Principiul Echilibrului Stocastic Universal

Despre simetria fluctuațiilor de la atom la orizontul evenimentelor

M. Belega

# Introducere

Această lucrare își propune să demonstreze existența unui principiu universal de echilibru stocastic, care se manifestă la toate scările fizice, de la dinamica particulelor microscopice până la echilibrul termic și gravitațional din vecinătatea orizontului unei găuri negre. Ideea centrală este că natura, indiferent de scara la care o observăm, urmează aceleași reguli de compensare între fluctuații și disipație.

# 1. Mișcarea Browniană și ecuația Langevin

Mișcarea browniană descrie traiectoria aleatorie a unei particule microscopice supuse coliziunilor cu moleculele mediului. Ecuația fundamentală care guvernează această dinamică este ecuația Langevin:

m dv/dt = -γv + √(2γkBT) ξ(t)

unde γ este coeficientul de fricțiune, kB constanta lui Boltzmann, T temperatura, iar ξ(t) un termen stochastic gaussian. Această ecuație conține simultan disipația (prin termenul -γv) și fluctuația (prin zgomotul termic).

# 2. Ecuația Fokker–Planck și echilibrul stocastic

Prin medierea ecuației Langevin se obține ecuația Fokker–Planck pentru distribuția de probabilitate P(x,t):

∂P/∂t = D ∂²P/∂x² + (1/mγ) ∂(UP)/∂x

În regim staționar, fluxul probabilistic J este nul, iar soluția este de forma: P(x) ∝ exp(-U(x)/(kBT)), care reprezintă echilibrul stocastic – o ordine emergentă din haos.

# 3. Analogii gravitaționale – Temperatura Hawking și echilibrul cu mediul

La scară cosmică, o gaură neagră manifestă un echilibru similar între absorbția gravitațională și radiația Hawking. Temperatura asociată orizontului evenimentelor este:

T\_H = ħc³ / (8πGMkB)

Această temperatură definește o stare de echilibru în care radiația emisă de orizont compensează fluxul de energie absorbit din mediul înconjurător.

# 4. Ecuația Fokker–Planck în spațiu curbat (Rindler / Tolman)

În vecinătatea orizontului, metrica Rindler permite formularea unei ecuații Fokker–Planck în spațiu curbat. Legea lui Tolman exprimă variația temperaturii locale în funcție de factorul de redshift gravitațional:

T\_loc √(-g\_tt) = constant = T\_H

Astfel, temperatura aparentă crește spre orizont, iar echilibrul stocastic se stabilește când fluxul net J = 0, adică atunci când mediul are aceeași temperatură cu orizontul.

# 5. Principiul Echilibrului Stocastic Universal (PESU)

PESU afirmă că orice sistem deschis, indiferent de scară, tinde spre o stare de echilibru locală în care disipația și fluctuațiile se compensează. Ecuația generică a acestui principiu poate fi scrisă sub forma:

∇·J = 0, J = μF P - D ∇P, D = μkBT\_eff

Această formulă unifică descrierea mișcării browniene clasice cu echilibrul termodinamic gravitațional. Ea demonstrează că în orice sistem natural există o simetrie a fluctuațiilor între tendința spre haos și tendința spre ordine.

# 6. Corolare și predicții

1. Relația Einstein–Smoluchowski este universală: D = μkBT. 2. Temperatura efectivă redshiftată urmează legea lui Tolman. 3. Echilibrul gravitațional este o formă de echilibru brownian extins. 4. Orice sistem cu flux net zero tinde spre o distribuție de probabilitate de tip exp(-Φ/kBT\_eff). 5. Raportul dintre fluctuații și disipație este invariant pe scări.

# Concluzii

Se demonstrează că atât mișcarea browniană, cât și echilibrul gravitațional, se supun aceleiași logici universale: echilibrul dintre fluctuație și disipație. Aceasta este ordinea ascunsă în haosul aparent al naturii. În acest sens, legea echilibrului stocastic universal devine o punte între lumea cuantică și cea gravitațională, confirmând continuitatea legilor fundamentale la toate nivelurile.

# Note bibliografice

Einstein, A. (1905). On the motion of small particles suspended in liquids at rest. Annalen der Physik.  
Langevin, P. (1908). Sur la théorie du mouvement brownien. C. R. Acad. Sci.  
Fokker, A.D. (1914). Die mittlere Energie rotierender elektrischer Dipole im Strahlungsfeld.  
Tolman, R.C. (1930). On the Weight of Heat and Thermal Equilibrium in General Relativity.  
Hawking, S.W. (1975). Particle creation by black holes. Communications in Mathematical Physics.