

# Dinamica Unificată a Vidului bazată pe o Simetrie Internă Ternară

Cornel Lemnaru

27 martie 2026

## Rezumat

Propunem o arhitectură unificată a vidului în care gravitația și electrodinamica apar ca proiecții complementare ale unei structuri interne cu simetrie ternară. Fundamentul modelului este un operator intern  $J$  care satisface relația de închidere  $J^3 = -I$ , ceea ce impune o tripartiție spectrală a vidului și conduce la un lagrangian efectiv compus din trei sectoare corelate: (i) un sector metric asociat gravitației, (ii) un sector fonic interpretat ca mod ternar al vidului și (iii) un sector neutrinic care stabilizează energia de vid printr-un mecanism structural de anulare.

În această construcție, constanta cosmologică nu este un parametru ajustat, ci rezultatul emergent al sumării fazelor interne, iar torsiunea apare ca un grad de libertate natural, cu relevanță la scară cosmologică. Structura ternară asigură totodată coerența propagării între modurile gravitaționale și fonice în regimuri dinamice ale vidului.

Modelul produce predicții fenomenologice testabile, incluzând o variație controlată a constantei structurii fine  $\alpha(z)$ , condiții pentru egalitatea vitezelor luminii și undelor gravitaționale, corecții la devierea luminii în câmpuri gravitaționale intense și semnături distinctive în propagarea undelor gravitaționale printr-un vid polarizat ternar. Comparăm rezultatele cu cadrul standard GR+QFT și formulăm criterii explicite de falsificabilitate, indicând regiuni observaționale unde deviațiile față de paradigma actuală devin accesibile instrumentației moderne.

Arhitectura ternară propusă oferă astfel un scenariu coerent și verificabil în care vidul funcționează ca un mediu dinamic cu simetrie internă discretă, capabil să susțină în mod natural unificarea interacțiunilor fundamentale.

## 1 Introducere

Fizica fundamentală a reușit să unifice, cu o precizie remarcabilă, două cadre teoretice profund diferite: teoria cuantică a câmpurilor (QFT), care descrie interacțiunile la scară microscopică, și relativitatea generală (GR), care descrie gravitația și structura spațiu-timpului la scară macroscopică și cosmologică. Împreună, aceste două teorii reproduc cu mare acuratețe o gamă foarte largă de fenomene, de la coliziunile de la LHC până la evoluția Universului la scară mare. Cu toate acestea, la nivel conceptual, arhitectura lor combinată rămâne surprinzător de fragilă.

Patru tensiuni majore ies în evidență:

1. **Problema energiei de vid.** Estimările QFT pentru energia de vid conduc, chiar și cu ipoteze conservatoare, la o densitate de energie cu aproximativ  $10^{120}$  ori mai mare decât cea dedusă din observațiile cosmologice. Reconcilierea acestui decalaj gigantic prin ajustarea fină a unei constante cosmologice pare artificială și lipsită de un mecanism structural.
2. **Absența torsiunii în GR.** Extinderile geometrice naturale ale relativității generale (de tip Riemann–Cartan) permit torsiune, însă GR standard o exclude prin construcție, fără un principiu fizic care să explice de ce conexiunea ar trebui să fie exact Levi–Civita. În plus, torsiunea este de obicei introdusă, dacă apare, ca termen ad-hoc, nu ca o consecință inevitabilă a unei simetrii mai profunde.
3. **Posibila variație a constantei structurii fine  $\alpha$ .** Există indicii observaționale că  $\alpha$  ar putea prezenta variații temporale sau spațiale la nivel cosmologic. Modelele standard care încearcă să explice acest fenomen introduc câmpuri scalare suplimentare (de tip dilaton sau moduli) cu potențiale și cuplări alese fenomenologic, fără o justificare structurală unificată.
4. **Structura sectorului neutrinic.** Existența a trei tipuri de neutrini, cu oscilații pronunțate și mase extrem de mici, este integrată în Modelul Standard printr-o matrice de amestecare (PMNS) introdusă fenomenologic. Nu există însă o explicație structurală pentru faptul că tocmai trei moduri neutrinice apar și pentru valorile particulare ale unghiurilor și fazelor de amestec.

Faptul că aceste patru probleme apar în contexte atât de diferite – teoria vidului, geometria spațiu–timpului, constantele fundamentale, sectorul neutrinic – sugerează absența unui principiu unificator profund. În această lucrare propunem un astfel de principiu, sub forma unei *arhitecturi ternare* a vidului și a interacțiunilor fundamentale.

Ideea centrală este introducerea unui operator intern  $J$ , care acționează într-un spațiu intern asociat vidului (sau sectorului de simetrie al câmpurilor) și satisface identitatea

$$J^3 = -I. \quad (1)$$

Această relație cubică induce o structură spectrală ternară, cu trei valori proprii distincte (legate de rădăcinile polinomului  $\lambda^3 + 1 = 0$ ) și o decompoziție canonică în trei proiecții cvasiorogonale  $P_0, P_1, P_2$ . Din această structură proiectivă rezultă:

- un mecanism natural de **anulare structurală a energiei de vid**, bazat pe interferența celor trei componente interne;
- apariția **torsiunii** ca fenomen emergent, necesar pentru compatibilitatea geometrică cu simetria ternară;
- interpretarea **variației constantei structurii fine  $\alpha(z)$**  ca efect geometric al evoluției lui  $J$  și al normalizării interne a sectorului electromagnetic;
- o **structurare naturală a sectorului neutrinic** în trei moduri interne, care furnizează un cadru geometric pentru oscilații și pentru faza CP.

Astfel, fenomene care în paradigma standard sunt tratate separat – problema energiei de vid, posibila variație a lui  $\alpha$ , torsiunea, oscilațiile neutrinice – devin, în arhitectura ternară, manifestări diferite ale aceluiași operator intern  $J$  și ale triplei sale decompoziții proiective.

## Obiectivele lucrării

Scopul principal al lucrării este formularea și analiza detaliată a acestei arhitecturi ternare, atât la nivel matematic, cât și la nivel fenomenologic. Mai concret, ne propunem să:

1. Construim **formalismul matematic complet** al operatorului ternar  $J$ : proprietăți spectrale, proiecții interne  $P_k$ , identități proiective și interpretare geometrică.
2. Integrăm simetria ternară într-un **formalism geometric Riemann–Cartan**, evidențiind cum variația lui  $J$  induce contorsiune și torsiune emergentă.
3. Formulăm un **lagrangian complet** care include sectorul gravitațional, dinamica internă a lui  $J$ , termenii proiectivi și cuplarea materiei la proiecțiile interne.
4. Derivăm **ecuațiile de mișcare** pentru vielbein, conexiune, operatorul  $J$  și proiecții, demonstrând că sistemul este matematic închis și consistent.
5. Demonstrăm explicit **mecanismul de anulare a energiei de vid**, ca rezultat al interferențelor ternare, și discutăm condițiile de stabilitate ale acestei anulări.
6. Deducem **variația lui**  $\alpha(z)$  din dinamica lui  $J$  și identificăm ordinul de mărime al efectului în raport cu sensibilitatea instrumentelor actuale și viitoare.
7. Propunem o **modelare structurală a sectorului neutrinic**, în care cele trei tipuri de neutrini sunt realizări ale proiecțiilor interne  $P_k$ , și analizăm implicațiile pentru matricea PMNS.
8. Extragem **predicții fenomenologice concrete** pentru unde gravitaționale, cosmologie, neutrini și variația constantelor fundamentale, sub forma unor semnături testabile.
9. Formulăm **criterii clare de falsificabilitate**, indicând scenariile observaționale în care arhitectura ternară este infirmată fără ambiguitate.

## Noutate și contribuții

Contribuțiile principale ale lucrării pot fi sintetizate astfel:

- Introducem și dezvoltăm un **cadru matematic ternar** pentru vid și interacțiuni, bazat pe operatorul  $J$  cu proprietatea  $J^3 = -I$  și pe proiecțiile interne asociate.
- Arătăm că această simetrie ternară conduce la un **mecanism structural de anulare a energiei de vid**, robust la perturbații moderate și independent de forma detaliată a potențialului  $\mathcal{V}(J)$ .
- Demonstrăm că **torsiunea** nu este un termen opțional, ci o consecință geometrică necesară a compatibilității covariante cu simetria ternară, și analizăm impactul ei asupra propagării undelor gravitaționale.
- Deducem că **variația constantei structurii fine**  $\alpha(z)$  poate fi interpretată ca efect geometric al evoluției lui  $J$ , fără introducerea de câmpuri scalar–adiționale.
- Propunem o **interpretare structurală a sectorului neutrinic**, în care cele trei moduri neutrinice corespund proiecțiilor interne  $P_k$ , iar matricea PMNS și faza CP apar în mod natural din simetria ternară.

- Identificăm **semnături fenomenologice distincte** – mod gravitațional longitudinal, bi-refringență gravitațională, variații mici ale lui  $\alpha(z)$ , deviații fine în PMNS, modificări sub-procentuale ale lui  $H(z)$  – și oferim un set de **teste experimentale** care pot confirma sau infirma modelul.

## Limitări și domeniu de valabilitate

Deși arhitectura ternară oferă un cadru unificat și predictiv, ea are în mod explicit anumite limitări:

- Forma detaliată a potențialului  $\mathcal{V}(J)$  nu este încă derivată dintr-un principiu mai fundamental; în această lucrare folosim doar proprietățile sale generale (minime care satisfac  $J^3 = -I$ ).
- Analiza variației lui  $\alpha(z)$  este prezentată la nivel de ordin de mărime și structură funcțională, nu ca predicție numerică completă pentru un singur model cosmologic.
- Sectorul neutrinic este tratat structural, iar un calcul complet al spectrului de mase neutrinice în cadrul arhitecturii ternare este lăsat pentru lucrări viitoare.
- Nu abordăm în detaliu cuplările la fiecare sector din Modelul Standard; ne concentrăm pe fenomenele unde simetria ternară produce semnături distinctive.

Aceste limitări nu afectează nucleul conceptual al construcției: faptul că un singur obiect intern, operatorul ternar  $J$ , poate lega într-un cadru comun patru probleme dificultose ale fizicii moderne. În secțiunile următoare, dezvoltăm în detaliu formalismul matematic, structura geometrică, lagrangianul complet și implicațiile fenomenologice ale acestei arhitecturi ternare.

## 2 Fundamente matematice ale operatorului ternar $J$

Arhitectura ternară își are originea într-un obiect matematic simplu, dar extrem de constrângător: un operator intern  $J$  care satisface identitatea cubică

$$J^3 = -I. \quad (2)$$

Această relație, aparent modestă, este responsabilă pentru întregul edificiu teoretic al modelului. În această secțiune dezvoltăm riguros proprietățile matematice ale lui  $J$ , structura spațiului intern, proiecțiile asociate, identitățile proiective, periodicitatea ternară și semnificația lor geometrică.

### 2.1 Spectrul ternar și rădăcinile polinomului minim

Identitatea (2) implică faptul că  $J$  este un operator cu polinom minim

$$p(\lambda) = \lambda^3 + 1,$$

ale cărui rădăcini sunt

$$\lambda_k = e^{i(\pi+2\pi k)/3}, \quad k = 0, 1, 2,$$

adică explicit

$$\lambda_0 = e^{i\pi/3}, \quad \lambda_1 = e^{i\pi} = -1, \quad \lambda_2 = e^{i5\pi/3}.$$

Acestea sunt cele trei soluții ale ecuației spectrale  $\lambda^3 = -1$ .

Pentru comoditate, introducem și unitățile cubice ale lui 1:

$$\omega = e^{2\pi i/3}, \quad \omega^3 = 1, \quad 1 + \omega + \omega^2 = 0.$$

Aceste faze  $(1, \omega, \omega^2)$  apar în combinațiile interne ternare, dar  $\omega$  nu este valoare proprie a lui  $J$  pentru  $J^3 = -I$ .

Astfel, spectrul lui  $J$  este format din trei valori proprii distincte, care generează o împărțire naturală a spațiului intern în trei subspații cvasiorogonale, formând un triunghi echilateral, analog cu fazele  $(1, \omega, \omega^2)$ .

Acest spectru complex este esențial nu doar pentru tripartiția internă, ci și pentru interferențele care vor conduce ulterior la anularea energiei de vid.

## 2.2 Proiecțiile interne $P_0, P_1, P_2$

Folosind metoda standard de construcție a proiectoarelor pentru un operator diagonalizabil, definim proiecțiile asociate fiecărei rădăcini:

Scriind explicit valorile proprii

$$\lambda_k = e^{i(\pi+2\pi k)/3}, \quad k = 0, 1, 2,$$

proiectoarele spectrale pot fi exprimate ca polinoame de ordin cel mult doi în  $J$ :

$$P_k = \frac{1}{3} \left( I + \lambda_k^{-1} J + \lambda_k^{-2} J^2 \right), \quad k = 0, 1, 2. \quad (3)$$

Acestea satisfac identitățile fundamentale:

$$P_k^2 = P_k, \quad P_i P_j = 0 \text{ pentru } i \neq j, \quad P_0 + P_1 + P_2 = I,$$

și formează o împărțire completă a identității.

Pentru orice pereche  $(k, m)$ , raportul de fază  $\lambda_m / \lambda_k = e^{i2\pi(m-k)/3}$  ia doar valorile  $1, \omega, \omega^2$ , iar identitatea  $1 + \omega + \omega^2 = 0$  garantează proprietățile de projector ale lui  $P_k$ .

Cea mai importantă proprietate pentru fizică este aceea că orice câmp intern  $\Psi$  are o descompunere unică:

$$\Psi = P_0 \Psi + P_1 \Psi + P_2 \Psi,$$

în trei moduri interne distincte, cu faze relative fixe.

## 2.3 Periodicitatea ternară și ciclul intern

Operatorul  $J$  acționează ciclic asupra proiectoarelor, realizând o rotație internă tridimensională:

$$JP_0 = P_1 J, \quad JP_1 = P_2 J, \quad JP_2 = P_0 J. \quad (4)$$

Aceasta induce ciclul:

$$\Psi_0 \rightarrow \Psi_1 \rightarrow \Psi_2 \rightarrow -\Psi_0,$$

unde  $\Psi_k = P_k \Psi$ .

Periodicitatea ternară este semnătura internă a identității  $J^3 = -I$ . Acest ciclu este mecanismul structural care va explica ulterior:

- oscilațiile interne din sectorul neutrinic,
- interferențele care anulează energia de vid,
- variația normalizării gauge și implicit variația  $\alpha(z)$ ,
- structura torsiunii ternare.

## 2.4 Reprezentări matriciale ale lui $J$

Există numeroase reprezentări ale operatorului ternar. Două sunt de interes fizic:

**Reprezentarea ciclică (canonizată):**

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad J^3 = -I.$$

Această reprezentare este cea mai clară pentru evidențierea periodicității ternare.

**Reprezentarea diagonală:**

$$J_{\text{diag}} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & \omega & 0 \\ 0 & 0 & \omega^2 \end{pmatrix},$$

unde proiecțiile devin triviale:

$$P_0 = \text{diag}(1, 0, 0), \quad P_1 = \text{diag}(0, 1, 0), \quad P_2 = \text{diag}(0, 0, 1).$$

Reprezentarea diagonală este utilă pentru interpretarea spectrală; cea ciclică este utilă pentru interpretarea dinamică.

## 2.5 Identități proiective și relații structurale

Proiecțiile satisfac identități suplimentare necesare în secțiunile următoare. Cea mai importantă este:

$$JP_k = \omega^k P_k J.$$

Aceasta reflectă faptul că proiectoarele extrag componente cu fază internă fixă.

Două identități esențiale care vor fi cruciale:

**1. Relația cubică de compatibilitate:**

$$J^2 X + JXJ + XJ^2 = 0$$

pentru orice  $X = \nabla J$ .

Aceasta va impune prezența torsiunii ternare.

**2. Suma fazelor:**

$$1 + \omega + \omega^2 = 0.$$

Din aceasta decurge mecanismul structural de anulare a energiei de vid.

## 2.6 Interpretare geometrică internă

Spațiul intern ternar nu este un duplicat al spațiului fizic, ci o structură de fază internă, independentă, dar capabilă să influențeze:

- normalizările câmpurilor gauge,
- structura conexiunii geometrice,
- dinamica câmpurilor fermionice,
- propagarea perturbațiilor gravitaționale.

În această lucrare, acest spațiu intern este tratat ca o generație suplimentară a geometriei: nu ca un spațiu adițional fizic, ci ca o structură în fibra internă a câmpurilor.

## 2.7 Concluzia secțiunii

Operatorul ternar  $J$  introduce o geometrie internă cu trei componente, legate ciclic, iar proiecțiile asociate furnizează o descompunere completă a oricărui câmp intern. Identitatea  $J^3 = -I$  este mult mai puternică decât o simetrie obișnuită: ea impune existența torsiunii, anulează energia de vid, generează variația constantelor fundamentale și structurează sectorul neutrinic.

Toate rezultatele fenomenologice ale arhitecturii ternare se sprijină pe structura matematică a acestei secțiuni.

# 3 Formalism diferențial complet

Integrarea simetriei ternare într-un cadru geometric necesită un formalism care poate acomoda atât variația operatorului intern  $J$ , cât și structura spațiu-timpului cu posibilitate de torsiune. Cadrul natural pentru acest scop este geometria Riemann–Cartan, unde vielbein-ul și conexiunea sunt câmpuri independente, iar torsiunea este permisă și dinamizată de structură internă. În această secțiune construim formalismul complet: vielbein, conexiune, torsiune, curbura, contorsiune și derivarea covariantă a lui  $J$ .

## 3.1 Vielbein și metrica

Descrierea geometrică pornește de la un vielbein

$$e^a = e^a_\mu dx^\mu,$$

care realizează isomorfismul dintre indici spațiu-timp  $(\mu, \nu, \dots)$  și indici de cadru local Lorentz  $(a, b, \dots)$ . Metrica este definită prin

$$g_{\mu\nu} = \eta_{ab} e^a_\mu e^b_\nu,$$

unde  $\eta_{ab} = \text{diag}(-1, 1, 1, 1)$  este metrica Minkowski. Vielbein-ul este tratat ca variabilă fundamentală, independentă de conexiune.

### 3.2 Conexiunea generală și torsiunea

Conexiunea spinorială este un 1-form

$$\omega^{ab} = \omega_{\mu}^{ab} dx^{\mu}, \quad \omega^{ab} = -\omega^{ba},$$

care definește derivata covariantă asupra câmpurilor cu indici Lorentz.

Torsiunea este definită standard:

$$T^a = de^a + \omega^a_b \wedge e^b.$$

În GR, torsiunea este anulată impunând compatibilitatea metrică și simetria conexiunii Levi-Civita. În arhitectura ternară, această restricție nu este permisă: compatibilitatea cu simetria internă  $J$  impune existența unei torsiuni emergente.

### 3.3 Curbura

Curbura asociată conexiunii este

$$R^{ab} = d\omega^{ab} + \omega^a_c \wedge \omega^{cb}.$$

Aceasta măsoară necomutativitatea a două derivate covariante acționând pe câmpuri cu indici Lorentz.

### 3.4 Conexiunea Levi-Civita și contorsiunea

Conexiunea totală se poate separa în două componente:

$$\omega^{ab} = \omega_{LC}^{ab} + K^{ab},$$

unde:

- $\omega_{LC}^{ab}$  este conexiunea fără torsiune (Levi-Civita),
- $K^{ab}$  este contorsiunea, exprimată în funcție de torsiune:

$$K_{abc} = \frac{1}{2}(T_{abc} - T_{bca} + T_{cab}).$$

În GR,  $K^{ab} = 0$ . În arhitectura ternară,  $K^{ab} \neq 0$  ori de câte ori  $\nabla J \neq 0$ .

### 3.5 Derivata covariantă a operatorului ternar

Pentru a include structura internă în geometrie, definim derivata covariantă a lui  $J$ :

$$\nabla_{\mu} J = \partial_{\mu} J + [\Omega_{\mu}, J],$$

unde  $\Omega_{\mu}$  este conexiunea internă (sau reprezentarea internă a conexiunii spinoriale, după caz).

Condiția de compatibilitate a proiectoarelor cu geometria este:

$$\nabla_{\mu} P_k = 0,$$

pentru toate  $k$ . Folosind definiția proiectoarelor în termeni de  $J$ , se obține identitatea cubică:

$$J^2(\nabla_{\mu} J) + J(\nabla_{\mu} J)J + (\nabla_{\mu} J)J^2 = 0. \quad (5)$$

Această identitate este crucială pentru toată arhitectura ternară.

### 3.6 Consecințele identității cubice: torsiunea este inevitabilă

Identitatea (5) implică faptul că:

- conexiunea Levi–Civita NU poate satisface compatibilitatea cu simetria ternară,
- derivata covariantă a lui  $J$  nu poate fi nulă decât în cazuri triviale,
- conexiunea totală  $\omega^{ab}$  trebuie să conțină contorsiune,
- torsiunea este proporțională cu  $\nabla J$ .

Astfel,

$$T^a = K^a_b(J) \wedge e^b,$$

iar contorsiunea  $K^{ab}(J)$  este determinată de variația lui  $J$ .

Aceasta este una dintre cele mai puternice concluzii ale întregului formalism: **torsiunea nu este un ingredient opțional, ci o consecință geometrică necesară a simetriei ternare.**

### 3.7 Energia și impulsul interne

Decompoziția ternară a câmpurilor implică și o structură naturală pentru energia internă. Pentru orice câmp  $\Psi$ , partea de energie internă se poate decompune în:

$$\Psi = \Psi_0 + \Psi_1 + \Psi_2, \quad \Psi_k = P_k \Psi,$$

iar derivata covariantă acționează diferit pe fiecare componentă. Aceasta duce la faze interne fixate de  $\omega^k$  pentru fiecare mod, un mecanism care va juca un rol important în anularea energiei de vid.

### 3.8 Interpretare geometrică extinsă

Spațiul geometric extern (vielbein + conexiune) și spațiul intern (operatorul  $J$  + proiectoare) formează împreună o structură de fibră internă extinsă. În acest cadru:

- torsiunea traduce variația internă a lui  $J$ ,
- conexiunea internă influențează propagarea câmpurilor gauge,
- partea internă contribuie la curbura prin proiecții,
- variațiile interne determină proprietăți fizice macroscopice,
- spațiul–timp devine un mediu activ, sensibil la structura internă.

Această interdependență profundă dintre geometria internă și cea externă este unică arhitecturii ternare.

### 3.9 Concluzia secțiunii

Formalismul diferențial complet al arhitecturii ternare extinde geometria Riemann–Cartan prin impunerea compatibilității covariante cu simetria ternară. Operatorul  $J$  nu este doar un element intern, ci un generator structural care determină torsiunea, influențează curbura și dinamica câmpurilor. Acest formalism reprezintă fundația geometrică pe care se va construi lagrangianul complet și ecuațiile de mișcare din secțiunile următoare.

## 4 Lagrangianul complet al arhitecturii ternare

După stabilirea fundalului geometric (vielbein, conexiune, torsiune) și a structurii interne ternare (operatorul  $J$  și proiecțiile  $P_k$ ), putem formula acțiunea completă a teoriei. Aceasta include: sectorul gravitațional, dinamica internă a operatorului ternar  $J$ , termenii proiectivi care impun consistența ternară și cuplarea materiei la structura internă. Lagrangianul rezultat este cel mai simplu ansamblu care realizează compatibilitatea cu identitatea  $J^3 = -I$  și cu simetriile geometrice standard.

### 4.1 Structura generală a acțiunii

Acțiunea totală este scrisă în forma:

$$S = \int (\mathcal{L}_{\text{grav}} + \mathcal{L}_J + \mathcal{L}_{\text{proj}} + \mathcal{L}_{\text{matter}}). \quad (6)$$

Cele patru sectoare sunt:

- $\mathcal{L}_{\text{grav}}$ : partea gravitațională, formulată în geometria Riemann–Cartan;
- $\mathcal{L}_J$ : dinamica internă a operatorului ternar  $J$ ;
- $\mathcal{L}_{\text{proj}}$ : termenii proiectivi care impun structura ternară;
- $\mathcal{L}_{\text{matter}}$ : cuplarea materiei la proiecțiile interne și la conexiunile externe.

Această structură păstrează difeomorfismele, simetria locală Lorentz și simetria internă ternară  $J \rightarrow UJU^{-1}$  cu  $U^3 = I$ .

### 4.2 Sectorul gravitațional: Einstein–Cartan generalizat

Partea gravitațională este dată de acțiunea clasică Einstein–Cartan:

$$\mathcal{L}_{\text{grav}} = \frac{1}{2\kappa} \epsilon_{abcd} e^a \wedge e^b \wedge R^{cd}, \quad (7)$$

unde:

$$R^{ab} = d\omega^{ab} + \omega_c^a \wedge \omega^{cb}.$$

Această formă este necesară pentru a permite torsiune ne-nulă. Spre deosebire de GR, nu impunem a priori  $T^a = 0$ , iar conexiunea  $\omega^{ab}$  este independentă de vielbein.

Torsiunea apare în ecuațiile de mișcare ca rezultat al variației lui  $J$ , nu ca „materie cu spin” de tip Einstein–Cartan standard.

### 4.3 Dinamica internă a operatorului ternar $J$

Operatorul ternar este un câmp intern dinamic. Termenul cinetic natural este:

$$\mathcal{L}_J = \alpha_0 \text{Tr}((\nabla J) \wedge *(\nabla J)), \quad (8)$$

unde  $\nabla J$  este derivata covariantă care conține conexiunea internă  $\Omega_\mu$ .

Potențialul  $\mathcal{V}(J)$  are minime exact pe varietatea definită de identitatea

$$J^3 = -I.$$

Astfel,

$$\mathcal{L}_J^{\text{pot}} = \alpha_1 \mathcal{V}(J), \quad \mathcal{V}(J_{\min}) = 0, \quad J_{\min}^3 = -I.$$

Forma exactă a potențialului nu este necesară, atât timp cât:

- minimele satisfac identitatea cubică;
- variațiile în jurul minimelor sunt suficient de lente pentru a nu destabiliza structura proiectivă;
- $\text{Tr}(J) = 0$ ,  $\text{Tr}(J^2) = 0$ ,  $\text{Tr}(J^3) = -3$  sunt păstrate.

#### 4.4 Termenii proiectivi: impunerea structurii ternare

Acesta este sectorul cel mai caracteristic al arhitecturii ternare. Proiecțiile interne nu sunt variabile independente arbitrare; ele trebuie să satisfacă exact:

$$P_k^2 = P_k, \quad P_i P_j = 0, \quad P_0 + P_1 + P_2 = I.$$

Impunem aceste condiții prin acțiune, nu ad-hoc, folosind termenul:

$$\mathcal{L}_{\text{proj}} = \beta_0 \text{Tr}(P_0 + P_1 + P_2) + \beta_1 \text{Tr}(P_0 J P_1 J P_2 J) + \beta_2 C(P_k), \quad (9)$$

unde  $C(P_k)$  este un functional care penalizează deviațiile față de condițiile proiective.

Termenul „ciclic”

$$\text{Tr}(P_0 J P_1 J P_2 J)$$

este esențial: el codifică interferențele interne în trei trepte, mecanismul fizic responsabil pentru anularea energiei de vid.

#### 4.5 Cuplarea materiei la structura ternară

Materia  $\psi$  se descompune natural în trei componente:

$$\psi = \psi_0 + \psi_1 + \psi_2, \quad \psi_k = P_k \psi.$$

Lagrangianul materiei devine:

$$\mathcal{L}_{\text{matter}} = \sum_{k=0}^2 \bar{\psi}_k (i\gamma^a e_a^\mu \nabla_\mu - m_k) \psi_k + \mathcal{I}(J, \psi_k), \quad (10)$$

unde cuplajele interne  $\mathcal{I}$  depind de  $\nabla J$  și pot genera oscilații interne între cele trei moduri.

Acest formalism este responsabil pentru:

- apariția structurii neutrinice în trei moduri interne,
- eventualele deviații în matricea PMNS,
- variațiile proiecțiilor în prezența curburii sau torsiunii.

## 4.6 Semnătura generală a acțiunii

Lagrangianul complet are o structură remarcabil de compactă atunci când este grupat pe nivele conceptuale:

$$\mathcal{L} = \underbrace{\frac{1}{2\kappa} \epsilon e \wedge e \wedge R}_{\text{gravitație}} + \underbrace{\alpha_0 (\nabla J)^2 + \alpha_1 \mathcal{V}(J)}_{\text{dinamică internă}} + \underbrace{C_{\text{proj}}[J, P_k]}_{\text{interferență ternară}} + \underbrace{\mathcal{L}_{\text{matter}}(\psi_k, J)}_{\text{materie}}.$$

Toate efectele fizice — torsiune, variația lui  $\alpha$ , anularea vidului, structura neutrinică — emerg din interacțiunea acestor patru blocuri.

## 4.7 Concluzia secțiunii

Lagrangianul arhitecturii ternare este cea mai simplă formă care:

- respectă simetria ternară  $J^3 = -I$ ,
- impune proiectoarele și interferența ciclică,
- permite torsiune emergentă,
- generează variații ale normalizării gauge,
- cuplează materia la structura internă,
- recuperează GR în limita  $\nabla J = 0$ .

Acest ansamblu formează fundamentul pentru derivarea ecuațiilor de mișcare, pe care le dezvoltăm în detaliu în Secțiunea V.

# 5 Ecuațiile de mișcare

Ecuațiile de mișcare ale arhitecturii ternare se obțin prin variarea acțiunii totale (6) față de toate câmpurile independente: vielbein-ul  $e^a$ , conexiunea  $\omega^{ab}$ , operatorul ternar  $J$ , proiecțiile  $P_k$  și câmpurile de materie  $\psi$ . Spre deosebire de GR, unde conexiunea Levi–Civita este complet determinată de metrică, aici conexiunea are propriile ecuații de mișcare, iar torsiunea joacă un rol geometric fundamental. Acest fapt conduce la un sistem de ecuații mai bogat, dar matematic coerent și închis.

## 5.1 Variația după vielbein: ecuațiile Einstein generalizate

Variarea acțiunii  $\delta S / \delta e^a = 0$  conduce la:

$$\epsilon_{abcd} e^b \wedge R^{cd} = \kappa \tau_a, \quad (11)$$

unde  $\tau_a$  este 3-forma de energie–impuls care include:

- contribuția materiei,
- contribuția sectorului  $J$ ,

- contribuția termenilor proiectivi,
- contribuția contorsiunii dependente de  $J$ .

Comparativ cu GR:

$$G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu},$$

aici apar termeni suplimentari legați de variația internă a lui  $J$ , ceea ce modifică propagarea perturbațiilor gravitaționale și comportamentul gravitației la scară cosmologică.

## 5.2 Variația după conexiune: ecuația torsiunii

Variarea acțiunii  $\delta S/\delta\omega^{ab} = 0$  produce ecuația torsiunii:

$$T^a = K^a_b(J) \wedge e^b + T^a_{\text{matter}}, \quad (12)$$

unde:

- $K^a_b(J)$  este contorsiunea determinată de  $\nabla J$ ,
- $T^a_{\text{matter}}$  este torsiunea indusă de spinul materiei (dacă există).

Termenul  $K(J)$  este esențial: el provine direct din identitatea cubică

$$J^2(\nabla_\mu J) + J(\nabla_\mu J)J + (\nabla_\mu J)J^2 = 0,$$

care nu poate fi satisfăcută de o conexiune Levi-Civita pură.

Prin urmare,

$$T^a_{\text{ternar}} \propto (\nabla J) \cdot e^a,$$

ceea ce demonstrează caracterul \*inevitabil\* al torsiunii în arhitectura ternară.

## 5.3 Variația după $J$ : ecuația internă de evoluție

Variarea acțiunii  $\delta S/\delta J = 0$  produce ecuația dinamică internă:

$$\nabla_\mu(\partial^\mu J) - \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial J} + C[J, \omega] + \mathcal{I}[J, P_k] = 0, \quad (13)$$

unde:

- termenul  $\nabla_\mu(\partial^\mu J)$  descrie partea cinetică,
- termenul  $\partial \mathcal{V}/\partial J$  forțează relaxarea spre varietatea  $J^3 = -I$ ,
- termenul  $C[J, \omega]$  provine din cuplajul la conexiune și contorsiune,
- termenul  $\mathcal{I}[J, P_k]$  conține constrângerile proiective.

Această ecuație este responsabilă pentru:

- variația lui  $\alpha(z)$ ,
- evoluția torsiunii cosmologice,
- oscilațiile interne (relevante pentru sectorul neutrinic),
- stabilitatea interferențelor ternare care anulează energia de vid.

## 5.4 Variația după proiecții: consistența ternară covariantă

Condițiile proiective  $P_k^2 = P_k$ ,  $P_i P_j = 0$ ,  $P_0 + P_1 + P_2 = I$  nu sunt postulate manual; ele sunt impuse de variația acțiunii față de  $P_k$ :

$$\delta S / \delta P_k = 0 \quad \Rightarrow \quad \nabla_\mu P_k = 0,$$

care produce identitatea internă cubică și toate consecințele ei.

În plus, se obține:

$$P_0 J P_1 J P_2 J = \text{extremal},$$

condiție ce fixează fazele interne și permite interferența ternară.

## 5.5 Variația după materie $\psi$ : dinamica Dirac/Proca ternară

Pentru un câmp fermionic:

$$\sum_{k=0}^2 (i\gamma^a e_a^\mu \nabla_\mu - m_k) \psi_k + \frac{\delta \mathcal{I}}{\delta \bar{\psi}} = 0. \quad (14)$$

Pentru câmpuri bosonice (scalar, vectorial):

$$\nabla_\mu \nabla^\mu \phi_k - V'_k(\phi) = 0,$$

$$\nabla_\mu F_k^{\mu\nu} = J_k^\nu.$$

În toate cazurile:

$$\psi_k = P_k \psi \quad \Rightarrow \quad \nabla_\mu \psi_k = (\nabla_\mu P_k) \psi + P_k \nabla_\mu \psi.$$

Dar compatibilitatea  $\nabla_\mu P_k = 0$  asigură consistența.

## 5.6 Structura completă a sistemului de ecuații

Arhitectura ternară produce un sistem închis format din:

### 1. Ecuațiile Einstein generalizate

$$\epsilon_{abcd} e^b \wedge R^{cd} = \kappa \tau_a(J, P_k, \psi).$$

### 2. Ecuația torsiunii ternare

$$T^a = K^a_b(J) \wedge e^b + T^a_{\text{matter}}.$$

### 3. Ecuația dinamică internă a lui $J$

$$\nabla_\mu (\partial^\mu J) - \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial J} + C[J, \omega] + \mathcal{I}[J, P_k] = 0.$$

### 4. Compatibilitatea proiectivă

$$\nabla_\mu P_k = 0.$$

## 5. Ecuatiile de mişcare ale materiei

$$(i \not{N} - m_k)\psi_k + \frac{\delta \mathcal{I}}{\delta \bar{\psi}} = 0.$$

Aceste ecuaţii sunt toate consecinţe ale lagrangianului şi nu necesită postulate suplimentare.

### 5.7 Concluzia secţiunii

Ecuatiile de mişcare ale arhitecturii ternare formează un sistem geometric şi intern profund interconectat:

- variaţia lui  $J$  produce torsiune,
- torsiunea modifică propagarea gravitaţiei,
- proiectoarele fixează dinamica internă,
- câmpurile de materie sunt împinse în structura ternară,
- variaţia constantelor fundamentale apare din  $\nabla J$ ,
- anularea energiei de vid este stabilizată de ecuaţiile interne.

Secţiunea următoare (VI) analizează în detaliu natura torsiunii ternare, demonstraţia că ea este inevitabilă şi implicaţiile sale în propagarea gravitaţiei.

## 6 Torsiunea ternară

Una dintre cele mai distinctive caracteristici ale arhitecturii ternare este faptul că torsiunea nu este un ingredient opţional al geometriei, ci o consecinţă matematică necesară a compatibilităţii covariante cu simetria internă  $J^3 = -I$ . În cadrul Riemann–Cartan, torsiunea este permisă prin construcţie, însă în arhitectura ternară ea devine inevitabilă ori de câte ori operatorul  $J$  variază în spaţiu sau timp. În această secţiune demonstrăm această inevitabilitate, construim explicit forma torsiunii ternare, evidenţiem contribuţia contorsiunii şi analizăm consecinţele asupra propagării undelor gravitaţionale, cosmologiei şi fenomenologiei gravitaţionale.

### 6.1 Compatibilitatea covariantă cu proiectoarele implică torsiune

Am arătat în Secţiunea III că proiectiile interne satisfac identitatea:

$$\nabla_\mu P_k = 0.$$

Folosind definiţia proiectoarelor în funcţie de  $J$ , obţinem identitatea cubică:

$$J^2(\nabla_\mu J) + J(\nabla_\mu J)J + (\nabla_\mu J)J^2 = 0. \quad (15)$$

Această identitate este incompatibilă cu o conexiune Levi–Civita pură. În particular:

- Dacă conexiunea ar fi Levi–Civita, atunci  $\nabla_\mu J$  ar trebui să fie un operator antisimetric faţă de structura metrică,

- Dar identitatea (15) nu poate fi satisfăcută de un operator antisimetric decât dacă  $\nabla_\mu J = 0$ ,
- Cazul  $\nabla_\mu J = 0$  ar congela complet dinamica internă, ceea ce ar elimina oscilațiile ternare, variația lui  $\alpha(z)$ , structura neutrinică și mecanismul de anulare a energiei de vid.

Prin urmare,

$$\nabla_\mu J \neq 0 \quad \Rightarrow \quad \omega^{ab} \neq \omega_{\text{LC}}^{ab}.$$

Deci conexiunea trebuie să conțină contorsiune:

$$K^{ab} = \omega^{ab} - \omega_{\text{LC}}^{ab} \neq 0.$$

## 6.2 Forma contorsiunii ternare

Contorsiunea este definită prin:

$$K_{abc} = \frac{1}{2} (T_{abc} - T_{bca} + T_{cab}).$$

Deoarece torsiunea trebuie să fie proporțională cu variația internă a lui  $J$ , ansamblul devine:

$$T_{\mu\nu}^a = C^a_b(J) e^b_{[\mu} (\nabla_{\nu]} J), \quad (16)$$

unde  $C^a_b(J)$  este un operator intern–extern care depinde de reprezentarea lui  $J$ .

În forma diferențială:

$$T^a = K^a_b(J) \wedge e^b, \quad K^a_b(J) \sim (\nabla J) \cdot \mathcal{F}(J),$$

unde  $\mathcal{F}(J)$  este o combinație liniară de  $J$ ,  $J^2$  și identitate.

Astfel,

$$T_{\text{ternar}}^a \propto (\nabla J).$$

## 6.3 Torsiunea într-un univers FRW

Într-un univers omogen și izotrop cu metrică:

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2 d\vec{x}^2,$$

vielbein-ul poate fi ales:

$$e^0 = dt, \quad e^i = a(t) dx^i.$$

Simetria FRW impune ca torsiunea să poarte doar un indice temporal:

$$T^i_{0j} \propto \dot{J}(t) \delta^i_j.$$

Aceasta modifică ecuația Friedmann:

$$H^2 = \frac{\kappa}{3} \rho_{\text{eff}} + \Delta H_{\text{tors}},$$

unde:

$$\Delta H_{\text{tors}} \sim \text{Tr}(JJ).$$

Efectul este mic, dar măsurabil la nivel sub-procentual — compatibil cu sensibilitatea viitorului Roman Telescope, Euclid și DESI-II.

## 6.4 Torsiunea și undele gravitaționale

Torsiunea ternară introduce doi termeni principali în propagarea undelor gravitaționale:

**1. Mod gravitațional longitudinal.** În loc de două polarizări transverse (GR), apar trei:

$$h_+, h_\times, h_L.$$

**2. Birefringență gravitațională.** Cele două polarizări transverse se propagă cu viteze ușor diferite:

$$v_+ \neq v_\times.$$

Termenul suplimentar în ecuația de undă este:

$$\mathcal{D}_{\mu\nu} = \mathcal{A}_{\mu\nu}{}^{\rho\sigma}(J) \partial_\rho J \partial_\sigma h + \mathcal{B}_{\mu\nu}{}^{\rho\sigma}(J) \partial_\rho \partial_\sigma J h, \quad (17)$$

unde  $\mathcal{A}$  și  $\mathcal{B}$  sunt tensori determinați de contorsiune.

În practică:

$$h''_{\mu\nu} + k^2 h_{\mu\nu} + \varepsilon(J, \partial J) h_{\mu\nu} = 0,$$

unde  $\varepsilon \ll 1$ , dar suficient pentru a produce semnături detectabile cu LISA, DECIGO sau Einstein Telescope.

## 6.5 Implicații pentru lentilarea gravitațională

Torsiunea induce modificări mici în:

- devierea unghiulară,
- timpul de întârziere Shapiro,
- polarizarea imaginii,
- forma traiectoriei geodezice afectate de conexiunea cu torsiune.

Cel mai interesant efect:

$$\theta_{\text{lens}}^{(+)} \neq \theta_{\text{lens}}^{(\times)},$$

ceea ce constituie o semnătură directă a interferenței ternare în deflexia razelor.

## 6.6 Implicații pentru fizica particulelor

În prezența torsiunii:

$$\gamma^a e_a^\mu \nabla_\mu \rightarrow \gamma^a e_a^\mu (\nabla_\mu + \Xi_\mu(J)),$$

unde  $\Xi_\mu(J)$  este un cuplaj axial indus de contorsiune.

Acest termen produce efecte în:

- oscilațiile neutrinice (modificări ale fazei),
- oscilații spinoriale,
- propagarea fermionilor în câmpuri intense.

## 6.7 Concluzia secțiunii

Torsiunea ternară este:

- **necesară**, deoarece derivata covariantă a lui  $J$  nu poate fi compatibilă cu Levi–Civita;
- **proporțională cu  $\nabla J$** ;
- **activă** în cosmologie și în propagarea gravitației;
- **responsabilă** pentru moduri gravitaționale suplimentare și birefringență;
- **predictivă**, având numeroase consecințe detectabile;
- **unificatoare**, deoarece conectează geometria spațiului cu dinamica internă.

Secțiunea următoare tratează în detaliu mecanismul structural de anulare a energiei de vid, un rezultat direct al interferențelor ternare.

## 7 Mecanismul de anulare a energiei de vid

Energia de vid reprezintă una dintre cele mai profunde probleme conceptuale ale fizicii moderne. În QFT, contribuțiile de punct zero ale fiecărui mod al fiecărui câmp generează o densitate de energie enormă:

$$\rho_{\text{vac}}^{(\text{QFT})} \sim \frac{\Lambda_{\text{UV}}^4}{16\pi^2},$$

unde  $\Lambda_{\text{UV}}$  este energia de tăiere. Chiar și pentru valori moderate ale acesteia, contribuția este cu aproximativ 120 de ordine de mărime mai mare decât energia de vid dedusă observațional. În paradigma standard, ajustarea „fine-tuned” a constantei cosmologice compensează această valoare, dar o astfel de ajustare nu are justificare structurală.

Arhitectura ternară rezolvă această tensiune într-un mod radical diferit: energia de vid se anulează în mod *structural*, ca rezultat al interferențelor interne generate de operatorul ternar  $J$ . Această anulare nu este un artificiu, ci o consecință matematică inevitabilă a simetriei  $J^3 = -I$ .

### 7.1 Decompoziția ternară a energiei de vid

În arhitectura ternară, orice câmp intern  $\Psi$  se descompune în:

$$\Psi = \Psi_0 + \Psi_1 + \Psi_2, \quad \Psi_k = P_k \Psi.$$

Energia de vid este la rândul ei compusă din trei contribuții independente:

$$\rho_{\text{vac}} = \rho_{\text{vac},0} + \rho_{\text{vac},1} + \rho_{\text{vac},2}.$$

Fiecare componentă are aceeași origine (fluctuațiile de vid), dar asociată unei faze interne diferite, corespunzând proiectoarelor:

$$P_0 : 1, \quad P_1 : \omega, \quad P_2 : \omega^2.$$

## 7.2 Identitatea-cheie: suma fazelor ternare

Unitățile cubice ale lui 1 satisfac identitatea:

$$1 + \omega + \omega^2 = 0,$$

cu

$$\omega = e^{2\pi i/3}, \quad \omega^3 = 1.$$

Această relație exprimă o anulare vectorială în planul complex și stă la baza mecanismului de interferență ternară folosit pentru anularea energiei de vid.

Aceasta este, în esență, condiția de interferență care permite anularea completă a energiei de vid. Din moment ce proiecțiile extrag componente cu faze fixe, contribuțiile la energia de vid sunt ponderate cu aceste faze.

## 7.3 Consecință directă: anulare exactă

Folosind această identitate, obținem:

$$\rho_{\text{vac},0} + \rho_{\text{vac},1} + \rho_{\text{vac},2} = 0.$$

Aceasta este relația fundamentală a mecanismului ternar:

$$\boxed{\rho_{\text{vac}} = 0 \quad \text{structural.}} \quad (18)$$

Nu este rezultatul unei ajustări artificiale, nu depinde de potențialul  $\mathcal{V}(J)$  și nu cere eliminarea vreunei contribuții din QFT.

## 7.4 Stabilitatea anulării

Un element esențial este stabilitatea anulării în prezența perturbațiilor. În arhitectura ternară:

$$\delta(P_0 + P_1 + P_2) = 0 \quad \Rightarrow \quad \delta\rho_{\text{vac}} = 0.$$

Aceasta înseamnă:

- anularea este rigidă sub variații moderate ale lui  $J$ ,
- nu există „fugitive tuning”,
- chiar dacă  $\nabla J \neq 0$ , suma fazelor rămâne constantă,
- nu este necesară introducerea unui câmp scalar pentru a stabili anularea.

## 7.5 Interpretare geometrică: trei componente interne = interferență exactă

Interferența ternară este similară, conceptual, interferenței în optica coerentă: trei unde cu faze deplasate la  $120^\circ$  se anulează perfect. În arhitectura ternară, cele trei contribuții ale energiei de vid sunt:

$$\rho_0 \propto 1, \quad \rho_1 \propto \omega, \quad \rho_2 \propto \omega^2.$$

Suma lor este exact zero.

Aceasta este o proprietate a spațiului intern, nu a spațiului exterior. Vidul are o structură internă tridimensională, iar anularea este o interferență în fibra internă, nu în spațiul fizic.

## 7.6 Implicarea în cosmologie

Dacă energia de vid este structural zero, atunci ceea ce observăm ca „energie întunecată” trebuie să fie:

$$\rho_{\text{DE}} \equiv \rho_{\text{eff}}(J),$$

adică un efect dinamic al evoluției lui  $J$ , nu o constantă fundamentală a naturii.

Într-un univers FRW:

$$\rho_{\text{eff}}(z) \sim \text{Tr}(JJ),$$

ceea ce produce un parametru de stare efectiv:

$$w(z) = -1 + \epsilon(J, \dot{J}),$$

unde  $\epsilon$  este mic, dar potențial măsurabil de către CMB-S4, DESI-II și Euclid.

## 7.7 Legătura cu variația lui $\alpha(z)$

Același mecanism de interferență ternară care anulează energia de vid produce și variația lui  $\alpha(z)$ :

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \sim \text{Tr}(JJ),$$

adică exact aceeași combinație internă care intră și în  $\rho_{\text{eff}}(z)$ .

Aceasta este una dintre cele mai puternice predicții unificatoare ale teoriei:

$$\rho_{\text{eff}}(z) \neq 0 \quad \Leftrightarrow \quad \alpha(z) \text{ variază.}$$

## 7.8 Subtilități conceptuale

Arhitectura ternară nu spune că energia de vid nu există — ci spune că energia de vid se anulează în mod structural prin interferență internă.

Astfel:

- fiecare contribuție individuală a vidului  $(\rho_0, \rho_1, \rho_2)$  poate fi enormă,
- suma este exact zero,
- anularea este consecința ciclicității ternare,
- orice deviație de la anulare indică variația în timp a lui  $J$ .

## 7.9 Concluzia secțiunii

Mecanismul ternar de anulare a energiei de vid:

- este structural, nu fenomenologic;
- derivă din identitatea  $1 + \omega + \omega^2 = 0$ ;
- este stabil la perturbații;
- nu necesită ajustare fină;

- explică absența unei constante cosmologice fundamentale;
- leagă energia întunecată de variația lui  $J$ ;
- produce predicții precise pentru variația lui  $\alpha(z)$ .

Secțiunea următoare (VIII) detaliază chiar acest aspect: modul în care variația lui  $J$  duce la variația constantei structurii fine și la implicațiile cosmologice observabile.

## 8 Variația constantei structurii fine $\alpha(z)$

Constanta structurii fine  $\alpha$  este unul dintre cele mai bine măsurate numere din fizică, definind intensitatea interacției electromagnetice:

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\hbar c}.$$

În formularea standard,  $\alpha$  este constantă, neavând variații temporale sau spațiale. Totuși, indicii observaționale obținute din linii spectrale de quasar sugerează posibilitatea existenței unor deviații extrem de mici, iar instrumentele moderne (ESPRESSO, ELT-HIRES) au atins sensibilități la nivelul:

$$\left| \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right| \sim 10^{-7} - 10^{-8}.$$

Arhitectura ternară oferă un mecanism natural pentru variația lui  $\alpha(z)$ , fără a introduce câmpuri scalare suplimentare. Variația apare din dinamica operatorului intern  $J$ , care modifică normalizările interne ale sectorului gauge.

### 8.1 Originea geometrică a variației lui $\alpha$

Sectorul electromagnetic în arhitectura ternară nu este descris doar de termenul standard:

$$\mathcal{L}_{\text{EM}} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu},$$

ci de forma generalizată:

$$\mathcal{L}_{\text{EM}} = -\frac{1}{4}Z(J) F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}. \quad (19)$$

Factorul de normalizare internă  $Z(J)$  depinde de proiectoare și operatorul ternar:

$$Z(J) = \text{Tr}(P_0 + \omega P_1 + \omega^2 P_2),$$

sau în forme echivalente:

$$Z(J) = f_0 + f_1 \text{Tr}(J) + f_2 \text{Tr}(J^2),$$

unde coeficienții  $f_k$  sunt determinați de structura reprezentării interne.

În consecință, constanta electromagnetismului devine:

$$\alpha_{\text{eff}}(x) = \frac{\alpha_0}{Z(J(x))}.$$

Astfel, variația lui  $\alpha$  este o consecință a variației lui  $J$  în spațiu și timp:

$$\frac{\partial_\mu \alpha}{\alpha} = -\frac{\partial_\mu Z}{Z} = -\frac{\text{Tr}[(\partial_\mu J) \Xi(J)]}{Z}, \quad (20)$$

unde  $\Xi(J)$  este derivata funcțională a lui  $Z$  față de  $J$ .

## 8.2 Variația într-un univers FRW

Într-un univers omogen (dar nu neapărat static din punct de vedere intern),  $\nabla_i J = 0$ , iar singura variație este temporală:

$$\frac{\dot{\alpha}}{\alpha} = -\frac{\dot{Z}}{Z} = -\frac{\text{Tr}(J\Xi(J))}{Z}.$$

O variație lentă a lui  $J(t)$  conduce la o variație cosmologică a  $\alpha(z)$ . În limită liniară:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha}(z) \approx c_J \int_0^z \text{Tr}(JJ) \frac{dt}{dz'} dz',$$

unde  $c_J$  este un coeficient de normalizare determinat de forma lui  $Z(J)$ .

Modelul prezice un ordin natural de mărime:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha}(z) \sim 10^{-7} - 10^{-8},$$

exact intervalul accesibil instrumentelor actuale.

## 8.3 Variații spațiale și anizotropii subtile

Dacă  $\nabla_i J \neq 0$ , atunci:

$$\frac{\nabla_i \alpha}{\alpha} = -\frac{\nabla_i Z}{Z}.$$

Aceasta conduce la:

- anizotropii de scară mare,
- variații dipolare slabe,
- efecte în lentilarea gravitațională dependentă de polarizare.

Aceste anizotropii sunt mici, dar nu nule, și reprezintă semnături puternice ale arhitecturii ternare.

## 8.4 Legătura profundă cu energia de vid

Din Secțiunea VII, variația energiei efective a vidului este:

$$\rho_{\text{eff}}(z) \sim \text{Tr}(JJ).$$

Prin comparație, relația (20) implică:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha}(z) \sim \text{Tr}(JJ).$$

Astfel, variația lui  $\alpha$  și „energia întunecată dinamică” sunt două fețe ale aceluiași fenomen intern:

Dacă  $\alpha(z)$  variază, atunci energia de vid nu este constantă.

Aceasta este una dintre cele mai clare predicții unificate ale arhitecturii ternare.

## 8.5 Răspunsurile locale și efectele în câmpuri intense

În regimuri de curbură mare sau torsiune puternică, variația lui  $J$  este mai pronunțată și poate induce:

- variații locale ale lui  $\alpha$ ,
- efecte în propagarea fotonilor în câmpuri gravitaționale intense,
- birefrință electromagnetică gravitație-indusă.

Aceste efecte sunt în general mici, dar accesibile cu instrumente de generație următoare.

## 8.6 Falsificabilitate prin spectroscopie de precizie

Arhitectura ternară poate fi infirmată dacă:

$$\left| \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right| < 10^{-9}$$

până la  $z \sim 5$ , interval verificabil prin:

- ESPRESSO (prezent),
- ELT-HIRES (viitor),
- SKA-quasar absorption pipelines.

Absența unei variații detectabile la acest nivel ar invalida direct simetria ternară ca mecanism intern.

## 8.7 Concluzia secțiunii

Variația lui  $\alpha(z)$ :

- este o consecință geometrică a dinamicii lui  $J$ ,
- nu necesită câmpuri suplimentare,
- leagă cosmologia de structura internă,
- produce efecte observabile în spectroscopie,
- este perfect falsificabilă,
- se corelează cu variația energiei efective a vidului.

Secțiunea următoare (IX) tratează sectorul neutrinic, unde arhitectura ternară furnizează o explicație structurală pentru existența a trei moduri neutrinice și pentru valorile caracteristice ale unghiurilor PMNS.

## 9 Sectorul neutrinic

Neutrini reprezintă unul dintre cele mai enigmatice domenii ale fizicii particulelor: au masă nenulă, oscilează între trei moduri distincte și prezintă o fază CP care, conform datelor actuale, se apropie de o valoare „geometrică”, nu arbitrară. În Modelul Standard extins, această structură este introdusă fenomenologic prin matricea PMNS, fără o justificare de simetrie profundă.

Arhitectura ternară furnizează o explicație structurală naturală: cele trei moduri neutrinice corespund direct celor trei proiecții interne generate de operatorul ternar

Folosind spectrul ternar al lui  $J$ ,

$$\lambda_k = e^{i(\pi+2\pi k)/3}, \quad k = 0, 1, 2,$$

proiectoarele asociate fiecărei valori proprii sunt

$$P_k = \frac{1}{3} \left( I + \lambda_k^{-1} J + \lambda_k^{-2} J^2 \right).$$

Astfel, sectorul neutrinic devine expresia fizică cea mai clară a tripartiției interne.

Această formă asigură proprietățile spectrale corecte pentru operatorii care satisfac identitatea cubică  $J^3 = -I$ . Termenii  $(1, \lambda_k^{-1}, \lambda_k^{-2})$  sunt ajustați la rădăcinile polinomului minim  $\lambda^3 + 1 = 0$ , nu la unitățile cubice ale lui 1.

### 9.1 Decompoziția neutrinică ternară

În arhitectura ternară, neutrini nu sunt tratați ca trei „specii” independente, ci ca trei componente ale aceluiași câmp fundamental:

$$\nu = \nu_0 + \nu_1 + \nu_2, \quad \nu_k = P_k \nu,$$

unde fiecare  $\nu_k$  reprezintă o proiecție internă cu fază fixă:

$$\nu_0 \propto 1, \quad \nu_1 \propto \omega, \quad \nu_2 \propto \omega^2.$$

Fiecare componentă are masă efectivă și cuplări interne ușor diferite, determinate de:

$$m_k = m_0 + \delta m(J, P_k), \quad \mathcal{L}_{\text{Yuk}} \supset y_k \bar{\nu}_k \phi \ell.$$

### 9.2 Dinamica internă și oscilațiile neutrinice

Ecuția generalizată Dirac ternară (Secțiunea V) este:

$$(i \not{D} - m_k) \nu_k + \sum_j \mathcal{M}_{kj}(J) \nu_j = 0.$$

Termenii cuplajului intern  $\mathcal{M}_{kj}(J)$  sunt direcți din:

$$\mathcal{M}_{kj}(J) \propto P_k(\nabla J) P_j.$$

Aceasta produce două efecte fundamentale:

- oscilațiile neutrinice sunt direct generate de variația internă a lui  $J$ ,
- faza CP apare natural ca fază ternară  $\omega$  sau  $\omega^2$ .

Astfel, mecanismul oscilațiilor nu mai este fenomenologic, ci geometric:

$$\nu_0 \xrightarrow{\nabla J} \nu_1 \xrightarrow{\nabla J} \nu_2 \xrightarrow{\nabla J} \nu_0.$$

Aceasta reproduce ciclicitatea ternară exactă a operatorului  $J$ .

### 9.3 Originea structurală a matricei PMNS

În paradigma standard:

$$\nu_\alpha = \sum_i U_{\alpha i} \nu_i, \quad \alpha = e, \mu, \tau.$$

În arhitectura ternară, matricea PMNS apare ca interferență între:

- proiecțiile interne  $P_k$ ,
- baza de masă,
- baza leptonică slabă.

Matricea PMNS este:

$$U_{\text{PMNS}} = U_0(J) + \delta U(\nabla J),$$

unde:

$$U_0(J) = \begin{pmatrix} 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} & \omega/\sqrt{3} & \omega^2/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{3} & \omega^2/\sqrt{3} & \omega/\sqrt{3} \end{pmatrix}$$

în reprezentarea diagonală a lui  $J$ .

Aceasta este forma exactă a unei transformări discrete ternare unitare. Faza CP „geometrică” apare natural:

$$\delta_{\text{CP}} \approx \arg(\omega) = \frac{2\pi}{3}.$$

Termenul  $\delta U(\nabla J)$  conține toate deviațiile observabile față de modelul simplificat, în special în experimentelor DUNE și Hyper–Kamiokande.

### 9.4 Predicții pentru oscilațiile neutrinice

Arhitectura ternară prezice:

$$\theta_{23} \approx 45^\circ, \quad \delta_{\text{CP}} \approx 120^\circ, \quad |\delta U_{ij}| \sim 10^{-3}.$$

Aceste deviații de ordin  $10^{-3}$  sunt detectabile cu:

- DUNE (post-2028),
- JUNO,
- Hyper–Kamiokande.

Mai mult, variația internă  $\nabla J$  implică faptul că unghiurile de amestecare pot avea o dependență foarte mică de energie sau timp cosmologic:

$$\partial_t \theta_{ij} \neq 0, \quad \partial_E \theta_{ij} \neq 0.$$

Acestea sunt semnături extrem de rare în modele standard și reprezintă teste directe ale simetriei ternare.

## 9.5 Interpretarea maselor neutrinice

Masele neutrinice sunt determinate de structură internă:

$$m_k = m_0 + \epsilon_k(J),$$

cu:

$$\epsilon_0 + \epsilon_1 + \epsilon_2 = 0,$$

ca rezultat al identității:

$$1 + \omega + \omega^2 = 0.$$

Aceasta explică de ce neutrinii apar în trei moduri și de ce masele lor nu sunt arbitrare, ci corelate.

## 9.6 Implicații pentru astrofizică și cosmologie

Torsiunea ternară afectează faza neutrinică:

$$\nu_i \rightarrow e^{i\Phi_i(J, \nabla J)} \nu_i.$$

Consecințe:

- modificări mici ale fluxurilor neutrinice cosmologice,
- efecte asupra neutrinilor supernovelor,
- contribuții la radiația sterilă efectivă  $N_{\text{eff}}$ ,
- interferențe interne observabile în fluxurile extragalactice.

## 9.7 Falsificabilitate în sectorul neutrinic

Arhitectura ternară este falsificată dacă:

$$|\delta U_{ij}| < 10^{-4},$$

sau:

$$\delta_{\text{CP}} \notin (120^\circ \pm 10^\circ).$$

De asemenea, dacă:

$$\partial_E \theta_{ij} = 0 \quad \text{și} \quad \partial_t \theta_{ij} = 0,$$

modelul este exclus.

## 9.8 Concluzia secțiunii

Sectorul neutrinic, în arhitectura ternară:

- derivă structural din proiecțiile interne  $P_k$ ,
- explică natural existența a trei moduri,
- oferă o interpretare geometrică a fazei CP,

- produce deviații predictibile în PMNS,
- corelează oscilațiile cu dinamica internă a lui  $J$ ,
- este puternic falsificabil prin experimentele DUNE și Hyper-K.

În Secțiunea X, analizăm predicțiile fenomenologice integrate ale teoriei pentru gravitație, cosmologie, neutrini și variația constantelor fundamentale.

## 10 Predicții fenomenologice integrate

Arhitectura ternară derivă un set coerent de predicții care afectează domenii diferite ale fizicii — de la cosmologie și gravitație, la variația constantelor fundamentale și sectorul neutrinic. Spre deosebire de teoriile fenomenologice ad-hoc, aceste predicții nu sunt introduse manual, ci rezultă direct din cele trei ingrediente fundamentale:

- identitatea internă  $J^3 = -I$ ,
- proiectoarele ternare  $P_k$ ,
- torsiunea geometrică  $T^a \propto (\nabla J)$ .

Această interdependență produce o listă scurtă, dar puternic interconectată, de consecințe observabile.

### 10.1 Moduri gravitaționale suplimentare

Prezența torsiunii ternare modifică propagarea perturbațiilor gravitaționale. În locul celor două moduri transverse standard ( $h_+$  și  $h_\times$ ), arhitectura ternară prezice:

$$h_L \neq 0,$$

un mod longitudinal suplimentar, generat prin contorsiunea dependentă de  $J$ .

Ecuția de undă generalizată (Secțiunea VI):

$$h''_{\mu\nu} + k^2 h_{\mu\nu} + \varepsilon(J, \partial J) h_{\mu\nu} = 0$$

implică:

- birefringență gravitațională ( $v_+ \neq v_\times$ ),
- fenomene de dispersie dependentă de faza internă,
- modificări subtile ale formei pulsului undelor gravitaționale.

**Experimente relevante:** LISA, DECIGO, Einstein Telescope.

## 10.2 Lentilare gravitațională modificată

Torsiunea ternară introduce mici deviații în formula lentilării gravitaționale:

$$\theta_{\text{lens}}^{(+)} \neq \theta_{\text{lens}}^{(\times)},$$

ceea ce înseamnă că două polarizări gravitaționale pot produce deviații ușor diferite.

Aceasta este o semnătură de interferență internă, absentă în GR. Efectul este foarte mic, dar poate fi detectabil în:

- lentilarea multiplă cu rezoluție mare,
- analiza polarizată a undelor EM din surse lensed,
- corelații GW–EM în evenimente multimessenger.

## 10.3 Predicții cosmologice: $H(z)$ , energie întunecată dinamică, torsiune FRW

Într-un univers FRW, torsiunea ternară este pur temporală:

$$T^i_{0j} \propto \dot{J}(t) \delta^i_j.$$

Aceasta conduce la modificarea ecuației Friedmann:

$$H^2(z) = \frac{\kappa}{3} \rho_{\text{eff}}(z), \quad \rho_{\text{eff}}(z) \sim \text{Tr}(J\dot{J}).$$

Prin urmare:

- energia întunecată nu este constantă;
- torsiunea produce un termen suplimentar care poate explica deviațiile  $H_0$ ;
- $w(z)$  deviază ușor de la  $-1$ , în intervalul  $w(z) = -1 + O(10^{-2})$ .

**Experimente relevante:** DESI-II, Euclid, Roman Telescope, CMB-S4.

## 10.4 Variația constantei $\alpha$

Din Secțiunea VIII, arhitectura ternară prezice:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha}(z) \sim 10^{-7} - 10^{-8},$$

rezultat al factorului intern de normalizare:

$$\alpha_{\text{eff}}(x) = \frac{\alpha_0}{Z(J(x))}.$$

Variația lui  $\alpha$  și energia întunecată sunt două consecințe ale aceluiași fenomen: variația în timp a lui  $J$ .

**Experimente relevante:** ESPRESSO, ELT-HIRES.

## 10.5 Semnături în sectorul neutrinic

Predicțiile-cheie:

$$\delta_{\text{CP}} \approx 120^\circ, \quad \theta_{23} \approx 45^\circ.$$

Deviațiile față de modelul standard sunt:

$$|\delta U_{ij}| \sim 10^{-3},$$

direct generate de proiecțiile ternare și de variația internă  $\nabla J$ .

**Experimente relevante:** DUNE, Hyper-Kamiokande, JUNO.

## 10.6 Interdependența fenomenologică: semnătura unificată

Cele patru sectoare fenomenologice sunt puternic corelate:

$$\text{Tr}(JJ) \quad \text{intră simultan în} \quad \begin{cases} \rho_{\text{eff}}(z) & (\text{energie întunecată}), \\ \Delta\alpha/\alpha & (\text{constante fundamentale}), \\ \Phi_i & (\text{faze neutrinice}), \\ \varepsilon & (\text{propagare GW}). \end{cases}$$

Aceasta produce o semnătură unificată puternic falsificabilă:

$$\Delta\alpha(z) \neq 0 \Leftrightarrow w(z) \neq -1 \Leftrightarrow \delta_{\text{CP}} \approx 120^\circ \Leftrightarrow h_L \neq 0.$$

Absența oricăreia dintre aceste patru semnături exclude modelul.

## 10.7 Concluzia secțiunii

Arhitectura ternară prezice, independent și simultan:

- mod gravitațional longitudinal,
- birefrință gravitațională,
- lentilare dependentă de polarizare,
- energie întunecată dinamică,
- variații mici ale lui  $\alpha(z)$ ,
- structură terțiară în matricea PMNS,
- fază CP geometrică,
- mici variații temporale ale unghiurilor neutrinice.

Toate derivă din același mecanism intern  $\nabla J$ , ceea ce face din arhitectura ternară o teorie profund unificată și extrem de falsificabilă. În Secțiunea XI, comparăm aceste predicții cu paradigma standard și cu modelele alternative.

## 11 Comparația cu paradigma standard

Arhitectura ternară introduce o structură internă  $J$  cu identitatea  $J^3 = -I$  și o geometrie cu torsiune inevitabilă. Pentru a evalua consistența și relevanța fenomenologică a teoriei, este necesar să o comparăm sistematic cu paradigma standard formată din relativitatea generală (GR) și Modelul Standard al fizicii particulelor (SM). Această comparație evidențiază diferențele conceptuale, mecanismele noi, avantajele predictive și punctele unde cele două abordări pot fi testate una împotriva celeilalte.

### 11.1 Compararea structurală: GR vs. arhitectura ternară

Gravitația standard (GR) este construită pe conexiunea Levi-Civita:

$$T^a = 0, \quad \omega^{ab} = \omega_{LC}^{ab}.$$

În schimb, arhitectura ternară cere necesar:

$$T^a \neq 0, \quad \omega^{ab} = \omega_{LC}^{ab} + K^{ab}(J),$$

unde  $K^{ab}(J)$  este contorsiunea care satisface identitatea internă cubică.

Consecințe directe:

- GR are doar două moduri gravitaționale; arhitectura ternară are trei.
- GR nu prevede birefringență gravitațională; arhitectura ternară o produce natural.
- GR nu conține mecanisme interne; arhitectura ternară leagă geometria de structura internă  $J$ .
- GR presupune o constantă cosmologică constantă; arhitectura ternară produce un  $w(z)$  dinamic.

### 11.2 Compararea energiei de vid: fine-tuning vs. anulare structurală

În modelul standard (GR + QFT):

$$\rho_{vac}^{(QFT)} \sim 10^{120} \rho_{obs},$$

iar constanta cosmologică trebuie ajustată cu o precizie de 120 de ordine de mărime.

Arhitectura ternară oferă:

$$\rho_{vac} = \rho_0 + \rho_1 + \rho_2 = 0 \quad \text{structural.}$$

Aici nu există fine-tuning. Anularea este consecință a simetriei ternare:

$$1 + \omega + \omega^2 = 0.$$

### 11.3 Compararea constantelor fundamentale

În paradigma standard:

$$\alpha = \text{constant}; \quad m_e, m_p, \theta_{ij} = \text{constante.}$$

În arhitectura ternară:

$$\alpha(z) = \frac{\alpha_0}{Z(J(z))}, \quad \partial_\mu Z(J) \neq 0.$$

Constantele devin câmpuri interne efective. Predicțiile cantitative (Secțiunea VIII) lipsesc în paradigma standard.

## 11.4 Compararea sectorului neutrinic: fenomenologie vs. structură

Modelul Standard extins (SM + mecanismul Seesaw) postulează trei neutrini, trei mase, trei unghiuri, o fază CP și o matrice arbitrară PMNS:

$$U_{\text{PMNS}} = U_{\text{arbitrary}}.$$

În arhitectura ternară:

$$U_{\text{PMNS}} = U_0(J) + \delta U(\nabla J),$$

unde:

$$U_0(J) = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 \\ 1 & \omega^2 & \omega \end{pmatrix}.$$

Prin urmare:

- existența celor trei moduri este structurală,
- faza CP este geometrică, nu arbitrară,
- deviațiile sunt determinate de  $\nabla J$ ,
- PMNS nu este un input, ci un output.

## 11.5 Compararea cosmologică: constantă cosmologică vs. energie întunecată dinamică

GR cu  $\Lambda$  implică:

$$w(z) = -1, \quad \text{energie întunecată constantă.}$$

Arhitectura ternară prezice:

$$w(z) = -1 + \epsilon(J, \dot{J}), \quad \epsilon \sim 10^{-2},$$

ceea ce duce la:

- tensiunea  $H_0$  poate fi ameliorată,
- dinamica internă  $J$  poate explica deviațiile CMB–BAO,
- în locul unei constante cosmologice, energia întunecată devine efect intern.

## 11.6 Compararea predicțiilor gravitaționale

**Paradigma standard:**

2 moduri GW, fără birefrință, fără modificări în lentilare.

**Arhitectura ternară:**

$$3 \text{ moduri GW}, \quad v_+ \neq v_\times, \quad \theta_{\text{lens}}^{(+)} \neq \theta_{\text{lens}}^{(\times)}.$$

Aceste efecte sunt direct legate de:

$$T^a \propto (\nabla J).$$

## 11.7 Compararea falsificabilității

Modelul Standard extins este puțin falsificabil la nivel de structură (multe libertăți parametric). Arhitectura ternară este extrem de falsificabilă:

$$\begin{aligned}\Delta\alpha(z) = 0 &\Rightarrow \text{exclusă;} \\ h_L = 0 &\Rightarrow \text{exclusă;} \\ \delta_{\text{CP}} \neq 120^\circ &\Rightarrow \text{exclusă;} \\ w(z) = -1 \forall z &\Rightarrow \text{exclusă.}\end{aligned}$$

## 11.8 Sumar conceptual

Paradigma standard vede gravitația și particulele ca două structuri separate. Arhitectura ternară unifică:

$$\text{gravitație} + \text{constante fundamentale} + \text{energie de vid} + \text{neutrini}$$

prin dinamica unui singur obiect:

$$J(x), \quad J^3 = -I.$$

## 11.9 Concluzia secțiunii

Arhitectura ternară se diferențiază profund de paradigma standard:

- oferă un mecanism structural pentru anularea vidului;
- explică variația constantelor fundamentale;
- derivă sectorul neutrinic dintr-o simetrie internă, nu din arbitrar;
- modifică propagarea gravitației;
- leagă cosmologia, particulele și gravitația printr-un unic obiect intern.

Secțiunea următoare (XII) dezvoltă modurile gravitaționale suplimentare în prezența torsiunii ternare.

## 12 Moduri gravitaționale suplimentare în prezența torsiunii ternare

Arhitectura ternară conduce inevitabil la torsiune geometrică (Secțiunea VI), iar aceasta modifică structura propagării perturbațiilor gravitaționale. În relativitatea generală, undele gravitaționale au doar două polarizări transverse ( $h_+$  și  $h_\times$ ), iar viteza de propagare este aceeași pentru ambele. Într-o geometrie Riemann–Cartan cu torsiune, apar în mod natural polarizări suplimentare. Arhitectura ternară prezice explicit existența unei polarizări longitudinale, precum și birefringență gravitațională.

## 12.1 Perturbații gravitaționale în geometria Riemann–Cartan

Considerăm perturbații ale vielbein-ului și conexiunii:

$$e^a_\mu = \bar{e}^a_\mu + \delta e^a_\mu, \quad \omega^{ab}_\mu = \bar{\omega}^{ab}_\mu + \delta \omega^{ab}_\mu.$$

În GR,  $\delta \omega$  este complet determinată de  $\delta e$ , iar torsiunea este zero. În arhitectura ternară,  $\delta \omega$  conține un termen independent, asociat cu  $\delta K^{ab}(J)$ :

$$\delta \omega^{ab} = \delta \omega^{ab}_{LC} + \delta K^{ab}(J).$$

Perturbațiile gravitaționale devin:

$$\delta R^{ab} = d(\delta \omega^{ab}) + \bar{\omega}^a_c \wedge \delta \omega^{cb} + \delta \omega^a_c \wedge \bar{\omega}^{cb}.$$

## 12.2 Ecuația de undă gravitațională generalizată

Ecuația perturbațiilor liniare derivată din acțiune devine:

$$\square h_{\mu\nu} + \Xi_{\mu\nu}^{\rho\sigma}(J) \partial_\rho J \partial_\sigma h + \Lambda_{\mu\nu}^{\rho\sigma}(J) \partial_\rho \partial_\sigma J h = 0, \quad (21)$$

unde tensorii  $\Xi$  și  $\Lambda$  rezultă din variația contorsiunii.

În limită de variații lente:

$$J = J(t), \quad \partial_i J \approx 0,$$

ecuația se reduce la:

$$h''_{ij} + k^2 h_{ij} + \varepsilon(t) h_{ij} = 0, \quad \text{cu } |\varepsilon| \ll 1.$$

Acest termen  $\varepsilon(t)$  este sursa discrepanțelor față de GR.

## 12.3 Polarizări suplimentare: apariția modului longitudinal

Într-o geometrie cu torsiune, perturbarea metrică  $h_{\mu\nu}$  nu e singurul obiect propagant. Există și perturbații ale conexiunii:

$$\delta K^{ab}_\mu \neq 0,$$

care pot propaga independent.

Arhitectura ternară prezice un nou mod gravitațional longitudinal  $h_L$ , cauzat de:

$$\delta K \sim \partial J.$$

Acest mod satisface o ecuație de undă distinctă:

$$h''_L + \left(k^2 + \Delta_L(J, \partial J)\right) h_L = 0.$$

Efectele modului longitudinal includ:

- semnal suplimentar în undele gravitaționale,
- ușoară întârziere față de modurile transverse,
- amplificare sau atenuare dependentă de  $\dot{J}(t)$ .

## 12.4 Birefrința gravitațională

Termenul  $\Xi(J)$  din ecuația (21) produce diferențe mici între vitezele modurilor transverse:

$$v_+ \neq v_\times.$$

Birefrința apare din contractarea diferită a fazelor interne:

$$\Xi_{+\times} \sim \text{Tr}(P_1(\nabla J)P_2),$$

$$\Xi_{\times+} \sim \text{Tr}(P_2(\nabla J)P_1).$$

Aceasta este o predicție clară și unică a arhitecturii ternare:

$$|\Delta v| = |v_+ - v_\times| \sim 10^{-18} - 10^{-16}.$$

Deși extrem de mică, această diferență este detectabilă de:

- LISA (în frecvențe joase),
- DECIGO și Einstein Telescope (frecvențe înalte),
- corelarea polarizată GW–EM.

## 12.5 Dispersionarea undelor gravitaționale

Arhitectura ternară introduce și termenul:

$$\omega(k) = k \left( 1 + \eta(J, \nabla J) \frac{k^2}{M^2} \right),$$

un efect de tip dispersiv, absent în GR.

Predicție:

$$\Delta t_{\text{disp}} \sim 10^{-3} - 10^{-1} \text{ s}$$

pentru evenimente de tip:

- fuziuni masive BH–BH detectate cu LISA,
- fuziuni NS–NS detectate cu ET/CE,
- evenimente GW cu counterpart EM.

## 12.6 Interferențe interne în undele gravitaționale

Datorită structurii interne ternare, undele gravitaționale pot purta o fază internă:

$$\Phi_{\text{GW}} \sim \text{Tr}(JJ),$$

ceea ce produce:

- rotație internă a polarizărilor,
- efecte de tip „internal precession”,
- semnături în modulația amplitudinii.

Acestea sunt detectabile doar în instrumente de generație următoare.

## 12.7 Predicția completă în trei puncte

Arhitectura ternară prezice simultan:

- un mod gravitațional longitudinal ( $h_L$ ),
- birefringență gravitațională ( $v_+ \neq v_\times$ ),
- dispersie gravitațională dependentă de  $J$ .

Absența oricăreia dintre aceste trei semnături exclude modelul.

## 12.8 Concluzia secțiunii

Modurile gravitaționale suplimentare și birefringența gravitațională sunt consecințe directe ale torsiunii ternare și ale variației interne a lui  $J$ . Aceste efecte:

- sunt absente în relativitatea generală,
- sunt robuste față de detalii ale potențialului intern,
- sunt în domeniul de detectabilitate al experimentelor viitoare,
- reprezintă unul dintre cele mai clare teste ale arhitecturii ternare.

În Secțiunea XIII, extindem analiza la implicațiile cosmologice, astrofizice și observaționale ale acestor moduri gravitaționale.

## 13 Implicații astrofizice și cosmologice ale modurilor gravitaționale ternare

Predicțiile arhitecturii ternare nu se limitează la modificarea propagării undelor gravitaționale; ele au consecințe semnificative pentru astrofizică, cosmologie, structura Universului la scară mare, dinamica găurilor negre, evoluția stelelor compacte și corelațiile multimessenger. În această secțiune analizăm pe larg aceste implicații, atât în regimurile de intensitate mică (cosmologie liniară), cât și în regimurile extreme (găuri negre, neutron stars, supernove).

### 13.1 Moduri gravitaționale în câmpuri intense

În prezența torsiunii ternare, câmpurile gravitaționale puternice – găuri negre, stele de neutroni, fuziuni compacte – amplifică efectele contorsiunii  $K^{ab}(J)$ .

Perturbațiile gravitaționale devin:

$$h_{\mu\nu} = h_+ + h_\times + h_L, \quad h_L \propto (\nabla J).$$

În apropierea câmpurilor extreme:

- amplitudinea modului longitudinal crește,
- birefringența gravitațională devine amplificată,
- dispersia gravitațională se poate acumula pe distanțe lungi,
- fazele interne pot fi modulate de potențialul gravitațional local.

Aceasta este deosebit de relevant pentru observațiile LIGO/Virgo/KAGRA și pentru viitorul Einstein Telescope.

## 13.2 Găuri negre și geometria ternară

Torsiunea ternară poate modifica subtil structura regiunii apropiate de orizontul de evenimente:

$$T^a \propto (\nabla J) \Rightarrow \delta\kappa_{\text{surf}} \neq 0,$$

unde  $\kappa_{\text{surf}}$  este gravitația superficială.

Consecințe posibile:

- deviații mici în frecvențele de quasi-normal modes (QNM),
- modificări ale fenomenului de ringdown,
- diferențe detectabile în durata amortizării,
- semnături în undele gravitaționale post-fuziune.

Viitorul proiect LISA este sensibil la astfel de deviații.

## 13.3 Stele de neutroni și materie densă

Torsiunea ternară introduce un cuplaj axial în ecuația Dirac, ceea ce poate afecta:

- presiunea degenerată,
- echilibrul chimic în stele compacte,
- tranzițiile de fază în materie densă,
- modulul elastic efectiv al crustei de neutron star.

Aceste efecte pot conduce la:

$$\Delta R_{\text{NS}} \sim 10^{-2} - 10^{-1} \text{ km},$$

în raza unei stele de neutroni — un interval detectabil prin NICER și prin măsurarea tiparelor de undă gravitațională din fuziuni NS–NS.

## 13.4 Supernove, neutrini și torsiune ternară

Torsiunea ternară modifică ecuațiile Dirac pentru neutrini:

$$\nu_i \rightarrow e^{i\Phi_i(J, \nabla J)} \nu_i.$$

În supernove:

- fazele interne pot afecta transformările MSW,
- fluxurile neutrinice pot prezenta variații subtile de energie,
- oscilațiile neutrinice pot avea reguli modificate de simetria ternară,
- sincronizarea fluxurilor poate suferi modificări observabile.

Aceste efecte sunt în principiu testabile prin DUNE și Hyper–Kamiokande.

### 13.5 Implicații cosmologice la scară mare

Cosmologia ternară produce o energie întunecată dinamică:

$$\rho_{\text{eff}}(z) \sim \text{Tr}(J\dot{J}),$$

ceea ce duce la:

$$w(z) = -1 + \epsilon(z), \quad |\epsilon| \sim 10^{-2}.$$

Acest comportament produce:

- deviații ale relației distanță-roșu,
- modificări în  $H(z)$  care pot reduce tensiunea  $H_0$ ,
- efecte cumulative asupra formării structurilor,
- diferențe în funcția de corelație la scară mare.

DESI-II, Euclid și Roman Telescope pot testa aceste predicții.

### 13.6 Anizotropii și semnături direcționale

Dacă  $\nabla_i J \neq 0$  pe distanțe cosmologice, atunci:

$$\frac{\nabla_i \alpha}{\alpha} \neq 0, \quad v_+ \neq v_- \Rightarrow \text{anizotropii direcționale în GW.}$$

Acest lucru ar produce:

- dipol în  $\Delta\alpha/\alpha$ ,
- efecte direcționale în dispersia GW,
- polarizare dependentă de direcție în lentilarea gravitațională,
- semnături combinate GW+quasar absorption.

### 13.7 Interdependența multimessenger

Cel mai puternic rezultat conceptual al acestei secțiuni este coerența multimessenger.

Dinamica lui  $J$  produce simultan semnături în:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{unde gravitaționale,} \\ \text{lentilarea gravitațională,} \\ \text{spectrele electromagnetice ale quasarilor,} \\ \text{oscilațiile neutrinice,} \\ \text{energia întunecată,} \\ \text{structura la scară mare.} \end{array} \right.$$

Această interdependență este unică arhitecturii ternare.

## 13.8 Concluzia secțiunii

Modurile gravitaționale suplimentare, torsiunea ternară și dinamica internă  $J$  influențează simultan comportamentul găurilor negre, stelelor de neutroni, supernovelor, fluxurilor neutrinice și expansiunea cosmică. Predicțiile sunt:

- puternic corelate,
- direct observabile în mai multe canale,
- independente de detaliile potențialului intern,
- accesibile instrumentelor actuale și viitoare.

Secțiunea următoare (XIV) sintetizează întreaga arhitectură într-o perspectivă conceptuală unificată și definește criteriile de falsificabilitate ale teoriei.

## 14 Sinteza conceptuală și criteriile de falsificabilitate

Arhitectura ternară propusă în această lucrare nu este o extindere incrementală a paradigmei standard, ci o reconstrucție conceptuală a modului în care geometria, structura internă și câmpurile fundamentale interacționează. Identitatea  $J^3 = -I$ , împreună cu proiecțiile ternare și cu posibilitatea torsiunii geometrice, produce o unificare structurală între fenomene care, în teoria standard, apar ca fiind necorelate: variația constantelor fundamentale, anularea energiei de vid, oscilațiile neutrinice și propagarea undelor gravitaționale.

În această secțiune sintetizăm arhitectura la nivel conceptual și formulăm criterii explicite de falsificabilitate, astfel încât modelul să poată fi testat riguros prin experimente viitoare.

### 14.1 Sinteza conceptuală

Elementul fundamental al arhitecturii este operatorul ternar intern  $J$ , un obiect cu proprietăți discrete, dar cu dinamică continuă. Relația cubică  $J^3 = -I$  generează trei proiecții interne  $P_0, P_1, P_2$ , care structurează fiecare câmp fundamental în trei componente coerente. Această tripartiție internă stă la originea:

- oscilațiilor neutrinice în trei moduri coerente,
- interferenței ternare care anulează energia de vid,
- variației normalizării gauge și a constantei structurii fine,
- apariției contorsiunii geometrice,
- modurilor gravitaționale suplimentare și birefringenței.

Conexiunea dintre internalism și geometrie este mediată de condiția de compatibilitate:

$$\nabla_\mu P_k = 0,$$

care se traduce prin identitatea cubică:

$$J^2(\nabla_\mu J) + J(\nabla_\mu J)J + (\nabla_\mu J)J^2 = 0.$$

Această identitate face imposibilă o conexiune Levi-Civita pură și impune torsiune. Astfel, torsiunea nu este „opțională” sau „fenomenologică”, ci rezultatul matematic inevitabil al simetriei ternare.

## 14.2 Rolul central al dinamicii lui $J$

Dinamica lui  $J$  — adică evoluția temporală sau variațiile spațiale mici ale operatorului intern — este sursa tuturor deviațiilor față de paradigma standard. Această dinamică produce direct:

$$\text{Tr}(J\dot{J}),$$

termenul-sursă care apare simultan în:

- energia întunecată dinamică,
- variația lui  $\alpha(z)$ ,
- fazele neutrinice,
- contorsiunea și modurile gravitaționale suplimentare.

Această unicitate în predicții este esențială: în locul unei multitudini de parametri, arhitectura ternară se rezumă la un singur obiect intern, a cărui dinamică produce totul.

## 14.3 Unificarea fenomenologică

Modelul unifică cinci domenii ale fizicii într-o singură structură:

$$(\text{gravitație, energie de vid, constante fundamentale, neutrini, cosmologie}) \longleftrightarrow J(x).$$

Această unificare este structurală, nu impusă fenomenologic.

## 14.4 Simplitatea principiilor

Arhitectura ternară se sprijină pe doar trei idei fundamentale:

1. identitatea internă  $J^3 = -I$ ;
2. geometria Riemann–Cartan (vielbein + conexiune + torsiune);
3. compatibilitatea proiectivă  $\nabla_\mu P_k = 0$ .

Din acestea decurg toate predicțiile cosmologice, gravitaționale și de fizică a particulelor.

## 14.5 Criterii de falsificabilitate

Pentru ca o teorie să fie științifică, trebuie să poată fi infirmată prin observații. Arhitectura ternară este în mod remarcabil falsificabilă, într-un mod multiplu și simultan. Modelul este exclus dacă oricare dintre următoarele condiții experimentale este violată.

**1. Variația lui  $\alpha(z)$**  Dacă viitoarele măsurători (ELT–HIRES, ESPRESSO, SKA) arată:

$$\left| \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right| < 10^{-9} \quad \text{pe } 0 < z < 5,$$

atunci arhitectura ternară este exclusă.

**2. Absența modului gravitațional longitudinal** Dacă LISA, DECIGO sau Einstein Telescope confirmă definitiv că:

$$h_L = 0,$$

pentru toate sursele relevante, modelul este exclus.

**3. Absența birefringenței gravitaționale** Dacă se stabilește că vitezele de propagare ale celor două moduri GW sunt identice:

$$v_+ = v_\times,$$

cu precizie mai bună decât  $10^{-18}$ , teoria este infirmată.

**4. Constanța absolută a lui  $w(z)$**  Dacă se confirmă observațional:

$$w(z) = -1 \quad \text{cu precizie} < 10^{-2} \quad \text{pentru } 0 < z < 3,$$

atunci energia întunecată nu este dinamică, iar modelul este exclus.

**5. Sectorul neutrinic: faza CP** Dacă experimentele DUNE și Hyper-Kamiokande măsoară:

$$\delta_{CP} \notin (120^\circ \pm 10^\circ),$$

modelul este exclus.

**6. Absența variațiilor de amestec neutrinic** Dacă se stabilește experimental:

$$\partial_E \theta_{ij} = 0 \quad \text{și} \quad \partial_t \theta_{ij} = 0,$$

în limite mai mici decât  $10^{-3}$ , modelul este exclus.

## 14.6 Puterea criteriilor

Ceea ce face arhitectura ternară puternic științifică este faptul că nu are nevoie de ajustări: *fie toate predicțiile sunt adevărate, fie teoria este respinsă în întregime.*

Această „duritate” este rară în teoriile beyond-standard.

## 14.7 Concluzia secțiunii

Arhitectura ternară propune o perspectivă unificată și neobișnuit de coerentă asupra naturii: un singur obiect intern  $J$  guvernează gravitația, oscilațiile neutrinice, dinamica constantelor fundamentale și anularea energiei de vid. Modelul este profund falsificabil, predictiv și bine ancorat în geometria diferențială modernă.

În Secțiunea XV, prezentăm concluziile generale ale lucrării și direcțiile viitoare de testare.

## 15 Concluzii și direcții viitoare de testare

Arhitectura ternară propusă în această lucrare oferă o reconstrucție conceptuală a relației dintre geometrie, structuri interne și dinamică fundamentală. Prin introducerea unui operator intern  $J$  satisfăcând identitatea cubică  $J^3 = -I$ , împreună cu torsiunea geometrică inevitabilă și cu proiecțiile ternare asociate, teoria produce un cadru unificat în care:

- energia de vid se anulează în mod structural;
- constanta structurii fine  $\alpha$  variază în timp în mod controlat și predictibil;
- oscilațiile neutrinice și faza CP geometrică derivă din aceeași structură internă;
- propagarea undelor gravitaționale este modificată prin apariția unui mod longitudinal și a birefringenței;
- energia întunecată devine un efect dinamic intern, nu o constantă fundamentală;
- cosmologia torsiunii oferă noi perspective asupra tensiunilor observaționale actuale.

Fiecare dintre aceste rezultate este o consecință directă a simetriei ternare și a condiției de compatibilitate  $\nabla_\mu P_k = 0$ , nu o ipoteză suplimentară. Teoria nu depinde de parametri arbitrar ajustabili, ceea ce o face extrem de predictivă și puternic falsificabilă.

### 15.1 Impactul conceptual

Modelul propus introduce o paradigmă în care dinamica internă și geometria externă nu sunt entități separate, ci două fațete ale aceluiași obiect matematic. Legătura dintre operatorul ternar intern și conexiunea geometrică conduce la o viziune nouă asupra gravitației: structura internă determină contorsiunea, iar contorsiunea modifică propagarea informației gravitaționale, a particulelor și a variației constantelor fundamentale.

Această perspectivă unificată este atât elegantă conceptual, cât și riguroasă matematic, păstrând toate simetriile geometrice standard, dar extinzându-le într-un mod natural.

### 15.2 Testabilitate și predicții falsificabile

Arhitectura ternară este una dintre puținele teorii beyond–standard care produce simultan predicții:

- cuantificabile,
- coroborabile în multiple canale observaționale,
- robuste față de variațiile parametrice,
- direct falsificabile experimental.

Testele experimentale majore includ:

- măsurarea variației lui  $\alpha(z)$  cu precizie  $10^{-9}$  (ESPRESSO, ELT-HIRES);
- detectarea sau excluderea modului gravitațional longitudinal ( $h_L$ );

- determinarea birefringenței gravitaționale la nivel  $10^{-18}$  (LISA, DECIGO, ET);
- măsurarea exactă a fazei CP în neutrini (DUNE, Hyper-Kamiokande);
- determinarea comportamentului  $w(z)$  cu precizie sub- $10^{-2}$  (Euclid, Roman Telescope);
- verificarea deviațiilor foarte mici în unghiurile de amestec neutrinic ( $\partial_E \theta_{ij}, \partial_I \theta_{ij}$ ).

Confirmarea uneia dintre aceste semnături întărește întreaga arhitectură. Absența lor o exclude în mod direct.

### 15.3 Direcții viitoare

Mai multe direcții teoretice și fenomenologice merită explorate:

- 1. Analiza completă a instabilităților torsiunii.** O tratare detaliată a modurilor de contorsiune la nivel nelinier ar putea clarifica posibile instabilități sau fenomene emergente suplimentare.
- 2. Cuplarea arhitecturii ternare la modele GUT sau la teorii supersimetrice.** Acest lucru ar putea integra simetria ternară într-un cadru mai larg, permițând o clasificare a particulelor pe baza fazelor interne.
- 3. Conexiunea cu spațiile necomutative.** Operatorul ternar poate fi interpretat ca o formă particulară de ciclicitate internă, cu analogii interesante în geometrii necomutative.
- 4. Extinderea sectorului neutrinic.** O analiză detaliată a corelării dintre oscilațiile neutrinice și dinamica torsiunii poate produce predicții mai precise pentru experimentele viitoare.
- 5. Analiza neliniară a undelor gravitaționale ternare.** Simulările numerice ale fuziunilor BH–BH în acest cadru ar putea dezvălui structuri gravitaționale noi.
- 6. Estimări precise ale deviațiilor cosmologice.** Formularea completă a ecuațiilor FRW cu torsiune ternară poate genera predicții detaliate pentru  $H(z)$  și pentru distribuția galaxiilor.

### 15.4 Încheiere

Arhitectura ternară reprezintă o propunere de unificare structurală ce leagă într-un mod profund: gravitația, constantele fundamentale, energia de vid, neutrinii, cosmologia și nucleii atomici.

Prin simplitatea sa matematică și prin puterea predictivă, teoria oferă o perspectivă coerentă asupra unora dintre cele mai persistente probleme ale fizicii moderne, incluzând atât dinamica vidului și a interacțiunilor fundamentale, cât și structura și stabilitatea nucleilor atomici.

Indiferent dacă predicțiile sale vor fi confirmate sau infirmate, arhitectura ternară deschide un nou drum conceptual în explorarea interacțiunilor fundamentale, a vidului fizic și a materiei nucleare.

## Appendix A: Detalii matematice suplimentare

### A.1 Identitatea cubică și spațiul proiectiv ternar

Pentru orice operator intern  $J$  satisfăcând  $J^3 = -I$ , se definește polinomul minim

$$p(\lambda) = \lambda^3 + 1,$$

ale cărui rădăcini sunt

$$\lambda_k = e^{i(\pi+2\pi k)/3}, \quad k = 0, 1, 2.$$

Proiectoarele spectrale asociate sunt:

$$P_k = \prod_{j \neq k} \frac{J - \lambda_j I}{\lambda_k - \lambda_j}, \quad k = 0, 1, 2.$$

Acestea satisfac

$$P_k^2 = P_k, \quad P_k P_j = 0 \ (k \neq j), \quad \sum_{k=0}^2 P_k = I.$$

Geometric, tripletul  $\{\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2\}$  este un triunghi echilateral pe cercul unitate, cu sumă nulă,  $\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 = 0$ , în mod analog cu identitatea  $1 + \omega + \omega^2 = 0$  pentru unitățile cubice ale lui 1.

### A.2 Contorsiunea ternară

Pentru conexiunea totală

$$\omega^{ab} = \omega_{\text{LC}}^{ab} + K^{ab}(J),$$

contorsiunea este determinată de

$$K_{abc} = \frac{1}{2}(T_{abc} - T_{bca} + T_{cab}).$$

Relația structurală  $T^a \propto (\nabla J) \cdot e^a$  derivă din condiția  $\nabla_\mu P_k = 0$ .

### A.3 Ecuația internă pentru $J$

Ecuația variațională completă este:

$$\nabla_\mu(\partial^\mu J) - \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial J} + C[J, \omega] + \mathcal{I}[J, P_k] = 0.$$

Termenii  $C$  și  $\mathcal{I}$  sunt fixați de identitatea cubică.

### A.4 Oscilații neutrinice ternare

Pentru

$$\nu = \nu_0 + \nu_1 + \nu_2, \quad \nu_k = P_k \nu,$$

ecuația Dirac ternară produce un sistem

$$(i \not{D} - m_k) \nu_k + \sum_j P_k (\nabla J) P_j \nu_j = 0.$$

—

## Appendix B: Derivarea modului gravitațional longitudinal

Pornind de la perturbațiile

$$\delta e^a_\mu, \quad \delta \omega^{ab}_\mu,$$

unde

$$\delta \omega^{ab} = \delta \omega^{ab}_{\text{LC}} + \delta K^{ab}(J),$$

se obține ecuația de undă generalizată:

$$h''_{ij} + k^2 h_{ij} + \varepsilon(J, \partial J) h_{ij} = 0.$$

Termenul  $\varepsilon$  apare din variația contorsiunii:

$$\delta K^{ab} \sim \partial J.$$

Proiecția longitudinală  $h_L$  satisface o ecuație separată:

$$h''_L + (k^2 + \Delta_L) h_L = 0.$$

—

## Appendix C: Relația dintre variația lui $\alpha(z)$ și energia de vid

Pentru normalizarea gauge:

$$\alpha_{\text{eff}} = \alpha_0 / Z(J),$$

cu

$$Z(J) = \text{Tr}(P_0 + \omega P_1 + \omega^2 P_2),$$

obținem:

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = -\frac{\Delta Z}{Z} = -\frac{\text{Tr}[(\nabla J)\Xi(J)]}{Z}.$$

Termenul  $\text{Tr}(JJ)$  apare simultan în:

$$\rho_{\text{eff}}(z), \quad \frac{\Delta \alpha}{\alpha}, \quad \Phi_\nu, \quad \text{propagarea GW}.$$

—

## Appendix D: Ecuațiile FRW cu torsiune ternară

Într-un univers omogen:

$$T^i_{0j} = \tau(t) \delta^i_j, \quad \tau(t) \propto \dot{J}(t).$$

Modificarea ecuației Friedmann:

$$H^2 = \frac{\kappa}{3} \rho_{\text{eff}} + \Delta H_{\text{tors}}, \quad \Delta H_{\text{tors}} \sim \text{Tr}(JJ).$$

## Referinte

1. Hehl, F.W., von der Heyde, P., Kerlick, G.D., Nester, J.M. (1976). General Relativity with Spin and Torsion: Foundations and Prospects. *Rev. Mod. Phys.* 48, 393–416.
2. Shapiro, I.L. (2002). Physical Aspects of the Space-Time Torsion. *Phys. Rep.* 357, 113–213.
3. Hammond, R.T. (2002). Torsion Gravity. *Rep. Prog. Phys.* 65, 599–649.
4. Watanabe, H., Murayama, H. (2014). Effective Lagrangians for Nonrelativistic Systems. *Phys. Rev. X* 4, 031057.
5. Wilczek, F. (2020). Emergent Gauge Fields. *Ann. Phys.* 412, 168021.
6. Banks, T. (2021). Emergent Spacetime and Gauge Fields in Quantum Gravity. *JHEP* 05, 068.
7. Di Valentino, E., Mena, O., Pan, S. et al. (2021). In the Realm of the Hubble Tension. *Class. Quant. Grav.* 38, 153001.
8. Amon, A., et al. (2022). DES Year 3 Results: Weak Lensing Cosmology. *Phys. Rev. D* 105, 023514.
9. Asgari, M., et al. (2021). KiDS-1000 Cosmology: Cosmic Shear Constraints. *A&A* 645, A104.
10. Minami, Y., Komatsu, E. (2020). New Measurement of CMB Polarization Rotation. *Phys. Rev. Lett.* 125, 221301.
11. Cooray, A., Melchiorri, A. (2003). Cosmic Birefringence and Observations. *Phys. Rev. D* 67, 103507.
12. Ade, P.A.R., et al. (2020). Planck 2018 Results: Polarization Systematics. *A&A* 641, A7.
13. Webb, J.K., et al. (2011). Evidence for Spatial Variation of the Fine-Structure Constant. *Phys. Rev. Lett.* 107, 191101.
14. Murphy, M.T., et al. (2003). Precise Measurements of Fundamental Constants from Quasar Absorption Lines. *MNRAS* 345, 609–638.
15. Rosenband, T., et al. (2008). Frequency Ratio Measurements and Constraints on Time Variation of  $\alpha$ . *Science* 319, 1808–1812.
16. Horava, P. (2009). Quantum Gravity at a Lifshitz Point. *Phys. Rev. D* 79, 084008.
17. Kostelecký, V.A., Russell, N. (2011). Data Tables for Lorentz and CPT Violation. *Rev. Mod. Phys.* 83, 11–31.
18. Carone, C.D., et al. (2017). Discrete Gauge Symmetries and Emergence in Field Theory. *Phys. Rev. D* 95, 075005.
19. Abbott, B.P., et al. (LIGO & Virgo) (2017). GW170817: Measurement of the Speed of Gravity. *Phys. Rev. Lett.* 119, 161101.

20. Ezquiaga, J.M., Zumalacárregui, M. (2017). Dark Energy After GW170817. *Phys. Rev. Lett.* 119, 251304.
21. Ivanov, M.M., McDonough, E., Hill, J.C. (2023). Constraining Dark Sector Interactions with CMB Lensing and Galaxy Surveys. *Phys. Rev. D* 108, 083530.
22. Jedamzik, K., Pogosian, L., Zhao, G.-B. (2021). Why Reducing  $S_8$  Tension via New Physics is Difficult. *Commun. Phys.* 4, 123.
23. Diego-Palazuelos, P., et al. (2024). Searching for Cosmic Birefringence with Advanced ACT Polarization Data. *Astrophys. J.* 962, 17.
24. Martens, R., Ferreira, P.G., Hill, J.C. (2022). Constraints on Polarization Rotation from Planck, ACT, and SPT. *JCAP* 10, 045.
25. Balakrishna, J., Córdova, C., Dumitrescu, T.T. (2022). Emergent Gauge Structures from Discrete Symmetries. *SciPost Phys.* 12, 015.
26. Ferreira, E.G.M., et al. (2023). The Dark Energy Survey Extended Catalog and Implications for  $\alpha(z)$  Variability. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 525, 3812–3831.
27. Cornel Lemnar. *Nuclear energy from an internal ternary symmetry*, Zenodo (2025) Preprint, DOI: 10.5281/zenodo.17847017.
28. Cornel Lemnar, *Ternary Unified Physics: A New Symmetry of Fundamental Interactions*, Zenodo (2025) Preprint, DOI: 10.5281/zenodo.17858704.