# Tunelarea cuantică a jeturilor relativiste: O ipoteză de frontieră între astrofizică și mecanica cuantică

## 1. Introducere

Jeturile relativiste, emise din vecinătatea găurilor negre supermasive, reprezintă unele dintre cele mai energetice și coerente structuri observabile în univers. Deși teoria clasică sugerează că aceste jeturi ar trebui să fie parțial blocate de mediul interstelar dens și de câmpurile magnetice intense, observațiile indică o persistență structurală pe distanțe de sute de mii de ani-lumină. Această lucrare propune o ipoteză alternativă: tunelarea cuantică la scară macroscopică, ca mecanism posibil de traversare a barierelor aparent impenetrabile.

## 2. Barierele de potențial în medii astrofizice

Considerăm că mediul interstelar prezintă o distribuție de potențial energetic V(x), generată de densitatea materiei ρ(x), intensitatea câmpului magnetic B(x), și turbulențele locale. Formal, putem aproxima bariera ca o funcție gaussiană:

V(x) = V₀ · exp(-αx²)

unde V₀ este potențialul maxim, iar α controlează lățimea barierei.

## 3. Funcția de undă a jetului relativist

Jetul este tratat ca o entitate coerentă, cu o funcție de undă colectivă Ψ(x,t), guvernată de ecuația Klein-Gordon relativistă:

(1/c²) ∂²Ψ/∂t² - ∇²Ψ + (m\_eff²c²/ħ²)Ψ = 0

unde m\_eff este masa efectivă a plasmei relativiste, dependentă de compoziția și energia jetului.

## 4. Probabilitatea de tunelare

Probabilitatea ca jetul să traverseze bariera este dată de coeficientul de transmisie:

T ≈ exp(-2γL), unde γ = √[2m\_eff(V₀ - Ej)] / ħ

unde: • L este lățimea barierei, • Ej este energia totală a jetului, • ħ este constanta lui Planck redusă.

## 5. Parametrii cosmici relevanți

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Parametru | Simbol | Relevanță în model |
| Densitatea mediului | ρ | Afectează V(x) |
| Intensitatea câmpului magnetic | B | Contribuie la potențialul de barieră |
| Energia jetului | Ej | Determină amplitudinea funcției de undă |
| Lungimea barierei | L | Afectează exponențiala tunelării |

## 6. Ipoteze și aplicații

• Jeturile relativiste pot fi tratate ca stări coerente cu proprietăți de superpoziție la scară macroscopică.

• Mediul interstelar acționează ca o barieră de potențial, dar nu suficient de rigidă pentru a opri complet propagarea.

• Tunelarea cuantică poate explica persistența structurală a jeturilor în medii ostile.

Aplicații potențiale:

• Modelarea transportului de energie în galaxii active.

• Înțelegerea interacțiunii materiei cu câmpuri extreme.

• Extinderea principiilor cuantice în astrofizică.

## 7. Extensii posibile

• Simulări numerice cu metode de diferențe finite pentru propagarea funcției de undă.

• Modele semi-clasice bazate pe traiectorii Bohmiene.

• Integrarea cu observații radio și X pentru validarea empirică.

## 8. Extensie: coeficientul de tunelare cosmică

Propunem un coeficient efectiv de tunelare cosmică, care include direct dependența de densitatea mediului și intensitatea câmpului magnetic:

γ\_cosmic = √[2m\_eff(f(ρ, B) - Ej)] / ħ

unde f(ρ, B) reprezintă o funcție ce combină densitatea mediului interstelar și intensitatea câmpului magnetic în potențialul efectiv.