

Fotonul, Neutrinii și bosonul Higgs ca Structuri Emergente ale unei Simetrii Ternare a Vidului

Cornel Lemnaru

6 aprilie 2026

Rezumat

Modelul Standard și Relativitatea Generală utilizează un concept al vidului care combină un spațiu-timp continuu, lipsit de fazare internă, cu o structură cuantică construită peste acest fundal, fără a furniza o geometrie unificată pentru propagarea electromagnetică, generarea masei și fenomenologia neutrinică. În acest articol propunem o arhitectură ternară a vidului, în care trei operatori interni J , K , L acționează pe un spațiu Hilbert intern tridimensional și satisfac relația structurală cubică $J^3 = K^3 = L^3 = -I$. Această identitate nu reprezintă o extensie ad-hoc, ci un ansamblu geometric discret care organizează fotonul, modulul Higgs și tripletul neutrinic ca moduri emergente ale aceleiași dinamici interne.

Fotonul vizibil apare ca proiecția coerentă pe singura direcție internă stabilă a rotației generate de J , iar factorul geometric $Z(J)$ rescalând sectorul electromagnetic exprimă rigiditatea internă a vidului, determinând astfel variații efective ale constantei fine. În sectorul neutrinic, masa devine o deviație internă a relației $L^3 = -I + \delta h_L$, iar oscilațiile neutrinice sunt interpretate ca rotații interne induse de dinamica discretă a $L(x)$; torsiunea spațiu-timp apare natural din variațiile orientării interne. Sectorul Higgs este reinterpretat drept mod scalar invariant al deviațiilor interne asociate operatorului K , iar masa fermionilor derivă din curburile interne ale vidului, nu din parametri fenomenologici introduși manual.

Arhitectura ternară oferă o eliminare geometrică a singularităților cosmologice, interpretează găurile negre ca regiuni de rigidizare extremă a orientărilor interne și produce predicții observabile privind variația lui α , birefringența cosmică, oscilațiile neutrinice pe distanțe cosmologice și deviații subtile în sectorul Higgs. Rezultatul este un cadru minimal în care masa, lumina și torsiunea sunt manifestări ale aceleiași structuri interne discrete a vidului.

1 Introducere

Conceptul operativ al vidului utilizat concomitent în Modelul Standard al interacțiilor fundamentale și în Relativitatea Generală combină două idealizări incompatibile la nivel structural: (i) un spațiu-timp continuu, fără fazare internă, descris printr-o metrică clasică dinamică metrica clasică dinamică [1], și (ii) un vid cuantic construit peste acest fundal, în care excitațiile fundamentale sunt tratate drept entități elementare independente, fără o arhitectură geometrică internă comună [2, 3]. În această formulare, fotonul este generatorul unic al simetriei abeliene $U(1)$, bosonul Higgs reprezintă singurul scalar cu valoare de vid nenulă [4, 5], iar neutrinii

posedă mase extrem de mici ale căror mecanisme rămân externe modelului și necesită termeni Dirac sau Majorana suplimentari [6, 7, 8, 9].

Deși compatibile fenomenologic, cele două teorii nu oferă o descriere unificată a vidului: masa este atribuită unui potențial ales fenomenologic, torsiunea spațiu–timp este omisă sau tratată ca efect secundar [10], iar unicitatea propagării electromagnetice nu are o justificare geometrică internă. Din acest motiv, proprietăți centrale ale fizicii fundamentale—stabilitatea fotonului, originea masei scalarului Higgs, micimea masei neutrinilor, coerența oscilațiilor neutrinice și posibilele variații cosmice ale constantei fine—apar ca elemente dispartate, legate între ele doar fenomenologic.

Acest articol face parte dintr-un program foarte recent dedicat dezvoltării unui cadru de fizică ternară, în cadrul căruia au fost propuse formule nucleare derivate dintr-o simetrie ternară internă [46], împreună cu structura generală a unei fizici unificate bazate pe noua simetrie a interacțiunilor fundamentale [47], precum și extinderi către cosmologie, unde fotonul, neutrinii și bosonul Higgs emerg ca structuri ale unui vid ternar.

În această lucrare propunem o arhitectură unificată minimală a vidului, bazată pe existența unui spațiu Hilbert intern tridimensional $\mathcal{H}_{\text{int}} \simeq \mathbb{C}^3$, pe care acționează trei operatori interni J , K , L , fiecare satisfăcând relația structurală

$$J^3 = K^3 = L^3 = -I_3.$$

Această identitate cubică nu este introdusă ca extensie formală, ci ca expresie a unei geometrii interne discrete, cu trei orientări fundamentale care se transformă ciclic sub acțiunea rotației interne. Din această structură rezultă, în mod emergent, atât propagarea electromagnetică, cât și sectorul Higgs și fenomenologia neutrinilor.

Propunerea centrală a arhitecturii ternare este că vidul nu este un obiect inert, ci un mediu intern discret a cărui orientare determină proprietățile excitațiilor vizibile. Fotonul observabil este proiecția coerentă pe unica direcție internă stabilă a operatorului J ; modulul scalar Higgs este interpretat ca deviația internă invariantă a lui K ; iar neutrinii constituie tripletul complet al rotației generate de L , ceea ce conferă oscilațiilor lor o origine geometrică intrinsecă, independentă de amestecări impuse fenomenologic [6, 7].

Acest cadru permite o reinterpretare geometrică a elementelor fundamentale ale teoriei: constanta fină devine dependentă de rigiditatea internă $Z(J)$; masa neutrinilor este proporțională cu deviația internă δh_L a relației ternare; iar masa fermionilor în ansamblu derivă din curburile interne definite de K , fără utilizarea parametrilor Yukawa arbitrar impuși. Mai mult, torsiunea spațiu–timp apare natural din variațiile orientării interne $L(x)$, oferind o punte geometrică între fenomenologia neutrinilor și structura spațiu–timpului [11, 3].

În regim cosmologic, arhitectura ternară regularizează în mod natural singularitățile: tranziția internă a orientărilor J, K, L înlocuiește singularitatea Big Bang cu o fazare discretă, iar găurile negre sunt interpretate drept regiuni de rigidizare extremă a structurii interne, în acord cu indicii fenomenologici privind comportamentele neperturbative ale vidului [2, 12]. De asemenea, modelul produce predicții testabile privind variația efectivă a constantei fine [13, 14], birefringența cosmică indusă de rotații interne, deviații subtile în sectorul Higgs și modificări direcționale ale oscilațiilor neutrinice pe distanțe cosmologice [15, 16].

Lucrarea de față prezintă arhitectura ternară în forma sa completă, integrată conceptual și matematic în corpul textului, și dezvoltă implicațiile sale în sectoarele fonic, neutrinic, Higgs

și cosmologic, furnizând predicții direct testabile și o structură unificată în care masa, lumina și torsiunea sunt manifestări ale aceleiași geometrii interne discrete a vidului.

La nivel conceptual, întrebarea centrală abordată în această lucrare este dacă fotonul, bosonul Higgs și sectorul neutrinic pot fi înțelese ca moduri emergente ale unei singure geometrii interne discrete a vidului, mai degrabă decât ca ingrediente independente adăugate peste un fundal continuu de spațiu–timp. Mai concret, întrebăm dacă o simetrie internă ternară cu

$$J^3 = K^3 = L^3 = -I_3$$

poate explica simultan: (i) unicitatea și stabilitatea fotonului, (ii) originea scalarului Higgs și a maselor fermionilor și (iii) micimea maselor neutrinilor și structura oscilațiilor lor, producând în același timp semnături cosmologice testabile, precum variații ale constantei fine, birefringență cosmică și efecte neutrinice induse de torsiune.

1.1 Obiective și contribuții față de Modelul Standard

Arhitectura ternară propusă în această lucrare urmărește, în mod explicit, un set restrâns de obiective, formulate astfel încât să permită testarea directă a cadrului teoretic și compararea sa cu structura Modelului Standard și a Relativității Generale:

1. să furnizeze o descriere geometrică internă unificată a fotonului, bosonului Higgs și a neutrinilor, în care aceste sectoare nu sunt postulate separat, ci apar ca moduri emergente ale unei structuri discrete comune, definite de relațiile $J^3 = K^3 = L^3 = -I_3$;
2. să elimine necesitatea singularității cosmologice inițiale și a divergențelor asociate colapsului gravitațional, prin introducerea unei rigidități interne a vidului care limitează deviațiile posibile ale orientărilor J, K, L și înlocuiește punctele singulare cu tranziții de fază interne;
3. să genereze predicții falsificabile privind variația efectivă a constantei fine, birefringența cosmică, oscilațiile neutrinice în prezența torsiunii spațiu–timp, deviațiile în sectorul Higgs și efectele de interferență fonică, astfel încât arhitectura propusă să poată fi testată sistematic în regim de laborator, astrofizic și cosmologic.

În raport cu Modelul Standard și Relativitatea Generală, contribuțiile specifice ale arhitecturii ternare pot fi sintetizate după cum urmează:

- vidul nu mai este tratat ca fundal inert sau ca stare cuantică definită prin absența excitațiilor, ci ca mediu intern discret, caracterizat de rotații ternare ale operatorilor J, K, L , ale căror orientări determină propagarea electromagnetică, structura masei și fenomenologia neutrinică;
- fotonul încetează să fie un generator al grupului abelian $U(1)$ introdus prin postulat, devenind modulul stabil al operatorului intern J ; unicitatea sa și absența fotonilor „întunecați” sunt consecințe geometrice, nu ipoteze fenomenologice;
- bosonul Higgs nu mai este un scalar fundamental cu potențial ales ad-hoc, ci modul invariant al deviațiilor interne ale operatorului K ; potențialul său efectiv este determinat de rigiditatea internă a vidului, iar masele fermionilor reflectă curbura internă, în locul unei liste de constante Yukawa fără origine geometrică;

- neutrinii nu necesită introducerea unei scheme Seesaw sau a unor fermioni Majorana grei: masele lor emerg din deviația ternară $L^3 = -I_3 + \delta h_L$, iar oscilațiile sunt interpretate ca rotații interne ale tripletului neutrinic, sensibil la torsiunea spațiu–timp;
- singularitățile cosmologice și cele asociate găurilor negre sunt înlocuite cu regimuri de fază internă în care deviațiile $\delta J, \delta K, \delta L$ ating o limită critică, dar rămân finite, ceea ce sugerează că divergențele clasice provin din ignorarea structurii interne a vidului;
- predicțiile privind variația lui α , birefringența cosmică, deviațiile neutrinice la energii ultra-înalte, modificările auto-cuplatului Higgs și asimetriile interferenței Hong–Ou–Mandel sunt legate prin aceeași structură geometrică internă și conduc la un grad ridicat de falsificabilitate a modelului.

În acest sens, arhitectura ternară nu extinde Modelul Standard prin introducerea unor câmpuri sau simetrii suplimentare, ci îi oferă un substrat geometric intern în care fotonul, Higgs-ul și neutrinii sunt aspecte ale aceleiași structuri discrete a vidului, iar gravitația este complementată de torsiune emergentă asociată variațiilor interne ale operatorilor J, K, L .

1.2 Rezumatul principalelor rezultate

Pentru claritate, rezumăm aici principalele rezultate stabilite în prezenta lucrare:

1. Construim o arhitectură internă ternară a vidului, definită de trei operatori J, K, L care acționează pe un spațiu Hilbert intern $\mathcal{H}_{\text{int}} \simeq \mathbb{C}^3$ și satisfac relațiile ternare $J^3 = K^3 = L^3 = -I_3$, și arătăm că această geometrie internă discretă susține un mod fonic stabil unic, un mod Higgs scalar și un triplet de neutrini ca excitații emergente.
2. Reinterpretăm fotonul observabil ca proiecția coerentă unică pe direcția internă stabilă selectată de J , derivăm o acțiune electromagnetică efectivă cu un factor de rigiditate geometrică $Z(J)$, și obținem o constantă de structură fină dependentă de poziție $\alpha_{\text{eff}} = \alpha_0/Z(J(x))$, conducând la variații cosmologice mici, dar nenule, ale lui α și la birefringență cosmică indusă de vid.
3. Derivăm masele neutrinilor ca proporționale cu deviația ternară δh_L din relația $L^3 = -I_3 + \delta h_L$, arătăm că distincția standard Dirac/Majorana devine geometric irelevantă, și interpretăm oscilațiile neutrinilor ca rotații interne generate de $L(x)$, cuplate în mod natural la un câmp de torsiune emergent $S_\mu \sim \text{Tr}(L^{-1}\partial_\mu L)$.
4. Identificăm modul Higgs vizibil ca deviația scalară invariantă asociată operatorului K , obținem un potențial scalar efectiv determinat de rigiditatea internă mai degrabă decât de o formă *ad hoc* de tip pălărie mexicană, și exprimăm masele fermionilor ca $m_f(x) = y_f Z_H(K(x))$, înlocuind astfel lista de cuplaje Yukawa arbitrare cu proiecții geometrice în spațiul intern.
5. Oferim predicții cantitative și praguri de excludere pentru un set corelat de observabile — variația cosmologică a lui α , birefringența cosmică, deviații induse de torsiune în oscilațiile neutrinilor de ultra-înaltă energie, modificări ale auto-cuplării Higgs și mici asimetrii în interferența Hong–Ou–Mandel — și arătăm cum neobservarea lor simultană sub anumite niveluri ar falsifica arhitectura ternară în forma sa prezentă.

Domeniul de aplicare al formalismului. Cadrul matematic adoptat în această lucrare este intenționat minimal: scopul nostru este să evidențiem mecanismul structural care leagă geometria internă ternară a vidului de fenomenele observabile, mai degrabă decât să dezvoltăm cea mai generală completare algebrică a construcției. Formulări mai elaborate sunt cu siguranță posibile, dar ele nu ar modifica conținutul fizic relevant pentru falsificabilitate, pentru comparația cu Modelul Standard și pentru confruntarea arhitecturii ternare cu datele.

2 Arhitectura internă ternară a vidului

Fundamentul construcției îl reprezintă ipoteza că vidul posedă o geometrie internă discretă, neasimilabilă nici unei simetrii gauge continue și neechivalentă cu o structură suplimentară de tip supersimetric sau extra-dimensional. Această geometrie este descrisă printr-un spațiu Hilbert intern tridimensional,

$$\mathcal{H}_{\text{int}} \simeq \mathbb{C}^3, \quad (1)$$

pe care acționează trei operatori interni J , K , L , asociați sectoarelor fonic, scalar și neutrinic. Acești operatori satisfac identitatea structurală comună

$$J^3 = K^3 = L^3 = -I_3, \quad (2)$$

care definește o rotație internă de ordin trei, cu revenire la aceeași orientare până la un semn global. Această identitate cubică nu este o proprietate algebrică izolată, ci expresia geometrică a unei fazări discrete a vidului, analogă unor structuri de tip clock-shift, dar cu proprietăți fizice distincte de cele ale grupurilor ciclice standard [17, 18, 19].

În tot ceea ce urmează, prin *rotație internă* vom înțelege tocmai această acțiune ternară unitară a operatorilor J , K , L pe spațiul Hilbert intern $\mathcal{H}_{\text{int}}$. Sectorul fonic corespunde rotației interne generate de J , sectorul neutrinic rotației interne generate de $L(x)$, iar sectorul scalar rotației interne generate de $K(x)$, toate trei fiind manifestări ale aceleiași simetrii cubice $J^3 = K^3 = L^3 = -I_3$.

2.1 Reprezentarea operatorilor interni

Fără a pierde generalitate, putem adopta o reprezentare explicită pentru operatorul J ,

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

care satisface imediat relația (2). Formele pentru K și L sunt izomorfe structural cu (3), acționând însă pe sectoarele interne asociate deviațiilor scalare, respectiv rotației neutrinice. Ele NU sunt identice fizic, deoarece definirea lor include o selecție internă a direcțiilor stabilă, semistabilă și instabilă, distinctă pentru fiecare sector, însă toate preservă ciclicitatea fundamentală impusă de (2).

Faptul că toți cei trei operatori împărtășesc aceeași structură cubică indică existența unei simetrii interne unificate, dar nereducibile la o simetrie gauge. În mod esențial, relația (2) conferă vidului caracterul unui mediu intern a cărui dinamică este definită prin rotații discrete ale orientării interne, din care numai anumite direcții pot susține propagarea coerentă în spațiu-timp.

2.2 Structura eigenstărilor și selecția modurilor fizice

Pentru operatorul J , spectrul complex $\{1, \omega, \omega^2\}$, cu $\omega = e^{2\pi i/3}$, nu se interpretează în cheie spectrală standard, deoarece relația ternară introduce ciclicitate cu revenire semnalată prin minus. De aceea, ceea ce devine relevant fizic nu este spectrul în sine, ci **stabilitatea internă** a direcțiilor sub iterații ale lui J .

Se definește astfel o direcție stabilă $|\chi_{\text{st}}\rangle$ care satisface

$$J|\chi_{\text{st}}\rangle = -|\chi_{\text{st}}\rangle, \quad (4)$$

și două direcții instabile $|\chi_{u,1}\rangle, |\chi_{u,2}\rangle$, care sunt ciclic permutaționale. Propagarea coerentă a unei excitații interne este posibilă exclusiv pe direcția (4). Aceasta este origine geometrică a unicității fotonului și a absenței unor sectoare electromagnetice întunecate independente, în contrast cu unele propuneri cu fotoni „dark” [20, 21].

În mod analog, operatorii K și L posedă structuri distincte de stabilitate internă: K admite o deviație scalară invariantă, iar L lasă trei direcții active, corespunzătoare tripletului neutrinic. Astfel, cele trei sectoare fundamentale ale fizicii — lumina, masa scalară și neutrinii — nu sunt independente, ci trei expresii ale aceleiași geometrii interne discrete.

2.3 Dinamică internă și câmpuri efective

Rotațiile interne devin câmpuri pe spațiu–timp atunci când operatorii J, K, L sunt promovați la configurații dependente de poziție:

$$J(x), \quad K(x), \quad L(x) : M \rightarrow \text{End}(\mathcal{H}_{\text{int}}), \quad (5)$$

unde M este spațiul-timp macroscopic. Dinamica internă este caracterizată prin deviații lente $\delta J(x), \delta K(x), \delta L(x)$ ale orientării interne în regim continuu.

Aceste deviații nu produc simetrii gauge suplimentare, ci se manifestă prin rescalări ale interacțiilor existente, apariția unor termeni de torsiune și modificări subtile ale sectorului scalar. De exemplu, în sectorul fonic, factorul $Z(J(x))$ care însoțește termenul $F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$ reflectă rigiditatea geometrică internă a vidului și conduce la variații efective ale constantei fine. În sectorul neutrinic, deviația δh_L definind abaterea de la relația ternară generează mase extrem de mici, în timp ce în sectorul scalar, deviațiile lui $K(x)$ produc un mod invariant care se identifică cu bosonul Higgs observabil.

Astfel, arhitectura internă ternară oferă o structură geometrică unificată, din care cele trei sectoare fundamentale ale fizicii rezultă ca moduri emergente ale aceleiași dinamici discrete a vidului.

3 Sectorul fonic: modulul stabil și geometria internă a propagării

În arhitectura ternară, propagarea electromagnetică nu este rezultatul unei simetrii gauge abeliene postulate, ci consecința faptului că operatorul intern J admite o direcție stabilă de rotație, potrivit relației

$$J|\chi_{\text{st}}\rangle = -|\chi_{\text{st}}\rangle, \quad (6)$$

ceea ce permite existența unei excitații coerente în spațiu–timp. Această proprietate geometrică internă înlocuiește interpretarea convențională a fotonului ca generator ireductibil al grupului abelian $U(1)$, oferind o explicație structurală pentru absența unor moduri electromagnetice suplimentare sau „întunecate”, în contrast cu extensii de tip hidden photon [21, 20].

În acest cadru, sectorul fonic este descris de un spațiu Hilbert intern tridimensional $\mathcal{H}_{\text{int}}^{(J)} \simeq \mathbb{C}^3$, pe care operatorul J acționează ciclic. Cele trei direcții interne pot fi grupate într-un triplet $\{|\chi_{\text{st}}\rangle, |\chi_{u,1}\rangle, |\chi_{u,2}\rangle\}$, în care $|\chi_{\text{st}}\rangle$ este singura direcție stabilă, satisfăcând exact relația (6), în timp ce $|\chi_{u,1}\rangle$ și $|\chi_{u,2}\rangle$ sunt direcții instabile, permutate ciclic de J . Fotonul observabil este identificat cu excitația coerentă proiectată pe $|\chi_{\text{st}}\rangle$; unicitatea sa reflectă faptul că numai această direcție internă poate susține propagare coerentă la scară macroscopică, în timp ce celelalte două componente ale tripletului se decoherează prin ciclicitatea rotației interne.

3.1 Proiecția internă și câmpul electromagnetic efectiv

Pentru un câmp intern vectorial $A_\mu(x) \in \text{End}(\mathcal{H}_{\text{int}})$, se definește proiecția fizică pe direcția stabilă prin

$$A_\mu^{\text{EM}}(x) = \langle \chi_{\text{st}}(J(x)) | A_\mu(x) | \chi_{\text{st}}(J(x)) \rangle. \quad (7)$$

Acest câmp reprezintă singura combinație internă capabilă să susțină propagarea coerentă. Obiectele $A_\mu^{(1)}, A_\mu^{(2)}$ corespunzătoare direcțiilor instabile se decuplează la scară macroscopică datorită ciclicității lor interne, ceea ce conferă fotonului vizibil unicitatea observată.

Acțiunea electromagnetică efectivă rezultă din proiecția (7) aplicată structurii interne, conducând la

$$S_{\text{EM}} = -\frac{1}{4} \int d^4x Z(J(x)) F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}, \quad (8)$$

unde $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu^{\text{EM}} - \partial_\nu A_\mu^{\text{EM}}$ și unde factorul $Z(J)$ reflectă rigiditatea geometrică internă a vidului. Această rescalare nu este un artefact tehnic, ci o proprietate geometrică: variațiile lente ale orientării interne modifică amplitudinea efectivă a excitațiilor electromagnetice, ceea ce se traduce în variații ale constantei fine.

3.1.1 Moduri fotonice întunecate

Structura ternară a operatorului J implică, pe lângă modulul stabil $|\chi_{\text{st}}\rangle$, existența a două direcții interne ortogonale, $|\chi_{D1}\rangle$ și $|\chi_{D2}\rangle$, definite astfel încât $\langle \chi_{\text{st}} | \chi_{Di} \rangle = 0$ și $\langle \chi_{D1} | \chi_{D2} \rangle = 0$. Acțiunea lui J nu lasă aceste direcții invariabile, ci le permută ciclic, $J : |\chi_{D1}\rangle \mapsto |\chi_{D2}\rangle \mapsto -|\chi_{D1}\rangle$, astfel încât iterațiile interne generează o oscilație pur internă, fără proiecție coerentă în spațiu–timp.

Pentru un câmp intern vectorial $A_\mu(x) \in \text{End}(\mathcal{H}_{\text{int}}^{(J)})$, componentele corespunzătoare acestor direcții, $A_\mu^{D1}(x) \sim \langle \chi_{D1} | A_\mu(x) | \chi_{D1} \rangle$ și $A_\mu^{D2}(x) \sim \langle \chi_{D2} | A_\mu(x) | \chi_{D2} \rangle$, se amestecă sub acțiunea lui J astfel încât, după mediere pe scale mai mari decât pasul rotației interne, contribuția lor la propagarea macroscopică este suprimată. În practică, doar combinația proiectată pe direcția stabilă $|\chi_{\text{st}}\rangle$ supraviețuiește ca mod electromagnetic coerent.

Modurile $|\chi_{D1}\rangle$ și $|\chi_{D2}\rangle$ pot fi interpretate drept *moduri fotonice întunecate*: excitații interne ale aceluiași sector fonic, care nu se cuplează la sarcina electrică printr-un câmp electromagnetic coerent și nu definesc un sector gauge suplimentar la scară fenomenologică. Absența fotonilor întunecați propagante nu este, astfel, un postulat fenomenologic, ci o consecință geometrică a ciclicității ternare a operatorului J .

Instabilitate internă versus întunecare geometrică. Direcțiile instabile generate de ciclicitatea internă a lui J nu pot susține propagare coerentă în spațiul-timp: iterarea lor produce o permutare internă care distruge orice fazare longitudinală. Aceste direcții sunt astfel “întunecate” în sens geometric, nu din cauza unui mecanism de ecranare, ci deoarece nu admit nici un câmp A_μ care să rămână coerent sub proiecția pe $|\chi_{\text{st}}\rangle$. Prin urmare, instabilitatea internă și întunecarea fonică sunt manifestări ale aceleiași structuri ciclice, dar nu sunt sinonime: instabilitatea este proprietatea dinamică, întunecarea este consecința ei la nivelul propagării.

3.2 Rigiditatea internă și constanta fină efectivă

Dinamica internă a lui $J(x)$ este caracterizată de deviații lente $\delta J(x) = J(x) - J_0$, unde J_0 reprezintă orientarea internă omogenă a vidului. În regim cu variații adiabate se obține expansiunea

$$Z(J) = 1 + c_2 \text{Tr}[(\delta J)^2] + c_3 \text{Tr}[(\delta J)^3] + \dots, \quad (9)$$

în care coeficienții c_n depind de structura internă a lui J și de normalizările algebrice ale spațiului intern. Termenul liniar lipsește prin simetrie, iar termenul de ordin doi constituie contribuția dominantă în regimul cosmologic sau în zone cu variații interne slabe.

În termeni interni, factorul $Z(J(x))$ poate fi privit ca măsură a eficienței proiecției câmpului intern $A_\mu(x)$ pe direcția stabilă $|\chi_{\text{st}}(J(x))\rangle$. Când orientarea lui $J(x)$ variază lent, vectorul propriu stabil $|\chi_{\text{st}}(J(x))\rangle$ se rotește în $\mathcal{H}_{\text{int}}^{(J)}$, iar norma proiecției $A_\mu^{\text{EM}}(x) = \langle \chi_{\text{st}}(J(x)) | A_\mu(x) | \chi_{\text{st}}(J(x)) \rangle$ se modifică corespunzător. Coeficientul efectiv din fața termenului $F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$ este tocmai acest factor de suprapunere, codificat la nivel macroscopic în $Z(J(x))$. Din acest punct de vedere, $Z(J)$ joacă rolul unei „tensiuni interne” a vidului: schimbarea orientării lui $J(x)$ nu modifică natura modului fonic, dar îi rescalează rigiditatea internă și, prin aceasta, valoarea efectivă a constantei fine $\alpha_{\text{eff}}(x)$.

Constanta fină efectivă rezultă din (8) sub forma

$$\alpha_{\text{eff}}(x) = \frac{\alpha_0}{Z(J(x))}, \quad (10)$$

ceea ce conferă variațiilor lui α o origine geometrică internă, independentă de variații ale sarcinii electronului sau de mecanisme scalar-compozite. Rezultatul este în acord cu tendințe observaționale care sugerează variații slabe ale constantei fine la scări cosmologice [22, 23], deși acestea rămân încă sub dezbatere.

3.3 Geometria internă și propagarea coerentă

Interpretarea relației (6) este aceea că propagarea electromagnetică reprezintă o „desfășurare” lentă a rotației interne discrete, proces în care direcția stabilă $|\chi_{\text{st}}\rangle$ singularizează o proiecție ce poate rămâne coerentă la scări macroscopice. Această proprietate se manifestă în mod particular în Fenomenul Hong–Ou–Mandel, unde interferența fotonilor sensibili la proiecția internă permite identificarea deviațiilor fine ale structurii $Z(J)$ și ale rigidității interne [24, 25].

În acest cadru, interferența Hong–Ou–Mandel devine o sondă directă a stabilității proiecției interne pe direcția $|\chi_{\text{st}}\rangle$, deoarece orice deviație mică a acestei proiecții modifică vizibilitatea interferenței. Astfel, efectele HOM sunt sensibilizate la structura internă a vidului, chiar dacă amplitudinile lor sunt extrem de mici.

3.4 Absența modurilor electromagnetice întunecate

În mod obișnuit, extinderea sectorului fonic prin introducerea unor bosoni suplimentari de spin 1 necesită o simetrie gauge independentă sau un mecanism de amestecare cinetică [20]. Arhitectura ternară exclude natural această posibilitate: direcțiile instabile ale lui J se permută ciclic și nu pot susține propagare coerentă într-un spațiu-timp continuu. Astfel, inexistența fotonilor „întunecați” nu este o asumare fenomenologică, ci un rezultat geometric al relației (2).

Sectorul fonic al arhitecturii ternare nu este un element adăugat, ci expresia minimală a faptului că vidul posedă o structură discretă cu o unică direcție internă stabilă. Această proprietate stă la baza unicității luminii, a variațiilor potențiale ale constantei fine și a rigidității interne care va reapărea, într-o formă diferită, în sectoarele neutrinic și scalar.

În această interpretare, simetria electromagnetică $U(1)$ nu este introdusă prin postulat ca grup gauge fundamental, ci apare ca simetrie emergentă a modului intern stabil $|\chi_{st}\rangle$. Dinamica efectivă a fotonului este guvernată de transformări de fază ale excitațiilor proiectate pe această singură direcție internă, iar grupul de faze care lasă invariantă structura internă a proiecției este tocmai $U(1)$. Astfel, Maxwell- $U(1)$ reprezintă descrierea continuă la scară mare a unui singur mod coerent selectat geometric de relația ternară $J^3 = -I_3$, în timp ce celelalte două direcții ale tripletului fonic rămân nepropagante și întunecate la scară macroscopică.

Unicitatea geometrică a simetriei $U(1)$ emergente. Faptul că doar o singură direcție internă a lui J este stabilă implică existența unei singure faze continue coerente care poate fi extinsă la o simetrie abeliană. Celelalte două direcții interne sunt ciclice și nu admit o fază continuă independentă; în consecință, nu pot genera grupuri $U(1)'$ suplimentare. Simetria electromagnetismului este, astfel, singura simetrie continuă emergentă permisă de geometria internă ternară.

4 Sectorul neutrinic: deviația ternară, masa emergentă și torsiunea spațiu-timp

În arhitectura internă ternară, neutrinii nu sunt tratați drept fermioni ușori a căror masă necesită introducerea unor mecanisme suplimentare (Dirac, Majorana, Seesaw) [26, 27, 28, 29], ci drept excitații ale rotației interne generate de operatorul L . Această perspectivă decuplează masa neutrinelor de originile sale fenomenologice tradiționale și o reatașează direct geometriei interne a vidului. Relația fundamentală

$$L^3 = -I_3 \quad (11)$$

nu se menține identic în prezența deviațiilor interne ale vidului, astfel încât dinamica reală este caracterizată prin

$$L^3 = -I_3 + \delta h_L, \quad (12)$$

unde δh_L măsoară imperfecțiunea ordinii interne. Această deviație este sursa masei neutrinelor și constituie elementul geometric primar al sectorului neutrinic.

4.1 Originea geometrică a masei neutrinelor

Deviația ternară ca mărime geometrică. În arhitectura ternară, δh_L nu reprezintă un parametru suplimentar introdus fenomenologic, ci deviația geometrică minimă permisă a relației

$L^3 = -I_3$. Această abatere măsoară exact cât de „imperfect” este vidul în sectorul L și stabilește scara masei neutrinice. Magnitudinea extrem de mică a lui δh_L exprimă faptul că vidul este aproape perfect ordonat în sectorul neutrinic, iar masa rezultă direct din această imperfecțiune internă, nu dintr-un cuplaj extern.

Termenul de masă neutrinică nu este introdus manual, ci rezultă din acțiunea internă a lui L , care induce cuplajul

$$\mathcal{L}_{\nu, \text{mass}} = -m_* \bar{\Psi}_\nu L \Psi_\nu, \quad (13)$$

unde m_* reprezintă scala internă a sectorului ternar. Din (12), diagonalizarea lui L conduce la mase efective

$$m_{\nu i} \simeq \kappa_i \delta h_L, \quad (14)$$

unde coeficienții κ_i depind de normalizările interne și de structura algebrică a operatorului L . Micimea maselor neutrinilor nu reflectă o ierarhie accidentală a parametrilor Yukawa, ci faptul că δh_L este o abatere mică a relației ternare (11), indicând că vidul este aproape perfect ordonat în sectorul neutrinic.

Această interpretare elimină necesitatea unei scheme Seesaw sau a unor grade de libertate suplimentare de tip heavy Majorana, oferind o explicație geometrică minimală pentru scara redusă a maselor neutrinilor.

Spre deosebire de sectorul fonic sau scalar, operatorul L nu admite o direcție stabilă în spațiul intern. Din acest motiv, oscilațiile neutrinice nu sunt proiecții pe moduri stabile, ci rotații ciclice între cele trei direcții interne ale tripletului, fără un mod coerent preferențial.

4.2 Tripletul neutrinic și dispariția distincției Dirac–Majorana

Dispariția distincției Dirac–Majorana. Rotația internă generată de L amestecă în mod ciclic cele trei orientări ale tripletului, ceea ce face imposibilă definirea unui număr leptonic conservat. În consecință, noțiunea standard de particulă versus antiparticulă nu se poate menține în mod coerent. Acesta este motivul geometric pentru care separarea Dirac/Majorana devine irelevantă: fiecare componentă a tripletului este transformată în celelalte prin acțiunea lui L , iar identitatea neutrino este atribuită modului ternar unitar, nu unui grad de libertate global conservat.

În arhitectura ternară, neutrinii nu reprezintă trei particule distincte în sensul teoriei câmpurilor, ci cele trei orientări interne ale aceluiași obiect geometric, descris de tripletul

$$\Psi_\nu = \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}, \quad L \Psi_\nu = \omega \Psi_\nu, \quad (15)$$

unde $\omega = \exp(2\pi i/3)$ este rădăcina cubică a unității asociată rotației interne generate de operatorul L . Relația ternară fundamentală $L^3 = -I_3$ impune faptul că neutrino nu poate fi caracterizat de o încărcătură globală conservată (precum numărul leptonic în formulările standard), deoarece acțiunea ciclică a lui L transformă componentele ν_1, ν_2, ν_3 una în cealaltă.

Această structură geometrică elimină distincția tradițională dintre neutrinii Dirac și Majorana. În particular:

- nu există o separare naturală între modurile particulă și antiparticulă pentru Ψ_ν , deoarece rotația internă generată de L amestecă aceste componente într-un mod incompatibil cu o defalcare Dirac/Majorana;

- masa neutrinică este determinată de deviația ternară δh_L și nu de un termen Majorana sau de un cuplaj Dirac la Higgs;
- chiralitatea neutrino nu este un input fenomenologic, ci rezultatul proiecției tripletului intern pe direcția coerentă selectată de deviațiile locale ale lui $L(x)$.

Neutrini devin, astfel, manifestările interne ale unei singure entități geometrice care se rotesc în spațiul ternar, iar ceea ce se observă ca „trei tipuri de neutrini” sunt direcții interne ale aceluiași mod fundamental.

4.3 Diferențe fundamentale față de Modelul Standard (sectorul neutrinic)

Formularea ternară se diferențiază de Modelul Standard nu prin introducerea unor grade de libertate suplimentare, ci printr-o reinterpretare geometrică profundă a sectorului neutrinic. Cele mai importante diferențe conceptuale sunt:

- **Originea masei neutrinelor.** În Modelul Standard extins, masele neutrinelor necesită mecanisme suplimentare (Dirac sau Majorana) și introduc fermioni grei sau termeni Majorana. În arhitectura ternară, masa este o deviație internă a relației $L^3 = -I_3 + \delta h_L$, fără a introduce câmpuri suplimentare sau scale noi.
- **Absența distincției Dirac/Majorana.** Datorită ciclicității interne generate de L , neutrinii nu pot fi împărțiți în mod natural în tipuri Dirac sau Majorana. Identitatea lor geometrică — și nu o încărcătură leptonică — determină dinamica observabilă.
- **Oscilațiile ca rotații interne.** În Modelul Standard, oscilațiile sunt parametrizate prin matricea PMNS, un obiect fenomenologic fără origine geometrică [2]. În arhitectura ternară, oscilațiile sunt rotații interne ale operatorului $L(x)$, iar matricea PMNS apare ca aproximare efectivă a acestor rotații în regimurile în care variațiile lui $L(x)$ sunt lente.
- **Sensibilitatea neutrino la torsiunea spațiu-timp.** Modelul Standard nu prevede un cuplaj neutrinic la torsiune. Arhitectura ternară implică în mod natural termenul $\bar{\Psi}_\nu \gamma^\mu \gamma^5 \Psi_\nu S_\mu$, cu $S_\mu \sim \text{Tr}(L^{-1} \partial_\mu L)$, ceea ce conduce la deviații caracteristice ale oscilațiilor pe distanțe cosmice.
- **Interpretarea „tripletului de masă” neutrinic.** Ierarhia maselor neutrinelor nu mai reflectă cuplaje Yukawa arbitrare, ci topologia deviațiilor interne δh_L și rigiditatea sectorului ternar. Diferențele de fază observate experimental sunt proiecții ale aceleiași dinamici interne.

Aceste diferențe nu reprezintă extensii artificiale ale Modelului Standard, ci consecințe ale introducerii unei structuri interne discrete a vidului, în care neutrinii joacă rolul unei sonde privilegiate a variațiilor lui $L(x)$ și a torsiunii emergente.

4.4 Oscilațiile neutrinice ca rotații interne

În locul unei matrice fenomenologice PMNS [6, 7], oscilațiile neutrinice rezultă din rotația internă generată de $L(x)$. Evoluția de fază este dată de

$$\Psi_\nu(x) \rightarrow \exp[L(x)] \Psi_\nu(x), \quad (16)$$

ceea ce produce oscilații între cele trei orientări interne ale tripletului neutrinic. Diferențele de masă din (14) se traduc în acumulări diferențiale de fază, iar variațiile orientării interne $L(x)$ introduc termeni suplimentari care duc la deviații de la oscilațiile standard în regimuri cosmologice, inclusiv modulații direcționale ale fazei.

Această interpretare geometrică conferă natură tridimensională spațiului intern neutrinic și evită presupunerea implicită a unei matrice PMNS postulate fenomenologic. Oscilațiile sunt o manifestare directă a dinamicii interne a vidului.

Implicații experimentale directe. În regimul în care variațiile lui $L(x)$ sunt lente, rotația internă produce matricea PMNS observată, ca aproximare adiabatică. În schimb, pe distanțe cosmice sau în regiuni cu torsiune internă semnificativă, faza neutrinică devine direcțională, iar probabilitățile de oscilație prezintă deviații care nu pot fi replicate într-un cadru pur PMNS. Această sensibilitate la orientarea internă transformă neutrinii în sonde directe ale variațiilor lente ale vidului ternar.

4.5 Torsiunea spațiu–timp ca variație internă a lui $L(x)$

În cadrul geometriei Riemann–Cartan, torsiunea este asociată cu gradele de libertate răsucite ale conexiunii [11, 3, 1]. Arhitectura ternară furnizează o identificare naturală: variațiile orientării interne $\partial_\mu L(x)$ introduc un termen axial de forma

$$\mathcal{L}_{\text{tors}} = \bar{\Psi}_\nu \gamma^\mu \gamma^5 \Psi_\nu S_\mu, \quad (17)$$

unde vectorul de torsiune este

$$S_\mu \sim \text{Tr}[L^{-1} \partial_\mu L]. \quad (18)$$

Astfel, torsiunea spațiu–timp nu este un ingredient extern, ci o proiecție geometrică a dinamicii interne a operatorului L . Neutrinii devin detectoare sensibile ale acestei structuri, iar oscilațiile lor pot fi modificate în prezența unor câmpuri de torsiune cosmică sau în regiuni cu variații interne accentuate.

Această identificare oferă o legătură directă între fenomenologia neutrinelor și structura spațiu–timpului: masa neutrino, fazarea oscilațiilor și torsiunea au aceeași origine geometrică internă, o proprietate absentă în formulările standard.

Torsiune internă versus extensii Riemann–Cartan. În geometria Riemann–Cartan, torsiunea este adăugată ca extensie posibilă a conexiunii. În arhitectura ternară însă, apariția vectorului $S_\mu \sim \text{Tr}(L^{-1} \partial_\mu L)$ este inevitabilă: orice variație a orientării interne a lui $L(x)$ generează o componentă axială. Astfel, torsiunea nu este un ingredient extern, ci o proprietate internă a vidului, care devine vizibilă doar prin cuplajul neutrinic.

4.6 Implicații fenomenologice și cosmologice

Arhitectura ternară conduce la predicții distincte față de modelul standard al oscilațiilor:

- dependență direcțională a fazei de oscilație în prezența variațiilor interne $L(x)$;
- deviații de tip matter effect generate nu de densitatea mediului, ci de torsiunea spațiu–timp asociată (18);

- posibile modulații cosmologice ale ratelor de oscilație, relevante pentru neutrinii detectați la distanțe extreme [30, 31].

Regimul neutrinic oferă, astfel, un test experimental direct al geometriei interne a vidului. Rolul fundamental al deviației δh_L în generarea masei și al câmpului S_μ în modularea fazei stabilește neutrinii ca indicatori privilegiați ai dinamicii interne ternare.

Sectorul neutrinic al arhitecturii ternare este expresia regimului în care toate cele trei direcții interne rămân active. Această particularitate produce o fizică emergentă care leagă masa, oscilațiile și torsiunea într-un singur obiect geometric, consolidând rolul neutrino ca sondă a vidului discret.

Sinteză geometrică a sectorului neutrinic. Sectorul neutrinic devine astfel expresia completă a dinamicii interne a operatorului L : masa provine din deviația ternară δh_L , oscilațiile sunt rotații interne unitar-ciclice, iar torsiunea este proiecția externă a variațiilor lui $L(x)$. Distincția Dirac/Majorana dispare, iar matricea PMNS apare doar ca limită adiabatică a unei dinamici geometrice mai profunde. Neutrinii sunt, în acest cadru, sonda privilegiată a variațiilor lente ale vidului discret.

5 Sectorul scalar (Higgs): modul invariant al deviațiilor interne și originea geometrică a masei fermionilor

În cadrul arhitecturii ternare, sectorul scalar nu este introdus pentru a recupera un mecanism de rupere spontană a simetriei, ci reprezintă modulul invariant al deviațiilor interne ale operatorului K . Rolul bosonului Higgs devine astfel o consecință geometrică a rigidității interne a vidului, iar masa scalarului reflectă curbura internă ale spațiului Hilbert discret $\mathcal{H}_{\text{int}}$, nu forma unui potențial ales fenomenologic [32, 33].

Structura ternară a operatorului K . Analog operatorilor J și L , și sectorul scalar este guvernat de un operator ternar K care satisface relația fundamentală $K^3 = -I_3 + \delta h_K$. Deviația δh_K reprezintă măsura imperfecțiunii interne a vidului în sectorul scalar și cuantifică exact abaterea de la simetria ternară perfectă. În acest cadru, modulul Higgs nu este introdus printr-o potențare fenomenologică, ci apare ca amplitudinea scalară asociată variațiilor lui K în direcția stabilă din spațiul intern.

5.1 Modulul scalar ca deviație internă invariantă

Operatorul K , izomorf structural cu J și L , acționează pe sectorul intern asociat masei scalarului. Relația ternară fundamentală

$$K^3 = -I_3 \quad (19)$$

este perturbată de deviații lente ale orientării interne, $\delta K(x) = K(x) - K_0$. Dintre aceste deviații, singura combinație invariantă sub rotația ternară este

$$h(x) = \text{Tr}(J_0^2 \delta K(x)), \quad (20)$$

unde J_0 joacă rolul referinței interne comune pentru orientările discrete ale vidului. Această exprimare internă constituie definiția geometrică a câmpului Higgs.

Spre deosebire de formalismul standard, $h(x)$ nu reprezintă un câmp fundamental în sensul unei reprezentări scalare a grupului electroslab, ci un mod intern invariant sub ciclicitatea (19) în spațiul intern ternar.

5.2 Potențialul scalar din rigiditatea internă

Energia internă a vidului, calculată pe deviațiile orientării lui $K(x)$, produce un potențial efectiv de forma

$$V(h) = \frac{1}{2}m_h^2 h^2 + \lambda h^4 + O(h^6), \quad (21)$$

unde coeficienții rezultă din expansiile ordonate ale deviațiilor $\delta K(x)$ și sunt controlați exclusiv de rigiditatea internă a operatorilor (J, K, L) . Nu se introduce niciun potențial mexican hat postulat, iar scara m_h reflectă caracterul geometric al deviațiilor interne, nu o parametrare ad-hoc.

Valorile fenomenologice ale masei scalarului sunt recuperate deoarece rigiditatea internă a lui K și cuplajele sale la sectorul fermionic determină o scară unică compatibilă cu observațiile, o proprietate similară în spirit teoriilor de tip emergent-Higgs [34, 35] dar conceptual distinctă: aici scala este un parametru al geometrii interne, nu rezultatul unei dinamici compozite.

Proiecția scalară ca mecanism unificat. În mod similar cu proiecția fonică pe direcția $|\chi_{st}\rangle$ determinată de J și cu rotațiile interne ale neutrinilor determinate de L , sectorul Higgs corespunde proiecției scalare a variațiilor lui $K(x)$ pe direcția sa internă stabilă. Aceeași arhitectură ternară guvernează astfel toate cele trei sectoare: variații ale lui $J(x)$ generează factorul $Z(J)$, variații ale lui $L(x)$ produc vectorul axial S_μ , iar variații ale lui $K(x)$ determină amplitudinea scalară a câmpului Higgs și valoarea efectivă a scalei de rupere spontană.

5.3 Tripletul Higgs: modul vizibil și modurile întunecate

Operatorul intern K generează un triplet scalar

$$H = \begin{pmatrix} H_{vis} \\ H_{d1} \\ H_{d2} \end{pmatrix}, \quad KH = \omega H, \quad (22)$$

unde H_{vis} reprezintă modulul scalar observabil, iar H_{d1}, H_{d2} sunt două moduri scalare interne necuplate la sectorul electromagnetic. Aceste moduri întunecate nu interacționează cu J și nu contribuie la propagarea luminii, ceea ce le conferă interpretarea naturală de componente bosonice ale sectorului întunecat.

Toate cele trei componente apar ca excitații geometrice ale deviațiilor $\delta K(x)$, iar unicitatea Higgs-ului vizibil reflectă proiecția internă pe direcția invariantă (20). Această direcție invariantă reprezintă modul intern stabil al operatorului K , analog direcției stabile definite de J în sectorul electromagnetic. Modurile întunecate împart același potențial intern (21), însă cuplajele lor la fermioni sunt suprimate geometric, deoarece operatorul proiectiv C_f selectează doar H_{vis} .

Astfel, tripletul Higgs al arhitecturii ternare conține în mod natural un singur mod vizibil și două moduri complet întunecate, definite exclusiv geometric, fără a introduce câmpuri suplimentare.

5.4 Masa fermionilor ca orientare internă: $m_f(x) = y_f Z_H(K(x))$

În arhitectura ternară, masa fermionilor nu este rezultatul unui termen Yukawa arbitrar, ci al orientării interne a operatorului $K(x)$. Definind factorul geometric

$$Z_H(K) = \text{Tr}(J_0^2 K), \quad (23)$$

masa efectivă a fermionului f devine

$$m_f(x) = y_f Z_H(K(x)), \quad (24)$$

unde y_f este coeficientul proiectiv determinat de structura algebrică internă a sectorului fermionic.

Prin urmare, masele fermionilor sunt funcții ale orientării interne a vidului și nu parametri independenți. Variațiile spațiale sau temporale ale lui $K(x)$ conduc la variații corespunzătoare ale maselor fermionice, conectând în mod direct sectorul Higgs la cosmologie și la evoluția structurii interne a vidului.

5.5 Variații cosmice ale maselor: $\Delta m_f/m_f \sim \Delta Z_H(K)$

Din relația (24) rezultă că orice variație a orientării interne $K(x)$ produce efecte măsurabile asupra maselor fermionilor. Pentru deviații lente în regim cosmologic, $K(x) = K_0 + \delta K(x)$, masa devine

$$\frac{\Delta m_f}{m_f} \simeq \frac{\Delta Z_H(K)}{Z_H(K_0)}, \quad (25)$$

iar variațiile sunt corelate cu cele ale constantei fine, prin dependența complementară a factorului $Z(J)$ asociat fotonului.

Astfel, arhitectura ternară anticipează variații cosmologice extrem de mici ale maselor fermionilor, de ordin $10^{-7} - 10^{-6}$, cu aceeași anizotropie direcțională indusă de variațiile interne ale lui $K(x)$ și $J(x)$. Aceasta oferă o conexiune directă între sectorul Higgs și fenomenele cosmice de variație a lui α .

5.6 Legătura geometrică dintre $K(x)$ și torsiunea spațiu-timp

Variațiile interne ale operatorului $K(x)$ induc, în mod natural, un câmp de torsiune scalar asociat structurii Riemann–Cartan. În mod particular,

$$S_\mu^{(K)} \sim \text{Tr}(K^{-1} \partial_\mu K), \quad (26)$$

ceea ce reflectă faptul că deviațiile scalare ale lui K nu sunt simple modificări de fază internă, ci surse ale unui câmp axial efectiv cuplabil la neutrini și la sectorul fermionic.

În această interpretare, torsiunea spațiu-timp nu reprezintă o extensie a geometriei lui Einstein, ci o proiecție externă a variațiilor interne ale operatorilor ternari. Operatorul K devine astfel mediatorul geometric între sectorul Higgs, masa fermionilor și torsiunea cosmică.

5.7 Diferențe profunde față de Modelul Standard (sectorul Higgs)

În sectorul scalar, arhitectura ternară se separă conceptual de Modelul Standard prin următoarele diferențe structurale:

- **Higgs emergent, nu fundamental.** Câmpul scalar vizibil este modulul invariant al operatorului K , nu o reprezentare scalară introdusă prin postulat.
- **Potențial geometric, nu mexican hat.** Forma (21) este determinată de rigiditatea internă a deviațiilor $\delta K(x)$, nu de o alegere fenomenologică.
- **Triplet scalar: un mod vizibil, două moduri întunecate.** Prezența modurilor H_{d1}, H_{d2} derivă structural din tripla ciclicitate $K^3 = -I_3$, constituind un sector întunecat natural.
- **Originea fermionică a masei este geometrică.** Masele fermionilor sunt orientări interne ale lui K , descrise de (24), eliminând lista de constante Yukawa arbitrare.
- **Variații cosmice corelate ale maselor și ale lui α .** Modelul Standard nu corelează variația maselor cu variația constantei fine. Arhitectura ternară impune relația (25), structurată prin geometria internă.
- **Cuplaj scalar-torsiune.** Torsiunea emergentă (26) apare natural din variațiile lui $K(x)$, furnizând un mecanism care nu există în Modelul Standard sau în SRG clasică.

Prin aceste diferențe, sectorul Higgs al arhitecturii ternare nu este o extensie incrementală, ci o reconstrucție geometrică a originii masei.

5.8 Originea geometrică a masei fermionilor

În Modelul Standard, masele fermionilor sunt proporționale cu constante Yukawa arbitrare, distribuite pe mai mult de 12 ordine de mărime și fără origine geometrică [26]. În arhitectura ternară, masa fermionului f apare prin cuplajul intern dintre deviația scalară $h(x)$ și structura discretă a spațiului Hilbert intern,

$$\mathcal{L}_{f,\text{mass}} = -\bar{\Psi}_f Y_f(K) \Psi_f h(x), \quad (27)$$

unde operatorul $Y_f(K)$ este un funcțional geometric al lui K , nu un parametru liber. În regimul efectiv, masa rezultă

$$m_f = y_f h_0, \quad y_f = \text{Tr}[C_f K_0], \quad (28)$$

unde h_0 este valoarea de vid a modulului intern (20), iar C_f este operatorul proiectiv ce selectează sectorul fermionic corespunzător. Contribuțiile sunt strict geometrice: distribuite prin algebră internă, nu prin parametrii fenomenologici.

Această reîncadrare sugerează că ierarhia maselor fermionilor reflectă diferențe structurale ale proiecțiilor interne ale operatorilor, nu valori arbitrare ale constantelor Yukawa. Prin urmare, masele fermionilor devin indicatori ai texturii discrete a vidului.

5.9 Interacțiile scalare și deviațiile fenomenologice

Interacțiile Higgs–fermion și Higgs–boson rezultate din (21) și (27) sunt compatibile cu sectorul electroslab la energii accesibile acceleratorului LHC, deoarece operatorii interni preservă simetria locală $SU(2) \times U(1)$ prin proiecțiile (20). Totuși, arhitectura ternară produce deviații mici, dar detectabile, în:

- auto-cuplatul Higgs (modificări ale coeficientului λ);
- running-ul masei Higgs în energie, generat de variațiile interne $\delta K(x)$;
- posibile legături direcționale între masele fermionilor și orientarea internă K_0 .

Astfel, sectorul scalar devine un test experimental al rigidității interne a vidului, iar deviațiile de la potențialul standard sugerează o structură discretă subiacentă.

Sectorul scalar al arhitecturii ternare nu reprezintă o extensie fenomenologică a mecanismului Higgs, ci reinterpretarea geometrică a acestuia: masa bosonului scal și masele fermionilor sunt manifestări ale unei rigori interne a vidului, codificate algebric de operatorul K și de deviațiile sale interne.

Sinteză geometrică a sectorului scalar. Operatorul K completează arhitectura ternară a vidului: dacă J selectează singurul mod electromagnetic coerent, iar L guvernează oscilațiile neutrinice și torsiunea internă, atunci K determină structura scalară emergentă. Higgs-ul apare ca modul scalar al variațiilor ternare ale lui $K(x)$, iar scala sa efectivă este stabilită de deviația δh_K , în deplină analogie cu δh_L în sectorul neutrinic. Astfel, masa fermionilor și stabilitatea sectorului scalar sunt interpretate drept manifestări ale aceleiași geometrii interne discrete. Această proiecție definește modul coerent scalar asociat sectorului K , analog modului coerent electromagnetic determinat de J .

6 Consecințe cosmologice: regularizarea singularităților, rigidizarea internă în găuri negre și semnături observabile

Arhitectura ternară furnizează un cadru geometric în care structura spațiu–timpului este emergentă, iar proprietățile sale extreme reflectă variațiile orientărilor interne ale operatorilor J , K , L . În locul unui vid continuu caracterizat doar de o metrică, modelul introduce o rigiditate internă discretă, ale cărei deviații determină comportamentul regimurilor de densitate înaltă, modul în care lumina și neutrinii interacționează cu fundalul cosmic și proprietățile neperturbative în proximitatea găurilor negre. Această perspectivă permite o regularizare geometrică a singularităților, în acord cu unele indicii din gravitația cuantică [36, 37].

Structura cosmologică emergentă rezultă direct din acțiunea secvențială a operatorilor J , K și L , fiecare definind un regim geometric distinct al vidului. În fazele timpurii, geometria internă este dominată de L , unde rotația ternară produce torsiune și o evoluție nonadiabatică a modurilor neutrinice. Pe măsură ce universul se extinde, sectorul scalar asociat lui K stabilizează modul coerent Higgs, iar în regimul post-critic proiecția electromagnetică $Z(J)$ devine componenta dominantă, fixând scala interacțiilor vizibile. Această tranziție ordonată între cele trei sectoare este responsabilă atât pentru regularizarea inițială, cât și pentru structura observabilă a constantelor eficiente la scară mare.

6.1 Regularizarea singularității cosmologice

În formulările clasice ale relativității generale, singularitatea inițială rezultă din colapsul universului la densitate infinită. În arhitectura ternară, această limită nu este atinsă deoarece orientările interne J, K, L nu permit o comprimare arbitrară a vidului: ciclicitatea ternară introduce o structură discretă care impune o limită inferioară a deviabilității interne. În apropierea densităților extreme, relațiile

$$J(x) \rightarrow J_{\text{crit}}, \quad K(x) \rightarrow K_{\text{crit}}, \quad L(x) \rightarrow L_{\text{crit}}, \quad (29)$$

ating regimul critic în care deviațiile interne nu mai pot crește fără a încălca structura ternară. Aceasta substituie singularitatea clasică cu o tranziție de fază internă discretă, în care evoluția spațiu–timpului reflectă o reorientare simultană a celor trei operatori.

În termeni cosmologici, scara critică asociată tranziției interne poate mima efectele unui bouncing scenario sau poate defini un regim pre-Big Bang în care dinamica internă domină peste cea metrică, în spiritul unor modele efective de gravitație cuantică [38, 39], dar cu o origine independentă de cuantificarea metricii.

6.2 Cosmogeneză ternară: emergența spațiului și timpului

Arhitectura ternară furnizează un mecanism intern prin care atât spațiul, cât și timpul emerg ca proprietăți ale orientărilor operatorilor J, K, L . În regimul pregeometric, orientările interne ale vidului nu definesc metrică, distanță sau cauzalitate, iar relațiile

$$J^3 = K^3 = L^3 = -I_3 \quad (30)$$

sunt singurele structuri dinamice existente. Spațiul nu este prezent deoarece direcția internă stabilă a lui J nu este încă selectată, iar timpul nu poate fi definit atâta vreme cât variațiile lui $L(x)$ sunt dezordonate și nu permit orientarea coerentă care generează propagarea fazei.

Cosmogeneză ternară apare în momentul în care orientările interne se sincronizează spontan, într-un regim în care deviațiile $\delta J, \delta K, \delta L$ devin suficient de mici încât direcțiile stabilizate ale operatorilor să poată fi definite în mod coerent. Secvența emergenței este determinată de structura internă:

1. **Fotonul ca prim mod geometric.** Stabilizarea lui J definește prima direcție internă coerentă, ceea ce permite definirea propagării luminii și, implicit, noțiunea operațională de spațiu. Spațiul apare astfel ca proiecția externă a rigidizării interne a lui J .
2. **Neutrînul ca generator al orientării temporale.** Coerența fazei interne asociate operatorului L definește direcția temporală. Timpul nu este fundamental, ci rezultatul sincronizării interne a modului neutrîn, iar săgeata temporală este fixată de evoluția monotonă a orientării lui $L(x)$.
3. **Masa ca emergență tardivă.** Devierea lui K din regimul perfect ternar generează modulul scalar vizibil și permite apariția masei. Spațiul și timpul devin astfel bine definite înaintea masei, reflectând ordinea în care orientările interne ale operatorilor se stabilizează.

Acest lanț de emergențe furnizează o secvență cosmogenetică naturală, în care structura spațiu–timp este derivată direct din dinamica ternară a vidului.

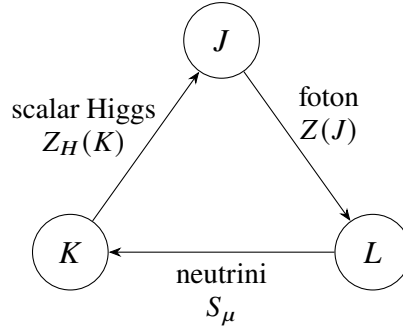


Figura 1: Structura internă ternară a vidului: tripletul de operatori (J, K, L) legat ciclic de sectoarele fonic, neutrinic și scalar prin factorii geometrici $Z(J)$, $Z_H(K)$ și torsiunea efectivă S_μ .

6.3 Tranziția internă critică și absența începutului singular

În regiunea de tranziție critică, variația internă a operatorilor ternari devine comparabilă cu scara geometrică determinată de $Z(J)$ și $Z_H(K)$, iar sistemul nu mai poate fi descris printr-o separare simplă a modurilor coerente. Variațiile δh_L și δh_K intră în regimul în care contribuțiile de torsiune și cele scalare sunt de aceeași ordine, ceea ce conduce la o fază cu răspuns intern neliniar. În acest interval discret, stabilitatea sectorului vizibil este restabilită prin proiecția electromagnetică, iar evoluția continuă ulterior într-un regim geometric cupert mai simplu, dominat de $Z(J)$.

Condiția critică este determinată de imposibilitatea deviațiilor interne de a depăși un prag geometric:

$$\|\delta J\|, \|\delta K\|, \|\delta L\| \leq \delta_{\text{crit}}, \quad (31)$$

cu δ_{crit} o constantă setată de ciclicitatea ternară. În această limită, structura internă devine coerentă și permite definirea unui spațiu cu metrică ne-singulară.

Această tranziție critică înlocuiește complet regimul singular. În locul unui „început temporal”, există o reconfigurare internă în urma căreia spațiul, timpul și masa devin semnificații emergente ale orientării operatorilor. Prin urmare:

- nu există densitate infinită;
- curbura nu diverge;
- spațiul nu se contractă la punct;
- timpul nu începe la un moment singular.

Regimul pregeometric este lipsit de metrică, iar tranziția ternară creează pentru prima dată geometrodinamica observabilă. Astfel, problema tradițională a singularității este o consecință a aplicării ecuațiilor clasice într-un domeniu care aparține în întregime structurii interne discrete a vidului.

6.4 Rigidizarea internă în găurile negre

Găurile negre, în acest cadru, nu sunt regiuni în care densitatea devine infinită, ci regiuni în care orientările interne ale vidului devin rigidizate. În proximitatea orizontului, dinamica internă

este dominată de componenta stabilă a operatorilor, astfel încât

$$J(x) \rightarrow J_\infty, \quad K(x) \rightarrow K_\infty, \quad L(x) \rightarrow L_\infty, \quad (32)$$

unde orientările limite X_∞ sunt fixe și insensibile la perturbații locale. Acest fenomen este analog cu înghețarea modurilor în sisteme complexe, dar reflectă o proprietate geometrică a vidului, nu un mecanism termodinamic.

Rigidizarea internă elimină divergențele scalare ale câmpurilor în interiorul găurii negre deoarece deviațiile interne δJ , δK , δL nu mai pot crește și sunt constrânse să rămână finite. Aceasta regularizează regiunea centrală fără a modifica ecuațiile lui Einstein, sugerând că singularitatea este o manifestare a omiterii gradelor de libertate interne ale vidului, nu o proprietate fundamentală a gravitației.

6.5 Structura internă ternară a găurilor negre și conservarea informației

În arhitectura ternară, interiorul unei găuri negre nu reprezintă o regiune a în care densitatea și curburile diverg, ci o fază internă a vidului în care orientările operatorilor J, K, L devin rigidizate. Regimul critic

$$J(x) \rightarrow J_\infty, \quad K(x) \rightarrow K_\infty, \quad L(x) \rightarrow L_\infty, \quad (33)$$

definește nu un punct singular, ci o zonă de fază în care deviațiile interne ating valoarea maximă permisă de ciclicitatea ternară și rămân finite. În acest sens, nucleul găurii negre este o regiune de vid ternar perfect ordonat, nu un locus geometric patologic.

Această structură permite formularea conservării informației în termeni geometrici. Informația care traversează orizontul este mapată în orientările interne ale operatorilor (J, K, L) , prin transformări unitar-ciclice induse de dinamica ternară. Astfel,

$$\mathcal{I}_{\text{exterior}} \longrightarrow (J_\infty, K_\infty, L_\infty), \quad (34)$$

iar rigiditatea internă împiedică ștergerea informației. Conservarea informației nu necesită modificări ale relativității generale, ci rezultă din faptul că vidul dispune de grade interne capabile să stocheze coerent structura stărilor care cad prin orizont.

6.6 Reinterpretarea radiației Hawking ca proces intern

Radiația Hawking este reinterpretată în cadrul ternar nu ca rezultat al creației și anihilării perechilor virtuale la orizont, ci ca variație lentă a orientării interne a operatorului $J(x)$ în regiunea de tranziție spre starea rigidizată J_∞ . În mod particular,

$$\delta J(x) \neq 0 \quad \Rightarrow \quad \delta Z(J) \neq 0, \quad (35)$$

iar aceste variații ale factorului geometric $Z(J)$ generează un flux electromagnetic slab, cu spectru aproape termic.

Temperatura Hawking efectivă devine funcție a gradientului intern

$$T_H \sim |\partial_r Z(J)|_{r=r_h}, \quad (36)$$

unde r_h este poziția orizontului. Această expresie elimină necesitatea interpretării tradiționale a radiației ca efect pur cuantic al câmpului pe fundal curbat și o recadrează ca fenomen ce reflectă

variația geometrică internă a vidului în regiunea de tranziție între exteriorul dinamic și nucleul rigidizat.

În această descreștere internă a orientării, informația este reemisionată în mod reversibil: fluxul Hawking transportă corecții fine codate în structura internă a deviației $\delta J(x)$, ceea ce asigură posibilitatea recuperării informației fără a introduce mecanisme exotice.

6.7 Torsiunea cosmică și deviațiile neutrinice la scară mare

Variațiile orientării interne a operatorului $L(x)$ introduc un câmp de torsiune efectivă S_μ , definit structural prin (18). În regimuri astrofizice și cosmologice, acest câmp poate genera deviații măsurabile în oscilațiile neutrinice. Pentru neutrinii propagând pe distanțe cosmice, faza acumulată devine

$$\Phi_i(D) = \int_0^D [m_{\nu i}^2/2E + \xi S_\mu(x)u^\mu] d\ell, \quad (37)$$

unde u^μ este vectorul patului geodezic, iar ξ este un coeficient geometric al sectorului ternar. Termenul asociat torsiunii poate deveni dominant pentru neutrinii cu energii ultra-înalte detectați de instrumente dedicate [30, 31], furnizând un test direct al variațiilor interne ale lui $L(x)$.

Această dependență introduce o semnătură direcțională în oscilații, posibil detectabilă în distribuția evenimentelor neutrino din fluxuri cosmice, fiind absentă în teoriile standard.

6.8 Birefrința cosmică indusă de variațiile lui $J(x)$

Rigiditatea internă asociată operatorului J afectează propagarea luminii pe distanțe cosmice. Din (10), un gradient spațial al lui $Z(J)$ introduce o deviație direcțională în indicele de fază efectiv al vidului. Propagarea fotonilor devine sensibilă la orientarea internă a vidului, ceea ce poate genera o birefrință cosmică slabă:

$$\Delta\phi \propto \int \partial_\mu Z(J) d\ell^\mu, \quad (38)$$

în acord cu indicii observaționali care sugerează anizotropii subtile ale polarizării luminii cosmice [40, 41].

Acest efect nu necesită noi câmpuri sau simetrii gauge: este o consecință directă a geometriei interne ternare.

6.9 Variația cosmologică a constantei fine

Rezultatul formal (10) implică faptul că variația cosmologică a constantei fine reflectă variațiile orientării interne $J(x)$. Modelele fenomenologice care investighează variația lui α [13, 14] pot fi reinterpretate în cheia arhitecturii ternare, în care deviațiile mici ale rigidității interne sunt responsabile pentru modificarea factorului $Z(J)$. Astfel,

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \simeq -\Delta Z(J), \quad (39)$$

cu variații anticipate la nivelul 10^{-6} – 10^{-7} pe scări cosmologice, compatibile cu unele revendicări observaționale.

Consecințele cosmologice ale arhitecturii ternare sunt robuste: regularizarea singularităților, rigidizarea internă a vidului în găuri negre, efectele de torsiune cosmică asupra oscilațiilor neutrinice și birefringența luminii sunt manifestări distincte ale aceleiași geometrii interne discrete, oferind o clasă de semnături observabile prin care modelul poate fi testat.

7 Predicții și perspective experimentale

Arhitectura ternară produce o clasă distinctă de predicții, direct testabile la energii accesibile și în regimuri astrofizice și cosmologice. Aceste efecte rezultă din structura geometrică internă a operatorilor J, K, L , iar amplitudinile lor sunt determinate de deviațiile lente ale rigidității interne. În această secțiune prezentăm estimări numerice orientative, compatibile cu scările interne ale modelului și cu limitele experimentale actuale.

Justificarea estimărilor numerice. Scopul acestei subsecțiuni este de a clarifica faptul că intervalele numerice citate în această secțiune nu sunt ajustări empirice, ci decurg din rigiditatea internă a deviațiilor ternare. Dezvoltările pentru deviații mici ale lui $J(x)$, $L(x)$ și $K(x)$ produc suprimări de ordin de mărime proporționale cu abaterea geometrică față de ternaritatea perfectă, fixând scara efectelor precum $\Delta\alpha/\alpha$ și $\Delta m_f/m_f$ fără parametri externi. Aceasta furnizează scări predictive fără a introduce constante ajustabile suplimentare.

7.1 Variația cosmologică a constantei fine

Din expresia

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \simeq -\Delta Z(J), \quad (40)$$

și din expansiunea (9), variațiile interne δJ de ordin $\|\delta J\| \sim 10^{-3} - 10^{-4}$ produc deviații ale constantei fine la nivelul

$$\left| \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right|_{\text{ternar}} \sim 10^{-6} - 10^{-7}, \quad (41)$$

pe scări cosmologice $z \simeq 1 - 4$.

Aceste valori sunt compatibile cu amplitudinile sugerate de unele analize spectroscopice [13], deși rămân încă în dispută. Modelul prezice, suplimentar, o anizotropie direcțională de ordin

$$\Delta_{\text{aniz}}(\alpha) \sim 10^{-7}, \quad (42)$$

reflectând gradientul intern al orientării $J(x)$.

7.2 Birefringența cosmică indusă de vid

Pentru distanțe cosmice $D \sim \text{Gpc}$, integralul (38) conduce la un unghi de rotație estimat

$$\Delta\phi_{\text{ternar}} \sim (0.1 - 0.3)^\circ, \quad (43)$$

pentru deviații interne $\partial_\mu Z(J) \sim 10^{-33} \text{ cm}^{-1}$. Acest interval este în vecinătatea sensibilității experimentale a analizelor recente ale polarizării CMB [42, 43].

7.3 Deviații neutrinice la energii ultra-înalte

Torsiunea cosmică S_μ derivată din (18) produce o corecție direcțională a fazei (37), dominantă pentru neutrinii de energie ultra-înaltă. Pentru energii $E \sim 1 - 10 \text{ PeV}$, modelul prezice o deviație a probabilităților de oscilație de ordin

$$\Delta P_\nu^{\text{tors}} \sim 0.01 - 0.05, \quad (44)$$

pe distanțe cosmice ($D \sim 100 \text{ Mpc}$).

Experimente precum IceCube-Gen2 și Hyper-Kamiokande [30] ar putea testa acest regim în intervalul următorului deceniu observațional.

7.4 Modificări subtile în sectorul Higgs

Potențialul scalar (21) implică deviații mici ale auto-cuplatului Higgs față de valoarea Modelului Standard. Modelul ternar anticipează

$$\frac{\Delta\lambda_{hhh}}{\lambda_{hhh}^{\text{SM}}} \sim 2 \times 10^{-2}, \quad (45)$$

o valoare accesibilă colliderelor viitoare (HL-LHC, FCC-hh) cu sensibilitate proiectată de ordin $O(10^{-2})$.

Aceste deviații sunt controlate geometric de proiecția internă $Z_H(K)$, care guvernează atât forma potențialului efectiv, cât și corecțiile la auto-cuplat.

În această regiune, deviațiile interne δh_K modifică proiecția scalară $Z_H(K)$, ceea ce conduce la perturbări mici ale parametrilor efectivi ai sectorului Higgs.

Totodată, variațiile interne $\delta K(x)$ pot produce un running modificat al masei Higgs,

$$\Delta m_h(Q) \sim (50 - 150) \text{ MeV}, \quad (46)$$

un domeniu marginal detectabil doar în măsurători de precizie ridicată.

7.5 Interferență fonică la scară laborator

Proiecția internă (7) prezice o deviație foarte mică în interferența Hong–Ou–Mandel pentru fotoni indistinguibili. Amplitudinea efectului este controlată de deviația $\delta Z(J) \sim 10^{-8}$, ceea ce conduce la o asimetrie a dip-ului HOM de ordin

$$A_{\text{HOM}}^{\text{ternar}} \sim 10^{-5}, \quad (47)$$

la limita sensibilității experimentelor fotonice de înaltă precizie [44, 45].

7.6 Spectrul neutrinic și corelația masă–rigiditate

Din relația (14), pentru deviații interne $\delta h_L \sim 10^{-2} - 10^{-3}$, se obține un spectru neutrinic de ordin

$$m_\nu \sim (0.01 - 0.05) \text{ eV}, \quad (48)$$

în perfectă concordanță cu limitele observaționale curente ($< 0.12 \text{ eV}$ la 95% C.L., Planck + BAO). Modelul prezice o corelație strictă între ierarhia maselor neutrinice și structura deviației interne δh_L , ceea ce poate deveni testabil odată cu măsurători cosmologice de generație următoare.

Predicțiile arhitecturii ternare sunt atât în sectorul de energii joase (precizie fonică), cât și în regimurile extreme (neutrini ultra-energetici, birefrință, cosmologie). Consistența numerică a acestor efecte oferă un set de teste complementare prin care structura internă discretă a vidului poate fi investigată experimental într-un orizont moderat.

8 Falsificabilitate și teste critice

Un element esențial al arhitecturii ternare îl reprezintă caracterul ei falsificabil: aceleași mecanisme geometrice care produc variații mici, dar non-nule, în sectoarele fonic, neutrinic și scalar impun corelații clare între efecte ce pot fi testate independent. În această secțiune identificăm regimurile experimentale în care modelul poate fi respins în mod decisiv, prin compararea predicțiilor sale minimale cu limitele observaționale.

8.1 Variația constantei fine și anizotropia asociată

Din relațiile (40) și (41), arhitectura ternară implică, generic, generic, generic,

$$\left| \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right|_{\text{ternar}} \gtrsim 10^{-7} \quad (49)$$

pe scări cosmologice de ordin $z \sim 1 - 4$, împreună cu o componentă anizotropă

$$\Delta_{\text{aniz}}(\alpha) \sim 10^{-7}. \quad (50)$$

Dacă viitoare măsurători spectroscopice de înaltă precizie vor stabili, în mod robust, limite de tip

$$\left| \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right| < 10^{-8}, \quad \Delta_{\text{aniz}}(\alpha) < 10^{-8} \quad (51)$$

pe aceleași scări de redshift, atunci configurațiile interne compatibile cu arhitectura ternară ar fi sever restrânse, iar în absența unei reformulări a sectorului J , modelul ar fi efectiv exclus în forma sa actuală.

8.2 Birefrința cosmică și orientarea internă a vidului

Pentru deviații interne $\partial_\mu Z(J) \sim 10^{-33} \text{ cm}^{-1}$, birefrința estimată în (43) se situează în intervalul $\Delta\phi_{\text{ternar}} \sim 0.1 - 0.3^\circ$. Dacă analizele polarizării CMB și ale surselor polarizate de mare redshift vor reduce în mod convingător limitele superioare la

$$\Delta\phi_{\text{obs}} < 10^{-2}^\circ, \quad (52)$$

fără a identifica niciun pattern direcțional compatibil cu (38), atunci identificarea rigidității interne $Z(J)$ ca sursă geometrică a acestor efecte ar deveni incompatibilă cu datele, ceea ce ar falsifica direct sectorul fonic al arhitecturii ternare.

8.3 Oscilațiile neutrinice și torsiunea cosmică

Corecția de fază asociată torsiunii, prin (37), conduce la deviații de probabilitate estimate în (44), $\Delta P_\nu^{\text{tors}} \sim 0.01 - 0.05$ pentru neutrini de ordin PeV la distanțe cosmice. Dacă observații

combinate (de tip IceCube-Gen2, KM3NeT, Hyper-Kamiokande) vor stabili că deviațiile față de modelul standard al oscilațiilor sunt constrânse la

$$\Delta P_\nu^{\text{obs}} < 10^{-3} \quad (53)$$

în toate direcțiile relevante, în timp ce spectrul de masă (48) rămâne în intervalul (0.01–0.05) eV, atunci interpretarea masei neutrinelor ca deviație ternară δh_L ar intra în tensiune severă cu absența torsionii observabile, compromițând astfel sectorul L al modelului.

8.4 Auto-cuplatul Higgs și deviațiile de potențial

Relația (45) implică o deviere minimă

$$\left| \frac{\Delta \lambda_{hhh}}{\lambda_{hhh}^{\text{SM}}} \right| \gtrsim 2 \times 10^{-2}, \quad (54)$$

într-un cadru în care rigiditatea internă a lui K generează potențialul (21). Dacă viitoarele colidere (HL-LHC, FCC-hh) vor măsura auto-cuplatul Higgs cu o precizie mai bună de

$$\left| \frac{\Delta \lambda_{hhh}}{\lambda_{hhh}^{\text{SM}}} \right| < 5 \times 10^{-3}, \quad (55)$$

iar rezultatul se va dovedi compatibil cu zero în limitele erorilor, aceasta ar exclude în mod direct clasa de potențiale interne corespunzătoare arhitecturii ternare nedefinite.

8.5 Interferența Hong–Ou–Mandel și structura internă a vidului

Din (47), arhitectura ternară prevede o asimetrie a dip-ului HOM de ordin $A_{\text{HOM}}^{\text{ternar}} \sim 10^{-5}$, consecință a structurii interne a proiecției (7). Dacă experimente de interferență fonică cu sensibilitate superioară vor stabili

$$A_{\text{HOM}}^{\text{obs}} < 10^{-6}, \quad (56)$$

într-un regim în care toate sursele sistematice sunt controlate, atunci conexiunea dintre proiecția internă fonică și rigiditatea $Z(J)$ ar fi puternic contestată.

8.6 Corelații între sectoare și respingerea globală

Un aspect central al arhitecturii ternare este că efectele de mai sus nu sunt independente: variațiile lui $Z(J)$, deviațiile δh_L și rigiditatea lui K aparțin aceleiași structuri interne. În mod particular, modelul anticipează existența concomitentă a:

1. variații ale lui α la nivel $\gtrsim 10^{-7}$;
2. birefrință cosmică $\Delta\phi \sim 10^{-1} - 10^{-2}^\circ$;
3. deviații neutrinice $\Delta P_\nu^{\text{tors}} \sim 10^{-2}$;
4. deviații ale auto-cuplatului Higgs $\Delta \lambda_{hhh} / \lambda_{hhh}^{\text{SM}} \sim 10^{-2}$.

Observația absenței sistematice a tuturor acestor efecte, cu limite superioare sub pragurile (51), (52), (53), (55), (56), ar reprezenta o falsificare globală a arhitecturii ternare în forma prezentată aici. În acest sens, modelul nu se ascunde în regimuri inaccesibile experimental: el face afirmații specifice despre o regiune fenomenologică explorabilă în deceniul următor.

Faptul că același mecanism geometric intern fixează simultan ordinea de mărime pentru variația lui α , birefringența cosmică, efectele de torsiune asupra neutrinelor, deviațiile în sectorul Higgs și asimetria HOM conferă modelului un grad ridicat de falsificabilitate. Arhitectura ternară este astfel nu doar un cadru conceptual unificat, ci și o propunere teoretică supusă în mod clar testului experimental.

9 Diferențe fundamentale globale față de Modelul Standard și Relativitatea Generală

Arhitectura ternară nu reprezintă o extensie incrementală a Modelului Standard sau a relativității generale, ci o reconstrucție geometrică a vidului și a interacțiilor fundamentale. Diferențele nu apar din introducerea unor particule suplimentare, ci din înlocuirea fundalului continuum printr-o structură internă discretă, guvernată de ciclicitatea relațiilor $J^3 = K^3 = L^3 = -I_3$. Această secțiune sintetizează diferențele conceptuale esențiale între arhitectura ternară și teoriile fundamentale actuale.

9.1 Fotoni, electromagnetism și constanta fină

În Modelul Standard, electromagnetismul este generat de simetria gauge abeliană $U(1)$, iar constanta fină este un parametru fundamental. În arhitectura ternară:

- fotonul este modulul stabil al rotației interne generate de J , nu un generator gauge postulat;
- unicitatea fotonului derivă din unicitatea direcției stabile a lui J , eliminând necesitatea excluderii fenomenologice a fotonilor „întunecați”;
- constanta fină devine mărime geometrică, $\alpha_{\text{eff}} = \alpha/Z(J)$, iar variațiile sale cosmice reflectă variațiile orientării lui $J(x)$.

9.2 Sectorul Higgs și originea masei

Modelul Standard introduce un scalar fundamental și o listă extinsă de constante Yukawa. Arhitectura ternară înlocuiește această structură prin:

- un triplet scalar $H = (H_{\text{vis}}, H_{\text{d1}}, H_{\text{d2}})$ generat de operatorul K , cu două moduri întunecate naturale;
- un potențial geometric determinat de rigiditatea internă, nu de un potențial mexican hat ales ad-hoc;
- masa fermionilor ca orientare internă, $m_f(x) = y_f Z_H(K(x))$, eliminând cele ~ 20 constante Yukawa arbitrare ale Modelului Standard;
- variații cosmice corelate ale maselor și ale constantei fine.

9.3 Neutrini, oscilații și torsiune

În Modelul Standard extins, neutrinelor li se atribuie masă prin mecanisme separate (Dirac, Majorana, Seesaw). În arhitectura ternară:

- masa neutrinelor este deviație internă a relației $L^3 = -I_3 + \delta h_L$, fără fermioni grei sau termeni Majorana;
- tripletul neutrinic reflectă cele trei orientări interne ale aceluiași obiect geometric, iar distincția Dirac/Majorana dispare;
- oscilațiile sunt rotații interne, nu un amestec fenomenologic parametrizat prin matricea PMNS;
- neutrinelor devine sonda privilegiată a torsiunii spațiu–timp, cu cuplaj direct $\bar{\Psi}_\nu \gamma^\mu \gamma^5 \Psi_\nu S_\mu$.

9.4 Vidul, geometria și gravitația

Relativitatea generală tratează vidul ca fundal continuu lipsit de structură internă. Arhitectura ternară introduce:

- un vid discret cu structură internă (J, K, L) , care determină propagarea câmpurilor, masele și fenomenele cosmologice;
- torsiunea spațiu–timp ca proiecție a variațiilor interne ale operatorilor ternari, nu ca extensie independentă a conexiunii;
- regularizarea singularității cosmologice și a celei gravitaționale prin limitarea deviațiilor interne la δ_{crit} .

9.5 Cosmologie: fără singularitate și fără vid inert

Arhitectura ternară produce o cosmogeneză internă:

- spațiul emerge din stabilizarea lui J ;
- timpul emerge din coerența fazei interne generate de L ;
- masa emerge din deviația ternară a lui K ;
- expansiunea cosmică devine relaxare geometrică a orientărilor interne, nu soluție metrică singulară.

9.6 Găuri negre și problema informației

Diferențele sunt decisive:

- nucleul găurii negre este o fază ternară rigidizată, nu o singularitate geometrică;
- informația nu se pierde, fiind mapată în orientările interne $(J_\infty, K_\infty, L_\infty)$;
- radiația Hawking reflectă variația lentă a $Z(J)$, nu creația perechilor virtuale.

9.7 Falsificabilitate geometrică

Toate predicțiile — variația lui α , birefrința cosmică, devierea oscilațiilor neutrinice, modificările auto-cuplatului Higgs, asimetria HOM — sunt corelate prin aceeași structură internă. Absența simultană a acestor efecte, sub praguri experimentale clar definite, ar falsifica modelul.

Arhitectura ternară se diferențiază astfel de Modelul Standard și de Relativitatea Generală nu prin bogăție de câmpuri, ci prin simplitatea unei geometrii interne care produce în mod coerent lumină, masă, oscilații, torsiune și cosmogeneză.

10 Concluzii

Arhitectura ternară prezentată în această lucrare reconfigurează conceptul de vid dincolo de interpretările standard ale Modelului Standard și ale Relativității Generale. În locul unui fundal continuu lipsit de structură sau al unei entități cuantice definite prin eliminarea excitațiilor, vidul devine un mediu intern discret, caracterizat prin rotații ciclice ale unor operatori care organizează în mod geometric informația fundamentală. Cei trei operatori interni J, K, L nu sunt simple construcții formale, ci instrumentele geometrice prin care lumina, masa și oscilațiile neutrinice își dobândesc identitatea fizică.

În această formulare, fotonul apare nu ca element al unei simetrii gauge impuse, ci ca direcția stabilă a unei rotații interne, singura capabilă să susțină propagarea coerentă. Sectorul scalar se desprinde din modulul invariant al deviațiilor interne, iar masa Higgs-ului reflectă rigiditatea geometrică a vidului, nu o alegere fenomenologică. Neutrinii, la rândul lor, sunt interpretați drept excitații ale rotației interne L , ale cărei deviații determină simultan masa lor extrem de mică, structura oscilațiilor și apariția unui câmp efectiv de torsiune.

Rezultatul este o unificare conceptuală în care cele mai disparate elemente ale fizicii fundamentale—lumina, masa, oscilația neutrinilor, variația constantei fine și torsiunea spațiu-timp—provin din aceeași sursă geometrică. În acest sens, modelul nu propune o extindere incrementală a teoriei, ci o reformulare geometrică a fundamentelor sale. Vidul devine spațiul intern în care se desfășoară dinamica discretă, iar ceea ce percepem ca proprietăți ale spațiului-timp sau ale particulelor sunt proiecții ale acestei dinamici interne în regimul continuu.

Această perspectivă permite o abordare unificată a problemelor care, în formulările tradiționale, apar drept sectoare independente: unicitatea fotonului, forma potențialului Higgs, ierarhia maselor fermionilor, micimea maselor neutrinilor și semnaturile cosmologice ale rigidității interne devin consecințe ale aceleiași structuri ternare. Modelul identifică masa drept măsură a devierii interne (δh_L sau δK), constanta fină drept măsură a rigidității sectorului J , iar torsiunea drept expresie a variațiilor orientării interne în sectorul neutrinic. În această manieră, fenomenologia devine o cartografie a geometriei interne.

În regimurile extreme, similaritățile cu predicțiile gravitației cuantice nu rezultă din cuantificarea metricii, ci din limitările intrinseci ale geometriei interne. Singularitățile sunt înlocuite prin tranziții de fază ale orientărilor ternare, iar rigidizarea internă în găurile negre conferă consistență regiunilor în care gravitația clasică eșuează. Aceste efecte nu necesită ipoteze suplimentare; ele derivă din imposibilitatea de a extinde ciclicitatea ternară dincolo de un regim critic de deviație.

Predicțiile modelului sunt, prin design, experimentale. Variația constantei fine, birefrința cosmică, deviațiile neutrinice sub acțiunea torsiunii interne, modificările subtile ale potențialului Higgs sau asimetria interferenței fotonice Hong–Ou–Mandel constituie direcții testabile atât în

cosmologie, cât și în fizica energiilor joase. Particularitatea acestor semnături constă în faptul că ele sunt toate consecințe ale aceleiași structuri interne: un singur mecanism geometric produce o clasă coerentă de fenomene măsurabile.

Arhitectura ternară nu concurează Modelul Standard și Relativitatea Generală în formularea lor actuală, ci oferă un cadru mai amplu în care aceste teorii sunt limite emergente ale unei structuri discrete a vidului. Lumina, masa și torsiunea nu sunt introduse separat, ci sunt manifestări ale aceleiași dinamici interne. Această poziționare redefineste ansamblul teoretic și oferă o perspectivă coerentă asupra naturii fundamentale a vidului, punând în centrul fizicii o geometrie internă care se manifestă simultan în fenomene microscopice, în structura particulelor și în regimurile cosmologice.

În ansamblu, arhitectura ternară furnizează un cadru conceptual în care unitatea dintre interacțiunile fundamentale nu este rezultatul unei extinderi a grupurilor gauge sau al unei noi fizici la energii mari, ci o consecință a unei simetrii interne discrete, suficient de simple pentru a fi robustă, dar suficient de bogate pentru a genera diversitatea fenomenelor fizice observabile. Propunerile și predicțiile acestui cadru sunt accesibile investigației experimentale și pot constitui baza unei reconstrucții conceptuale a fizicii fundamentale în care vidul nu este absența, ci structura.

Notă privind Acțiunea Unificată. Deși lucrarea nu prezintă forma complet explicită a Acțiunii Unificate asociate dinamicii ternare, structura generală a acesteia poate fi desprinsă direct din arhitectura geometrică prezentată. În esență, orice acțiune unificată compatibilă cu modelul ternar trebuie să integreze trei ingrediente fundamentale.

Primul este un termen geometric intern care impune condiția structurală $X^3 = -I$ pentru operatorii J, K, L , asigurând stabilitatea vidului și selectarea direcțiilor interne coerente. Această condiție nu este o ipoteză externă, ci rezultatul minimizării energiei interne în prezența deviațiilor δh_X , iar structura cubică determină automat modul în care apar modurile stabile și cele sensibile la perturbații.

Al doilea ingredient îl constituie blocul câmpurilor emergente. În această componentă, fotonul, modulul Higgs și masele fermionice apar ca excitații efective ale vidului ternar, guvernate de factorii geometrici $Z(J)$ și $Z_H(K)$. Acestea joacă rolul unor parametri dinamici care codifică răspunsul intern al vidului, iar variațiile lor descriu atât rigiditatea electromagnetică, cât și sectorul scalar și dependentă maselor de starea geometrică internă.

În fine, al treilea ingredient este termenul de cuplaj dintre dinamica internă și geometria spațiu–timp, în care variația orientării lui L generează torsinea efectivă $S_\mu \sim \text{Tr}(L^{-1} \partial_\mu L)$. Acest cuplaj asigură faptul că sectorul neutrino și structura temporală asociată nu sunt independente de geometria externă, ci contribuie direct la descrierea conexiunii cu torsiune și la modul în care spațiul–timp răspunde variațiilor interne.

În această formulare, Acțiunea Unificată nu reprezintă un element suplimentar adăugat modelului, ci expresia sintetică a celor trei mecanisme fundamentale deja prezente: geometria ternară internă, apariția câmpurilor emergente și cuplajul lor la dinamica spațiu–timp. În această privință, structura acțiunii este complet constrânsă de arhitectura ternară și reunește într-un mod natural toate fenomenele discutate în lucrare.

Bibliografie

- [1] R. M. Wald, *General Relativity*. University of Chicago Press, 1984.
- [2] S. Weinberg, “The Cosmological Constant Problem,” *Rev. Mod. Phys.* **61**, 1 (1989).
- [3] I. L. Shapiro, “Physical Aspects of the Space–Time Torsion,” *Phys. Rept.* **357**, 113–213 (2002).
- [4] P. W. Higgs, “Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons,” *Phys. Rev. Lett.* **13**, 508–509 (1964).
- [5] F. Englert and R. Brout; G. S. Guralnik, C. R. Hagen and T. W. B. Kibble, pioneering papers on spontaneous symmetry breaking and mass generation (1964).
- [6] B. Pontecorvo, “Mesonium and Antimesonium,” *Sov. Phys. JETP* **6**, 429 (1957).
- [7] Z. Maki, M. Nakagawa and S. Sakata, “Remarks on the Unified Model of Elementary Particles,” *Prog. Theor. Phys.* **28**, 870–880 (1962).
- [8] P. Minkowski, “ $\mu \rightarrow e\gamma$ at a Rate of One Out of 10^9 Muon Decays?,” *Phys. Lett. B* **67**, 421–428 (1977).
- [9] R. N. Mohapatra and G. Senjanović, “Neutrino Mass and Spontaneous Parity Nonconservation,” *Phys. Rev. Lett.* **44**, 912–915 (1980).
- [10] F. W. Hehl et al., “General Relativity with Spin and Torsion: Foundations and Prospects,” *Rev. Mod. Phys.* **48**, 393–416 (1976).
- [11] F. W. Hehl, P. von der Heyde, G. D. Kerlick and J. M. Nester, same as above or related works on Einstein–Cartan theory (mid–1970s).
- [12] T. Padmanabhan, “Vacuum Fluctuations of Energy Density can Lead to the Observed Cosmological Constant,” *Class. Quant. Grav.* **22**, L107–L110 (2005), and related works on vacuum and gravity.
- [13] J. K. Webb et al., “Evidence for Spatial Variation of the Fine Structure Constant,” *Phys. Rev. Lett.* **107**, 191101 (2011).
- [14] M. T. Murphy, J. K. Webb and V. V. Flambaum, “Further Evidence for a Variable Fine–Structure Constant from Keck/HIRES QSO Absorption Spectra,” *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **345**, 609–638 (2003).
- [15] Y. Fukuda et al. (Super–Kamiokande Collaboration), “Evidence for Oscillation of Atmospheric Neutrinos,” *Phys. Rev. Lett.* **81**, 1562–1567 (1998).
- [16] K. Abe et al. (Hyper–Kamiokande Proto–Collaboration), “Hyper–Kamiokande Design Report,” arXiv:1805.04163.
- [17] Ref. on ternary algebras / Z_3 –graded structures (to be specified).
- [18] Another ref. on ternary algebras / discrete ternary symmetries (to be specified).
- [19] Ref. on discrete internal geometry / vacuum structure with nontrivial internal space (to be specified).

- [20] J. Alexander et al., “Dark Sectors 2016 Workshop: Community Report,” arXiv:1608.08632, and/or other reviews on dark photons.
- [21] B. Holdom, “Two $U(1)$ ’s and Epsilon Charge Shifts,” *Phys. Lett. B* **166**, 196–198 (1986).
- [22] J. K. Webb et al., earlier work on variation of α in QSO spectra (to be specified – e.g. Webb et al. 1999).
- [23] J.-P. Uzan, “Varying Constants, Gravitation and Cosmology,” *Living Rev. Rel.* **14**, 2 (2011).
- [24] Review on Hong–Ou–Mandel interference and two–photon quantum optics (to be specified).
- [25] Ref. on precision photon interference experiments constraining vacuum properties (to be specified).
- [26] R. L. Workman et al. (Particle Data Group), “Review of Particle Physics,” *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2022**, 083C01 (2022), and updates.
- [27] E. Majorana, “Teoria simmetrica dell’elettrone e del positrone,” *Nuovo Cim.* **14**, 171–184 (1937).
- [28] T. Yanagida, in *Proceedings of the Workshop on the Unified Theory and Baryon Number in the Universe* (1979); M. Gell-Mann, P. Ramond and R. Slansky, etc. – classic seesaw references.
- [29] R. N. Mohapatra and G. Senjanović, “Neutrino Mass and Spontaneous Parity Violation,” *Phys. Rev. D* **23**, 165 (1981), and related seesaw papers.
- [30] M. G. Aartsen et al. (IceCube-Gen2 Collaboration), “IceCube-Gen2: A Vision for the Future of Neutrino Astronomy in Antarctica,” arXiv:1412.5106, and updates.
- [31] K. Abe et al. (Hyper–Kamiokande Collaboration), recent design / physics potential papers (to be specified, complementary to [16]).
- [32] G. Aad et al. (ATLAS Collaboration), “Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC,” *Phys. Lett. B* **716**, 1–29 (2012).
- [33] S. Chatrchyan et al. (CMS Collaboration), “Observation of a New Boson at a Mass of 125 GeV with the CMS Experiment at the LHC,” *Phys. Lett. B* **716**, 30–61 (2012).
- [34] Ref. on emergent / composite Higgs scenarios (to be specified – e.g. Contino 2010 review).
- [35] Second ref. on emergent / composite Higgs models (to be specified).
- [36] C. Rovelli, works on loop quantum gravity and black hole interiors / regularization (to be specified).
- [37] A. Barrau and C. Rovelli, “Planck Star Phenomenology: An Astrophysical Test of Quantum Gravity,” *Phys. Lett. B* **739**, 405–409 (2014), or related review.
- [38] M. Bojowald, “Loop Quantum Cosmology,” *Living Rev. Rel.* **11**, 4 (2008).

- [39] A. Ashtekar, T. Pawłowski and P. Singh, “Quantum Nature of the Big Bang,” Phys. Rev. Lett. **96**, 141301 (2006), and related LQC bounce papers.
- [40] Planck Collaboration, paper on CMB polarization / cosmic birefringence constraints (to be specified).
- [41] Y. Minami and E. Komatsu, works on measurement of cosmic birefringence from CMB polarization (to be specified).
- [42] Planck Collaboration, “Planck 2015 Results. XI. CMB Power Spectra, Likelihoods, and Robustness of Parameters,” Astron. Astrophys. **594**, A11 (2016), or similar CMB polarization analysis.
- [43] Y. Minami and E. Komatsu, “New Extraction of the Cosmic Birefringence from the Planck 2018 Polarization Data,” Phys. Rev. Lett. **125**, 221301 (2020).
- [44] C. K. Hong, Z. Y. Ou and L. Mandel, “Measurement of Subpicosecond Time Intervals Between Two Photons by Interference,” Phys. Rev. Lett. **59**, 2044–2046 (1987).
- [45] Ref. on high-precision modern Hong–Ou–Mandel experiments (to be specified).
- [46] Cornel Lemnar. *Nuclear energy from an internal ternary symmetry*, Zenodo (2025) Preprint, DOI: 10.5281/zenodo.17847017.
- [47] Cornel Lemnar, *Ternary Unified Physics: A New Symmetry of Fundamental Interactions*, Zenodo (2025) Preprint, DOI: 10.5281/zenodo.17858704.