică pură și nici o altă formă de fizică.

Putem fi siguri, că până și cei mai încocați partizani ai ideii că resursele naturale nu au cu nimic de a face cu valoarea, vor admite în cele din urmă că există o diferență între ceea ce intră și ceea ce ieșe din cadrul procesului economic.

Sigur că această diferență este numai de ordin calitativ.

Eu afirm că ceea ce intră într-un proces economic reprezintă "surse naturale de valoare" iar ceea ce ieșe "valoare pierdută" (utilitate pierdută).

Dar această diferență calitativă este confirmată în diferiți termeni de o ramură particulară a fizicii denumită termodinamică.

Din punctul de vedere al termodinamicii, materialele și energia care intră în procesul economic se află într-o stare de "joasă entropie" și vor părași procesul economic într-o stare de "înaltă entropie".

A explica în detaliu ce înseamnă entropia nu este o sarcină prea ușoară chiar și pentru un termodinamician.

De exemplu, o definiție destul de inteligeabilă ne dă ediția din 1948 a dicționarului "Webster's Collegiate Dictionary": "O măsură a energiei inutilizabile într-un sistem termodinamic".

Energia există în două stări calitative - "energie utilizabilă sau energie liberă" și "energie neutilizabilă" (sau bound energy) pe care omul nu o poate folosi.

Energia chimică a unei bucăți de cărbune este o energie liberă pentru că omul o poate transforma în căldură sau dacă vrea în lucru mecanic.

Dar fantastica energie conținută în apa mărilor, de exemplu, este o energie neutilizabilă (bound).

Vapoarele navighează pe vârful acestei energii dar pentru aceasta au nevoie de un anumit combustibil sau de vânt.

---

Termodinamica a cunoscut o dezvoltare deosebită în urma lucrărilor inginerului francez Sadi Carnot care a studiat pentru prima oară economia mașinilor termice.

Astfel, termodinamica a devenit o fizică cu valoare economică și a rămas așa în ciuda numeroaselor contribuții de natură abstractă.

Conform celui de al doilea principiu al termodinamicii - entropia (cantitatea de energie neutilizabilă) a unui sistem încis crește în mod continuu sau ordinea unui astfel de sistem tinde spre dezordine.

Unii scriitori impresionați de faptul că organismele vii rămân neschimbate o perioadă scurtă, dar determinată de timp, au emis ideea că viața se abate de la Legea Entropiei.

Dar faptul că viața ar putea viola anumite legi ale materiei este un nonsens.

Este adevarat că orice organism viu "luptă din răsputeri" numai să-și mențină entropia constantă. Modul în care ajunge aici este de a absorbi continuu entropie scăzută din mediul înconjurător pentru a compensa creșterea de entropie la care este supusă orice structură materială.

Dar entropia întregului sistem - compus din organism și mediul exterior trebuie să crească.

Entropia unui sistem în care este prezentă viața crește mai repede decât a unui sistem în care viața este absentă.

Faptul că organismele vii luptă împotriva degradării entropiei, a structurii lor materiale este o caracteristică proprie a vieții, neexplicată de legile materiale, dar nu constituie o violare a acestor legi.

Practic toate organismele trăiesc pe seama entropiei scăzute în diferite forme în mediul înconjurător.

Omul este cea mai uluitoare excepție: gătește cea mai mare parte a hranei și de asemenea transformă resursele naturale în lucru mecanic sau obiecte de utilitate.

Aici din nou să nu ne lăsăm înșelați. Entropia cuprului metal este mai mică decât entropia minereului din care a fost rafinat dar asta nu înseamnă că se abate de la Legea Entropiei.

Rafinarea minereului cauzează o mai mult decât compensatoare creștere de entropie a mediului înconjurător.

Economii obișnuiesc să spună că nu obținem nimic gratis. Legea Entropiei ne învață că regula vieții biologice în cazul omului are o continuare economică mult mai aspră. În termenii entropiei, costul oricărei antrepize economice este mai mare decât produsul. În termenii entropiei, orice astfel de activitate se desfășoară în deficit.

#### IV

Ideea pe care am prezentat-o anterior că din punct de vedere pur fizic procesul economic transformă numai resurse naturale valoroase (cu grad înalt de utilizare) (entropie redusă) în pierdere (entropie ridicată) este complet lămurită.

Dar nedumerirea: de ce oare trebuie să continuăm un astfel de proces ne însoțește încă.

Și va rămâne o nedumerire atât timp cât nu vom observa că adevaratul scop al procesului economic nu este un flux material de pierderi ci un flux imaterial: bunăstarea vieții. Dacă nu recunoaștem acest flux nu ne aflăm în lumea economică. Și nici nu vom avea o imagine completă a procesului economic dacă ignorăm faptul că acest flux - care trebuie să caracterizeze viața la toate nivelele - va exista atât timp cât se va putea hrăni din mediul înconjurător în mod continuu cu entropie scăzută.

Acejunea continuă a omului de a poseda resurse naturale are o istorie îndelungată.

Datorită degradării irevocabile a entropiei materiei și energiei, popoarele din stepele Asiei și-au început Mareea Migrație spre continentul european la începutul primului mileniu. Același element al presunii resurselor naturale a avut fără discuție un rol în alte migrații printre care cea dinspre Europa spre Noua Lume. Eforturile fantastice făcute pentru a ajunge în Lună reflectă tot speranța de a obține acces la surse adiționale de entropie scăzută. Mareea majoritate a invențiilor umane au avut ca scop folosirea mai judicioasă a entropiei scăzute.

Se observă deci că ideea că procesul economic este închis, circular, este falsă. Procesul economic este solid ancorat în baza materială care este limitată.

Datorită acestor limitări, procesul economic are o evoluție unidirecțională irevocabilă. În lumea economică numai banii circulă înainte și înapoi între diferite sectoare.

## V

Gândirea economică a fost întotdeauna influențată de profitul economic zilnic. Realizările fără precedent ale revoluției industriale au uluit pe oricine aşa încât atenția generală s-a îndreptat spre uzine.

Cu prezicerile oamenilor de știință că știința va asigura mersul înainte al progresului în ciuda oricărora limitări simțite de om, cu economistii care nu au jinut cont în analiza economică de limitarea mediului înconjurător, nu e de mirare că nimeni nu și-a dat seama că nu se poate produce "un mai mare și mai bun" frigidier, automobil sau orice fără "o mai mare și mai importantă" pierdere. Astfel încât atunci când în ţările cu o industrie "mai mare și mai bună" poluarea a devenit un fenomen major, atât economiștii cât și oamenii de știință au fost surprinși.

În momentul de față, autorității în domeniul poluării încearcă să ne vândă, pe de o parte, ideea unor mașini și reacții chimice care nu produc nici o pierdere, și, pe de altă parte, salvarea printr-o reciclare perpetuă a pierderilor.

Nu este nici un secret că, în principiu cel puțin, putem recircula chiar și aurul dispersat în nisipul mărilor.

Dar în oricare caz va trebui să folosim o cantitate suplimentară de entropie scăzută mult mai mare decât scăderea entropiei a ceea ce se recirculă. Nu există o recirculare liberă cum nu există industrie fără pierderi.

## VI

Pământul se află într-un univers a căruia energie poate fi chiar și infinită. Dar omul nu poate avea acces la toate formele de energie liberă. Omul nu poate lua, de exemplu, direct imensa energie termonucleară a soarelui.

Cel mai important impediment (adevărat și pentru cazul folosirii industriale a "bombei cu hidrogen") este inexistența unui material pentru un container care să reziste la temperatura reacțiilor termonucleare. Astfel de reacții pot avea loc numai în spațiul liber.

Energia liberă la care omul poate avea acces provine din două surse distincte:

- 1) Stocul de energie liberă a depozitului de minerale
- 2) Fluxul de radiație solară interceptat de Pământ.

În timp ce omul poate controla rezervele naturale, nu poate stăpâni fluxul radiației solare.

Numai resursele naturale terestre ne oferă materialele cu entropie scăzută din care prelucrăm majoritatea elementelor utile.

Pe de altă parte, radiația solară este sursa primară a vieții pe Pământ care începe cu fotosinteza clorofilei.

Toate aceste idei aruncă o nouă lumină asupra problemei populației care este tipică în zilele noastre. Cât timp va putea fi menținută o populație fie ea de 1 bilion sau 45 bilioane? Ridicând numai această întrebare ne dăm seama de cât de complicată este problema populației.

Dacă privim lupta omenirii pentru progres din ultimii 200 de ani, observăm două trăsături esențiale

a) Datorită progresului spectaculos al științei oamenii au atins un nivel de trai miraculos

b) Pe de altă parte, această dezvoltare a împins omenirea spre resursele energetice. A fost susținută creșterea populației care a accentuat lupta pentru alimente.

Soluția evocată mereu a fost mecanizarea agriculturii.

Dar să vedem ce înseamnă această soluție în termenii entropiei.

În primul rând a fost eliminat partenerul tradițional al omului - animalul de trațiune și astfel, mecanizarea agriculturii a permis ca întregul teritoriu să fie alocat producției de alimente.

Dar în cele din urmă, și cel mai important rezultat este înlocuirea entropiei scăzute preluate de la soare cu una preluată din sursele terestre.

Animalul de trațiune care obținea puterea mecanică de la radiația solară captată în procesul de fotosinteză este înlocuit cu un tractor care este produs cu ajutorul entropiei scăzute terestre. Același lucru se întâmplă cu fertilizatorii.

Ideea care se desprinde este că mecanizarea agriculturii deși este o soluție indispensabilă în impasul prezent, este o soluție anti-economică în viitorul îndepărtat.

Existența biologică a omului depinde din ce în ce mai mult de cele două surse de entropie scăzută.

În momentul de față, folosirea economică a stocului terestru de entropie scăzută nu este limitată numai la mecanizarea agriculturii: este problema principală a viitorului speciei umane.

Dacă se notează cu  $S$  stocul prezent de entropie scăzută al Pământului și cu  $r$  cantitatea medie consumată anual, atunci numărul maxim de ani până la terminarea completă a stocului va fi  $S/r$ . Aceasta este și perioada la sfârșitul căreia evoluția industrială încetează.

Datorită disproporției uriașe între fluxul de energie solară și  $S$  înseamnă că faza evoluției industriale se va opri mult înainte ca Soarele să înceteze a mai străluci. Ce se va întâmpla cu specia umană cunoșcând că o evoluție inversă este puțin probabilă.

## VIII

Concluzia este clară. De fiecare dată când producem un Cadillac distrugem irevocabil o cantitate de entropie scăzută care ar fi putut fi folosită altfel, pentru un plug sau o sapă. *une charnes, une bâche*

Cu alte cuvinte, de fiecare dată când producem un Cadillac o facem micșorând în viitor numărul de vieți omenești.

Dezvoltarea economică în abundență industrială poate fi binecuvântată pentru noi acum și pentru cei ce se vor bucura de ea în viitorul apropiat dar este definitiv împotriva interesului speciei umane.

Unii oameni de știință proclamă că problema hranei va fi complet rezolvată prin conversia la scară industrială a uleiului mineral în proteine, dar acest lucru este contrar a ceea ce știm despre legea entropiei.

Logic, este contrariul, și anume că presat de necesități omul să ducă la conversia inversă a produselor vegetale în gazolină.

Putem fi aproape siguri că sub aceeași presiune omul va descoperi modalitatea de a transforma direct radiația solară în putere mecanică. Sigur, o astfel de descoperire ar reprezenta cea mai mare soluționare a problemei entropice a omenirii (ar aduce astfel drept aport în susținerea vieții cea mai abundentă sursă).

Recircularea și purificarea vor consuma în continuare entropie scăzută dar nu din cel mai rapid degradabil stoc.

Problema este de a convinge pe fiecare individ de a reduce standardul său ridicat în prezent la un astfel de nivel încât generații peste 1 milion de ani de acum încolo să se bucure de același confort ca și acum.

Această lucrare face parte din seria „*Dezbateri Științifice* organizate de Secțiile de specialitate ale ACADEMIEI DE ȘTIINȚE TEHNICE DIN ROMÂNIA”. Ea reprezintă primul volum al seriei ce apare sub îngrijirea Editurii AGIR și reflectă preocuparea secțiilor ASTR – în cazul de față al *Secției de Inginerie Mecanică* - de a organiza dezbateri științifice care să antreneze membrii lor în abordarea unei palete largi de subiecte ale științei și tehnicii actuale și în același timp să contribuie la creșterea prestigiului ASTR ca for științific în rândul diverselor categorii de cercetători. Volumul de față reunește materialele prezentate la trei dezbateri științifice având ca teme: „*Principiul al II-lea al Termodinamicii și Cosmosul*”, „*Procese de transfer de căldură în micro - și nanostructuri*” și „*Noțiunea de entropie în gândirea economică a savantului american, de origine română – Nicolas Georgescu Roegen*”, care au fost organizate în cursul anului 2009 de către Secția INGINERIE MECANICĂ și la care au participat personalități importante din învățământ, cercetare și din viața economică - productivă. Referatele prezentate, din care cităm cel susținut de Academicianul Radu VOINEA, au fost completate de discuții ce s-au bucurat de aprecierea unanimă a auditoriului.

ISBN 978-973-720-321-2

9 789737 203212

ISBN 978-973-720-370-0

9 789737 203700