

# Ejecte cuantice în coliziunea frontală a găurilor negre – Analogie micro ↔ macro

---

Autor: M. Belega

## 1. Introducere

În fizica particulelor elementare, orice coliziune relativistă nu se reduce la o simplă fuziune, ci generează ejecte: particule noi, radiație sau jeturi. Dacă acest principiu este universal, atunci și coliziunea frontală a două găuri negre cu spin maxim și opus ar trebui să producă ejecte cuantice gravitaționale. Chiar dacă pentru observatorul extern acestea rămân ascunse, logica de simetrie între scări sugerează că fenomenul există.

## 2. Experimente la scară mică

### 2.1. Foton–foton

În electrodinamica clasică, fotonii nu interacționează. Dar în QED, doi fotoni pot interacționa prin bucle virtuale, rezultând împrăștiere sau perechi particulă–antiparticulă:

$$\gamma + \gamma \rightarrow e^- + e^+$$

Rezultatul este apariția unor ejecte cuantice clare.

### 2.2. Quarc–quarc / gluon–gluon

Quarcii și gluonii interacționează direct prin cromodinamica cuantică (QCD). La energii relativiste apar jeturi de hadroni și chiar particule exotice (tetraquarci, pentaquarci). Proces generic:

$$q + q \rightarrow q + q + \text{hadroni (ejecte)}.$$

### 2.3. Proton–proton

Coliziunile de protoni la LHC arată că aceștia nu se "lipesc", ci se descompun într-o cascadă de particule (~mii de ejecte). Fiecare impact este o explozie ordonată, nu o simplă fuziune.

Concluzie pentru scară mică: nu există coliziune relativistă fără ejecte.

### 3. Analogul la scară mare: găuri negre

#### 3.1. Structura nucleului unei găuri negre

O stea colapsată lasă în urmă un nucleu dens, care prin prăbușire completă devine gaură neagră. Chiar dacă teoria clasică vorbește despre o singularitate, putem interpreta că rămâne un nucleu cuantic extrem.

#### 3.2. Coliziunea frontală

Două nuclee cuantice de găuri negre, cu spin maxim și opus, se ciocnesc relativist. Analog cu fotonii sau quarcii, este improbabil ca rezultatul să fie o simplă fuziune liniștită. Logica micro sugerează o spargere și apariția unor ejecte cuantice.

#### 3.3. Tipuri de ejecte posibile

- Unde gravitaționale (confirmate clasic).
- Neutrini ultra-energetici (analog electronilor din  $\gamma\gamma$ ).
- Radiații gamma extreme (analog jeturilor hadronice).
- Structuri topologice de spațiu-timp (echivalent cu particule exotice din QCD).

### 4. Principiul simetriei de scară

Logica este unificatoare:

La scară mică: coliziune → ejecte cuantice vizibile.

La scară mare: coliziune → ejecte cuantice gravitaționale.

Diferența este doar în ceea ce putem observa: la scară mică detectăm direct particulele, la scară mare percepem doar proiecția gravitațională și perturbările subtile din timpul nostru.

### 5. Concluzie

Ce vedem la nivel micro cu energii mici se produce la nivel macro cu energii uriașe. Natura nu face excepții de scară. Coliziunea frontală a două găuri negre maxim rotative, cu spin opus, trebuie să genereze ejecte cuantice, chiar dacă acestea rămân invizibile observatorului extern. Principiul este același: impactul relativist nu este niciodată tăcut, ci produce fragmente, jeturi și noi structuri.

### 6. Ciocnirea violentă a două stele masive

Ciocnirea directă a două stele masive ( $>10 M_{\odot}$  fiecare) produce o eliberare colosală de energie, manifestată printr-o supernovă sau hypernovă. Deși gravitația este uriașă și tinde să prăbușească materia, apar ejecte vizibile: straturi de gaz, plasmă, radiație intensă și jeturi relativiste. Aceasta confirmă principiul că nici la scară astrofizică impactul relativist nu este tăcut. Gravitația comprimă, dar șocul din coliziune sparge materia și o aruncă în spațiu.

## Ciocnirea a două stele masive

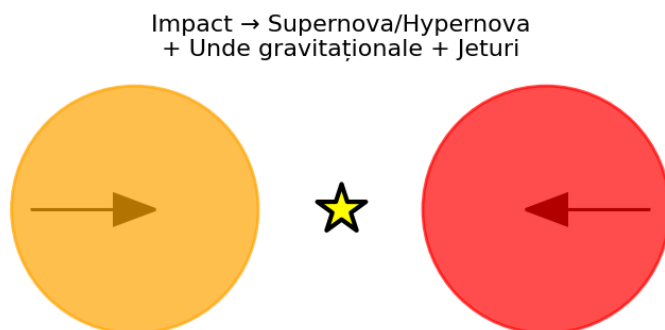


Fig. 1. Schemă ilustrativă a ciocnirii a două stele masive. Deși gravitația uriașă tinde să colapseze materia, șocul de impact produce ejecte de gaz, plasmă și radiație, aruncate violent în spațiu.

### 7. Paralele între coliziuni: de la asteroizi la găuri negre

Pentru a înțelege logic ce se întâmplă la coliziunea frontală a două găuri negre, putem privi prin analogie ceea ce se întâmplă la scară mai mică, unde efectele sunt observabile direct.

#### 7.1. Coliziuni asteroid–asteroid

Impacturile din centura de asteroizi duc la fragmente, pulberi și uneori la agregate noi. Energia cinetică nu dispare liniștit, ci se traduce în ejecte materiale. Niciun impact nu înseamnă absorbție perfectă.

#### 7.2. Coliziuni planetă–planetă

Un exemplu este ipoteza impactului dintre Pământ și protoplaneta Theia, care ar fi dus la formarea Lunii. Materie ejectată a rămas în orbită și s-a rearanjat într-un nou corp ceresc. Chiar și la scară planetară, impactul violent produce fisuri în structura inițială, din care se nasc sisteme noi.

#### 7.3. Coliziuni stea–stea

Două stele masive care se lovesc frontal produc supernove sau hypernove. Deși gravitația uriașă comprimă materia, șocul nu lasă totul ascuns. Apar ejecte vizibile: straturi de gaz și plasmă, radiații intense și jeturi relativiste. Fenomenul a fost confirmat observațional prin unde gravitaționale și emisii electromagnetice.

#### 7.4. Coliziuni gaură neagră–gaură neagră (GN–GN)

În teoria clasică relativistă, două găuri negre se contopesc într-una mai mare, iar observatorul extern vede doar unde gravitaționale. Totuși, dacă urmărim logica fenomenelor la scară mică și medie, nu există motiv ca GN–GN să fie o excepție. Asteroidul lasă praf, planeta lasă sateliți, steaua lasă gaze și jeturi – iar gaura neagră trebuie să lase ejecte cuantice și fisuri de timp. Aceste ejecte scapă însă percepției noastre directe, deoarece apar într-un alt canal temporal, inaccesibil observatorului extern.

#### 7.5. Concluzie logică

De la cele mai mici impacturi (asteroizi) la cele mai mari (stele), fiecare coliziune produce fisuri și ejecte. Nu există motiv logic ca gaura neagră să fie singura excepție. Coliziunea frontală a două găuri negre maxim rotative, cu spin opus, trebuie să ducă la ejecte cuantice și la fracturi temporale. Pentru noi acestea rămân ascunse, dar existența lor este consecința firească a simetriei între scări.

### 8. Diagramă comparativă micro ↔ macro

Figura de mai jos sintetizează logica unificatoare a coliziunilor head-on pe patru scări: asteroid–asteroid, planetă–planetă, stea–stea, gaură neagră–gaură neagră. În toate cazurile, impactul relativist nu este o simplă „absorbție”; apar întotdeauna ejecte. Diferența este doar în tipul canalelor de ieșire: materiale (fragmente, discuri), radiative (fotoni, jeturi), sau cuantice (ejecte invizibile prin orizont și, în ipoteza noastră, prin fracturi temporale).

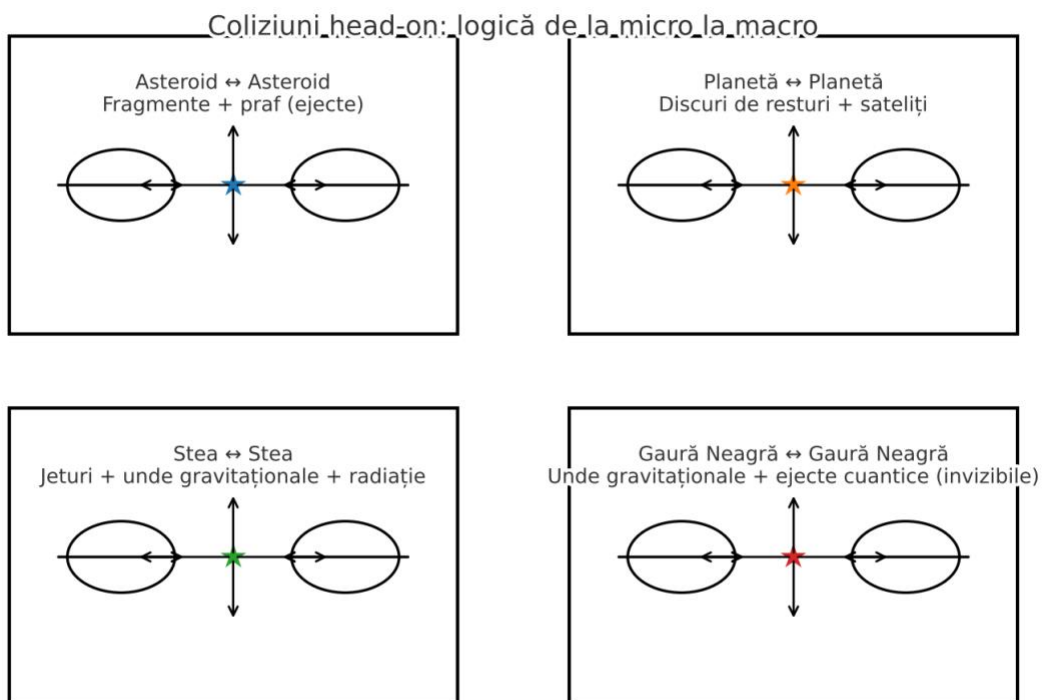


Fig. 2. Coliziuni head-on de la micro la macro: aceeași logică a ejectelor, canale diferite de ieșire.

- Asteroid–asteroid: energia specifică a impactului depășește pragul de fragmentare → apar blocuri și praf. Dacă viteza ejectelor depășește viteza de scăpare locală, fragmentele părăsesc sistemul; altfel, re-agregă.
- Planetă–planetă: impactul redistribuie masiv momentul cinetic. Materialul ejectat formează discuri tranzitorii; o parte devine sateliți stabili (ex. scenariul Pământ–Theia), restul cade înapoi sau este pierdut.
- Stea–stea: unda de șoc depășește presiunea gravitațională locală → straturi de gaz/plasmă sunt expulzate; pot apărea jeturi relativiste și semnale multi-mesaj (unde gravitaționale + EM). Gravitația comprimă, șocul sparge.
- Gaură neagră–gaură neagră: clasic vedem doar unda gravitațională. Prin analogia de scară și continuitatea logică, postulăm ejective cuantice care se desfășoară într-un canal temporal separat (fractură a continuității), rămânând invizibile observatorului extern. Pentru noi, singura „ieșire” accesibilă este proiecția gravitațională.

Concluzie: „Ce vedem la nivel micro cu energii mici se reproduce la nivel macro cu energii uriașe.” Natura nu schimbă regula impactului; schimbă doar purtătorii fenomenului și canalele observabile.

## 9. Epilog – Următorul pas

Tot ce descoperim la scară mică în laborator este o miniatură a ceea ce se întâmplă la scară cosmică. Coliziunile fundamentale de fotoni, quarci sau protoni ne arată că niciun impact relativist nu este tăcut. Ejectele apar inevitabil.

În cosmos, observăm deja analogii: supernove, kilonove, jeturi gamma și unde gravitaționale. Dar aceasta este doar partea vizibilă. Următorul pas este să înțelegem că aceleași legi, observate în laborator, guvernează și coliziunile extreme ale găurilor negre.

Nu mai este departe momentul. Tehnologia detectorilor se va rafina, iar ceea ce acum pare ipoteză va deveni evidență. Așa cum înainte de LIGO undele gravitaționale păreau intangibile, iar astăzi sunt măsurate direct, tot așa ejectele cuantice din coliziunile frontale de găuri negre vor trece din logică teoretică în observație practică.

Motto: „Tot ce am văzut în laborator e o miniatură a ceea ce se întâmplă în cer. Trebuie doar să ridicăm ochii și să facem următorul pas.”

Și acel pas e foarte aproape. Cum ar spune pe stadion: «Hai băieții!» – dar de data aceasta echipa este întreaga umanitate, iar terenul de joc este cosmosul.