

Nicolae Sfetcu

FIZICA FENOMENOLOGICĂ

COMPENDIU

Volumul 1

MultiMedia Publishing

Fizica fenomenologică

Compendiu

Volumul 1

PREVIZUALIZARE CARTE

TERMODINAMICA

Nicolae Sfetcu

Publicat de MultiMedia Publishing

Copyright 2019 Nicolae Sfetcu

Publicat de MultiMedia Publishing, www.telework.ro/ro/editura

ISBN general: 978-606-033-185-8, ISBN: 978-606-033-189-6, DOI: 10.58679/MM42671

Cartea include texte din cărțile și paginile web următoare având ca autor pe Nicolae Sfetcu:

- Fizica simplificată
- Pseudoștiință? Dincolo de noi...
- Legea gravitației universale a lui Newton
- Teoria specială a relativității
- Călătorii în timp
- Teoria generală a relativității
- Sunetul fizicii - Acustica fenomenologică
- Fizica atomică și nucleară fenomenologică
- Materia: Solide, Lichide, Gaze, Plasma - Fenomenologie
- Căldura - Termodinamica fenomenologică
- Lumina - Optica fenomenologică
- Mecanica fenomenologică
- De la Big Bang la singularități și găuri negre
- Schimbări climatice - Încălzirea globală
- Electricitate și magnetism - Electromagnetism fenomenologic
- Știința - Filosofia științei
- Mecanica cuantică fenomenologică
- Telework (surse: articole originale, și Wikipedia sub licență CC BY-SA 3.0 RO traduse și adaptate de Nicolae Sfetcu, și alte surse).

Textele din această carte sunt sub licență CC BY-SA 3.0 RO.

DECLINARE DE RESPONSABILITATE

Având în vedere posibilitatea existenței erorii umane sau modificării conceptelor științifice, nici autorul, nici editorul și nicio altă parte implicată în pregătirea sau publicarea lucrării curente nu pot garanta în totalitate că toate aspectele sunt corecte, complete sau actuale, și își declină orice responsabilitate pentru orice eroare ori omisiune sau pentru rezultatele obținute din folosirea informațiilor conținute de această lucrare.

Cu excepția cazurilor specificate în această carte, nici autorul sau editorul, nici alți autori, contribuabili sau alți reprezentanți nu vor fi răspunzători pentru daunele rezultate din sau în legătură cu utilizarea acestei cărți. Aceasta este o declinare cuprinzătoare a răspunderii care se aplică tuturor daunelor de orice fel, incluzând (fără limitare) compensatorii; daune directe, indirecte sau consecvente, inclusiv pentru terțe părți.

Înțelegeți că această carte nu intenționează să înlocuiască consultarea cu un profesionist educațional, juridic sau financiar licențiat. Înainte de a o utiliza în orice mod, vă recomandăm să consultați un profesionist licențiat pentru a vă asigura că faceți ceea ce este mai bine pentru dvs.

Această carte oferă conținut referitor la subiecte educaționale. Utilizarea ei implică acceptarea acestei declinări de responsabilitate.

Volumul 2

8 Lumina

- 8.1 Proprietățile luminii
 - 8.1.1 Unde electromagnetice
 - 8.1.1.1 Viteza undelor electromagnetice
 - 8.1.2 Spectrul electromagnetic
 - 8.1.3 Materiale transparente
 - 8.1.4 Materiale opace (Opacitatea)
 - 8.1.5 Umbra
 - 8.1.6 Sistemul vizual uman (Ochiul)
 - 8.1.7 De ce este apusul de Soare roșu?
 - 8.1.8 De ce sunt norii colorați?
 - 8.1.9 Ce culoare are apa?
- 8.2 Culori
 - 8.2.1 Reflexia selectivă (Culoarea unui obiect)
 - 8.2.2 Transmiterea selectivă (Transparența și translucența)
 - 8.2.3 Amestecul luminii colorate (Amestecul culorilor)
 - 8.2.4 Culori complementare
 - 8.2.5 Amestecul pigmentilor colorați (Pigmenți)
 - 8.2.6 De ce e cerul albastru?
- 8.3 Reflexia și refracția (Optica geometrică)
 - 8.3.1 Reflexia
 - 8.3.2 Principiul timpului cel mai scurt (Principiul lui Fermat)
 - 8.3.3 Legea reflexiei
 - 8.3.4 Oglinzi plane (Oglinzi)
 - 8.3.5 Reflexia difuză
 - 8.3.6 Refracția
 - 8.3.7 Mirajul
 - 8.3.8 Dispersia
 - 8.3.9 Curcubeul
 - 8.3.10 Reflexia internă totală
 - 8.3.11 Lentile
 - 8.3.11.1 Formarea imaginilor prin lentile
 - 8.3.11.2 Defecte ale lentilelor
- 8.4 Undele luminoase (Optica fizică)
 - 8.4.1 Principiul Huygens–Fresnel
 - 8.4.2 Difracția luminii
 - 8.4.3 Interferența optică
 - 8.4.4 Interferența pe straturi subțiri
 - 8.4.5 Polarizarea
 - 8.4.6 Vederea tridimensională (Percepția în adâncime)
 - 8.4.7 Holografia

- 8.5 Emisia luminii (Surse de lumină)
- 8.5.1 Excitarea (Stări excitate)
- 8.5.2 Spectrul de emisie al luminii
- 8.5.3 Incandescența
- 8.5.4 Spectrul de absorbție (Spectroscopia de absorbție)
- 8.5.5 Fluorescența
- 8.5.6 Lămpi fluorescente
- 8.5.7 Fosforescența
- 8.5.8 LED
- 8.5.9 Lămpi cu LED
- 8.5.10 Laser
- 8.5.11 Extreme Light Infrastructure (ELI)
- 8.6 Cuanta de lumină (Fotoni)
- 8.6.1 Nașterea teoriei cuantice (Optica cuantică)
- 8.6.2 Cuantificarea și constanta lui Planck
- 8.6.3 Efectul fotoelectric
- 8.6.4 Dualitatea undă-particulă
- 8.6.5 Experimentul celor două fante
- 8.6.6 Difracția electronilor
- 8.6.7 Principiul incertitudinii
- 8.6.8 Complementaritatea
- 9 Fizica atomică și nucleară
- 9.1 Atomul și cuanta
- 9.1.1 Descoperirea nucleului atomic
- 9.1.2 Descoperirea electronului
- 9.1.3 Spectroscopia atomică - Linii spectrale
- 9.1.4 Modelul Bohr al atomului
- 9.1.5 Mărimea relativă a atomilor (Raza atomilor)
- 9.1.6 Nivele energetice cuantificate: Undele electronilor
- 9.1.7 Mecanica cuantică
- 9.1.8 Principiul corespondenței
- 9.2 Nucleul atomic și radioactivitatea
- 9.2.1 Razele X
- 9.2.2 Radiații alfa, beta și gama
- 9.2.3 Nucleul atomic
- 9.2.4 Forțe nucleare
- 9.2.5 Izotopi
- 9.2.6 De ce sunt radioactivi atomii? (Dezintegrarea radioactivă)
- 9.2.7 Timpul de înjumătățire (Dezintegrarea radioactivă)
- 9.2.8 Detectoare de radiații (Detectoare de particule)
- 9.2.9 Transmutarea elementelor (Transmutarea nucleară)
- 9.2.10 Transmutarea naturală (Transmutarea în univers)
- 9.2.11 Transmutarea artificială (Transmutarea artificială a deșeurilor nucleare)
- 9.2.12 Izotopi radioactivi (Radionuclizi)

- 9.2.13 Datarea radiometrică
- 9.2.14 Datarea cu carbon (Datarea cu radiocarbon)
- 9.2.15 Datarea cu uraniu
- 9.2.16 Efectele radiațiilor asupra oamenilor
- 9.2.17 Dozarea radiațiilor
- 9.3 Fizica particulelor
- 9.3.1 Particule elementare (Modelul Standard)
- 9.3.2 Extensii ale Modelului Standard
- 9.3.3 Protoni
- 9.3.4 Neutroni
- 9.3.5 Electroni
- 9.3.6 Cuarci
- 9.3.7 Fotoni
- 9.3.8 Gluoni
- 9.3.9 Bosoni W și Z
- 9.3.10 Neutrini
- 9.3.11 Fizica acceleratorilor
- 9.4 Fisiunea și fuziunea nucleară
- 9.4.1 Fisiunea nucleară
- 9.4.2 Reactoare de fisiune nucleară (Reactoare nucleare)
- 9.4.3 Reactoare nucleare cu apă grea presurizată - CANDU
- Reactorul CANDU
- Centrala Nucleară de la Cernavodă
- 9.4.4 Plutoni
- 9.4.5 Reactoare nucleare reproducătoare
- 9.4.6 Energia de fisiune (Energia nucleară)
- Centrale nucleare
- Energia nucleară în România
- 9.4.7 Echivalența masă-energie în reacțiile nucleare
- 9.4.8 Fuziunea nucleară
- 9.4.9 Controlul fuziunii (Energia de fuziune)
- 10 Relativitatea
- 10.1 Teoria specială a relativității
- 10.1.1 Cadre de referință, coordonate și transformarea Lorentz
- 10.1.2 Experimentul Michelson-Morley pentru confirmarea eterului
- 10.1.3 Postulatele teoriei speciale a relativității
- 10.1.4 Simultaneitatea (Relativitatea simultaneității)
- 10.1.5 Spațiu-timp
- 10.1.6 Dilatarea timpului
- 10.1.7 Paradoxul gemenilor
- 10.1.8 Însurarea vitezelor
- 10.1.9 Călătoriile în cosmos
- 10.1.10 Constrația lungimii
- 10.1.11 Impulsul relativist (Cvadari-impuls)

- 10.1.12 Echivalența masă-energie ($E = mc^2$)
- 10.1.13 Masa în relativitatea specială
- 10.1.14 Cauzalitatea și imposibilitatea depășirii vitezei luminii
- 10.1.15 Principiul corespondenței
- 10.2 Teoria relativității generale
- Ecuatiile lui Einstein
- 10.2.1 Principiul echivalenței
- 10.2.2 Dilatarea gravitațională a timpului
- 10.2.3 Curbarea luminii de către gravitație (Lentile gravitaționale)
- 10.2.4 Desplasarea gravitațională spre roșu
- 10.2.5 Mișcarea lui Mercur (Precesia periheliului lui Mercur)
- 10.2.6 Gravitația, spațiul și o nouă geometrie (Geometria și gravitația)
- 10.2.7 Unde gravitaționale
- 10.2.8 Gravitația lui Newton și cea a lui Einstein
- 11 Mecanica cuantică
- 11.1 Mecanica cuantică
- 11.1.1 Radiația corpului negru și cuantificarea lui Planck
- 11.1.2 Unde materiale - Relațiile de Broglie
- 11.2 Dualitatea undă-particulă
- 11.2.1 Microscopul lui Heisenberg
- 11.2.2 Disputa Einstein-Bohr
- 11.2.3 Experimentul alegerii întârziate
- 11.3 Ecuția de undă Schrödinger
- 11.3.1 Stări cuantice
- 11.3.2 Funcția de undă
- 11.3.3 Colapsul funcției de undă
- 11.3.4 Interpretarea probabilităților (Problema măsurătorilor)
- 11.3.5 Formularea spațiului de fază
- 11.4 Pachete de unde
- 11.4.1 Aplicații ale relației de inertitudine
- 11.4.1.1 Relația de incertitudine timp-energie
- 11.4.1.2 Paradoxurile lui Zenon în mecanica cuantică
- 11.4.2 Funcții proprii
- 11.4.3 Operatorul impuls
- 11.4.4 Forma generală a ecuației Schrodinger: Operatorul hamiltonian
- 11.4.5 Postulatele mecanicii cuantice și semnificația măsurătorilor
- 11.5 Soluții ale ecuației Schrödinger
- 11.5.1 Particulă într-o cutie unidimensională
- 11.5.2 Barieră rectangulară de potențial
- 11.5.3 Puț de potențial finit
- 11.5.4 Paritatea
- 11.5.5 Oscilatorul armonic unidimensional
- 11.5.6 Operatorul momentului unghiular
- 11.5.6.1 Relația de incertitudine dintre momentul unghiular și unghiul de rotație

- 11.5.7 Particule identice
- 11.5.8 Potențialul central (Potențialul cuantic)
- 11.5.9 Puțul de potențial
- 11.6 Paradoxuri și interpretări ale mecanicii cuantice
- 11.6.1 Inseparabilitatea cuantică
- 11.6.2 Paradoxurile mecanicii cuantice
- 11.6.3 Paradoxul EPR
- 11.6.4 Interpretarea Copenhaga
- 11.6.5 Variabile ascunse
- 11.6.6 Paradoxul pisicii lui Schrödinger
- 11.6.7 Interpretarea ansamblului (statistică)
- 11.6.8 Interpretarea multiplelor lumi
- 11.7 Stările cuantice conform lui Dirac
- 11.7.1 Ecuația de undă Dirac
- 11.7.2 Notăția bra-ket în mecanica cuantică
- 11.8 Corespondența cu mecanica clasică
- 11.8.1 Ecuația de mișcare a lui Heisenberg (Reprezentările Heisenberg, Schrödinger și Dirac)
- 11.8.2 Teorema Ehrenfest și limita clasică a mecanicii cuantice
- 11.8.3 Aproximarea WKB
- 11.8.4 Teorema adiabatică
- 11.9 Momentul unghiular și spinul
- 11.9.1 Momentul unghiular
- 11.9.2 Spin și matrice
- 11.9.3 Mecanica matriceală
- 11.9.3.1 Particule cu spin în câmp magnetic: Rezonanța magnetică nucleară
- 11.9.3.2 Precesia spinului în câmp magnetic (Rezonanța paramagnetică a electronilor)
- 11.9.4 Cuplarea momentelor unghiulare
- 11.9.5 Principiul de excluziune Pauli
- 11.9.6 Starea singlet și paradoxul EPR
- 11.9.7 Teorem Bell
- 11.9.8 Inegalitatea Bell
- 11.10 Materia cuantică
- 11.10.1 Atomul de hidrogen
- 11.10.1.1 Atomul de hidrogen în interpretarea de la Copenhaga
- 11.10.2 Structura fină a hidrogenului
- 11.10.3 Interacția spin-orbită
- 11.10.4 Explicația cuantică a tabelului periodic al elementelor
- 11.10.5 Structura moleculelor
- 11.10.6 Condensat Bose-Einstein și condensat fermionic
- 11.10.7 Gazul Fermi și gazul Bose
- 11.11 Perturbații
- 11.11.1 Metode de aproximare pentru stări staționare

- 11.11.2 Efectul Stark
- 11.11.3 Teoria perturbației dependente de timp
- 11.11.4 Perturbația periodică: Regula de aur a lui Fermi
- 11.11.5 Teoria dispersiei. Aproximarea Born.
- 11.11.6 Amplitudinea de împrăștiere
- 11.12 Teoria cuantică a câmpului
- 11.12.1 Electrodinamica cuantică
- 11.12.2 Efectul Zeeman
- 11.12.3 Efectul Aharonov-Bohm
- 11.12.4 Cuantizarea fluxului magnetic
- 11.12.5 Filosofia macrealismului și SQUID
- 11.13 Modelul standard
- 11.13.1 Cromodinamica cuantică
- 11.14 Gravitația cuantică
- 11.14.1 Gravitația cuantică în bucle
- 11.14.2 Teoria corzilor
- 11.14.3 Teoria finală
- 11.15 Filosofia și interpretările mecanicii cuantice
- 11.15.1 Interpretări ale mecanicii cuantice
- 11.15.2 Măsurători în mecanica cuantică
- 11.15.3 Matricea de densitate
- 11.15.4 Interpretarea Von Neumann–Wigner
- 12 Perspective în fizică
- 12.1 Probleme rezolvate recent în fizică
- 12.2 Probleme nerezolvate în fizică
- Anexe
- Anexa A1 Sisteme de măsură
- Anexa A2 Vectori

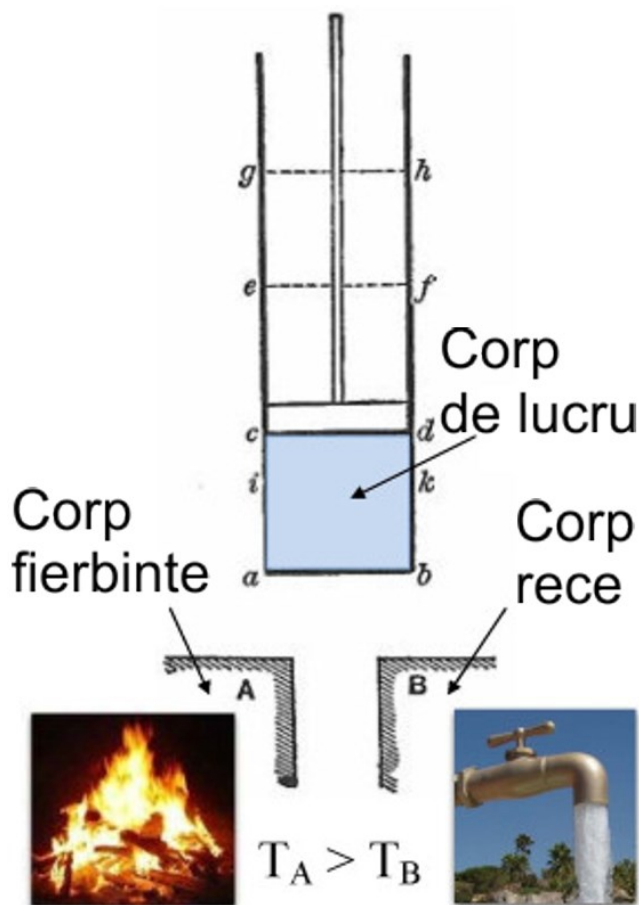
Cuprins

Fizica fenomenologică.....	1
Compendiu.....	1
Volumul 1.....	1
Volumul 2	4
5.5 Termodinamica.....	12
5.5.1 Concepte în termodinamică.....	16
5.5.2 Zero absolut.....	18
Termodinamica aproape de zero absolut	19
Relația cu condensatul Bose-Einstein.....	20
Scări de temperatură absolută	21
Temperaturi negative	21
5.5.3 Energia internă.....	22
5.5.4 Prima lege a termodinamicii	26
5.5.5 Procese adiabatice.....	29
5.5.6 Meteorologia (Fizica norilor).....	33
5.5.7 A doua lege a termodinamicii	40
5.5.8 Motoare termice.....	46
5.5.9 Tendința de la ordine la dezordine (Ordinea și dezordinea)	52
5.5.10 Entropia	55
Cuprins.....	63
Cartea.....	70
Caracteristici specifice.....	70

NICOLAE SFETCU: FIZICA FENOMENOLOGICĂ – COMPENDIU - VOLUMUL 1

Subiecte acoperite	71
De ce această carte?	71
Pentru cine este?.....	71
Despre autor	74
Nicolae Sfetcu.....	74
Contact.....	74
Editura.....	75
MultiMedia Publishing	75

5.5 Termodinamica



(Versiunea color adnotată a motorului de termic Carnot original din 1824 care arată corpul fierbinte (boiler), corpul de lucru (sistem, abur) și corpul rece (apa), literele fiind etichetate în funcție de punctele de oprire din ciclul Carnot.)

Termodinamica este o ramură a fizicii care studiază căldura și temperatura și relația lor cu energia și lucrul mecanic. Comportamentul acestor cantități este guvernat de cele patru legi ale termodinamicii, indiferent de compoziția sau proprietățile specifice ale materialului sau sistemului în cauză. Legile termodinamicii sunt explicate în termeni de constituenți microscopici prin mecanica statistică. Termodinamica se aplică unei game largi de subiecte din știință și inginerie, în special chimie fizică, inginerie chimică și inginerie mecanică.

Din punct de vedere istoric, termodinamica sa dezvoltat din dorința de a spori eficiența motoarelor timpurii cu aburi, în special prin munca fizicianului francez Nicolas Léonard Sadi Carnot (1824), care credea că eficiența motorului este cheia care ar putea ajuta Franța să câștige războaiele napoleoniene. Fizicianul scoțian Lordul Kelvin a fost primul care a formulat o definiție succintă a termodinamicii în 1854, care afirma: "Termodinamica este subiectul relației căldurii cu forțele care acționează între părți contigue ale corpurilor și relația căldurii cu agentul electric".

Aplicarea inițială a termodinamicii la motoarele termice mecanice a fost extinsă la începutul studiului compușilor chimici și reacțiilor chimice. Termodinamica chimică studiază natura rolului entropiei în procesul reacțiilor chimice și a oferit cea mai mare parte a extinderii și a cunoașterii domeniului. Alte formulări de termodinamică au apărut în următoarele decenii. Termodinamica statistică sau mecanica statistică s-a preocupat de predicțiile statistice ale mișcării colective a particulelor din comportamentul lor microscopic. În 1909, Constantin Carathéodory a prezentat o abordare pur matematică a câmpului în formula sa axiomatică de termodinamică, o descriere adesea denumită termodinamica geometrică.

Introducere

O descriere a oricărui sistem termodinamic folosește cele patru legi ale termodinamicii care formează o bază axiomatică. Prima lege specifică faptul că energia poate fi schimbată între sistemele fizice ca și căldură și lucru mecanic. A doua lege definește existența unei cantități numite entropie, care descrie direcția, termodinamic, în care un sistem poate evolua și cuantifica starea de ordine a unui sistem și care poate fi folosită pentru a cuantifica munca utilă care poate fi extrasă din sistem.

În termodinamică, interacțiunile dintre ansamblurile mari de obiecte sunt studiate și clasificate. Conceptele centrale sunt *sistemul* termodinamic și *mediul* său. Un sistem este compus din particule, ale căror mișcări medii definesc proprietățile lor, iar aceste proprietăți sunt, la rândul lor, legate între ele prin ecuații de stare. Proprietățile pot fi combinate pentru a exprima energia internă și potențialul termodinamic, care sunt utile pentru determinarea condițiilor de echilibru și a proceselor spontane.

Cu aceste instrumente, termodinamica poate fi folosită pentru a descrie modul în care sistemele răspund la schimbările din mediul lor. Acest lucru poate fi aplicat unei game largi de subiecte din știință și inginerie, cum ar fi motoare, tranziții de fază, reacții chimice, fenomene de transport și chiar găuri negre. Rezultatele termodinamicii sunt esențiale pentru alte domenii ale fizicii și chimiei, ingineriei chimice, ingineriei aerospațiale, ingineriei mecanice, biologiei celulare, ingineriei biomedicale, științei materialelor și economiei, pentru a numi doar câteva.

Termodinamica clasică studiază în primul rând sistemele în echilibru termodinamic. Termodinamica non-echilibrului este adesea tratată ca o prelungire a tratamentului clasic, însă mecanica statistică a adus multe progrese în acest domeniu.

Istorie

Istoria termodinamicii ca disciplină științifică începe, în general, cu Otto von Guericke care, în 1650, a construit și proiectat prima pompă de vid din lume și a realizat un vacuum folosind emisferile sale Magdeburg. Guericke a decis să creeze un vid pentru a dezaproba presupunerea susținută de mult de Aristotel că "natura detestă vidul". La scurt timp după

Guericke, fizicianul și chimistul englez Robert Boyle au aflat de desenele lui Guericke și, în 1656, în coordonare cu omul de știință englez Robert Hooke, au construit o pompă de aer. Utilizând această pompă, Boyle și Hooke au observat o corelație între presiune, temperatură și volum. În timp, a fost formulată Legea lui Boyle, care afirmă că presiunea și volumul sunt invers proporționale. Apoi, în 1679, pe baza acestor concepte, un asociat al lui Boyle, Denis Papin, a construit un vas cu aburi, închis cu un capac bine fixat, care izola aburul până la o presiune ridicată.

Ulterior, modelele au implementat o supapă de evacuare a aburului care a împiedicat explozia mașinii. Urmărind supapa ritmic în sus și în jos, Papin a conceput ideea unui piston și a unui motor cilindric. Dar nu l-a proiectat. În 1697, pe baza modelelor lui Papin, inginerul Thomas Savery a construit primul motor, urmat de Thomas Newcomen în 1712. Cu toate că aceste motoare timpurii au fost brute și ineficiente, au atras atenția oamenilor de știință ai timpului.

Conceptele fundamentale ale capacității termice și căldurii latente, necesare pentru dezvoltarea termodinamicii, au fost dezvoltate de profesorul Joseph Black de la Universitatea din Glasgow, unde James Watt a fost angajat ca instrumentar. Black și Watt au realizat împreună experimente, dar Watt a conceput ideea condensatorului extern care a dus la o creștere mare a eficienței motorului cu abur. Bazându-se pe toate lucrările anterioare, Sadi Carnot, "părintele termodinamicii", a publicat *Reflecții privind puterea motivantă a focului* (1824), un discurs despre căldură, putere, energie și eficiența motorului. Cartea a subliniat relațiile energetice fundamentale dintre motorul Carnot, ciclul Carnot și puterea motrice. A marcat începutul termodinamicii ca o știință modernă.

Primul manual termodinamic a fost scris în 1859 de William Rankine, inițial educat ca fizician și profesor de inginerie civilă și mecanică la Universitatea din Glasgow. Prima și a doua lege a termodinamicii au apărut simultan în anii 1850, în primul rând din lucrările lui William Rankine, Rudolf Clausius și William Thomson (Lordul Kelvin).

Bazele termodinamicii statistice au fost expuse de fizicieni precum James Clerk Maxwell, Ludwig Boltzmann, Max Planck, Rudolf Clausius și J. Willard Gibbs.

În anii 1873-1976, fizicianul matematician american Josiah Willard Gibbs a publicat o serie de trei lucrări, cea mai cunoscută fiind "*Despre echilibrul substanțelor eterogene*", în care a arătat cum procesele termodinamice, inclusiv reacțiile chimice, ar putea fi analizate grafic prin studierea energiei, entropiei, volumului, temperaturii și presiunii sistemului termodinamic, astfel putându-se determina dacă un proces ar avea loc spontan. De asemenea, Pierre Duhem, în secolul al XIX-lea, a scris despre termodinamica chimică. La începutul secolului al XX-lea, chimiști precum Gilbert N. Lewis, Merle Randall și E. A. Guggenheim au aplicat metodele matematice ale lui Gibbs la analiza proceselor chimice.

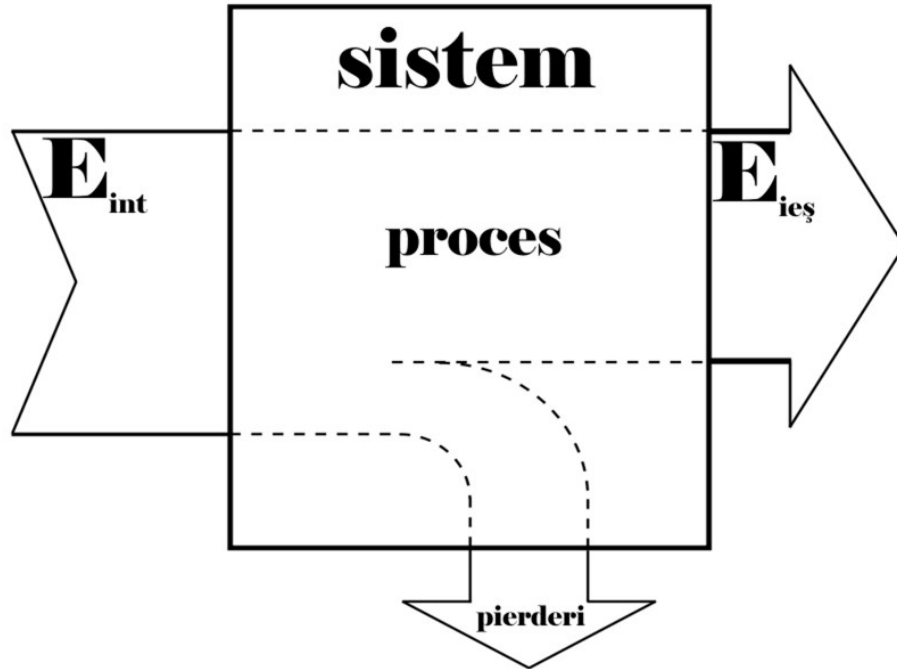
Legile termodinamicii

Dediniții alternative sunt oferite pentru fiecare lege. Aceste definiții sunt, în cea mai mare parte, matematic echivalente.

- **Principiul zero:** Un concept fundamental în termodinamică. Cu toate acestea, nu a fost considerat lege decât după ce primele trei legi au fost deja utilizate pe scară largă, de unde și numerotarea zero. Există unele discuții cu privire la statutul său. Definit ca:
 - Dacă fiecare dintre două sisteme este în echilibru termic cu un al treilea sistem, toate trebuie să fie în echilibru între ele.
- **Prima lege:** Este definită astfel:
 - Energia nu poate fi nici creată, nici distrusă, doar schimbată.
 - Căldura care curge într-un sistem este egală cu suma dintre schimbarea de energie internă și lucrul mecanic efectuat de către sistem.
 - Lucrul mecanic schimbat într-un proces adiabatic depinde numai de starea inițială și finală, și nu de detaliile procesului.
 - Suma dintre căldura care curge într-un sistem și lucrul mecanic efectuat de către sistem este zero.
- **A doua lege:** O lege de anvergură și foarte puternică, se poate defini în mai multe moduri, cele mai populare definiții fiind:
 - Este imposibil să se obțină un proces astfel încât efectul unic să fie scăderea termică pozitivă de la un rezervor și producerea unui lucru mecanic pozitiv.
 - Un sistem operând în contact cu un rezervor termic nu poate produce lucru mecanic pozitiv în vecinătatea sa (Kelvin)
 - Un sistem operând într-un ciclu nu poate produce un flux pozitiv de căldură de la un corp rece la un corp fierbinte (Clausius)
 - Entropia unui sistem închis niciodată nu scade.
- **A treia lege:** Legea explică de ce este atât de greu să se răcească un sistem până la zero absolut:
 - Toate procesele încetează când temperatura se apropie de zero.
 - Atunci când temperatura unui sistem scade spre 0, entropia acestuia se apropie de o constantă.

Cele trei legi originale au fost rezumate cu umor, în termeni de joc, astfel: (1) nu poți câștiga; (2) nu poți egala; (3) nu poți ieși din joc.

5.5.1 Concepte în termodinamică



Acesta este un scurt rezumat și o colecție a conceptelor majore în termodinamică.

U reprezintă energia internă, T este temperatura, S entropia, P presiunea, V volumul, ρ densitatea, F energia liberă Helmholtz, H entalpia, G energia liberă Gibbs, μ potențialul chimic, și N numărul de particule.

Această discuție este doar despre sisteme în echilibru.

Substanțe care se pot descrie doar prin temperatură

Radiația corp negru este un exemplu. Motivul este că numărul de fotoni nu este conservat. Starea este complet descrisă de temperatură, cu excepția tranzițiilor de fază și, probabil, ruperea spontană de simetrie în faza ordonată. Fiind dată energia internă funcție de temperatură, putem defini

$$F = U - TS$$

Substanțe care se pot descrie doar prin temperatură și presiune

Cele mai multe substanțe nemagnetice "pure" se încadrează în această categorie. Această stare este complet descrisă de temperatură și presiune, cu excepția tranzițiilor de fază și,

probabil, ruperea spontană de simetrie în faza ordonată. Având U și V (sau densitatea ρ) în funcție de T și P , putem defini energia Helmholtz ca și înainte, și energia Gibbs ca

$$G = U - TS + PV$$

și entalpia ca

$$H = U + PV$$

Substanțe care se pot descrie prin temperatură, presiune și potențial chimic

Dacă există mai mult de un tip de atomi/molecule, o substanță intră în această categorie. Această stare este complet descrisă de temperatură, presiune și potențial chimic, cu excepția cazului tranzițiilor de fază și, probabil, ruperea spontană de simetrie în faza ordonată.

Substanțe care se pot descrie prin temperatură și câmp magnetic

Dacă o substanță este un feromagnet sau un supraconductor, de exemplu, se încadrează în această categorie. Acestea sunt complet descrise de temperatură și câmp magnetic, cu excepția cazului tranzițiilor de fază și, probabil, ruperea spontană de simetrie în faza ordonată.

Sisteme termodinamice

Un sistem termodinamic este acea parte a universului în curs de studiu. O limită reală sau imaginară separă sistemul de restul universului, menționat ca vecinătăți. Sistemele termodinamice sunt caracterizate adesea prin natura acestei limite, după cum urmează:

- *Sistemele izolate* sunt complet izolate de vecinătățile lor. Nici căldură, nici materie nu pot fi schimbate între sistem și vecinătăți. Un exemplu al unui sistem izolat ar fi un recipient izolat, ca de exemplu un cilindru de gaz izolat. (În realitate, un sistem nu poate fi absolut izolat de vecinătățile sale, pentru că există întotdeauna cel puțin o ușoară cuplare, chiar dacă numai prin atracția gravitațională minimă).
- *Sistemele închise* sunt separate de mediul înconjurător printr-o barieră impermeabilă. Căldura poate fi schimbată între sistem și vecinătăți, dar nu și materia. Un efect de seră este un exemplu de sistem închis.
- *Sistemele deschise* pot schimba atât căldură cât și materie cu vecinătățile sale. Anumite zone de graniță dintre sistemul deschis și vecinătățile sale pot fi impermeabile și/sau adiabatic, însă cel puțin o zonă din această limită este supusă schimbului de căldură și materie cu vecinătățile. Oceanul este un exemplu de sistem deschis.

Stări termodinamice

Un concept cheie în termodinamică este starea unui sistem. Atunci când un sistem este în echilibru în anumite condiții, se spune că este într-o stare definită. Pentru o stare termodinamică dată, multe dintre proprietățile sistemului au o anumită valoare care corespund acestei stări. Valorile acestor proprietăți sunt o funcție de starea sistemului și sunt independente de calea prin care sistemul a ajuns la această stare. Numărul de proprietăți care trebuie să fie specificate pentru a descrie starea unui sistem dat este dată de regula fazelor Gibbs. Având în vedere că starea poate fi descrisă prin specificarea un număr mic de proprietăți, în timp ce valorile mai multor proprietăți sunt determinate de starea sistemului, este posibil să se dezvolte relațiile dintre diferitele proprietăți de stare. Unul dintre obiectivele principale ale termodinamicii este de a înțelege aceste relații între diverse proprietăți de stare ale unui sistem. Ecuațiile de stare sunt exemple ale unora din aceste relații.

5.5.2 Zero absolut

Zero absolut este limita inferioară a scării de temperatură termodinamică, o stare în care entalpia și entropia unui gaz ideal răcit ating valoarea minimă, considerată ca 0. Zero absolut este punctul în care particulele fundamentale ale naturii au o mișcare minimă de vibrație, păstrând numai mișcarea particulelor indusă de energie mecanică cuantică, cu punct zero. Temperatura teoretică este determinată prin extrapolarea legii ideale privind gazele; prin acordul internațional, zero absolut este luată ca -273.15° pe scara Celsius (Sistemul Internațional de Unități), care echivalează cu -459.67° pe scara Fahrenheit (unități uzuale în Statele Unite sau unități imperiale). Scalele de temperatură corespunzătoare Kelvin și Rankine își stabilesc, prin definiție, punctele zero la zero absolut.

Se consideră că este cea mai mică temperatură posibilă, dar nu este starea de *entalpie* cea mai scăzută posibil, deoarece toate substanțele reale încep să se îndepărteze de gazul ideal atunci când se răcesc pe măsură ce se apropie de schimbarea stării la lichid și apoi la solid; iar suma entalpiei de vaporizare (gaz în lichid) și entalpia de fuziune (lichid în solid) depășește schimbarea gazului ideal în entalpie la zero absolut. În descrierea mecanicii cuantice, materia (solidă) la zero absolut este în starea sa de bază, punctul cel mai scăzut al energiei interne.

Legile termodinamicii indică faptul că zero absolut nu poate fi atins doar cu mijloace termodinamice, deoarece temperatura substanței răcite se apropie asimptotic de temperatura agentului de răcire, iar un sistem la zero absolut are încă energie mecanică cuantică de punct zero, energia stării sale de bază la zero absolut. Energia cinetică a stării de bază nu poate fi îndepărtată.

Oamenii de știință și tehnologii realizează în mod obișnuit temperaturi apropiate de zero absolut, unde materia prezintă efecte cuantice cum ar fi superconductivitatea și superfluiditatea.

Termodinamica aproape de zero absolut

La temperaturi apropiate de 0 K (-273,15° C; -459,67° F), aproape toate mișcările moleculare încetează și $\Delta S = 0$ pentru orice proces adiabatic, unde S este entropia. Într-o astfel de circumstanță, substanțele pure pot (în mod ideal) să formeze cristale perfecte când $T \rightarrow 0$. Forma puternică a lui Max Planck din a treia lege a termodinamicii afirmă că entropia unui cristal perfect dispare la zero absolut. Teorema căldurii Nernst originală face ca afirmația mai slabă și mai puțin controversată că schimbarea entropiei pentru orice proces izotermic se apropie de zero când $T \rightarrow 0$. Implicația este că entropia unui cristal perfect se apropie de o valoare constantă.

"Postulatul Nernst identifică izoterma $T = 0$ coincidând cu adiabata $S = 0$, deși alte izoterme și adiabate sunt distincte. Deoarece nu există două adiabate care să se intersecteze, nicio altă adiabată nu poate intersecta izoterma $T = 0$. Prin urmare, niciun proces adiabatic inițiat la o temperatură diferită de zero nu poate conduce la temperatură zero." (Herbert B. Callen, *Thermodynamics*)

Un cristal perfect este unul în care structura de rețea internă se extinde neîntrerupt în toate direcțiile. Ordinea perfectă poate fi reprezentată de simetria translațională de-a lungul a trei axe (de obicei neortogonale). Fiecare element de rețea al structurii este în locul său propriu, indiferent dacă este vorba de un singur atom sau de o grupare moleculară. Pentru substanțele care există în două (sau mai multe) forme cristaline stabile, cum ar fi diamantul și grafitul pentru carbon, există un fel de *degenerare chimică*. Întrebarea rămâne dacă ambele pot avea entropie zero la $T = 0$ chiar dacă fiecare este perfect ordonat.

Cristale perfecte nu apar niciodată în practică; imperfecțiunile și chiar incluziunile materialelor amorfe întregi, pot "îngheța" la temperaturi scăzute, astfel încât să nu apară tranziții la stări mai stabile.

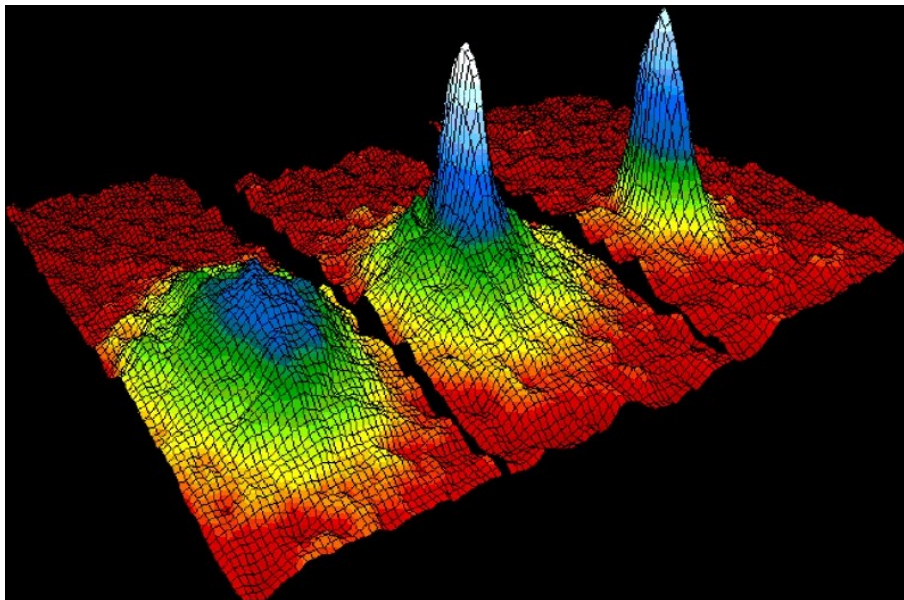
Utilizând modelul Debye, căldura specifică și entropia unui cristal pur sunt proporționale cu T^3 , în timp ce entalpia și potențialul chimic sunt proporționale cu T^4 . Aceste cantități scad spre valorile lor limită $T = 0$ și se apropie cu pante către zero. Pentru căldura specifică cel puțin, valoarea limită însăși este cu siguranță zero, după cum rezultă din experimente sub 10 K. Chiar și modelul mai puțin detaliat Einstein arată această scădere curioasă în călduri specifice. De fapt, toate căldurile specifice dispar la zero absolut, nu doar cele ale cristalelor. Ca și coeficientul de expansiune termică. Relațiile lui Maxwell arată că și alte cantități dispar. Aceste fenomene nu au fost anticipate.

Principiul lui Thomsen și Berthelot afirmă că *starea de echilibru la care se desfășoară un sistem este cea care dezvoltă cea mai mare cantitate de căldură, adică un proces real care este cel mai exotermic*.

Un model care estimează proprietățile unui gaz de electroni la zero absolut în metale este gazul Fermi. Electronii, fiind fermioni, trebuie să fie în stări cuantice diferite, ceea ce face ca electronii să obțină viteze tipice foarte ridicate, chiar și la zero absolut. Energia maximă pe

care electronii o poate avea la zero absolut se numește energia Fermi. Temperatura Fermi este definită ca această energie maximă împărțită la constanta lui Boltzmann, și este de ordinul a 80.000 K pentru densitățile electronice tipice găsite în metale. Pentru temperaturi cu mult sub temperatura Fermi, electronii se comportă aproape în același mod ca la zero absolut. Aceasta explică eșecul teoremei clasice de echilibrare a metalelor de la sfârșitul secolului al XIX-lea.

Relația cu condensatul Bose-Einstein



(Date viteză-distribuție pentru un gaz de atomi de rubidiu la o temperatură de câteva miliarde de grad deasupra lui zero absolut). Stânga: chiar înainte de apariția condensatului Bose-Einstein. Centrul: imediat după apariția condensatului. Dreapta: după evaporarea suplimentară, lăsând o probă de condensat aproape pur.)

Un condensat Bose-Einstein este o stare a materiei unui gaz diluat de bosoni cu interacțiune slabă limitat într-un potențial extern și răcit la temperaturi foarte apropiate de zero absolut. În astfel de condiții, o mare parte din bosoni ocupă cea mai mică stare cuantică a potențialului extern, moment în care efectele cuantice devin aparente la scară macroscopică.

Această stare de materie a fost anticipată pentru prima oară de Satyendra Nath Bose și Albert Einstein în 1924-25. Bose a trimis mai întâi o lucrare lui Einstein cu privire la statisticile cuantice ale cuantei luminoase (acum numită foton). Einstein a fost impresionat, a tradus lucrarea din engleză în germană și a transmis-o pentru Bose la *Zeitschrift für Physik*, care a publicat-o. Einstein a extins apoi ideile lui Bose la particule de material (sau materie) în alte două lucrări.

Șaptezeci de ani mai târziu, în 1995, primul condensat gazos a fost produs de Eric Cornell și de Carl Wieman de la Universitatea din Colorado în laboratorul din Boulder NIST-JILA, folosind un gaz de atomi de rubidiu răciți la 170 nanokelvini (nK) ($1,7 \times 10^{-7}$ K).

În 2003, cercetătorii de la MIT au obținut o temperatură record de 450 ± 80 picokelvini (pK) ($4,5 \times 10^{-10}$ K) într-un condensat Bose-Einstein de atomi de sodiu. Lungimea de undă asociată cu corpul negru (vârf de emisie) de 6.400 de kilometri este aproximativ raza Pământului.

Scări de temperatură absolută

Temperatura absolută sau termodinamică, este măsurată în mod convențional în kelvini (creșteri scalate în grade Celsius) și în scara Rankine (creșteri scalate în Fahrenheit) cu raritatea în creștere. Măsurarea absolută a temperaturii este determinată în mod unic de o constantă multiplicativă care specifică mărimea *gradului*, astfel încât *rapoartele* a două temperaturi absolute, T_2/T_1 , sunt aceleași la toate scările. Cea mai transparentă definiție a acestui standard vine din distribuția Maxwell-Boltzmann. De asemenea, el poate fi găsit în statisticile Fermi-Dirac (pentru particule de spin jumătate întregi) și statisticile Bose-Einstein (pentru particule de spin întreg). Toate acestea definesc numerele relative ale particulelor dintr-un sistem ca scăzând cu o funcție exponențială a energiei (la nivelul particulelor) peste kT , cu k reprezentând constanta Boltzmann și T reprezentând temperatura observată la nivel macroscopic.

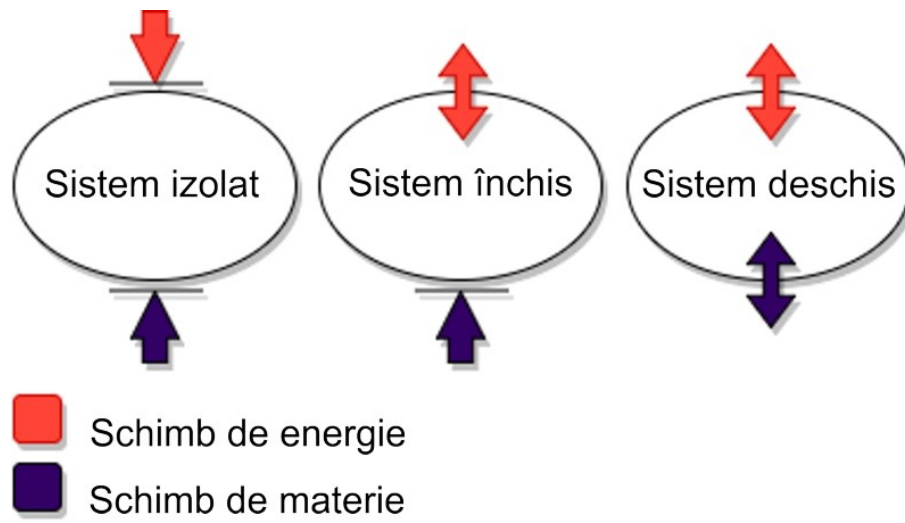
Temperaturi negative

Temperaturile care sunt exprimate ca numere negative pe scalele cunoscute Celsius sau Fahrenheit sunt pur și simplu mai reci decât punctele zero ale acestor scale. Anumite sisteme pot atinge temperaturi cu adevărat negative; adică temperatura lor termodinamică (exprimată în kelvini) poate avea o cantitate negativă. Un sistem cu o temperatură cu adevărat negativă nu este mai rece decât zero absolut. Mai degrabă, un sistem cu o temperatură negativă este mai fierbinte decât orice sistem cu o temperatură pozitivă, în sensul că dacă un sistem cu temperatură negativă și un sistem cu temperatură pozitivă intră în contact, căldura curge de la sistemul negativ la cel cu temperatură pozitivă.

Cele mai cunoscute sisteme nu pot atinge temperaturi negative deoarece adăugarea de energie întotdeauna crește entropia lor. Cu toate acestea, unele sisteme au o cantitate maximă de energie pe care o pot deține și, pe măsură ce se apropie de acea energie maximă, entropia lor începe să scadă. Deoarece temperatura este definită de relația dintre energie și entropie, temperatura unui astfel de sistem devine negativă, chiar dacă se adaugă energie. Ca urmare, factorul Boltzmann pentru stările sistemelor la temperatură negativă crește mai degrabă decât scade cu creșterea energiei de stare. Prin urmare, niciun sistem complet, adică incluzând modurile electromagnetice, nu poate avea temperaturi negative, deoarece nu există o stare de energie cea mai mare, astfel încât suma probabilităților stărilor să se diferențieze pentru temperaturile negative. Cu toate acestea, pentru sistemele în cvasi-echilibru (de exemplu, spini în afara echilibrului cu câmp electromagnetic), acest argument nu se aplică și temperaturile eficiente negative pot fi atinse.

La 3 ianuarie 2013, fizicienii au anunțat că au creat pentru prima dată un gaz cuantic format din atomi de potasiu cu o temperatură negativă în grade de libertate în mișcare.

5.5.3 Energia internă



(Proprietățile sistemelor izolate, închise și deschise în schimbul de energie și materie. Sursa: Alkh.Alwa, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Diagram_Systems.png, CC Attribution-Share Alike 4.0 International license, Traducere Nicolae Sfetcu)

În termodinamică, *energia internă* a unui sistem este energia conținută în sistem, excluzând energia cinetică a mișcării sistemului ca întreg și energia potențială a sistemului în ansamblu datorită câmpurilor de forță exterioare. Ea ține cont de câștigurile și pierderile de energie ale sistemului care se datorează schimbărilor în starea sa internă.

Energia internă a unui sistem poate fi schimbată prin transferuri de materie sau căldură sau prin lucru mecanic. Atunci când transferul materiei este împiedicat de pereții impermeabili, se spune că sistemul este închis. În acest caz, prima lege a termodinamicii afirmă că creșterea energiei interne este egală cu căldura totală adăugată plus lucrul mecanic făcut asupra sistemului de către vecinătățile sale. În cazul în care prin pereți nu trece nici materie nici energie, se spune că sistemul este izolat, iar energia sa internă nu se poate schimba. Prima lege a termodinamicii poate fi privită ca stabilind existența energiei interne.

Energia internă este una dintre cele două funcții cardinale de stare ale variabilelor de stare ale unui sistem termodinamic.

Introducere

Energia internă a unei stări date a unui sistem nu poate fi măsurată direct. Se determină printr-un lanț convențional de operații termodinamice și procese termodinamice prin care starea dată poate fi pregătită, pornind de la o stare de referință la care se atribuie obișnuit o valoare de referință pentru energia sa internă. Un astfel de lanț sau cale poate fi descris teoretic de către anumite variabile de stare extinse ale sistemului, și anume, entropia lui, S , volumul lui, V , și numerele lui molare, $\{N_j\}$. Energia internă, $U(S, V, \{N_j\})$, este o funcție a

acestora. Uneori, la această listă sunt adăugate alte variabile de stare extinse, de exemplu momentul dipolului electric. Pentru considerente practice în termodinamică și inginerie este rareori necesar sau convenabil să se ia în considerare toate energiile care aparțin energiei intrinseci totale a unui sistem, cum ar fi energia dată de echivalența masei. În mod obișnuit, descrierile termodinamice includ numai elementele relevante pentru procesele studiate. Termodinamica se referă în primul rând doar la *modificările* energiei interne, nu la valoarea absolută.

Energia internă este o funcție de stare a unui sistem, deoarece valoarea sa depinde numai de starea actuală a sistemului și nu de calea străbătută sau de procesele supuse pregătirii. Este o cantitate extensivă. Este singurul potențial termodinamic *cardinal*. Prin aceasta, prin transformările lui Legendre, sunt construite matematic celelalte potențiale termodinamice. Acestea sunt funcții ale listelor variabile în care unele variabile extensive sunt înlocuite de variabilele lor intensive conjugate. Transformarea Legendre este necesară deoarece înlocuirea simplă a variabilelor extensive cu variabilele intense nu conduce la potențiale termodinamice. Simpla substituție duce la o formulă mai puțin informativă, o ecuație de stare.

Deși este o cantitate macroscopică, energia internă poate fi explicată în termeni microscopici de două componente teoretice virtuale. Una este energia cinetică microscopică datorată mișcării microscopice a particulelor sistemului (translații, rotații, vibrații). Cealaltă este energia potențială asociată forțelor microscopice, inclusiv legăturile chimice, între particule; aceasta este pentru fizica obișnuită și chimie. Dacă reacțiile termonucleare sunt specificate ca un subiect preocupant, atunci se ia în considerare și energia de masă statică de repaus a constituenților materiei. Nu există o relație universală simplă între aceste cantități de energie microscopică și cantitățile de energie câștigate sau pierdute de sistem în transferul de lucru mecanic, căldură sau materie.

Unitatea SI de energie este joule (J). Uneori este convenabil să se utilizeze o densitate corespunzătoare numită *energie internă specifică*, care este o energie internă pe unitate de masă (kilogram) a sistemului în cauză. Unitatea SI a energiei interne specifice este J/kg. Dacă energia internă specifică este exprimată în raport cu unitățile de cantitate de substanță (mol), atunci se face referire la energia internă molară, iar unitatea este J/mol.

Din punctul de vedere al mecanicii statistice, energia internă este egală cu media ansamblului sumelor energiilor cinetice și potențiale microscopice ale sistemului.

Funcțiile cardinale

Energia internă, $U(S, V, \{N_j\})$, exprimă termodinamica unui sistem în *limbaj energetic* sau în *reprezentarea energiei*. Argumentele sale sunt exclusiv variabile de stare. Alături de energia internă, cealaltă funcție cardinală a stării unui sistem termodinamic este entropia lui, ca funcție, $S(U, V, \{N_j\})$, a aceleiași liste de variabile de stare, cu excepția faptului că entropia, S , este înlocuită în listă de energia internă, U . Ea exprimă *reprezentarea entropiei*.

Fiecare funcție cardinală este o funcție monotonă a fiecărei variabile naturale sau canonice. Fiecare furnizează ecuația sa caracteristică sau fundamentală, de exemplu $U = U(S, V, \{N_j\})$, care conține ea însăși toate informațiile termodinamice despre sistem. Ecuațiile fundamentale pentru cele două funcții cardinale pot fi în principiu interconvertite prin rezolvarea, de exemplu, a $U = U(S, V, \{N_j\})$ pentru S , pentru a obține $S = S(U, V, \{N_j\})$.

În schimb, transformările Legendre sunt necesare pentru a obține ecuații fundamentale pentru alte potențiale termodinamice și funcții Massieu. Entropia ca funcție doar a variabilelor de stare extinse este singura funcție cardinală a stării pentru generarea funcțiilor Massieu. Nu este ea însăși denumită în mod obișnuit o "funcție Massieu", deși poate fi considerată rațional ca atare, corespunzând termenului "potențial termodinamic", care include energia internă.

Pentru sistemele reale și practice expresiile explicite ale ecuațiilor fundamentale sunt aproape întotdeauna indisponibile, însă relațiile funcționale există în principiu. Formal, în principiu, manipulările lor sunt valoroase pentru înțelegerea termodinamicii.

Descriere și definiție

Energia internă U a unei anumite stări a sistemului este determinată relativ la cea a unei stări standard a sistemului, prin adăugarea transferurilor macroscopice de energie care însoțesc o schimbare de stare de la starea de referință la starea dată:

$$\Delta U = \sum_i E_i$$

unde ΔU denotă diferența dintre energia internă a stării date și cea a stării de referință și E_i sunt diferențele energiei transferate în sistem în etapele de la starea de referință la starea dată. Este energia necesară pentru a crea starea dată a sistemului din starea de referință.

Din punct de vedere microscopic non-relativist, ea poate fi împărțită în energie potențială microscopică, $U_{\text{micro pot}}$, și energie cinetică microscopică, $U_{\text{micro cin}}$, componente:

$$U = U_{\text{micro pot}} + U_{\text{micro cin}}$$

Energia cinetică microscopică a unui sistem apare ca suma mișcărilor tuturor particulelor sistemului în raport cu cadrul centrului de masă, fie că este mișcarea atomilor, moleculelor, nucleelor atomice, electronilor sau altor particule. Componentele sumative ale potențialului microscopic de energie algebrică sunt cele ale legăturilor chimice și ale particulelor nucleare și câmpurile de forță fizică din sistem, cum ar fi datorate momentului dipol electric sau magnetic indus intern, precum și energia deformării solidelor (stres-deformare). De obicei, împărțirea în energii cinetice și potențiale microscopice este în afara scopului termodinamicii macroscopice.

Energia internă nu include energia datorată mișcării sau localizării unui sistem în ansamblu. Adică, exclude orice energie cinetică sau potențială pe care corpul o poate avea

datorită mișcării sau localizării sale în câmpuri exterioare gravitaționale, electrostatice sau electromagnetice. Totuși, include contribuția unui astfel de câmp la energia datorată cuplării gradelor interne de libertate a obiectului cu câmpul. Într-un astfel de caz, câmpul este inclus în descrierea termodinamică a obiectului sub forma unui parametru extern suplimentar.

Pentru considerente practice în termodinamică sau inginerie, este rareori necesar, convenabil sau chiar posibil să se ia în considerare toate energiile care aparțin energiei intrinseci totale a unui sistem eșantion, cum ar fi energia dată de echivalența masei. În mod tipic, descrierile includ numai componente relevante pentru sistemul studiat. Într-adevăr, în majoritatea sistemelor luate în considerare, în special prin termodinamică, este imposibil să se calculeze energia internă totală. Prin urmare, un punct convenabil de referință nulă poate fi ales pentru energia internă.

Energia internă este o proprietate extensivă: depinde de dimensiunea sistemului sau de cantitatea de substanță pe care o conține.

La orice temperatură mai mare decât zero absolut, energia potențială microscopică și energia cinetică sunt în mod constant convertite una în cealaltă, dar suma rămâne constantă într-un sistem izolat. În imaginea clasică a termodinamicii, energia cinetică dispare la temperatura zero, iar energia internă este pură energie potențială. Totuși, mecanica cuantică a demonstrat că, chiar și la temperaturi zero, particulele mențin o energie reziduală de mișcare, energia punctului zero. Un sistem la zero absolut este doar în starea lui de bază cuantico-mecanică, cea mai scăzută stare de energie disponibilă. La zero absolut, un sistem de compoziție dată a atins entropia minimă posibilă.

Porțiunea de energie cinetică microscopică a energiei interne dă naștere la temperatura sistemului. Mecanica statistică relaționează energia cinetică pseudo-aleatoare a particulelor individuale cu energia cinetică medie a întregului ansamblu de particule care cuprinde un sistem. În plus, leagă energia cinetică microscopică medie cu proprietatea empirică observată macroscopic care este exprimată ca temperatură a sistemului. Această energie este adesea menționată ca *energia termică* a unui sistem, care leagă această energie, cum ar fi temperatura, cu experiența umană de cald și rece.

Mecanica statistică consideră că orice sistem este distribuit statistic într-un ansamblu de microstări N . Fiecare microstare are o energie E_i și este asociată cu o probabilitate p_i . Energia internă este valoarea medie a energiei totale a sistemului, adică suma tuturor energiilor microstărilor, fiecare ponderată de probabilitatea apariției lor:

$$U = \sum_{i=1}^N p_i E_i.$$

Aceasta este expresia statistică a primei legi a termodinamicii.

Schimbări ale energiei interne

Termodinamica se referă în principal doar la schimbările ΔU în energia internă.

Pentru un sistem închis, cu excluderea transferului de materie, modificările energiei interne se datorează transferului de căldură Q și lucrului mecanic. Acestea din urmă pot fi împărțite în două tipuri, vlucrul mecanic presiune-volum $W_{\text{presiune-volum}}$ și frecare și alte tipuri, precum polarizarea, care nu modifică volumul sistemului și se numesc izocorice, W_{isocoric} . În consecință, poate fi scrisă schimbarea internă a energiei ΔU pentru un proces

$$\Delta U = Q + W_{\text{presiune-volum}} + W_{\text{isocoric}} \text{ (sistem închis, fără transfer de materie).}$$

Când un sistem închis primește energie sub formă de căldură, această energie mărește energia internă. Aceasta este distribuită între energia cinetică microscopică și potențialul microscopic. În general, termodinamica nu urmărește această distribuție. Într-un gaz ideal, toată energia suplimentară are ca rezultat o creștere a temperaturii, deoarece este stocată doar ca energie cinetică microscopică; o astfel de încălzire este considerată a fi *sensibilă*.

Un al doilea mecanism de schimbare a energiei interne a unui sistem închis este efectuarea lucrului mecanic asupra sistemului, fie în formă mecanică prin schimbarea presiunii sau a volumului, fie prin alte perturbări, cum ar fi direcționarea unui curent electric prin sistem.

Dacă sistemul nu este închis, al treilea mecanism care poate crește energia internă este transferul de materie în sistem. Această creștere, $\Delta U_{\text{materie}}$, nu poate fi împărțită în componente de căldură și de lucru mecanic. Dacă sistemul este astfel configurat fizic încât căldura și lucrul mecanic pot fi realizate pe aceasta prin căi separate și independente de transferul de materie, atunci transferurile de energie se adaugă pentru a schimba energia internă:

$$\Delta U = Q + W_{\text{presiune-volum}} + W_{\text{isocoric}} + \Delta U_{\text{materie}} \text{ (căi separate, pentru transferul materiei, de căile pentru căldură și lucru mecanic).}$$

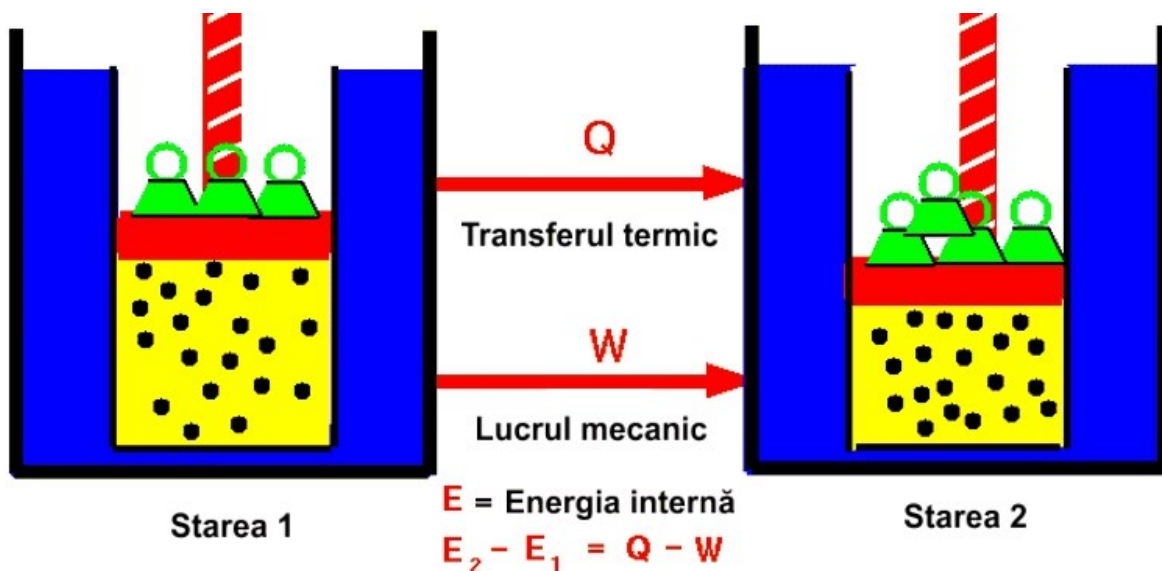
Dacă un sistem suferă anumite transformări de fază în timp ce este încălzit, cum ar fi topirea și vaporizarea, se poate observa că temperatura sistemului nu se schimbă până când întreaga probă nu a terminat transformarea. Energia introdusă în sistem în timp ce temperatura nu s-a schimbat se numește *energie latentă* sau căldură latentă, spre deosebire de căldura sensibilă, care este asociată cu schimbarea temperaturii.

5.5.4 Prima lege a termodinamicii

Prima lege a termodinamicii este o versiune a legii conservării energiei, adaptată sistemelor termodinamice. Legea conservării energiei afirmă că energia totală a unui sistem izolat este constantă; energia poate fi transformată dintr-o formă în alta, dar nu poate fi nici creată, nici distrusă. Prima lege este adesea formulată

$$\Delta U = Q - W.$$

Se afirmă că schimbarea energiei interne ΔU a unui sistem închis este egală cu cantitatea de căldură Q furnizată sistemului, minus cantitatea de lucru mecanic W realizat de sistem în vecinătatea sa. O declarație echivalentă este că mașinile de mișcare perpetuă (perpetuum mobile) de primul tip sunt imposibile.



(Prima lege a termodinamicii definește energia internă (E) ca fiind egală cu diferența transferului de căldură (Q) într-un sistem și lucrul mecanic (W) realizat de sistem: $E_2 - E_1 = Q - W$. Credit NASA)

Declarația revizuită conceptual, conform abordării mecanice

Declarația revizuită a primei legi prevede că o schimbare a energiei interne a unui sistem datorată oricărui proces arbitrar, care duce sistemul dintr-o stare termodinamică inițială la o anumită stare termodinamică finală de echilibru, poate fi determinată prin existența fizică, pentru acele stări date, a unui proces de referință care are loc doar prin etapele de lucru adiabatic.

Declarația revizuită este atunci:

Pentru un sistem închis, în orice proces arbitrar de interes care îl duce de la o stare inițială la o stare finală a echilibrului termodinamic intern, schimbarea energiei interne este aceeași cu cea pentru un proces de lucru mecanic adiabatic de referință care leagă cele două stări. Acest lucru este independent de calea procesului de interes și indiferent dacă este vorba de un proces adiabatic sau non-adiabatic. Procesul de lucru mecanic adiabatic de referință poate fi ales arbitrar din clasa tuturor acestor procese.

Această afirmație este mult mai puțin apropiată de baza empirică decât declarațiile originale, dar este adesea privită ca parsimonioasă din punct de vedere conceptual, deoarece se bazează numai pe conceptele de lucru mecanic adiabatic și pe procesele non-

adiabatică, și nu pe noțiunile de transfer de energie precum căldura și temperatura empirică, care sunt presupuse de declarațiile originale. În mare măsură prin influența lui Max Born, adesea este considerat teoretic preferabil din cauza acestei parsimonii conceptuale. Born remarcă în special că abordarea revizuită evită gândirea în termenii a ceea ce el numește conceptul de "inginerie importată" a motoarelor termice.

Bazându-se pe abordarea mecanică, Born, în 1921 și din nou în 1949, a propus revizuirea definiției căldurii. În special, el a făcut referire la opera lui Constantin Carathéodory, care a declarat în 1909 prima lege fără a defini cantitatea de căldură. Definiția lui Born a fost specifică pentru transferurile de energie fără transfer de materie și a fost urmărită pe scară largă în manuale. Born observă că un transfer de materie între două sisteme este însoțit de un transfer de energie internă care nu poate fi rezolvat în componente de căldură și de lucru mecanic. Pot exista căi către alte sisteme, separate spațial de cele ale transferului de materie, care permit transferul de căldură și de lucru mecanic independent și simultan cu transferul de materie. Energia este conservată în astfel de transferuri.

Descriere

Prima lege a termodinamicii pentru un sistem închis a fost exprimată în două moduri de către Clausius. Un mod s-a referit la procesele ciclice și la intrările și ieșirile sistemului, dar nu s-a referit la creșteri ale stării interne a sistemului. Celălalt mod s-a referit la o schimbare treptată a stării interne a sistemului și nu s-a așteptat ca procesul să fie ciclic.

Un proces ciclic este unul care poate fi repetat pe termen nelimitat, întorcând sistemul la starea sa inițială. Un interes deosebit pentru ciclul unic al unui proces ciclic îl reprezintă activitatea netă și căldura netă preluată de sistem (sau "consumată", în declarația lui Clausius).

Într-un proces ciclic în care sistemul funcționează net în vecinătățile sale, se observă că este necesar din punct de vedere fizic nu numai ca să fie adusă căldura în sistem, ci, de asemenea, este importantă că o anumită căldură părăsește sistemul. Diferența este căldura transformată de ciclu în lucru mecanic. În fiecare repetare a unui proces ciclic, activitatea netă efectuată de sistem, măsurată în unități mecanice, este proporțională cu căldura consumată, măsurată în unități calorimetrice.

Constanta proporționalității este universală și independentă de sistem, iar în 1845 și 1847 a fost măsurată de James Joule, care a descris-o ca fiind *echivalentul mecanic al căldurii*.

Într-un proces non-ciclic, schimbarea energiei interne a unui sistem este egală cu energia netă adăugată sub formă de căldură către sistem minus lucrul mecanic net efectuat de sistem, ambele fiind măsurate în unități mecanice. Luând ΔU ca o schimbare a energiei interne, se scrie

$$\Delta U = Q - W \text{ (convenția de semn a lui Clausius)}$$

unde Q reprezintă cantitatea netă de căldură furnizată sistemului de către vecinătatea sa și W reprezintă lucrul mecanic net efectuat de sistem. Această convenție de semn este implicită în declarația lui Clausius despre legea dată mai sus. Ea a provenit din studiul motoarelor termice care produc un lucru mecanic util prin consumul de căldură.

Adesea, în prezent, scriitorii folosesc convenția IUPAC prin care prima lege este formulată cu lucrul mecanic făcut asupra sistemului de către vecinătatea sa având un semn pozitiv. Cu această convenție adesea folosită acum pentru lucrul mecanic, se poate scrie prima lege pentru un sistem închis:

$$\Delta U = Q + W \text{ (convenția de semn IUPAC).}$$

Această convenție a fost folosită de fizicieni precum Max Planck și consideră că toate transferurile nete de energie către sistem sunt pozitive și că toate transferurile nete de energie din sistem sunt negative, indiferent de orice utilizare a sistemului ca motor sau alt dispozitiv.

Atunci când un sistem se extinde într-un proces quasistatic fictiv, lucrul mecanic realizat de sistem pe mediu este produsul, $P dV$, al presiunii P și schimbării de volum dV , în timp ce lucrul mecanic efectuat asupra sistemului sistem este $-P dV$. Utilizând oricare convenție de semn pentru lucrul mecanic, schimbarea energiei interne a sistemului este:

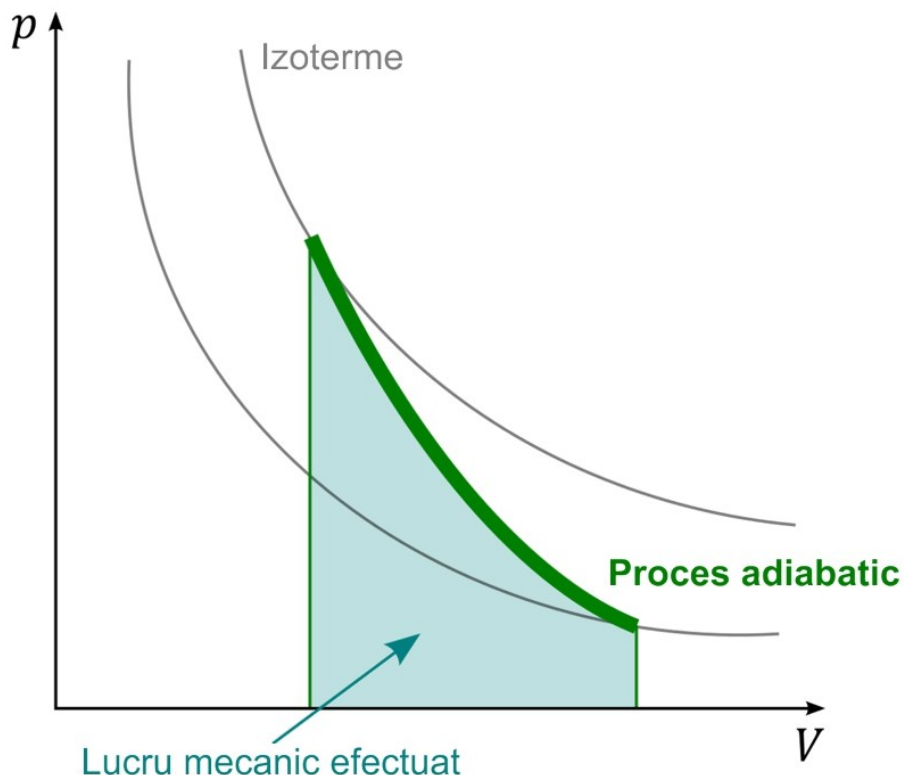
$$dU = \delta Q - PdV \text{ (proces cvasi-static),}$$

unde δQ reprezintă cantitatea infimezimală de căldură furnizată sistemului din vecinătatea sa.

Lucrul mecanic și căldura sunt expresii ale proceselor fizice reale de acumulare sau de îndepărtare a energiei, în timp ce energia internă U este o abstracție matematică care ține cont de schimburile de energie care au legătură cu sistemul. Astfel, termenul căldură pentru Q înseamnă "cantitatea de energie adăugată sau eliminată prin conducția căldurii sau prin radiația termică", în loc să se refere la o formă de energie în sistem. De asemenea, termenul de energie de lucru mecanic pentru W înseamnă "acea cantitate de energie câștigată sau pierdută ca rezultat al lucrului mecanic". Energia internă este o proprietate a sistemului, în timp ce lucrul mecanic efectuat și furnizarea de căldură nu sunt. Un rezultat semnificativ al acestei distincții constă în faptul că o anumită schimbare internă de energie ΔU poate fi realizată prin, în principiu, multe combinații de căldură și de lucru mecanic.

5.5.5 Procese adiabatice

În termodinamică, un **proces adiabetic** este unul care are loc fără transfer de căldură sau materie între un sistem termodinamic și mediul său. Într-un proces adiabetic, energia este transferată în mediul ei numai ca lucru mecanic. Procesul adiabetic oferă o bază conceptuală riguroasă pentru teoria folosită pentru a expune prima lege a termodinamicii și, ca atare, este un concept-cheie în termodinamică.



(Pentru o substanță simplă, în timpul unui proces adiabetic în care volumul crește, energia internă a substanței active trebuie să scadă. Sursa: Stannered, <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Adiabatic.svg>, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license, Traducere Nicolae Sfetcu)

Unele procese chimice și fizice apar atât de rapid încât pot fi descrise în mod convenabil prin termenul "aproximație adiabetică", ceea ce înseamnă că nu este suficient timp pentru ca transferul de energie sub formă de căldură să aibă loc în sau din sistem.

Cu titlu de exemplu, temperatura flăcării adiabatice este o idealizare care folosește "aproximarea adiabetică" astfel încât să ofere un calcul al limitelor superioare ale temperaturilor produse prin arderea unui combustibil. Temperatura adiabetică a flăcării este temperatura care ar fi obținută de o flacără dacă procesul de ardere ar fi avut loc în absența pierderilor de căldură în mediu.

Descriere

Un proces care nu implică transferul de căldură sau materie în sau din sistem, astfel încât $Q = 0$, se numește un proces adiabetic, și se spune că un astfel de sistem este izolat adiabetic. Presupunerea că un proces este adiabetic este o presupunere simplificată frecvent făcută. De exemplu, se presupune că comprimarea unui gaz într-un cilindru al unui motor se produce atât de rapid încât, pe scala de timp a procesului de compresie, puțină energie din sistem poate fi transferată sub formă de căldură în mediu. Chiar dacă cilindrii nu sunt izolați și sunt destul de conductivi, acest proces este idealizat pentru a fi adiabetic. Același

lucru se poate spune că este valabil și pentru procesul de expansiune al unui astfel de sistem.

Presupunerea izolării adiabatică a unui sistem este una utilă și este adesea combinată cu altele pentru a face posibilă calcularea comportamentului sistemului. Asemenea ipoteze sunt idealizări. Comportamentul mașinilor reale deviază de la aceste idealizări, însă presupunerea unui astfel de comportament "perfect" oferă o primă aproximare utilă a modului în care funcționează lumea reală. Potrivit lui Laplace, când sunetul călătorește într-un gaz, nu există timp pentru conducția căldurii în mediu și astfel propagarea sunetului este adiabatică. Pentru un astfel de proces adiabatic, modulul de elasticitate (modulul Young) poate fi exprimat ca $E = \gamma P$, unde γ este raportul dintre încălzirea specifică la presiune constantă și volumul constant ($\gamma = C_p/C_v$) și P este presiunea benzinei

Diferite aplicații ale ipotezei adiabatică

Pentru un sistem închis, se poate scrie prima lege a termodinamicii ca: $\Delta U = Q + W$, unde ΔU denotă schimbarea energiei interne a sistemului, Q cantitatea de energie adăugată la aceasta sub formă de căldură și W lucrul mecanic efectuat pe ea de mediul său.

- Dacă sistemul are pereți rigizi, astfel încât lucrul mecanic nu poate fi transferat în interior sau în exterior ($W = 0$), iar pereții sistemului nu sunt adiabatici și se adaugă energie sub formă de căldură ($Q > 0$) și nu există schimbare de fază, temperatura sistemului va crește.
- Dacă sistemul are pereți rigizi, astfel încât lucrul mecanic presiune-volum nu poate fi efectuat, iar pereții sistemului sunt adiabatici ($Q = 0$), dar energia este adăugată ca activitate izocoră sub formă de frecare sau agitare a unui fluid vâscos în sistem ($W > 0$) și nu există schimbări de fază, temperatura sistemului va crește.
- Dacă pereții sistemului sunt adiabatici ($Q = 0$), dar nu rigizi ($W \neq 0$) și, într-un proces fictiv idealizat, se adaugă energie la sistem sub formă de lucru mecanic presiune-volum nevâscos fără frecare, și nu există nici o schimbare de fază, temperatura sistemului va crește. Un astfel de proces este numit *proces izentropic* și se spune că este "*reversibil*". Fictiv, în cazul în care procesul este inversat, energia adăugată ca lucru mecanic poate fi recuperată în totalitate ca lucru mecanic efectuat de sistem. Dacă sistemul conține un gaz compresibil și este redus în volum, incertitudinea poziției gazului este redusă și aparent ar reduce entropia sistemului, dar temperatura sistemului va crește, deoarece procesul este izentropic ($\Delta S = 0$). Dacă lucrul mecanic este adăugat în așa fel încât forțele de frecare sau vâscoase să funcționeze în sistem, atunci procesul nu este izentropic și dacă nu există schimbări de fază, atunci temperatura sistemului va crește, procesul se spune că este "*irreversibil*", iar lucrul mecanic adăugat la sistem nu este în întregime recuperabil sub formă de lucru mecanic.

- Dacă pereții unui sistem nu sunt adiabatici și energia este transferată sub formă de căldură, entropia este transferată în sistem cu căldură. Un astfel de proces nu este nici adiabatic, nici isentropic, având $Q > 0$ și $\Delta S > 0$ în conformitate cu a doua lege a termodinamicii.

Procesele adiabactice care apar în mod natural sunt ireversibile (se produce entropia).

Transferul de energie ca lucru mecanic într-un sistem izolat adiabatic poate fi imaginat ca fiind de două tipuri extreme idealizate. Într-un astfel de tip, nu există nicio entropie produsă în sistem (fără frecare, disipare vâscoasă etc.), iar lucrul mecanic este doar un lucru mecanic presiune-volum (desemnată prin $P dV$). În natură, acest tip ideal apare doar aproximativ, deoarece necesită un proces infinit de lent și fără surse de disipare.

Celălalt tip de lucru mecanic extrem este lucrul mecanic izocor ($dV = 0$), pentru care se adaugă energie ca lucru mecanic numai prin frecare sau disipare vâscoasă în sistem. Un agitator care transferă energia către un fluid vâscos dintr-un sistem izolat adiabatic, cu pereți rigizi, fără schimbare de fază, va determina o creștere a temperaturii fluidului, dar acest lucru mecanic nu este recuperabil. Lucrul mecanic izocor este ireversibil. Cea de-a doua lege a termodinamicii observă că un proces natural, de transfer al energiei ca lucru mecanic, constă întotdeauna cel puțin din lucru mecanic izocor și deseori de ambele tipuri extreme de lucru mecanic. Fiecare proces natural, adiabatic sau nu, este ireversibil, cu $\Delta S > 0$, deoarece frecarea sau vâscozitatea sunt întotdeauna prezente într-o oarecare măsură.

Încălzirea și răcirea adiabatică

Compresia adiabatică a unui gaz cauzează o creștere a temperaturii gazului. Extinderea adiabatică împotriva presiunii sau a unui arc provoacă o scădere a temperaturii. Dimpotrivă, extinderea liberă este un proces izotermic pentru un gaz ideal.

Încălzirea adiabatică apare atunci când presiunea unui gaz este mărită de la lucrul mecanic efectuat de către mediu, de exemplu un piston care comprimă un gaz conținut într-un cilindru și crește temperatura, unde în multe situații practice conducția de căldură prin pereți poate fi lentă în comparație cu timpul de compresie. Aceasta constă în aplicații practice la motoarele diesel care se bazează pe lipsa de disipare a căldurii în timpul cursei de compresie pentru a ridica suficient temperatura vaporilor de combustibil pentru a o aprinde.

Încălzirea adiabatică are loc în atmosfera Pământului atunci când o masă de aer coboară, de exemplu, într-un vânt catabatic, vânt Foehn sau vânt chinook care coboară în jos pe un munte. Când o parcelă de aer coboară, presiunea pe parcelă crește. Datorită acestei creșteri a presiunii, volumul parcelei scade, iar temperatura crește pe măsură ce se efectuează lucru mecanic pe parcela de aer, crescând astfel energia sa internă, ceea ce se manifestă printr-o creștere a temperaturii acelei mase de aer. Parcela de aer poate disipa puternic energia doar prin conducție sau radiație (căldură), iar la o primă aproximare poate fi considerată izolată adiabatic și procesul este un proces adiabatic.

Răcirea adiabatică apare atunci când presiunea exercitată asupra unui sistem izolat adiabatic este scăzută, permițându-i să se extindă, ceea ce o determină să efectueze lucru mecanic în mediul său. Când presiunea aplicată pe o parcelă de aer este redusă, aerul din parcelă este lăsat să se extindă; pe măsură ce crește volumul, temperatura scade odată cu scăderea energiei interne. Răcirea adiabatică are loc în atmosfera Pământului cu ridicare orografică și unde lee, putând forma nori pileu sau lenticulari.

Răcirea adiabatică nu trebuie să implice un fluid. O tehnică folosită pentru a atinge temperaturi foarte scăzute (miimi și chiar milionimi de unități peste zero) este prin demagnetizarea adiabatică, unde schimbarea câmpului magnetic pe un material magnetic este utilizată pentru a asigura răcirea adiabatică. De asemenea, conținutul unui univers în expansiune poate fi descris (la primul ordin) ca un fluid de răcire adiabatic.

Magma în creștere, de asemenea, suferă răcire adiabatică înainte de erupție, deosebit de semnificativă în cazul magmelor care se ridică repede de la adâncimi mari cum ar fi kimberliții.

Astfel de schimbări de temperatură pot fi cuantificate folosind legea ideală a gazului sau ecuația hidrostatică pentru procesele atmosferice.

În practică, nici un proces nu este cu adevărat adiabatic. Multe procese se bazează pe o mare diferență în scala de timp a procesului de interes și rata de disipare a căldurii într-o limită a sistemului, și astfel sunt approximate prin utilizarea unei ipoteze adiabatice. Există întotdeauna unele pierderi de căldură, deoarece nu există izolatoare perfecte.

5.5.6 Meteorologia (Fizica norilor)

Fizica norilor descrie formarea, creșterea și precipitarea norilor atmosferici. Acești aerosoli se găsesc în troposferă, stratosferă și mezosferă, care constituie în mod colectiv cea mai mare parte a atmosferei. Norii constau din picături microscopice de apă lichidă (nori calzi), cristale mici de gheață (nori reci) sau ambele (nori de fază amestecată). Picăturile din nori se formează inițial prin condensarea vaporilor de apă pe nucleele de condensare atunci când suprasaturarea aerului depășește o valoare critică conform teoriei lui Köhler. Nucleul de condensare a norilor este necesar pentru formarea picăturilor de nor, datorită efectului Kelvin, care descrie schimbarea presiunii vaporilor de saturație datorată unei suprafețe curbe. La raze mici, cantitatea de suprasaturare necesară pentru a avea loc condensarea este atât de mare încât nu se întâmplă în mod natural. Legea lui Raoult descrie modul în care presiunea de vaporii depinde de cantitatea de substanță dizolvată într-o soluție. La concentrații mari, când picăturile de nor sunt mici, suprasaturația necesară este mai mică decât fără prezența unui nucleu.

În norii calzi, picăturile de nor mai mari cad la o viteză terminală mai mare; deoarece la o anumită viteză, forța de frecare pe unitatea de greutate a picăturii pe picăturile mai mici este mai mare decât pe picăturile mari. Picăturile mari se pot ciocni cu picăturile mici și se pot combina pentru a forma picături chiar mai mari. Când picăturile devin suficient de mari

încât viteza lor descendentă (față de aerul din jur) să fie mai mare decât viteza ascendentă (față de pământ) a aerului din jur, picăturile pot cădea pe pământ ca precipitații. Coliziunea și coalescența nu sunt la fel de importante în norii de fază mixtă în care domină procesul Bergeron. Alte procese importante care formează precipitații sunt rimarea, când o picătură de lichid superrăcit se ciocnește cu un fulg de zăpadă solid și se produce agregarea, sau când două fulgi de zăpadă solizi se ciocnesc și se combină. Mecanica exactă a modului în care un nor se formează și crește nu este complet înțeleasă, dar oamenii de știință au dezvoltat teorii care explică structura norilor prin studierea microfizicii picăturilor individuale. Progresele în radarul meteorologic și în tehnologia prin satelit au permis, de asemenea, studiul exact al norilor pe scară largă.

Răcirea aerului până la punctul de rouă

Răcirea adiabatică: pachete în creștere de aer umed



(Furtuna de vară târzie în Danemarca. Culoarea aproape neagră a bazei indică un nor principal în prim-plan, probabil cumulonimbus. Credit: Malene Thyssen, <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Regnbyge.jpg>, licența CC BY-SA 3.0)

Pe măsură ce apa se evaporă de pe suprafața pământului, aerul din zona respectivă devine umed. Aerul umed este mai ușor decât aerul uscat din jur, creând o situație instabilă. Când

s-a acumulat suficient aer umed, tot aerul umed se ridică ca un singur pachet, fără amestecare cu aerul din jur. Pe măsură ce se formează mai mult aer umed de-a lungul suprafeței, procesul se repetă, rezultând o serie de pachete discrete de aer umed care se ridică pentru a forma nori.

Acest proces are loc atunci când unul sau mai mulți dintre cei trei posibili agenți de ridicare - ciclonici/frontali, convectivi sau orografici - cauzează aerul care conține vapori de apă invizibili să se ridice și să se răcească până la punctul de rouă, temperatura la care aerul devine saturat. Principalul mecanism din spatele acestui proces este răcirea adiabatică. Presiunea atmosferică scade cu altitudinea, astfel încât aerul în creștere se extinde într-un proces care consumă energia și cauzează răcirea aerului, ceea ce face ca vaporii de apă să condenseze în nor. Vaporii de apă în aer saturat sunt în mod obișnuit atrași de nucleele de condensare, cum ar fi particulele de praf și de sare, care sunt suficient de mici pentru a fi ținute sus la circulația normală a aerului. Picăturile de apă dintr-un nor au o rază normală de aproximativ 0,002 mm. Picăturile se pot ciocni pentru a forma picături mai mari, care rămân sus atâta timp cât viteza aerului în creștere din nor este egală cu sau mai mare decât viteza terminală a picăturilor.

Pentru norul neconvectiv, altitudinea la care începe să se întâmple condensarea se numește nivelul de condensare ridicată, care determină aproximativ înălțimea bazei norilor. În general, norii convectivi liberi se formează la altitudinea nivelului de condensare convectiv. Vaporii de apă în aerul saturat sunt în mod obișnuit atrași de nucleele de condensare, cum ar fi particule de sare, care sunt suficient de mici pentru a fi ținute în sus de circulația normală a aerului. Dacă procesul de condensare are loc sub nivelul de îngheț în troposferă, nucleele ajută la transformarea vaporilor în picături de apă foarte mici. Norii care se formează chiar deasupra nivelului de congelare sunt compuși în mare parte din picături lichide superrăcite, în timp ce cele care condensează la altitudini mai mari, unde aerul este mult mai rece, iau în general forma de cristale de gheață. O absență a unor particule de condensare suficiente la și peste nivelul de condensare face ca aerul în creștere să devină suprasaturat și formarea norului tinde să fie inhibată.

Ascendența frontală și ciclonică

Ridicarea frontală și ciclonică are loc în cele mai pure manifestări atunci când aerul stabil, care a fost supus unei încălziri de suprafață puțin sau deloc, este forțat în sus la fronturile meteorologice și în jurul centrelor de joasă presiune. Fronturile calde asociate cu cicloanele extratropice au tendința de a genera nori cirriformi și stratiformi pe o arie largă, cu excepția cazului în care aerul cald care se apropie este instabil, caz în care norii cumulus congestus sau cumulonimbus vor fi în mod obișnuit înglobați în stratul noros principal de precipitare. Fronturile reci sunt de obicei mai rapide în mișcare și generează o linie îngustă de nori care sunt în majoritate stratocumiforme, cumuliforme sau cumulonimbiforme în funcție de stabilitatea maselor de aer cald chiar în fața frontului.

Ascendența convectivă

Un alt agent este mișcarea convectivă ascendentă de ridicare cauzată de încălzirea solară în timpul zilei la nivelul suprafeței sau de o umiditate absolută relativ ridicată. Radiația de undă de scurtă durată generată de soare este re-emisă ca radiație cu undă lungă când atinge suprafața Pământului. Acest proces încălzește aerul cel mai apropiat de sol și mărește instabilitatea masei de aer prin crearea unui gradient de temperatură mai abrupt, de la cald sau fierbinte, la nivelul suprafeței, până la altitudinea rece. Aceasta determină creșterea și răcirea până când se atinge echilibrul de temperatură cu aerul înconjurător. Instabilitatea moderată permite formarea unor nori cumuliformi de dimensiuni moderate care pot produce ploi ușoare dacă aerul este suficient de umed. Curenții ascendenți de convecție pot permite ca picăturile să crească la o rază de aproximativ 0,015 milimetri înainte de a se precipita ca ploi. Diametrul echivalent al acestor picături este de aproximativ 0,03 milimetri.

Dacă aerul din apropierea suprafeței devine extrem de cald și instabil, mișcarea sa ascendentă poate deveni destul de explozivă, ducând la formarea unor nori cumulonimbiformi care pot cauza condiții meteorologice nefavorabile. Ca mici particule de apă care alcătuiesc împreună grupul de nori pentru a forma picături de ploaie, ele sunt atrase spre pământ de forța gravitației. În mod normal, picăturile s-ar evapora sub nivelul de condensare, dar forțele ascendente puternice încetinesc căderea picăturilor, și le pot menține în aer mult mai mult. Curenții ascendenți violenți pot atinge viteze de până la 290 km/h. Cu cât picăturile de ploaie rămân mai sus, cu atât mai mult timp au să crească în picături mai mari, care în cele din urmă cad ca ploi puternice.

Picăturile de ploaie care sunt purtate deasupra nivelului de îngheț devin suprarăcite la început, apoi înghețate în grindină mică. Un nucleu de gheață poate ridica o dimensiune de 1,3 cm când trece prin unul din acești curenți ascendenți și poate circula prin mai multe curenți ascendenți și descendenți înainte de a deveni atât de greu încât să cadă la pământ ca grindină mare. Dacă se taie o piatră de grindină pe jumătate se constată că prezintă straturi de gheață asemănătoare cepei, care indică momente distincte când trece printr-un strat de apă super-răcită. Au fost observate pietre de grindină cu diametre de până la 7 cm.

Ridicarea convectivă poate apărea într-o masă de aer instabilă, departe de orice fronturi. Cu toate acestea, aerul foarte cald instabil poate fi de asemenea prezent în jurul fronturilor și a centrelor de joasă presiune, producând adesea nori cumuliformi și cumulonimbiformi în concentrații mai grele și mai active din cauza agenților de ridicare frontali și convectivi combinați. Ca și în cazul ridicării convective non-frontale, creșterea instabilității favorizează creșterea norului vertical în ascendență și crește potențialul de vreme severă. În cazuri rare, ascendența convectivă poate fi suficient de puternică pentru a pătrunde în tropopauză și pentru a împinge partea de sus a norului în stratosferă.

Ascendența orografică



(Crepusculul de seară cu vânt, ajutat de Soarele spre apus, poate imita vizual o tornadă rezultată din ascensiunile orografice. Credit: Jessie Eastland, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dreamy_Twilight.jpg, licența CC BY-SA 3.0)

O a treia sursă de ascendență este circulația vântului care forțează aerul printr-o barieră fizică, cum ar fi un munte (ascendență orografică). Dacă aerul este în general stabil, nu se vor forma decât nori cu cap lenticular. Cu toate acestea, dacă aerul devine suficient de umed și instabil, pot apărea ploi orografice sau furtuni.

Răcirea non-adiabatică

Împreună cu răcirea adiabatică care necesită un agent de ridicare, există alte trei mecanisme principale pentru scăderea temperaturii aerului până la punctul de rouă, toate producându-se aproape de nivelul suprafeței și nu necesită nicio ascendență a aerului. Răcirea conductivă, radială și prin evaporare, poate cauza condens la nivelul suprafeței, ducând la formarea de ceață. Răcirea conductivă are loc atunci când aerul dintr-o zonă

sursă relativ ușoară vine în contact cu o suprafață mai rece, ca atunci când aerul marin ușor se deplasează pe o suprafață de teren mai rece. Răcirea radială apare datorită emisiei de radiații infraroșii, fie prin aer, fie prin suprafața de dedesubt. Acest tip de răcire este obișnuit în timpul nopții când cerul este clar. Răcirea prin evaporare se produce când umiditatea este adăugată la aer prin evaporare, ceea ce determină temperatura aerului să se răcească la temperatura becului umed sau, uneori, până la punctul de saturație.

Adăugarea de umezeală în aer

Există cinci moduri principale în care vaporii de apă pot fi adăugați în aer. Creșterea conținutului de vaporii poate rezulta din convergența vântului peste apă sau pe terenul umed în zone de mișcare ascendentă. Precipitarea sau virgul care cade de sus, de asemenea, îmbunătățește conținutul de umiditate. Încălzirea în timpul zilei determină evaporarea apei de pe suprafața oceanelor, a apei sau a terenurilor umede. Transpirația din plante este o altă sursă tipică de vaporii de apă. În cele din urmă, aerul rece sau uscat care se deplasează peste apa caldă va deveni mai umed. Ca și în cazul încălzirii pe timp de zi, adăugarea de umiditate în aer crește conținutul său de căldură și instabilitatea și ajută la punerea în mișcare a acelor procese care duc la formarea de nori sau ceață.

Suprasaturația

Cantitatea de apă care poate exista ca vaporii într-un volum dat crește cu temperatura. Atunci când cantitatea de vaporii de apă este în echilibru deasupra unei suprafețe plane de apă, nivelul presiunii vaporilor se numește *saturație*, iar umiditatea relativă este de 100%. La acest echilibru există un număr egal de molecule care se evaporă din apă cu cele care condensează înapoi în apă. Dacă umiditatea relativă devine mai mare de 100%, se numește *suprasaturate*. Suprasaturarea are loc în absența nucleilor de condensare.

Deoarece presiunea vaporilor de saturație este proporțională cu temperatura, aerul rece are un punct de saturație mai mic decât aerul cald. Diferența dintre aceste valori este baza pentru formarea norilor. Când aerul saturat se răcește, acesta nu mai poate conține aceeași cantitate de vaporii de apă. Dacă condițiile sunt corecte, excesul de apă se va condensa din aer până când se ajunge la punctul de saturație mai mic. O altă posibilitate este ca apa să rămână în formă de vaporii, chiar dacă este dincolo de punctul de saturație, ducând la suprasaturație.

Suprasaturarea a mai mult de 1-2% în raport cu apa este rareori văzută în atmosferă, deoarece nucleeele condensului de nori sunt de obicei prezente. Sunt posibile grade mult mai mari de suprasaturație în aerul curat și sunt baza camerei cu ceață.

Nu există instrumente de măsurare a suprasaturației în nori.

Suprarăcirea

Picăturile de apă rămân frecvent sub formă de apă lichidă și nu îngheață, chiar cu mult sub 0 °C. Nucleele de gheață care pot fi prezente într-o picătură atmosferică devin active pentru formarea gheții la temperaturi specifice între 0 °C și -38 °C, în funcție de geometria și compoziția nucleului. Fără nuclee de gheață, picăturile de apă superrăcite (precum și orice apă lichidă extrem de pură) pot exista până la aproximativ -38 °C, moment în care apare înghețarea spontană.

Coliziune - coalescență

O teorie care explică modul în care comportamentul picăturilor individuale dintr-un nor duce la formarea precipitațiilor este procesul de coliziune-coalescență. Picăturile suspendate în aer vor interacționa una cu cealaltă, fie prin ciocnire și cădere una peste cealaltă, fie prin combinarea pentru a forma o picătură mai mare. În cele din urmă, picăturile devin destul de mari încât acestea cad pe pământ ca precipitații. Procesul de coliziune-coalescență nu reprezintă o parte semnificativă a formării norilor, deoarece picăturile de apă au o tensiune de suprafață relativ ridicată. În plus, apariția coliziunii-coalescenței este strâns legată de procesele de antrenare-amestecare.

Procesul Bergeron

Mecanismul primar pentru formarea norilor de gheață a fost descoperit de Tor Bergeron. Procesul Bergeron observă că presiunea de vaporii de saturație a apei sau cantitatea de vaporii de apă care poate conține un volum dat depinde de cu cine interacționează vaporii. În mod specific, presiunea vaporilor de saturație în raport cu gheața este mai mică decât presiunea de vaporii de saturație în raport cu apa. Vaporii de apă care interacționează cu o picătură de apă pot fi saturați, la o umiditate relativă de 100%, atunci când interacționează cu o picătură de apă, dar aceeași cantitate de vaporii de apă ar fi suprasaturată atunci când interacționează cu o particulă de gheață. Vaporii de apă vor încerca să revină la echilibru, astfel încât vaporii suplimentari de apă se vor condensa în gheață pe suprafața particulei. Aceste particule de gheață se termină ca nuclee de cristale de gheață mai mari. Acest proces are loc numai la temperaturi cuprinse între 0 °C și -40 °C. Sub -40 °C, apa lichidă va nuclea spontan și va îngheța. Tensiunea superficială a apei permite picăturilor să rămână lichide cu mult sub punctul lor normal de îngheț. Când se întâmplă acest lucru, apa este acum supraîncălzită. Procesul Bergeron se bazează pe o apă lichidă foarte răcită care interacționează cu nucleele de gheață pentru a forma particule mai mari. Dacă există câteva nuclee de gheață în comparație cu cantitatea de apă lichidă foarte răcită, picăturile nu vor putea să se formeze. Un proces în care oamenii de știință sădesc un nor cu nucleii artificiali de gheață pentru a încuraja precipitarea este cunoscut sub numele de *însămânțarea norului*. Acest lucru poate ajuta la precipitații în nori care altfel nu vor ajunge să producă ploaia. Însămânțarea norilor adaugă nuclee excesive de gheață artificială care schimbă balanța, astfel încât sunt multe nuclee în comparație cu cantitatea de apă lichidă superrăcită. Un nor supra-însămânțat va forma multe particule, dar fiecare va fi foarte

mică. Acest lucru se poate face ca măsură preventivă pentru zonele expuse riscului de furtună cu grindină.

Coeziune și dizolvare

Există forțe în toată atmosfera (care include troposfera, stratosfera și mezosfera) care pot afecta integritatea structurală a unui nor. Cu toate acestea, atâta timp cât aerul rămâne saturat, forța naturală a coeziunii care ține moleculele unei substanțe împreună acționează pentru a împiedica ruperea norului. Dizolvarea norului poate să apară atunci când procesul de răcire adiabatică încetează, iar ridicarea în sus a aerului se înlocuiește cu subsidența. Acest lucru duce la cel puțin un anumit grad de încălzire a aerului adiabatic, care poate duce la transformarea picăturilor de nor sau a cristalelor în vapori de apă invizibili. Forțe mai puternice, cum ar fi forfecarea datorită vântului și descendența, pot afecta un nor, dar acestea sunt în mare măsură limitate la troposferă de unde apare aproape toată vremea pe Pământ. Un nor cumulus tipic cântărește aproximativ 500 de tone, greutatea a 100 de elefanți.

5.5.7 A doua lege a termodinamicii

A doua lege a termodinamicii afirmă că entropia totală a unui sistem izolat nu poate scădea în timp. Entropia totală poate rămâne constantă în cazuri ideale în care sistemul se află într-o stare staționară (de echilibru) sau trece printr-un proces reversibil. În toate procesele spontane, entropia totală crește întotdeauna și procesul este ireversibil. Creșterea entropiei reflectă ireversibilitatea proceselor naturale și asimetria dintre viitor și trecut.

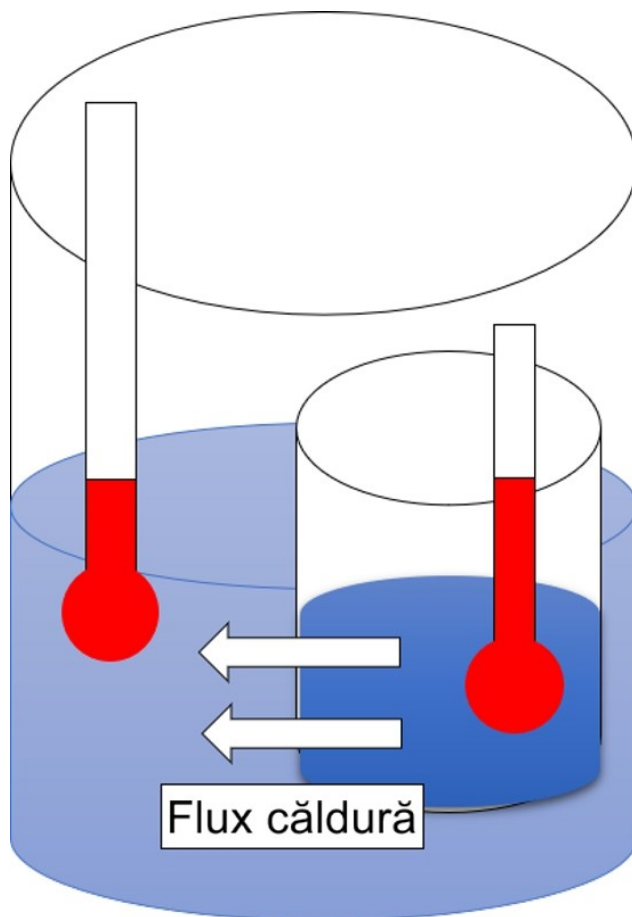
Din punct de vedere istoric, a doua lege a fost o constatare empirică care a fost acceptată ca o axiomă a teoriei termodinamice. Statistica termodinamică, clasică sau cuantică, explică originea microscopică a legii.

A doua lege a fost exprimată în multe feluri. Prima sa formulare este creditată cercetătorului francez Sadi Carnot, care în 1824 a arătat că există o limită superioară a eficienței conversiei căldurii la lucru mecanic, într-un motor termic.

Introducere

Prima lege a termodinamicii oferă definiția de bază a energiei interne, asociată cu toate sistemele termodinamice, și stabilește regula conservării energiei. A doua lege se referă la direcția proceselor naturale. Se afirmă că un proces natural se desfășoară numai într-un sens și nu este reversibil. De exemplu, căldura trece mereu în mod spontan de la corpurile mai calde la cele mai reci și niciodată invers, cu excepția cazului în care se efectuează lucru extern asupra sistemului. Explicarea fenomenelor a fost dată în ceea ce privește entropia. Entropia totală (S) nu poate scădea în timp pentru un sistem izolat deoarece entropia unui

sistem izolat evoluează în mod spontan către un echilibru termodinamic: entropia trebuie să rămână aceeași sau să crească.



(Căldură care curge din apă fierbinte în apă rece. Sursa: Blyum),

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Heat_flow_hot_to_cold.png, CC Attribution-Share Alike 4.0 International license, Traducere Nicolae Sfetcu)

Într-un proces fictiv reversibil, o creștere infimitezimală a entropiei (dS) a unui sistem este definită ca rezultând dintr-un transfer infimitezimal de căldură (δQ) într-un sistem închis (care permite intrarea sau ieșirea energiei - dar nu și materia) la temperatura comună (T) a sistemului și a mediului care furnizează căldura:

$$dS = \delta Q/T \text{ (sistem închis, proces fictiv idealizat reversibil).}$$

Diferite notații sunt folosite pentru cantități infinite de căldură (δ) și cantități infimitezimale de entropie (d), deoarece entropia este o funcție a stării, în timp ce căldura, ca și lucrul mecanic, nu este. Pentru un proces infimitezimal posibil, fără schimb de materie cu mediul, a doua lege cere ca creșterea entropiei sistemului să fie mai mare:

$$dS > \delta Q/T \text{ (sistem închis, proces ireversibil, practic posibil).}$$

Acest lucru se datorează faptului că un proces general pentru acest caz poate include lucrul mecanic care se produce asupra sistemului de mediul său, care trebuie să aibă efecte de fricțiune sau vâscoasă în interiorul sistemului, și deoarece transferul de căldură are loc doar ireversibil, determinat de o diferență de temperatură finită. Inducând un set de variabile interne ξ pentru a descrie devierea unui sistem termodinamic din starea de echilibru, se poate înregistra egalitatea

$$dS = \delta Q/T - (1/T)\sum_i E_i \delta \xi_i \text{ (sistem închis, proces ireversibil, practic posibil).}$$

Al doilea termen reprezintă activitatea variabilelor interne care pot fi perturbate de influențele externe, dar sistemul nu poate efectua nicio activitate pozitivă prin intermediul variabilelor interne. Această afirmație introduce imposibilitatea de a inversa evoluția sistemului termodinamic în timp și poate fi considerată o formulare a celui de-al doilea principiu al termodinamicii - formulare, care este, desigur, echivalentă cu formularea principiului în termeni de entropie.

Principiul zero al termodinamicii în declarația lui obișnuită scurtă permite recunoașterea faptului că două corpuri într-o relație de echilibru termic au aceeași temperatură, mai ales că un corp de test are aceeași temperatură ca și corpul termometric de referință. Pentru un corp în echilibru termic cu altul, există indefinit de multe scale empirice de temperatură, în general, în funcție de proprietățile unui anumit corp termometric de referință. A doua lege permite o scară diferențială de temperatură, care definește o temperatură absolută, termodinamică, independentă de proprietățile unui anumit corp termometric de referință.

A doua lege a termodinamicii poate fi exprimată în mai multe moduri specifice, cele mai proeminente declarații clasice fiind declarația lui Rudolf Clausius (1854), afirmația lui Lord Kelvin (1851) și afirmația în termodinamica axiomatică a lui Constantin Carathéodory (1909). Aceste afirmații exprimă legea în termeni fizici generali, invocând imposibilitatea anumitor procese. Declarațiile Clausius și Kelvin s-au dovedit a fi echivalente.

Principiul lui Carnot

Originea istorică a celei de-a doua legi a termodinamicii este principiul lui Carnot. Se referă la un ciclu al unui motor de căldură Carnot, operat fictiv în modul de limitare a încetirii extreme cunoscut sub numele de cvasi-static, astfel încât transferurile de căldură și de lucru sunt între subsisteme care sunt întotdeauna în propriile lor stări interne de echilibru termodinamic. Motorul Carnot este un dispozitiv idealizat de interes special pentru inginerii care se ocupă de eficiența motoarelor termice. Principiul lui Carnot a fost descoperit de Carnot într-un moment în care teoria calorică a căldurii a fost reconsiderată serios, înainte de recunoașterea primei legi a termodinamicii și înainte de exprimarea matematică a conceptului de entropie. Interpretată în lumina primei legi, ea este fizic echivalentă cu a doua lege a termodinamicii și rămâne valabilă și astăzi. Acesta afirmă

Eficiența unui ciclu cvasi-static sau reversibil Carnot depinde numai de temperaturile celor două rezervoare de căldură și este aceeași, indiferent de substanța activă. Un motor Carnot

operat în acest mod este cel mai eficient motor de căldură posibil folosind cele două temperaturi.

Formularea lui Clausius

Omul de știință german Rudolf Clausius a pus bazele celei de-a doua lege a termodinamicii în 1850, examinând relația dintre transferul de căldură și lucru mecanic. Formularea celei de-a doua legi, publicată în germană în 1854, este cunoscută sub numele de *formularea lui Clausius*:

Căldura nu poate trece niciodată de la un corp mai rece la un corp mai cald, fără o altă schimbare, inclusiv consum de lucru mecanic.

Formularea lui Clausius folosește conceptul de "trecere a căldurii". Așa cum este obișnuit în discuțiile termodinamice, aceasta înseamnă "transferul net al energiei sub formă de căldură" și nu se referă la transferurile contributive într-un fel sau altul.

Căldura nu poate curge în mod spontan de la regiuni reci la zone fierbinți, fără ca să fie efectuat lucru mecanic extern asupra sistemului, ceea ce este evident, de exemplu, din experiența obișnuită a refrigerării. În frigider, căldura curge de la rece la fierbinte, dar numai atunci când este forțată de un agent extern, sistemul de refrigerare.

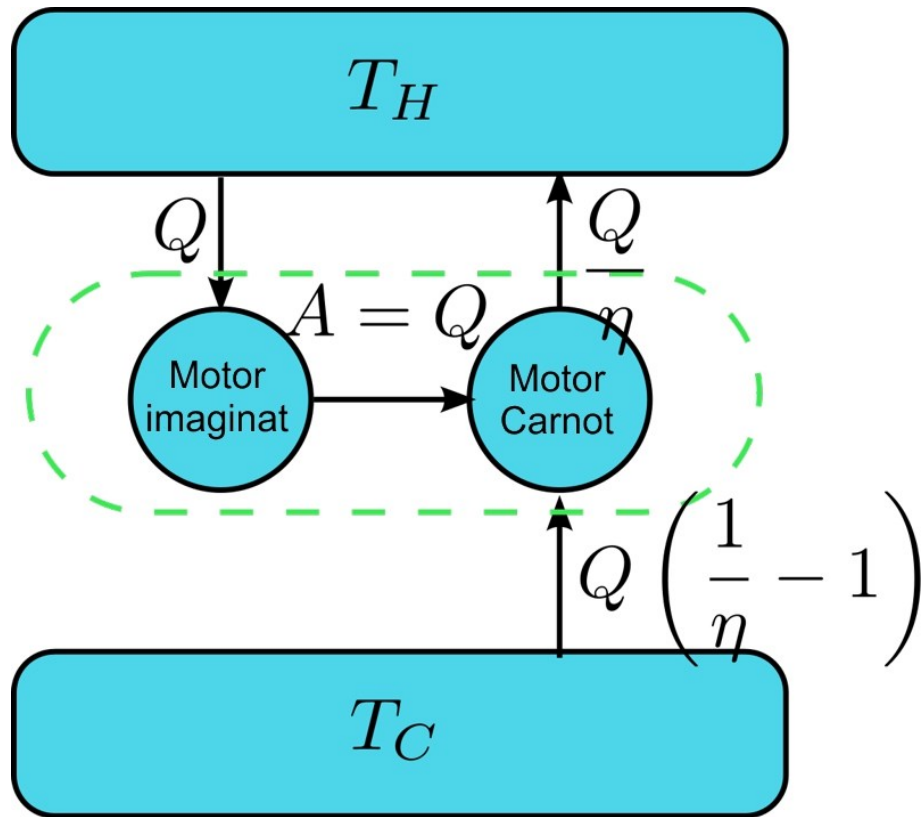
Formularea Kelvin

Lordul Kelvin a exprimat a doua lege ca

Este imposibil, prin intermediul unui agent material neînsuflețit, să se obțină efect mecanic de la orice porțiune a materiei prin răcirea ei sub temperatura celui mai rece dintre obiectele din jur.

Echivalența formulărilor Clausius și Kelvin

Să presupunem că există un motor care încalcă formularea Kelvin: adică unul care dă căldură și o transformă complet în lucru mecanic într-un mod ciclic, fără niciun alt rezultat. Acum să o asociem cu un motor Carnot inversat, așa cum arată figura. Efectul net și unic al acestui motor nou creat constând în cele două motoare menționate este transferul căldurii $\Delta Q = Q(1/\eta - 1)$ de la rezervorul mai rece la cel mai fierbinte, care încalcă formularea lui Clausius. Astfel, o încălcare a formulării Kelvin implică o încălcare a formulării lui Clausius, adică formularea lui Clausius implică formularea Kelvin. Putem dovedi într-o manieră similară faptul că formularea Kelvin implică formularea lui Clausius și, prin urmare, cele două sunt echivalente.



(Derivarea formulării Kelvin din cea a lui Clausius. Sursa: Netheril96,
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Deriving_Kelvin_Statement_from_Clausius_Statement.svg, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license, Traducere Nicolae Sfetcu)

Formularea lui Planck

Planck a oferit următoarea formulare ca derivată direct din experiență. Acest lucru este uneori considerat drept formularea sa despre a doua lege, dar el a considerat-o ca un punct de plecare pentru derivarea celei de-a doua legi.

Este imposibil să se construiască un motor care să funcționeze într-un ciclu complet și să nu producă niciun efect, cu excepția ridicării greutății și răcirii unui rezervor de căldură.

Relația dintre formularea lui Kelvin și formularea lui Planck

Este aproape obișnuit în manuale să se vorbească despre "formularea Kelvin-Planck" a legii, ca de exemplu în textul lui Haar și Wergeland. Un text oferă o afirmație foarte asemănătoare formulării lui Planck, dar îl atribuie lui Kelvin fără a menționa pe Planck. O monografie citează formularea lui Planck ca fiind formula "Kelvin-Planck", textul numindu-l pe Kelvin drept autor, deși citează corect pe Planck în referințele sale. Cititorul poate compara cele două afirmații citate mai sus aici.

Formularea Kelvin-Planck (sau *formularea motorului termic*) a celei de-a doua legi a termodinamicii afirmă acest lucru

Este imposibil să se proiecteze un dispozitiv care să funcționeze ciclic, singurul efect al căruia să fie absorbția energiei sub formă de căldură dintr-un singur rezervor termic și furnizarea unei cantități echivalente de lucru mecanic.

Formularea lui Planck

Planck a formulat a doua lege după cum urmează.

Fiecare proces care are loc în natură are loc în sensul în care crește suma entropiilor tuturor corpurilor care participă la proces. La limită, adică pentru procesele reversibile, suma entropiilor rămâne neschimbată.

Mai asemănătoare cu formularea lui Planck este aceea a lui Uhlenbeck și Ford pentru fenomenele ireversibile.

... într-o schimbare ireversibilă sau spontană dintr-o stare de echilibru în alta (cum ar fi egalizarea temperaturii a două corpuri A și B, atunci când sunt aduse în contact), entropia crește întotdeauna.

Principiul Carathéodory

Constantin Carathéodory a formulat termodinamica pe o fundație axiomatică pur matematică. Formularea sa despre a doua lege este cunoscută sub numele de Principiul Carathéodory, care poate fi formulat după cum urmează:

În fiecare vecinătate a oricărei stări S a unui sistem adiabatic închis există stări inaccesibile din S.

Cu această formulare, el a descris pentru prima dată conceptul de accesibilitate adiabatică și a pus bazele unui nou subdomeniu al termodinamicii clasice, adesea numit termodinamica geometrică. Din principiul lui Carathéodory rezultă că cantitatea de energie transferată quasi-static sub formă de căldură este o funcție de proces holonomică, cu alte cuvinte, $\delta Q = TdS$.

Deși este aproape obișnuit în manuale să spunem că principiul Carathéodory exprimă cea de-a doua lege și că o tratează ca fiind echivalentă cu formularea Clausius sau cu formularea Kelvin-Planck, nu este cazul. Pentru a obține tot conținutul celei de-a doua legi, principiul lui Carathéodory trebuie să fie completat de formularea lui Planck, că lucrul mecanic isocoric întotdeauna mărește energia internă a unui sistem închis care a fost inițial în propriul său echilibru termodinamic intern.

Principiul lui Planck

În 1926, Max Planck a scris o lucrare importantă despre elementele de bază ale termodinamicii. El a indicat principiul

Energia internă a unui sistem închis este mărită printr-un proces adiabatic, pe toată durata căruia volumul sistemului rămâne constant.

Această formulare nu menționează căldura și nu menționează temperatura, nici măcar entropia, și nu se bazează neapărat în mod implicit pe acele concepte, dar implică conținutul celei de-a doua legi. O afirmație strâns legată este că "presiunea de frecare nu produce niciodată un lucru mecanic pozitiv". Folosind o formă de cuvinte învechită, Planck însuși scria: "Producția de căldură prin frecare este ireversibilă".

Fără a menționa entropia, acest principiu al lui Planck este menționat în termeni fizici. Este foarte strâns legat de formularea Kelvin dată mai sus. Este relevant faptul că pentru un sistem cu volum constant și numere molare, entropia este o funcție monotonă a energiei interne. Cu toate acestea, acest principiu al lui Planck nu este de fapt afirmația preferată a lui Planck despre a doua lege, care se bazează pe conceptul de entropie.

O afirmație care într-un sens este complementară principiului lui Planck este făcută de Borgnakke și Sonntag. Ei nu o oferă ca pe o formulare completă a celei de-a doua legi:

... există o singură cale în care entropia unui sistem [închis] poate fi scăzută, și anume transferul căldurii din sistem.

Diferă de principiul precedent al lui Planck, aceasta este explicită în ceea ce privește schimbarea entropiei. Îndepărtarea materiei dintr-un sistem poate scădea de asemenea entropia sa.

Formularea pentru un sistem care are o expresie cunoscută a energiei sale interne în funcție de variabilele sale de stare extinse

A doua lege s-a dovedit a fi echivalentă cu energia internă U fiind o funcție slabă convexă, atunci când este scrisă ca o funcție a proprietăților extensive (masă, volum, entropie, ...).

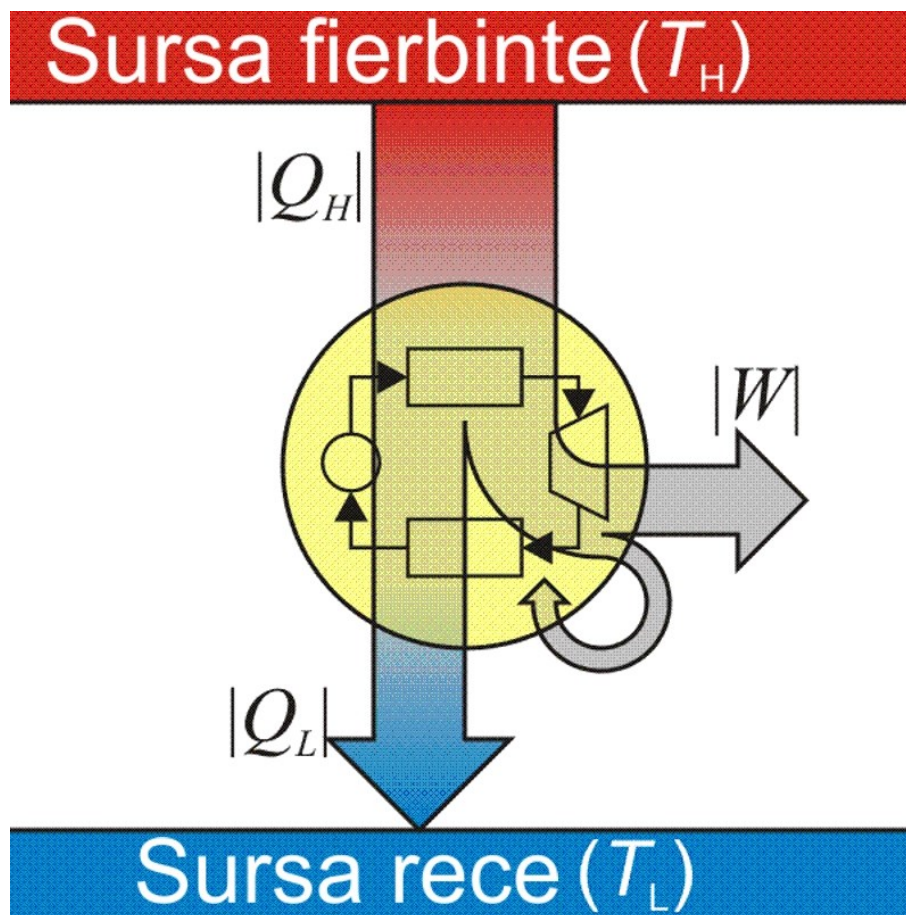
5.5.8 Motoare termice

În termodinamică, un **motor termic** este un sistem care convertește căldura sau energia termică - și energia chimică - în energie mecanică, care poate fi apoi utilizată pentru a produce lucru mecanic. Acest lucru se face prin aducerea unei substanțe de lucru de la o temperatură de stare mai mare la o temperatură de stare mai scăzută. O sursă de căldură generează energie termică care aduce substanța activă la starea de temperatură ridicată. Substanța de lucru generează lucru mecanic în corpul de lucru al motorului în timp ce transferă căldură la zona mai rece până când ajunge la o stare de temperatură scăzută. În timpul acestui proces, o parte din energia termică este transformată în lucru mecanic prin exploatarea proprietăților substanței active. Substanța de lucru poate fi orice sistem cu o capacitate de căldură diferită de zero, dar de obicei este un gaz sau lichid. În timpul acestui proces, multă căldură se pierde în mediu și nu poate fi transformată în lucru mecanic.

În general, un motor convertește energia în lucru mecanic. Motoarele termice se disting de alte tipuri de motoare prin faptul că eficiența lor este limitată fundamental de teorema lui Carnot. Deși această limitare a eficienței poate fi un dezavantaj, un avantaj al motoarelor termice este că cele mai multe forme de energie pot fi ușor convertite în căldură prin procese precum reacțiile exoterme (cum ar fi arderea), absorbția particulelor luminoase sau energetice, frecare, disipare și rezistență. Deoarece sursa de căldură care alimentează energia termică a motorului poate fi astfel alimentată de aproape orice fel de energie, motoarele termice sunt foarte versatile și au o gamă largă de aplicabilitate.

Motoarele termice sunt adesea confundate cu ciclurile pe care încearcă să le pună în aplicare. În mod tipic, termenul "motor" este utilizat pentru un dispozitiv fizic, și "ciclu" pentru model.

Prezentare generală



(Diagrama motorului termic. Sursa: Gonfer, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Heat_engine.png, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license, Traducere Nicolae Sfetcu)

În termodinamică, motoarele termice sunt adesea modelate folosind un model de inginerie standard, cum ar fi ciclul Otto. Modelul teoretic poate fi rafinat și amplificat cu date reale dintr-un motor de funcționare, utilizând instrumente cum ar fi o diagramă indicator.

Deoarece foarte puține implementări reale ale motoarelor termice corespund exact ciclurilor lor termodinamice de bază, se poate spune că un ciclu termodinamic este un caz ideal al unui motor mecanic. În orice caz, înțelegerea pe deplin a unui motor și a eficienței acestuia necesită o bună înțelegere a modelului teoretic (posibil simplificat sau idealizat), a nuanțelor practice ale unui motor mecanic real și a discrepanțelor dintre cele două.

În termeni generali, cu cât este mai mare diferența de temperatură dintre sursa fierbinte și bazinul rece, cu atât este mai mare eficiența termică potențială a ciclului. Pe Pământ, partea rece a oricărui motor termic este limitată de apropierea de temperatura ambiantă a mediului sau nu este mult mai mică decât 300 de kelvini, astfel încât majoritatea eforturilor de îmbunătățire a eficienței termodinamice a diferitelor motoare termice se concentrează pe creșterea temperaturii sursă, în limitele materiale. Eficiența teoretică maximă a unui motor termic (pe care niciun motor nu o atinge niciodată) este egală cu diferența de temperatură dintre capetele fierbinți și cele reci, împărțită la temperatura de la capătul cald, toate exprimate ca temperaturi absolute (în Kelvin).

Eficiența diferitelor motoare termice propuse sau utilizate astăzi are o gamă largă:

- 3% (căldură reziduală de 97% utilizând căldură de joasă calitate) pentru propunerea de putere oceanică OTEC.
- 25% pentru majoritatea motoarelor pe benzină pentru automobile
- 49% pentru o centrală supercritică pe bază de cărbune
- 60% pentru o turbină cu gaz combinat cu ciclu combinat.

Exemple de zi cu zi

Exemple de motoare termice uzuale includ motorul cu aburi și motorul cu combustie internă. Motorul de amestecare este, de asemenea, motor termic. Toate aceste motoare termice sunt alimentate de expansiunea gazelor încălzite. Mediul este bazinul de căldură, care oferă gaze relativ reci, care, atunci când sunt încălzite, se extind rapid pentru a genera mișcarea mecanică a motorului.

Exemple de motoare termice

Este important de menționat că, deși unele cicluri au o locație tipică de combustie (internă sau externă), ele pot fi adesea implementate împreună cu altele. De exemplu, John Ericsson a dezvoltat un motor termic extern care rulează pe un ciclu foarte asemănător ciclului Diesel anterior. În plus, motoarele termice externe pot fi adesea implementate în cicluri deschise sau închise.

Motorul termic al Pământului

Atmosfera Pământului și hidrosfera - motorul termic al Pământului - sunt procese cuplate care elimină în mod constant dezechilibrele de încălzire solară prin evaporarea apei de suprafață, a convecției, a precipitațiilor, a vânturilor și a circulației oceanice, atunci când distribuie căldură în jurul globului.

Sistemul Hadley oferă un exemplu de motor termic. Circulația Hadley este identificată cu creșterea aerului cald și umed în regiunea ecuatorială, cu coborârea aerului rece la subtropice, care corespunde unei circulații termice directe, cu producerea netă de energie cinetică.

Eficiența

Eficiența unui motor termic corelează cât de mult lucru mecanic util este generat pentru o anumită cantitate de energie termică intrată.

Din legile termodinamicii, după un ciclu complet:

$$W = Q_c - (-Q_h)$$

unde $W = \int PdV$ este lucrul mecanic extras din motor. (Este negativ deoarece lucrul mecanic se face de către motor.), $Q_h = T_h \Delta S_h$ este energia termică luată de la sistemul de temperatură înaltă. (Este negativă deoarece căldura este extrasă din sursă, deci $(-Q_h)$ este pozitivă.), $Q_c = T_c \Delta S_c$ este energia termică furnizată sistemului de temperatură rece. (Este pozitivă deoarece căldura este adăugată la bazin.)

Cu alte cuvinte, un motor termic absoarbe energia termică din sursa de căldură la temperaturi ridicate, transformând o parte din aceasta într-un lucru mecanic util și dând restul la bazinul de temperatură rece.

În general, eficiența unui proces de transfer de căldură dat (fie că este vorba de un frigider, de o pompă de căldură sau de un motor) este definită informal prin raportul dintre "ce iese" și "ce intră".

În cazul unui motor, se dorește extragerea lucrului mecanic prin transferul de căldură.

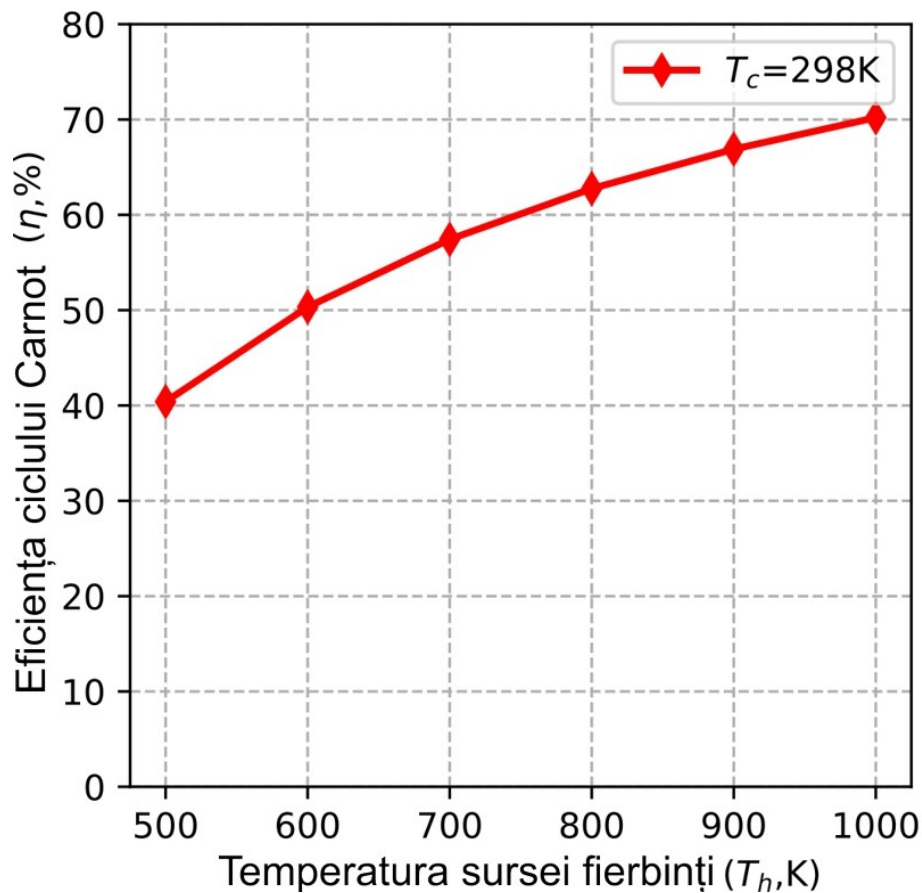
$$\eta = -W/(-Q_h) = (-Q_h - Q_c)/(-Q_h) = 1 - (Q_c/(-Q_h))$$

Eficiența maximă *teoretică* a oricărui motor termic depinde numai de temperaturile la care funcționează. Această eficiență este de obicei derivată utilizând un motor ideal pentru căldură imaginar, cum ar fi motorul termic Carnot, deși alte motoare care utilizează diferite cicluri pot, de asemenea, să obțină o eficiență maximă. Din punct de vedere matematic, acest lucru se datorează faptului că, în procesele reversibile, schimbarea entropiei

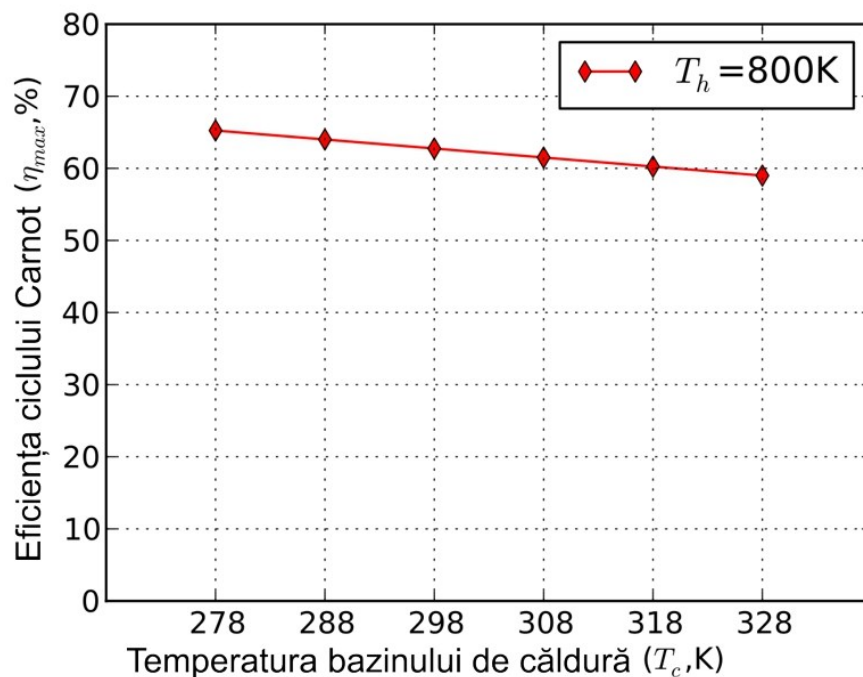
rezervorului rece este negativă față de cea a rezervorului fierbinte (adică $\Delta S_c = -\Delta S_h$), menținând modificarea globală a entropiei zero. Prin urmare:

$$\eta_{\max} = 1 - T_c \Delta S_c / (-T_h \Delta S_h) = 1 - (T_c / T_h)$$

unde T_h este temperatura absolută a sursei fierbinți și T_c cea a bazinului rece, măsurată, de obicei, în coloane. Rețineți că dS_c este pozitiv în timp ce dS_h este negativ; în orice proces reversibil de extragere a lucrului mecanic, entropia nu este în general crescută, ci mai degrabă este mutată de la un sistem fierbinte (entropie înaltă) la o temperatură rece (cu o entropie scăzută), scăzând entropia sursei de căldură și crescând-o pe cea a bazinului de căldură.



(Eficiența ciclului Carnot cu modificarea temperaturii de adăugare a căldurii. Sursa: Krishnavedala, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Carnot_Efficiency.svg, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license, Traducere Nicolae Sfetcu)



(Eficiența ciclului Carnot cu schimbarea temperaturii de respingere a căldurii. Sursa: Krishnavedala, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Carnot_Efficiency2.svg, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license, Traducere Nicolae Sfetcu)

Motivul din spatele acestei *eficiențe maxime* este următorul. Se presupune mai întâi că dacă un motor cu căldură mai eficient decât un motor Carnot este posibil, atunci acesta ar putea fi acționat în sens invers ca o pompă de căldură. Analiza matematică poate fi utilizată pentru a arăta că această asocieră presupusă ar avea ca rezultat o scădere netă a entropiei. Deoarece, prin a doua lege a termodinamicii, aceasta este improbabilă din punct de vedere statistic la punctul de excludere, eficiența Carnot este o limită superioară teoretică a eficienței fiabile a *oricărui* proces.

Din punct de vedere empiric, niciun motor termic nu s-a dovedit a funcționa cu o eficiență mai mare decât un motor de încălzire pentru ciclul Carnot.

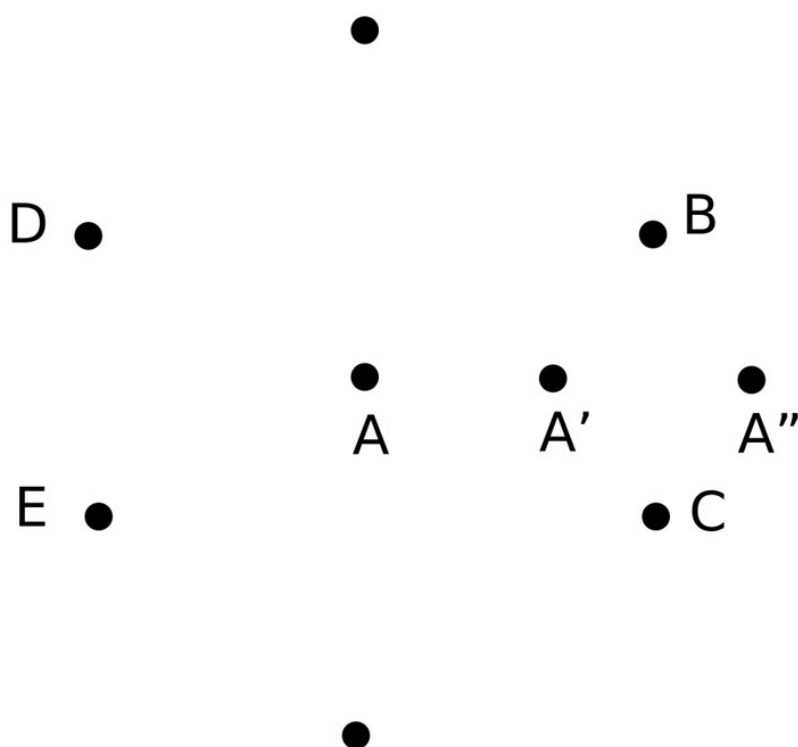
Figurile de mai jos prezintă variații ale eficienței ciclului Carnot. Prima figură arată modul în care se schimbă eficiența cu o creștere a temperaturii de adăugare a căldurii pentru o temperatură de intrare constantă a compresorului. Figura a doua indică modul în care se schimbă eficiența cu o creștere a temperaturii de respingere a căldurii pentru o temperatură de intrare constantă a turbinei.

Toate aceste procese obțin eficiența (sau lipsa acesteia) de la căderea de temperatură peste ele. Energia semnificativă poate fi utilizată pentru echipamente auxiliare, cum ar fi pompele, care reduc efectiv eficiența.

Puterea

Motoarele termice pot fi caracterizate de puterea lor specifică, care este de obicei dată în kilowați pe litru de deplasare a motorului. Rezultatul oferă o aproximare a puterii de vârf a unui motor. Acest lucru nu trebuie confundat cu eficiența combustibilului, deoarece eficiența ridicată necesită adesea un raport de carburant-aer slab și, astfel, o densitate de putere mai mică. Un motor modern de înaltă performanță are peste 75 kW/l. 75 kW/l (1.65 hp/in³).

5.5.9 Tendința de la ordine la dezordine (Ordinea și dezordinea)



(Moleculele lui Boltzmann (1896) în o "poziție de repaus" într-un solid)

În termodinamică, **entropia** este asociată frecvent cu măsura ordinii, dezordinii sau haosului într-un sistem termodinamic. Acest lucru rezultă din afirmația lui Rudolf Clausius din 1862 că orice proces termodinamic, întodeauna "se admite că este redus la alterarea într-un fel sau altul a *aranjamentului* părților componente ale corpului de lucru" și că lucrul mecanic intern asociat cu aceste modificări este cuantificat energetic printr-o măsură a schimbării "entropiei", în conformitate cu următoarea expresie diferențială:

$$\int \delta Q/T \geq 0$$

unde Q este energia de mișcare ("căldura") transferată reversibil către sistem din mediul înconjurător și T este temperatura absolută la care are loc transferul.

În anii care au urmat, Ludwig Boltzmann a tradus aceste "alterări" într-o perspectivă probabilistică a ordinii și a dezordinii în sistemele moleculare în fază gazoasă.

În ultimii ani, în manualele de chimie a existat o trecere de la utilizarea termenilor "ordine" și "dezordine" la cea a conceptului de *dispersie a energiei* pentru a descrie *entropia*, printre alte teorii. În enciclopedia *Encarta* din 2002, de exemplu, *entropia* este definită ca o proprietate termodinamică care servește ca măsură a cât de aproape este un sistem de echilibru, precum și o măsură a dezordinii din sistem. În contextul entropiei, "dezordinea internă perfectă" este sinonimă cu "echilibrul", dar întrucât această definiție este cu mult diferită de definiția obișnuită implicată în vorbirea normală, utilizarea termenului în știință a provocat o mare confuzie și neînțelegere.

La nivel local, entropia poate fi redusă prin acțiunea externă. Acest lucru se aplică mașinilor, cum ar fi un frigider, unde entropia în zona rece este redusă, și la organismele vii. Această scădere locală a entropiei este totuși posibilă numai pe seama unei creșteri a entropiei în mediu.

Prezentare generală

Pentru a evidenția faptul că ordinea și dezordinea sunt în mod obișnuit înțelese ca fiind măsurate în termeni de entropie, mai jos sunt definițiile entropiei din enciclopedia științifică și dicționarul științific curent:

- O măsură a indisponibilității energiei unui sistem de lucru; de asemenea o măsură a dezordinii; cu cât entropia este mai mare, cu atât mai mare este dezordinea.
- O măsură a dezordinii; cu cât entropia este mai mare, cu atât mai mare este dezordinea.
- În termodinamică, un parametru reprezentând starea de dezordine a unui sistem la nivel atomic, ionic sau molecular; cu cât este mai mare dezordinea cu atât este mai mare entropia.
- O măsură a dezordinii din univers sau a indisponibilității energiei de a produce lucru mecanic.

Entropia și dezordinea au de asemenea asocieri cu echilibrul. Din punct de vedere tehnic, entropia, din această perspectivă, este definită ca o proprietate termodinamică care servește ca o măsură a cât de aproape este un sistem de echilibru - adică de a ajunge la *dezordinea* internă. De asemenea, valoarea entropiei unei distribuții de atomi și molecule într-un sistem termodinamic este o măsură a dezordinii în aranjamentele particulelor sale.

Într-o bucată de cauciuc întinsă, de exemplu, dispunerea moleculelor din structura sa are o distribuție "ordonată" și are entropie zero, în timp ce distribuția "dezordonată" a atomilor și a moleculelor din cauciucul neîntins are entropie pozitivă. În mod similar, într-un gaz *ordinea* este perfectă și măsura entropiei sistemului are cea mai mică valoare atunci când toate moleculele sunt într-un singur loc, în timp ce atunci când sunt ocupate mai multe puncte, gazul este cu atât mai dezordonat și măsura entropiei din sistem are valoare mai mare.

În ecologia sistemelor, ca un alt exemplu, entropia unei colecții de elemente care cuprind un sistem este definită ca măsură a dezordinii lor sau echivalent cu probabilitatea relativă a configurației instantanee a elementelor. Mai mult, potrivit ecologistului teoretician și inginerului chimic Robert Ulanowicz, "faptul că entropia ar putea oferi o cuantificare a noțiunii de dezordine subiectivă până acum, a generat nenumărate narațiuni științifice și filosofice". În special, mulți biologi au vorbit în termeni de entropie a unui organism sau despre antonimul său negentropia, ca o măsură a ordinii structurale în cadrul unui organism.

Baza matematică cu privire la asocierea entropiei cu ordinea și dezordinea a pornit, în esență, de la faimoasa formulă Boltzmann, $S = k_B \ln W$, care corelează entropia S cu numărul de stări posibile W în care poate fi găsit un sistem. Ca exemplu, luați în considerare o cutie care este împărțită în două secțiuni. Care este probabilitatea ca un anumit număr sau toate particulele să fie găsite într-o secțiune în raport cu cealaltă atunci când particulele sunt repartizate aleatoriu în diferite locuri din cutie? Dacă aveți doar o singură particulă, atunci acel sistem al unei particule poate exista în două stări, de o parte a cutiei sau de cealaltă. Dacă aveți mai mult de o particulă sau definiți stări ca fiind subdiviziuni de localizare suplimentare ale cutiei, entropia este mai mare, deoarece numărul de stări este mai mare. Relația dintre entropie, ordine și dezordine în ecuația Boltzmann este atât de clară în rândul fizicienilor încât, conform punctelor de vedere ale ecologiștilor termodinamici Sven Jorgensen și Yuri Svirezhev, "este evident că entropia este o măsură a ordinii sau, cel mai probabil, dezordinii sistemului". În această direcție, a doua lege a termodinamicii, așa cum a fost enunțată de Rudolf Clausius în 1865, afirmă:

„Entropia universului tinde spre un maxim.“

Astfel, dacă entropia este asociată cu dezordinea și dacă entropia universului se îndreaptă către entropia maximă, atunci mulți sunt adesea nedumeriți în ceea ce privește natura "ordonării" procesului și funcționarea evoluției în raport cu cea mai faimoasă versiune a celei de a doua legi a lui Clausius, care afirmă că universul se îndreaptă către "dezordinea" maximă. În cartea recentă din 2003, *SYNC - Știința emergentă a ordonării spontane* de Steven Strogatz, de exemplu, găsim că "oamenii de știință au fost adesea derutați de existența unei ordini spontane în univers. Legile termodinamicii par să dicteze contrariul, natura ar trebui să degenească inexorabil spre o stare de dezordine mai mare, o entropie mai mare. Cu toate acestea, în jurul nostru vedem structuri magnifice - galaxii, celule, ecosisteme, ființe umane - care au reușit cumva să se adune singure".

Argumentul comun folosit pentru a explica acest lucru este că, la nivel local, entropia poate fi redusă prin acțiunea externă, de ex. acțiunea de încălzire solară și că aceasta se aplică mașinilor, cum ar fi un frigider, unde entropia în camera rece este redusă, la cristalele în creștere și la organismele vii. Această creștere locală este, totuși, posibilă numai pe seama unei creșteri a entropiei în mediu; aici trebuie să se creeze mai multe dezordini. Condiționarea acestei afirmații este suficientă pentru că sistemele vii sunt sisteme deschise în care atât căldura, masa, cât și lucrul mecanic pot fi transferate în sau din sistem. Spre deosebire de temperatură, entropia presupusă a unui sistem viu se va schimba drastic dacă organismul ar fi izolat termodinamic. Dacă un organism se află în acest tip de situație "izolată", entropia sa ar crește considerabil, întrucât componentele odată vii ale organismului s-au degradat într-o masă de nerecunoscut.

5.5.10 Entropia

În mecanica statistică, **entropia** este o proprietate extinsă a unui sistem termodinamic. Este strâns legată de numărul Ω al configurațiilor microscopice (cunoscute sub numele de microstări) care sunt în concordanță cu cantitățile macroscopice care caracterizează sistemul (cum ar fi volumul, presiunea și temperatura acestuia). Sub presupunerea că fiecare microstare este la fel de probabilă, entropia S este logaritmul natural al numărului de microstări, înmulțit cu constanta Boltzmann k_B . Formal,

$$S = k_B \ln \Omega \text{ (presupunând microstări echiprobile).}$$

Sistemele macroscopice au de obicei un număr foarte mare Ω de configurații microscopice posibile. De exemplu, entropia unui gaz ideal este proporțională cu numărul de molecule de gaze N . Aproximativ douăzeci de litri de gaz la temperatura camerei și presiunea atmosferică au $N \approx 6 \times 10^{23}$ (numărul lui Avogadro). La echilibru, fiecare dintre configurațiile $\Omega \approx e^N$ poate fi considerată ca fiind aleatorie și la fel de probabilă.

A doua lege a termodinamicii afirmă că entropia unui sistem izolat nu scade niciodată. Astfel de sisteme evoluează în mod spontan către echilibru termodinamic, starea cu entropie maximă. Sistemele neizolate pot pierde entropia, cu condiția ca entropia mediului să crească cel puțin cu această sumă, astfel încât entropia totală să crească. Entropia este o funcție a stării sistemului, astfel încât schimbarea entropiei unui sistem este determinată de stările sale inițiale și finale. În idealizarea faptului că un proces este reversibil, entropia nu se schimbă, în timp ce procesele ireversibile întotdeauna măresc entropia totală.

Deoarece este determinată de numărul de microstări aleatorii, entropia este legată de cantitatea de informații suplimentare necesare pentru a specifica starea fizică exactă a unui sistem, dat fiind specificația sa macroscopică. Din acest motiv, adesea se spune că entropia este o expresie a dezordinii, a caracterului aleatoriu a unui sistem sau a lipsei de informații despre el. Din acest motiv, conceptul de entropie joacă un rol central în teoria informațiilor.

Constanta lui Boltzmann și, prin urmare, entropia, au dimensiuni de energie împărțite la temperatură, care are o unitate de jouli per kelvin (JK^{-1}) în Sistemul Internațional de Unități

(sau $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$ în termeni de unități de bază). Entropia unei substanțe este dată de obicei ca o proprietate intensă - fie entropie pe unitate de masă (unitate SI: $\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$), fie entropie pe unitate de substanță (unitate SI: $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$).

Definiții

Orice metodă care implică noțiunea de entropie, a cărei însăși existență depinde de cea de-a doua lege a termodinamicii, va părea, fără îndoială, forțată, și multor oameni și ar putea respinge începătorii ca fiind obscură și dificil de înțeles. Willard Gibbs, *Metode grafice în termodinamica fluidelor*

Există două definiții legate de entropie: definiția termodinamică și definiția mecanicii statistice. Din punct de vedere istoric, definiția clasică a termodinamicii s-a dezvoltat mai întâi. Din punctul de vedere al termodinamicii clasice, sistemul este compus dintr-un număr foarte mare de constituenți (atomi, molecule), iar starea sistemului este descrisă de proprietățile termodinamice medii ale acelor constituenți; detaliile constituenților sistemului nu sunt luate în considerare direct, dar comportamentul lor este descris de proprietăți medii macroscopice, de ex. temperatura, presiunea, entropia, capacitatea calorică. Definiția clasică timpurie a proprietăților sistemului asumat în echilibru. Definiția termodinamică clasică a entropiei a fost mai recent extinsă în domeniul termodinamicii neechilibrului. Mai târziu, proprietățile termodinamice, inclusiv entropia, au dat o definiție alternativă în ceea ce privește statisticile mișcărilor componentelor microscopice ale unui sistem - modelate la început clasic, de ex. particulele newtonice constituind un gaz, și mai târziu prin mecanica cuantică (fotoni, fononi, spini etc.). Descrierea mecanicii statistice a comportamentului unui sistem este necesară deoarece definiția proprietăților unui sistem care utilizează termodinamica clasică devine o metodă din ce în ce mai nesigură de a prezice starea finală a unui sistem care este supus unui anumit proces.

Definiția statistică a entropiei: Principiul lui Boltzmann

În 1877, Boltzmann și-a dat seama că entropia unui sistem poate fi legată de numărul de posibile "microstări" (stări microscopice) în concordanță cu proprietățile termodinamice. Să considerăm, de exemplu, un gaz ideal într-un recipient. O microstare este specificată prin pozițiile și impulsurile fiecărui atom constituent. Coerența ne cere să ia în considerare doar acele microstări pentru care (i) pozițiile tuturor particulelor sunt amplasate în volumul recipientului, (ii) energiile cinetice ale atomilor se rezumă la energia totală a gazului, și așa mai departe . Boltzmann atunci a postulat că

$$S = k_B(\ln\Omega)$$

unde k_B este cunoscută sub numele de constanta lui Boltzmann și Ω este numărul de microstări, care sunt în concordanță cu starea macroscopică dată. Acest postulat, care este cunoscut sub numele de *principiul lui Boltzmann*, poate fi considerat drept fundamentul mecanicii statistice, care descrie sistemele termodinamice care utilizează comportamentul

statistic al elementelor sale constitutive. El leagă o proprietate microscopică a sistemului (Ω) de una dintre proprietățile sale termodinamice (S).

În definiția lui Boltzmann, entropia este în mod clar o funcție de stare. Mai mult decât atât, din moment ce Ω este doar un număr natural (1,2,3, ...), entropia trebuie să fie pozitivă (aceasta este pur și simplu o proprietate a logaritmului.).

Entropia ca măsură a dezordinii

Putem vedea Ω ca o măsură a dezordinii într-un sistem. Acest lucru este rezonabil, pentru că ceea ce gândim noi ca sisteme "ordonate" tind să aibă foarte puține posibilități de configurație, iar sistemele "dezordonate", au foarte multe. Luați în considerare, de exemplu, un set de 10 monede, dintre care fiecare are partea de sus sau "ban" sau "marcă". Cele mai "ordonate" stări macroscopice sunt toate monedele fie "ban" fie "marcă". În oricare caz, există exact o singură configurație care poate produce rezultatul respectiv. În contrast, cea mai "dezordonată" stare este formată din 5 monede cu partea de sus "ban" și 5 cu "marcă", și există ${}^{10}C_5 = 252$ moduri de a produce acest rezultat.

În conformitate cu definiția statistică a entropiei, a doua lege a termodinamicii spune că dezordinea într-un sistem izolat tinde să crească. Acest lucru poate fi înțeles prin exemplul nostru cu monedele. Să presupunem că pornim cu 10 monede toate cu "ban", și aruncăm în aer răsucind câte o monedă la întâmplare la fiecare minut. Dacă vom examina sistemul după o lungă perioadă de timp, este posibil să vedem în continuare 10 "bani", sau chiar 10 "mărci", dar această situație nu este foarte probabilă. Este mult mai probabil că vom vedea aproximativ la fel de multe monede cu "ban" ca și cu "mărci".

De la descoperirea sa, ideea că dezordinea tinde să crească a fost în centrul unor aprinse discuții, unele din ele confuze. Un element cheie de confuzie este faptul că rezultatul $\Delta S \geq 0$ se aplică numai sistemelor izolate. De notat că Pământul nu este un sistem izolat deoarece primește în mod constant energie sub formă de lumină solară. Cu toate acestea, s-a arătat că universul poate fi considerat un sistem izolat, astfel încât dezordinea sa totală ar trebui să fie în continuă creștere. Aceasta a fost speculat prin ideea că universul este sortit să ajungă la o moarte termică, în care toată energia ajunge să aibă o distribuție omogenă a energiei termice, astfel încât nu se va mai produce niciun lucru mecanic din nicio sursă.

Numărarea microstărilor

În mecanica statistică clasică, numărul de microstări este de fapt infinit, deoarece proprietățile sistemelor clasice sunt continui. De exemplu, o microstare a unui gaz ideal clasic este specificată de pozițiile și impulsurile tuturor atomilor, care variază continuu în numerele reale. Prin urmare, trebuie să fie inventată o metodă de "clasificare" a microstărilor, dacă vrem să definim Ω . În cazul gazului ideal, considerăm două stări ale unui atom ca "aceeași" stare dacă pozițiile și impulsurile lor sunt mai mici de δx și δp unul față de altul. Deoarece δx și δp pot fi alese destul de arbitrar, entropia nu este definită în mod unic. Aceasta este de fapt definită numai până la o constantă aditivă, ca și mai înainte.

Această grupare de microstări este numită *granulare grosieră*, și are omologul său în alegerea de stări de bază în mecanica cuantică.

Această ambiguitate este parțial rezolvată cu mecanica cuantică. Starea cuantică a unui sistem poate fi exprimată ca o suprapunere de stări de bază, care sunt de obicei alese pentru a fi stări proprii ale hamiltonianului neperturbat. În mecanica statistică cuantică, Ω se referă la numărul de stări de bază în concordanță cu proprietățile termodinamice. Având în vedere că setul de stări de bază este, în general, numărabil, putem defini și Ω .

Cu toate acestea, alegerea setului de stări de bază este încă într-un fel arbitrară. Aceasta corespunde alegerii granularii grosiere a microstărilor, macrostărilor distincte din fizica clasică.

Acest lucru duce la *teorema lui Nernst*, denumită uneori ca a treia lege a termodinamicii, care afirmă că entropia unui sistem la temperatura de zero absolut este o constantă bine definită. Acest lucru se datorează faptului că un sistem la temperatura de zero există în starea sa de bază, astfel că entropia sa este determinată prin degenerarea stării fundamentale. Multe sisteme, cum ar fi rețelele de cristal, au o stare de bază unică și, prin urmare, au entropie zero la zero absolut (întrucât $\ln(1) = 0$).

Funcția de stare

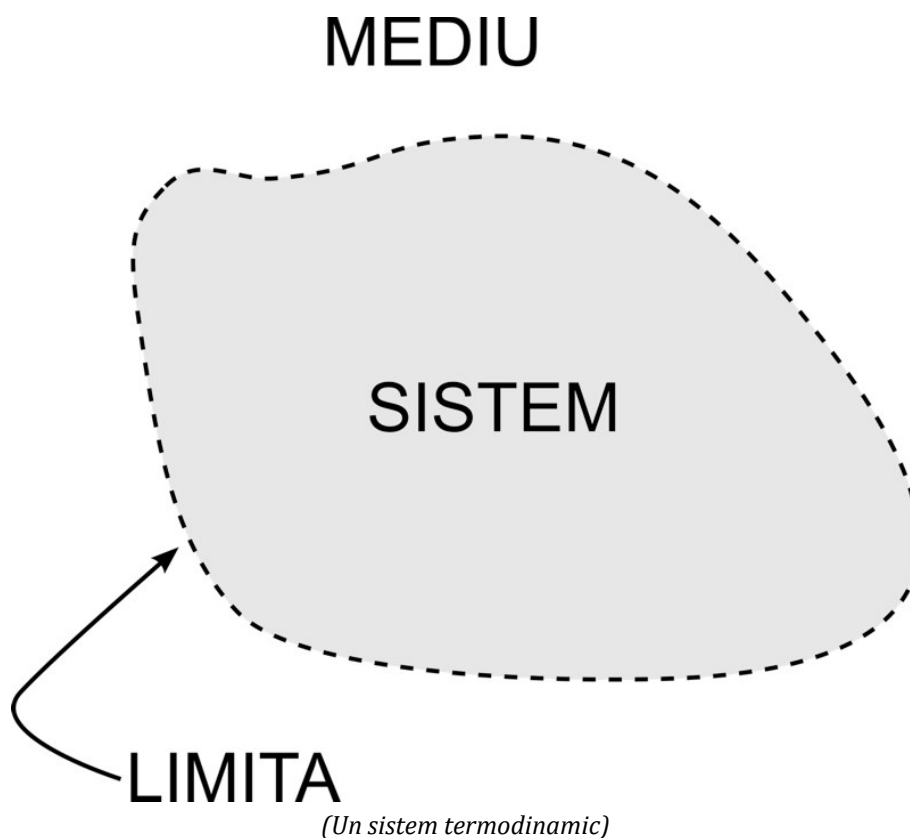
Există multe proprietăți termodinamice care sunt funcții de stare. Aceasta înseamnă că la o anumită stare termodinamică (care nu trebuie confundată cu starea microscopică a unui sistem), aceste proprietăți au o anumită valoare. Adesea, dacă se determină două proprietăți ale sistemului, atunci se determină starea și se pot determina și valorile celorlalte proprietăți. De exemplu, o cantitate de gaz la o anumită temperatură și presiune are starea sa fixată de acele valori și astfel are un volum specific care este determinat de aceste valori. Ca un alt exemplu, un sistem compus dintr-o substanță pură dintr-o singură fază, la o temperatură și presiune uniformă (și astfel este o stare particulară) și care nu este numai la un anumit volum, ci și la o anumită entropie. Faptul că entropia este o funcție de stare este unul dintre motivele pentru care este utilă. În ciclul Carnot, lichidul de lucru revine la aceeași stare pe care a avut-o la începutul ciclului, de unde integrarea liniară a oricărei funcții de stare, cum ar fi entropia, în acest ciclu reversibil este zero.

Proces reversibil

Entropia este conservată pentru un proces reversibil. Un proces reversibil este unul care nu se abate de la echilibrul termodinamic, în timp ce produce lucru mecanic maxim. Orice proces care se petrece suficient de rapid pentru a se abate de la echilibrul termic nu poate fi reversibil. În aceste cazuri, energia se pierde prin căldură, crește entropia totală și se pierde și potențialul de lucru mecanic maxim în tranziție. Mai precis, entropia totală este conservată într-un proces reversibil și nu este conservată într-un proces ireversibil. De exemplu, în ciclul Carnot, în timp ce fluxul de căldură de la rezervorul de căldură la

rezervorul rece reprezintă o creștere a entropiei, lucrul mecanic rezultat, dacă este reversibil și perfect stocat într-un mecanism de stocare a energiei, reprezintă o scădere a entropiei care ar putea fi utilizată pentru a opera motorul termic în sens invers și a reveni la starea anterioară, astfel încât modificarea totală a entropiei este în continuare zero în orice moment dacă întregul proces este reversibil. Un proces ireversibil mărește entropia.

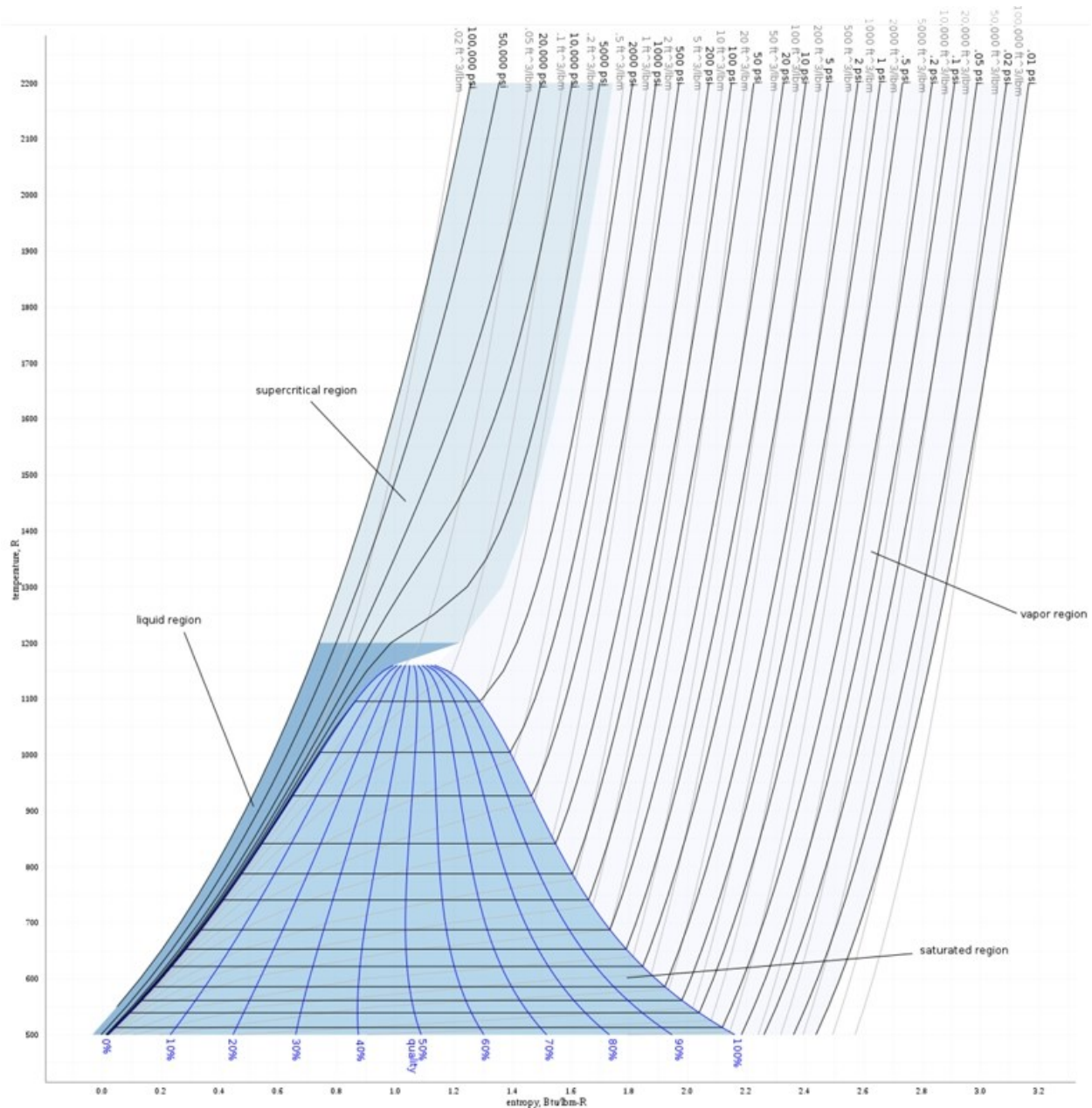
Entropia unui sistem



Entropia apare direct din ciclul Carnot. Se poate de asemenea descrie sub forma de căldura reversibilă împărțită la temperatură. Entropia este o funcție fundamentală a stării.

Într-un sistem termodinamic, presiunea, densitatea și temperatura tind să devină uniforme în timp, deoarece starea de echilibru are probabilitate mai mare (mai multe combinații posibile de microstări) decât orice altă stare.

De exemplu, pentru un pahar de apă cu gheață în aer la temperatura camerei, diferența de temperatură dintre o cameră caldă (mediu) și un pahar rece de gheață și apă (sistemul și nu o parte a camerei) începe să se egaleze porțiuni ale energiei termice din mediul cald, răspândite în sistemul răcitor de gheață și apă. În timp temperatura sticlei și a conținutului acesteia și temperatura camerei devin egale. Cu alte cuvinte, entropia camerei a scăzut pe măsură ce o parte din energia ei a fost dispersată în gheață și apă.



(O diagramă temperatură-entropie pentru abur. Axa verticală reprezintă temperatura uniformă și axa orizontală reprezintă entropia specifică. Fiecare linie întunecată pe grafic reprezintă o presiune constantă și acestea formează o plasă cu linii gri deschis și volum constant (Albastrul închis este apa lichidă, albastrul deschis este amestecul lichid-abur, iar albastru pal este abur. Gri-albastru reprezintă apa lichidă supercritică.) Sursa: Emok, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Temperature-entropy_chart_for_steam_US_units.svg, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license)

Cu toate acestea, după cum se calculează în exemplu, entropia sistemului de gheață și apă a crescut mai mult decât a scăzut entropia camerei. Într-un sistem izolat, cum ar fi camera și apa cu gheață luate împreună, dispersarea energiei de la încălzitor la răcitor determină întotdeauna o creștere netă a entropiei. Astfel, atunci când "universul" sistemului de

cameră și apă cu gheață a atins un echilibru de temperatură, schimbarea entropiei de la starea inițială este maximă. Entropia sistemului termodinamic este o măsură a măsurii în care egalizarea a progresat.

Entropia termodinamică este o funcție de stare neconservată, care are o mare importanță în științele fizicii și chimiei. Din punct de vedere istoric, conceptul de entropie a evoluat pentru a explica de ce unele procese (permise de legile de conservare) apar spontan, în timp ce inversarea timpului lor (permisă și de legile de conservare) nu; sistemele tind să progreseze în direcția creșterii entropiei. Pentru sistemele izolate, entropia nu scade niciodată. Acest fapt are câteva consecințe importante în domeniul științei: în primul rând, interzice mașinilor "mișcarea perpetuă"; și în al doilea rând, presupune că săgeata entropiei are aceeași direcție ca săgeata timpului. Creșterea entropiei corespunde schimbărilor ireversibile ale unui sistem, deoarece o anumită energie este folosită sub formă de căldură reziduală, limitând cantitatea de lucru mecanic pe care un sistem îl poate produce.

Spre deosebire de multe alte funcții de stare, entropia nu poate fi observată direct, ci trebuie calculată. Entropia poate fi calculată pentru o substanță ca entropia molară standard de la zero absolut (cunoscută și ca entropie absolută) sau ca o diferență de entropie dintr-o altă stare de referință care este definită ca entropie zero. Entropia are dimensiunea energiei împărțită la temperatură, care are o unitate de jouli per kelvin (J/K) în Sistemul Internațional de Unități. În timp ce acestea sunt aceleași unități ca și capacitatea calorică, cele două concepte sunt distincte. Entropia nu este o cantitate conservată: de exemplu, într-un sistem izolat cu temperatură neuniformă, căldura ar putea curge ireversibil, iar temperatura va deveni mai uniformă, astfel încât entropia să crească. A doua lege a termodinamicii afirmă că un sistem închis are entropie care poate crește sau rămâne constantă în orice alt mod. Reacțiile chimice provoacă schimbări în entropie și entropia joacă un rol important în determinarea direcției în care se produce o reacție chimică în mod spontan.

O definiție a entropiei din dicționar este că este "o măsură a energiei termice pe unitatea de temperatură care nu este disponibilă pentru un lucru mecanic util". De exemplu, o substanță la o temperatură uniformă este la entropia maximă și nu poate alimenta un motor termic. O substanță la o temperatură neuniformă este la o entropie mai mică (decât dacă distribuția de căldură este lăsată să se ajusteze) și o parte din energia termică poate alimenta un motor termic.

Un caz special de creștere a entropiei, *entropia amestecării*, apare când două sau mai multe substanțe diferite sunt amestecate. Dacă substanțele sunt la aceeași temperatură și presiune, nu există schimburi nete de căldură sau de lucru - schimbarea entropiei se datorează în întregime amestecării diferitelor substanțe. La nivelul mecanicii statistice, aceasta se datorează modificării volumului disponibil per particulă cu amestecarea.

Informațiile fizice și entropia

O modalitate simplă de înțeles entropia fizică în sine este după cum urmează: Entropia este pur și simplu acea parte din informația fizică (clasică) conținută într-un sistem a cărui identitate (spre deosebire de cantitate) este necunoscută. Această caracterizare informală se potrivește definiției formale a entropiei a lui von Neumann pentru o stare cuantică mixtă, ca și definiției lui Shannon a entropiei unei distribuții de probabilitate pentru stările clasice.

Chiar și atunci când starea exactă a unui sistem este cunoscută, putem spune că informația din sistem este încă efectiv entropia în cazul în care această informație este efectiv incompresibilă, adică, în cazul în care nu există nicio corelare cunoscută sau determinabilă practic, de redundanțe între piese diferite de informație în cadrul sistemului. Rețineți că această definiție poate fi privită ca fiind echivalentă cu cea anterioară (informație necunoscută) dacă vom considera o meta-perspectivă și vom spune că pentru ca observatorul A să cunoască starea sistemului B înseamnă pur și simplu că există o corelație clară între starea observatorului A și starea sistemului B. Această corelație ar putea fi folosită de către un meta-observator pentru a comprima descrierea sa a sistemului unit AB.

Cuprins

Volumul 1:

1 Știința

- 1.1 Măsurători științifice
 - - 1.1.1 Analiza dimensională
- 1.2 Matematica
- 1.3 Metode științifice
 - - 1.3.1 Investigații științifice
 - - 1.3.2 Elementele metodelor științifice idealizate
 - - 1.3.3 Aspecte ale metodelor științifice
 - - 1.3.4 Alte aspecte ale metodelor științifice
- 1.4 Teorii științifice
- 1.5 Atitudinea științifică
- 1.6 Filosofia științei
- 1.7 Știința și tehnologia
- 1.8 Știința și arta
- 1.9 Știința și religia
- 1.10 Pseudoștiința
 - - - Metodologie științifică

2 Fizica

- Cercetarea în fizică
- Domenii de aplicare și obiective
- Ramuri ale fizicii
- 2.1 Filosofia fizicii
 - - 2.1.1 Filosofia spațiului și timpului

3 Mecanica

- 3.1 Prima lege de mișcare a lui Newton - Inerția
 - - 3.1.1 Aristotel despre mișcare
 - - 3.1.2 Sistemul heliocentric
 - - 3.1.3 Galileo și turnul înclinat
 - - 3.1.4 Experimentele lui Galileo Galilei cu planul înclinat
 - - 3.1.5 Prima lege de mișcare a lui Newton
 - - 3.1.6 Forța netă
- 3.2 Mișcarea liniară
 - - 3.2.1 Mișcarea este relativă (Invarianța galileană)
 - - 3.2.2 Dimensiuni
 - - - 3.2.3.1 Viteza instantanee
 - - - 3.2.3.2 Viteza medie
 - - 3.2.4 Viteza vectorială
 - - 3.2.4.1 Viteza vectorială variabilă

- 3.2.5 Accelerația
- 3.2.6 Căderea liberă
 - 3.2.6.1 Ecuațiile căderii libere
- 3.3 A doua lege a lui Newton
 - 3.3.1 Forța determină accelerația (Forța)
 - 3.3.2 Frecarea
 - 3.3.3 Masa și greutatea
 - 3.3.3.1 Masa se opune accelerației (Masa și inerția)
 - 3.3.4 A doua lege de mișcare a lui Newton
- 3.4 A treia lege de mișcare a lui Newton
 - 3.4.1 Forțe și interacțiuni
 - 3.4.2 A treia lege de mișcare a lui Newton (Acțiunea și reacția)
 - 3.4.3 Acțiunea și reacțiunea
 - 3.4.4 Sumarul celor trei legi ale lui Newton (Legile mișcării ale lui Newton)
 - 3.4.5 Statica
 - 3.4.6 Dinamica
- 3.5 Impuls
 - 3.5.1 Impulsul newtonian
 - 3.5.2 Variația de impuls
 - 3.5.3 Conservarea impulsului
 - 3.5.4 Coliziuni
 - 3.5.4.1 Coliziunea inelastică
- 3.6 Energia
 - 3.6.1 Lucru mecanic
 - 3.6.2 Puterea
 - 3.6.3 Energia mecanică
 - 3.6.4 Energia potențială
 - 3.6.5 Energia cinetică
 - 3.6.6 Lucrul mecanic și energia - Principiul lucru mecanic-energie
 - 3.6.7 Conservarea energiei
 - 3.6.8 Mașini
 - 3.6.9 Eficiența conversiei energiei
 - 3.6.10 Surse de energie
- 3.7 Mișcarea de rotație
 - 3.7.1 Mișcarea circulară
 - 3.7.2 Inerția rotațională (Momentul de inerție)
 - 3.7.3 Cuplul (Momentul forței)
 - 3.7.4 Centrul de masă și centrul de greutate
 - 3.7.5 Echilibru mecanic - Stabilitatea
 - 3.7.6 Forța centripetă
 - 3.7.7 Forța centrifugă
 - 3.7.7.1 Forța centrifugă în cadru de referință în rotație
 - 3.7.8 Gravitația artificială
 - 3.7.9 Momentul unghiular

- - 3.7.9.1 Conservarea momentului unghiular
- 3.8 Gravitația
- - 3.8.1 Legea universală a gravitației
- - 3.8.1.1 Constanta gravitațională universală, G
- - 3.8.1.2 Legea inversului pătratului în gravitație
- - 3.8.1.3 Greutatea și imponderabilitatea
- - 3.8.2 Marea
- - 3.8.2.1 Marea oceanelor
- - 3.8.2.2 Marea Pământului
- - 3.8.2.3 Marea atmosferei Pământului
- - 3.8.2.4 Marea lunare
- - 3.8.3 Câmpul gravitațional
- - 3.8.3.1 Gravitația în interiorul unei planete (Teorema carcabei)
- - 3.8.3.2 Tesla și Teoria dinamică a gravitației
- - 3.8.3.3 Teoria gravitației lui Einstein
- - 3.8.3.4 Găuri negre
- - 3.8.3.5 Gravitația universală (Gravitația în Univers)
- - 3.8.3.4 Anti-gravitația
- 3.9 Mișcarea proiectilelor și sateliților (Balistica)
- - 3.9.1 Mișcarea proiectilelor
- - 3.9.2 Proiectile lansate orizontal
- - 3.9.3 Proiectile lansate sub un anumit unghi
- - 3.9.4 Sateliți artificiali
- - - Lansarea pe orbită
- - 3.9.5 Orbite circulare ale sateliților
- - 3.9.6 Orbite eliptice
- - 3.9.7 Legile lui Kepler
- - 3.9.8 Energia sateliților
- - 3.9.9 Viteza de scăpare
- 4 Materia
- 4.1 Natura atomică a materiei
- - 4.1.1 Ipoteze atomice
- - 4.1.2 Proprietățile atomilor
- - 4.1.3 Imagistica atomică
- - 4.1.4 Structura atomului
- - 4.1.5 Elemente (Elemente chimice)
- - 4.1.6 Tabelul periodic al elementelor
- - 4.1.7 Izotopi (Variații, ocurența, aplicații)
- - 4.1.8 Compuși și amestecuri
- - 4.1.9 Molecule
- - 4.1.10 Antimateria
- - 4.1.11 Materia întunecată
- 4.2 Solide
- - 4.2.1 Micrograful lui Muller (Microscopia cu ioni în câmp)

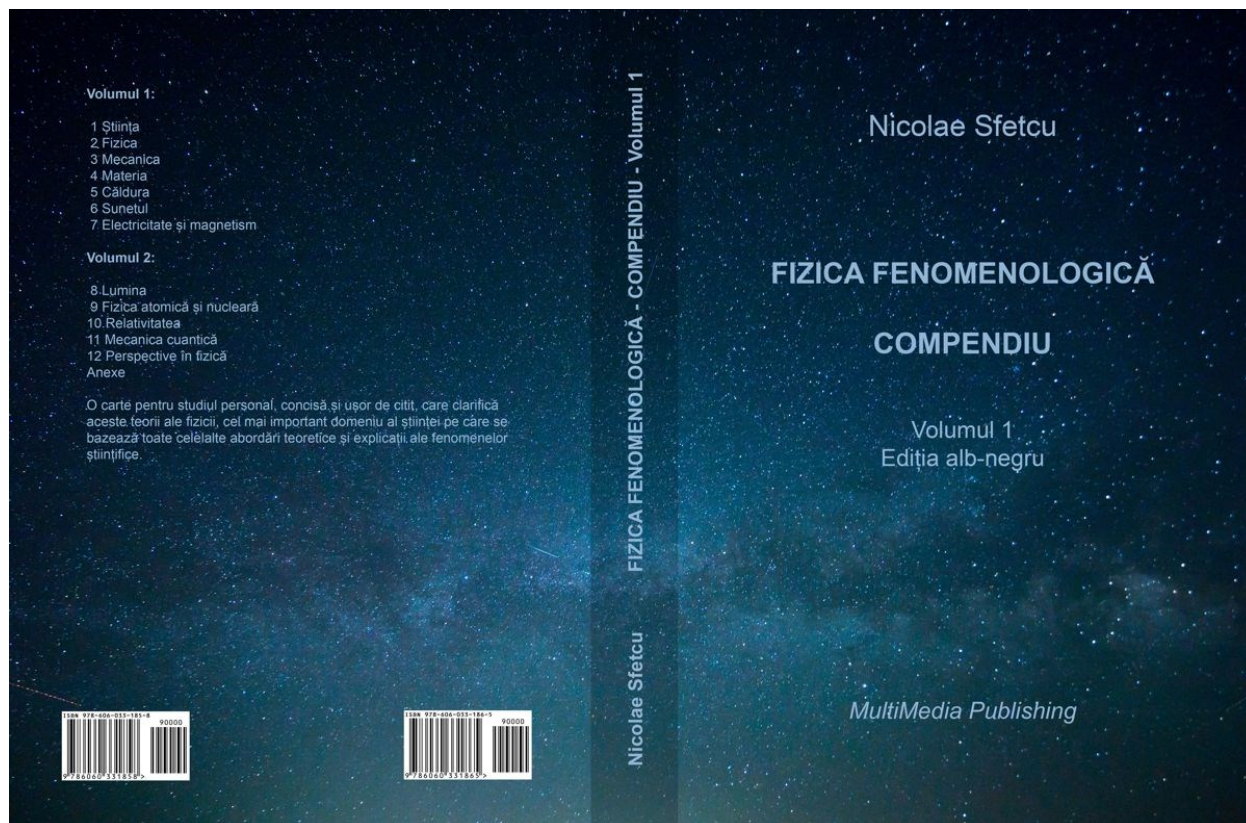
- - 4.2.2 Structura cristalelor
 - - 4.2.3 Densitatea solidelor
 - - 4.2.4 Elasticitatea
 - - 4.2.5 Tensiunea și comprimarea (Rezistența materialelor)
 - 4.3 Lichide
 - - 4.3.1 Presiunea
 - - 4.3.1.1 Presiunea în lichid
 - - 4.3.2 Flotabilitatea
 - - 4.3.3 Principiul lui Arhimede
 - - 4.3.4 Forțe în cazurile scufundării și plutirii
 - - 4.3.5 Flotarea (Principiul flotării)
 - - 4.3.6 Principiul lui Pascal
 - - 4.3.7 Tensiunea superficială
 - - 4.3.8 Capilaritatea
 - 4.4 Gaze
 - - 4.4.1 Atmosfera
 - - 4.4.1.1 Presiunea atmosferică
 - - 4.4.2 Barometru
 - - 4.4.3 Legea lui Boyle
 - - - Sistemul respirator uman
 - - 4.4.4 Flotabilitatea în aer (Aerostate)
 - - - Baloane
 - - 4.4.5 Principiul lui Bernoulli
 - - 4.4.6 Aplicații
 - - 4.4.7 Efectul Coandă
 - 4.5 Plasma
 - - 4.5.1 Plasma în natură, artificială și aplicații
- 5 Căldura
- 5.1 Temperatura, căldura și expansiunea
 - - 5.1.1 Temperatura
 - - - 5.1.1.1 Temperaturi negative
 - - 5.1.2 Căldura
 - - 5.1.3 Măsurarea căldurii (Măsurarea temperaturii)
 - - 5.1.4 Capacitatea calorică specifică (Capacitatea calorică)
 - - 5.1.5 Dilatarea termică
 - 5.2 Transferul de căldură
 - - 5.2.1 Conducția termică
 - - 5.2.2 Convecția
 - - 5.2.3 Radiația termică
 - - 5.2.4 Emisia de energie radiantă (Emisivitatea)
 - - 5.2.5 Absorbția energiei radiante
 - - 5.2.6 Reflexia energiei radiante (Reflectanța)
 - - 5.2.7 Răcirea radiativă
 - - 5.2.8 Legea de răcire a lui Newton

- - 5.2.9 Energia solară - Celule solare
- - - - Celule fotovoltaice
- - 5.2.10 Transferul termic
- - - - Schimbătoare de căldură
- 5.3 Schimbări climatice
- - 5.3.1 Cauze
- - 5.3.2 Evidențe fizice
- - 5.3.3 Efectul de seră
- - 5.3.4 Încălzirea globală
- - 5.3.5 Efecte observate și așteptate asupra mediului
- - 5.3.6 Efectele asupra sistemelor sociale
- 5.4 Schimbarea de fază
- - 5.4.1 Evaporarea
- - 5.4.2 Condensarea
- - 5.4.2.1 Ceața
- - 5.4.2.2 Nori
- - 5.4.3 Fierberea
- - 5.4.4 Înghețarea/Solidificarea
- - 5.4.5 Topirea
- - 5.4.6 Energia și schimbările de fază (Căldura latentă)
- 5.5 Termodinamica
- - 5.5.1 Concepte în termodinamică
- - 5.5.2 Zero absolut
- - Temperaturi negative
- - 5.5.3 Energia internă
- - 5.5.4 Prima lege a termodinamicii
- - 5.5.5 Procese adiabatice
- - 5.5.6 Meteorologia (Fizica norilor)
- - 5.5.7 A doua lege a termodinamicii
- - - Principiul lui Carnot
- - 5.5.8 Motoare termice
- - 5.5.9 Tendința de la ordine la dezordine (Ordinea și dezordinea)
- - 5.5.10 Entropia
- 6 Sunetul
- 6.1 Vibrații și unde
- - 6.1.1 Pendul
- - 6.1.2 Descrierea undelor
- - 6.1.3 Mișcarea undelor (Unde mecanice)
- - Polarizarea
- - 6.1.4 Viteza undelor
- - 6.1.5 Unde transversale
- - - Undele electromagnetice
- - 6.1.6 Unde longitudinale
- - - Unde sonore

- - - - Unde de presiune
- - 6.1.7 Interferența undelor
- - 6.1.8 Unde staționare
- - 6.1.9 Efectul Doppler
- - 6.1.10 Unde de șoc
- 6.2 Acustica
- - 6.2.1 Cum se generează sunetele
- - 6.2.2 Natura sunetului în aer
- - 6.2.3 Media care transmit sunetele (Fizica sunetelor)
- - 6.2.4 Viteza sunetului în aer (Viteza sunetului)
- - 6.2.5 Reflexia sunetului - Ecoul
- - 6.2.6 Refracția sunetului
- - 6.2.7 Energia în undele sonore
- - 6.2.8 Vibrații forțate - Oscilații
- - 6.2.9 Rezonanța
- - 6.2.10 Bătăi
- 6.3 Sunete muzicale
- - 6.3.1 Înălțimea sunetelor
- - 6.3.2 Intensitatea și volumul sunetelor
- - 6.3.3 Calitatea sunetului
- - 6.3.4 Instrumente muzicale
- - 6.3.5 Analiza Fourier
- - 6.3.6 Disc compact (CD)
- 7 Electricitate și magnetism
- 7.1 Electricitatea
- - 7.1.1 Forțe electrice
- - 7.1.2 Sarcini electrice
- - 7.1.3 Conservarea sarcinii
- - 7.1.4 Legea lui Coulomb
- - 7.1.5 Conductori și izolatori (Rezistența electrică și conductanța electrică)
- - 7.1.6 Semiconductori
- - 7.1.7 Superconductori (Superconductivitatea)
- - 7.1.8 Electricitatea statică
- - 7.1.8.1 Încărcarea electrică prin frecare și contact
- - - Efectul triboelectric
- - 7.1.8.2 Încărcarea electrică prin inducție
- - 7.1.9 Polarizarea sarcinilor (Dielectrici)
- - - Condensatori
- - 7.1.10 Câmpul electric
- - 7.1.11 Ecranarea electromagnetică
- - 7.1.12 Potențialul electric
- - 7.1.13 Stocarea energiei electrice
- - 7.1.14 Generator Van de Graaff
- 7.2 Curent electric

- 7.2.1 Circulația sarcinilor electrice
- 7.2.2 Curentul electric (Convenții)
- 7.2.3 Surse de tensiune
- 7.2.4 Rezistența electrică (Rezistența electrică și conductanța)
- 7.2.5 Legea lui Ohm
- 7.2.6 Curent continuu și curent alternativ
- 7.2.7 Conversia de la curent alternativ la curent continuu (Redresoare)
- 7.2.8 Electroni într-un circuit electric
- 7.2.9 Puterea electrică
- Curent alternativ
- Câmpuri electromagnetice
- 7.2.10 Circuite electrice
- 7.2.10.1 Circuite serie
- 7.2.10.2 Circuite paralel
- 7.3 Magnetism
- 7.3.1 Forțe magnetice
- 7.3.2 Poli magnetici
- Polul geomagnetic
- Dipoli magnetici
- 7.3.3 Câmpuri magnetice
- 7.3.4 Domenii magnetice
- 7.3.5 Curenți electrici și câmpuri magnetice (Legea Biot–Savart și Legea lui Ampère)
- 7.3.6 Electromagneți
- 7.3.6.1 Electromagneți supraconductori
- 7.3.7 Forța Lorentz și forța Laplace
- 7.3.8 Forța asupra conductoarelor electrice în câmp magnetic (Forța Laplace)
- 7.3.9 Contoare electrice
- 7.3.10 Motoare electrice
- 7.3.11 Câmpul magnetic al Pământului
- 7.3.12 Radiații cosmice
- 7.4 Inducția electromagnetică
- 7.4.1 Electromagnetism
- 7.4.2 Inducția electromagnetică (Aplicații)
- 7.4.3 Legea lui Faraday (a inducției)
- 7.4.4 Generatoare de curent alternativ (Alternatoare)
- 7.4.5 Centrale electrice (Generarea electricității)
- 7.4.5.1 Hidrocentralele Porțile de Fier
- 7.4.6 Turbogeneratoare
- 7.4.7 Generatoare magnetohidrodinamice
- 7.4.8 Transformatoare
- 7.4.10 Transmisia energiei electrice
- 7.4.11 Câmpul electromagnetic

Cartea



Demistificarea fizicii, reducerea decalajelor dintre teorii și fenomene.

- **Titlu:** Fizica Fenomenologică - Compendiu - Volumul 1
- **Autor:** Nicolae Sfetcu
- **Editură:** MultiMedia Publishing, 2019
- **ISBN:** 978-606-033-186-5
- **DOI:** 10.58679/MM42671

O explorare cuprinzătoare a fizicii, combinând perspective teoretice cu fenomene din lumea reală.

Perfectă pentru studenți, educatori și entuziaști care caută o înțelegere mai profundă a lumii fizice.

Caracteristici specifice

- **Conținut cuprinzător:** acoperă subiecte fundamentale din domeniile specifice.
- **Accesibil și clar:** scris într-un stil captivant, care simplifică teoriile complexe.
- **Abordare cu mai multe fațete:** explorează dimensiunile filozofice, matematice și experimentale ale fizicii.

- **Utilitate educațională:** utilă ca referințe pentru uz academic sau învățare independentă.

Subiecte acoperite

- **Domenii de bază în fizică:**
 - Mecanica, materia, termodinamica, acustica, electromagnetism
- **Abordări speciale:**
 - Fizica schimbărilor climatice, gravitația
 - Intersecția cu celelalte științe și filozofiei.
- **Suplimente:**
 - Aplicații practice, context istoric și explicații detaliate ale principiilor științifice.

De ce această carte?

- **Conținut cuprinzător:** mai mult decât teorie; această carte integrează aplicații, experimente și discuții filozofice.
- **Relevanță:** discută provocările științifice moderne, cum ar fi încălzirea globală și gravitația.
- **Multilingv și adaptat:** conținut adaptat din diverse surse, făcându-l relevant la nivel global.

Pentru cine este?

- **Elevi și studenți:** obțineți claritate cu privire la subiecte fundamentale și avansate de fizică.
- **Educatori:** un manual de predare valoros, cu explicații detaliate și perspective istorice.
- **Pasionați de știință:** explorați frumusețea și complexitatea fizicii în viața de zi cu zi.

Repere ale autorului

- **Nicolae Sfetcu:**
 - Un scriitor cu experiență, cu contribuții la literatura științifică și conținut educațional online.
 - Pasionat în a face știința accesibilă tuturor.

Ce spun cititorii

- „O lectură obligatorie pentru oricine pasionat de înțelegerea universului!” – Elbert R. Rodriguez
- „Un amestec impresionant de teorie, aplicații și filozofie într-un singur volum.” – Alexandru Stănescu

Cumpărați acum! Disponibili în librăriile importante și platformele online.

Un compendiu care se dorește a fi exhaustiv pentru domeniul fizicii, cu accent pe explicarea fenomenelor și aplicațiilor practice. O carte pentru studiul personal, concisă și ușor de citit, care clarifică aceste teorii ale fizicii, cel mai important domeniu al științei pe care se bazează toate celelalte abordări teoretice și explicații ale fenomenelor științifice.

Primele două capitole, "Știința" și "Fizica", explorează principalele teme și teorii ale științei și filozofiei contemporane a științei în general, și fizicii în particular, evidențiind întrebările fascinante și provocatoare actuale.

"Mecanica" prezintă o privire de ansamblu asupra mecanicii clasice, cu o acoperire a principiilor și tehnicilor fundamentale, un domeniu vechi dar care se află la baza întregii fizicii, și care în ultimii ani a cunoscut o dezvoltare rapidă. Se subliniază principiile de bază fenomenologice, fără a insista pe un formalism excesiv.

Capitolul "Materia" descrie perspectivă contemporană asupra materiei, care ia în considerare toate entitățile științifice observabile, în funcție de condițiile termodinamice precum fi temperatura și presiunea (solid, lichid, gaz, plasma) și tranzițiile de fază.

În "Căldura" se abordează conceptul de temperatură, și modalități de măsurare, și aplicații practice în inginerie. Un punct de vedere contemporan privind energia, termodinamica și legile ei, cu detalierea celor mai importante principii care o guvernează. Un capitol special este dedicat schimbărilor climatice și încălzirii globale actuale.

Capitolul "Sunetul" explorează lumea sunetelor - cum se generează, se propagă, se percep și se înregistrează sunetele, în natură și în activitatea umană. Informații utile, la nivel fenomenologic, despre vibrații și unde, acustică, și sunete muzicale: caracteristici, descrieri fizice, fenomene specifice. Despre muzică și acustica instrumentelor muzicale.

"Electricitate și magnetism" este o introducere în lumea electromagnetismului, cu ajutorul unui aparat matematic minimal, și cu exemple și aplicații din viața reală. Un domeniu care reprezintă o parte importantă a vieții noastre. Capitolul acoperă toate subiectele introductive standard, respectiv electrostatica, curentul electric, magnetismul, inducția electromagnetică.

ISBN general: 978-606-033-185-8

MultiMedia Publishing <https://www.telework.ro/ro/e-books/fizica-fenomenologica-compendiu-volumul-1/>

- Digital: EPUB, 100MB sau 18 MB (ISBN 978-606-033-188-9), Kindle, 227 MB sau 39 MB (ISBN 978-606-033-187-2), PDF, 57 MB sau 34 MB (ISBN 978-606-033-189-6)

- Tipărit, Format A4, 297 x 210 x 38 mm, coperti cartonate, 1,72 kg, 627 pagini: ISBN 978-606-033-186-5

DOI: 10.58679/MM42671

Data: 16.02.2019

Despre autor

Nicolae Sfetcu

Asociat și manager MultiMedia SRL și Editura MultiMedia Publishing.

Partener cu MultiMedia în mai multe proiecte de cercetare-dezvoltare la nivel național și european

Coordonator de proiect European Teleworking Development Romania (ETD)

Membru al Clubului Rotary București Atheneum

Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți al Asociației Române pentru Industrie Electronica și Software Oltenia

Inițiator, cofondator și președinte al Asociației Române pentru Telelucru și Teleactivități

Membru al Internet Society

Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți a Asociației Generale a Inginerilor din România

Inginer fizician - Licențiat în fizică, specialitatea Fizică nucleară. Master în Filosofie.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-9973>

Contact

Email: nicolae@sfetcu.com

Facebook/Messenger: <https://www.facebook.com/nicolae.sfetcu>

Twitter: <http://x.com/nicolae>

LinkedIn: <http://www.linkedin.com/in/nicolaesfetcu>

YouTube: <https://www.youtube.com/c/NicolaeSfetcu>

Editura

MultiMedia Publishing

*web design, comerț electronic, alte aplicații web * internet marketing, seo, publicitate online, branding * localizare software, traduceri engleză și franceză * articole, tehnoredactare computerizată, secretariat * prezentare powerpoint, word, pdf, editare imagini, audio, video * conversie, editare și publicare cărți tipărite și electronice, isbn*

Tel./ WhatsApp: 0040 745 526 896

Email: office@multimedia.com.ro

MultiMedia: <http://www.multimedia.com.ro/>

Online Media: <https://www.telework.ro/>

Facebook: <https://www.facebook.com/multimedia.srl/>

Twitter: <http://twitter.com/multimedia>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/multimedia-srl/>