Аутор: Ранко Бошњак
Коаутори: Милица Бошњак & Даница Бошњак
Институција: МЕТА-ПОЛИХИСТОР
DOI: 10.5281/zenodo.23770251
„ПОЛИХИСТОР“ N: PH-FIZ-01-07S-SRB
polihistor@meta-ns.co.rs

О ПРИНЦИПУ ЕКВИВАЛЕНЦИЈЕ МАСА
(S – синтетички рад)

Инерција и гравитација нису исто.
Али јесу две стране исте медаље.

АПСТРАКТ
Овај рад представља синтезу теоријског [3] и експерименталног [4] рада о дуалности маса из **(3+3)** геометрије. Теоријски рад [3] изводи релацију $\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$ са инваријантом $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$, и показује да гравитациона маса долази од унутрашње енергије (рада нуклеарних сила), која се онда кретањем *развлачи*. Фотони, лептони и неутрини су изузетак — немају нуклеарну унутрашњу енергију која се развлачи, па им је $\mathbf{m_i = m_g = E/c^2}$ ($\mathbf{n = 0}$). Следи експериментални рад [4] који проверава предвиђања на постојећим подацима: MICROSCOPE [10, 11], Eötvös [6], GW170817 [1], гравитациона сочива, SN1987A [8, 9]. Ова синтеза показује: (а) гранични случајеви су потврђени; (б) тестови на ниским γ јесу сагласни али не тестирају ефекат; (в) тестови на високим $\boldsymbol{\gamma}$ за сложене честице нису изведени; (г) неутрини из SN1987A су конзистентни са теоријом ($\mathbf{n = 0}$, $\mathbf{m_g = E/c^2}$ — Теорема 2.6 из [3]), али не разликују је од стандардне GR. Овај рад разматра и засићење анизотропије и предлаже конкретне тестове за будућност.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: дуалност маса, принцип еквиваленције, (3+3) метрика, $m_i/m_g = \gamma^2$, дефект масе, синтеза

AMC (2020) КЛАСИФИКАЦИЈА:
83C45 Квантна гравитација;
70S20 Принцип еквиваленције и тестови;
81V17 Гравитационе интеракције у квантној механици;
83B05 Експериментална провера релативистичких теорија.

1. УВОД — ЗАШТО СИНТЕЗА
Овај рад је трећи и последњи у тријади PH-FIZ-01-07. Теоријски рад [3] извео је да се инерциона и гравитациона маса раздвајају при релативистичким енергијама **за сложене честице ($\mathbf{n = 1}$)**, док за елементарне ($\mathbf{n = 0}$) остају једнаке ($\mathbf{m_i = m_g = \frac{E}{c^2}}$). Експериментални рад [4] проверио је предвиђања на постојећим подацима. Овај рад спаја та два резултата у једну слику — и поставља питање: **шта нам подаци заиста говоре?**
Синтеза није пуко препричавање. Она треба да:

- утврди шта је потврђено, а шта није
- покаже где постоји образац, а где само шум
- призна ограничења и отворена питања
- размотри алтернативна тумачења постојећих аномалија
- предложи шта следеће тражити

Полазимо од теорије, прелазимо на податке, потом разматрамо аномалије и на крају се питамо шта то значи.

2. ТЕОРИЈСКИ ТЕМЕЉ — РЕЗИМЕ B-РАДА

У овом поглављу изложићемо, укратко, теоријске поставке које доноси Теоријски рад [3] ове тријаде.

2.1 Дефиниције дуалних маса

У **(3+3)** метрици, уводимо две комплементарне дефиниције масе за **сложене честице (n = 1)**:

- **Инерциона маса:** $\mathbf{m_i = \gamma m_0}$
- **Гравитациона маса:** $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$

где је $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ Лоренцов фактор [5], а m_0 маса мировања. Јединствена формула је $\mathbf{m_g = (\frac{E}{c^2}) \cdot \gamma^{-2n}}$,

где је **n = 1** за сложене, **n = 0** за елементарне честице ($\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$ — Теорема 2.6 из [3]).

2.2 Инваријанта

Из дефиниција следи:

- $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g = (\gamma m_0) \times (\frac{m_0}{\gamma}) = m_0^2}$

Производ је константан — инваријантан на референтни систем. То је последица дефиниција, није доказ да су оне тачне. Али инваријантност је мотивација за увођење обе масе заједно.

Напомена: инваријанта $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$ важи само за сложене честице (**n = 1**). За елементарне (**n = 0**), $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2} = \gamma m_0}$, па производ није константан — нема дуалности.

2.3 Дефект масе и унутрашња енергија

Тело масе $\mathbf{m_0}$ састоји се од честица маса $\mathbf{m_k}$ које се крећу унутар тела.

Њихова укупна релативистичка енергија је:

- $\mathbf{E_{sast} = \sum m_k \gamma_k c^2}$

Дефект масе је:

- $\mathbf{\Delta m = \sum m_k \gamma_k - m_0 = \frac{E_b}{c^2} > 0}$

за стабилна тела, где је $\mathbf{E_b}$ енергија везе. Гравитациона маса сложене честице долази од унутрашње енергије, тј. рада нуклеарних сила:

- $\mathbf{m_g = \frac{E_{int}}{c^2} = \frac{m_0}{\gamma}}$

Дакле, дефект масе није само „нуклеарни ефекат“, то је механизам којим гравитациона маса настаје и зашто опада са кретањем.

2.4 Закон одржања квадрата

У **(3+3)** структури, за сваку кинематичку величину **X,** ону која има лонгитудиналну и трансверзалну компоненту, важи:

- $\mathbf{X\| \cdot X\perp = X_0^2}$

То је последица реципрочности: **ако** $\mathbf{X\| = \gamma^a X_0}$ и $\mathbf{X\perp = \gamma^{-a} X_0}$**, онда** је производ увек $\mathbf{X_0^2}$**.** Овај закон важи за дужину $\mathbf{(L\| \cdot L\perp = L_0^2)}$**,** време $\mathbf{(t\| \cdot t\perp = t_0^2)}$ и масу $\mathbf{(m\| \cdot m\perp = m_0^2)}$**.**

Из овога следи:

- $\mathbf{L \cdot t = const}$ (простор и време су упарени)
- $\mathbf{\frac{m}{t} = const}$ (маса се трансформише као време)
- $\mathbf{m \cdot L = const}$ (производ масе и дужине по оси)

Ово даје додатну мотивацију за $\mathbf{m \bullet L = const}$ (уз претпоставку темпоралног карактера масе, [3], 3.0.2) — поред принципа неодређености [7].

Напомена: $\mathbf{m \cdot L = const}$ и $\mathbf{\frac{m}{t} = const}$ важе за сложене честице (**n = 1**). За елементарне (**n = 0**), $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$, па ови закони не важе — јер нема везивне енергије која би се развлачила.

2.5 Гранични случајеви

- **$v = 0$**: $m_i = m_g = m_0$ (нема кретања, нема дуалности)
- **$v \to c$ (сложене честице, $n = 1$)**: $m_i \to \infty$, $m_g \to 0$, $\frac{m_i}{m_g} \to \infty$
- **$v = c$ (фотони)**: $m_i = m_g = \frac{E}{c^2}$ (нема унутрашње енергије, нема дуалности)
- **Неутрини ($n = 0$):** $m_g = \frac{E}{c^2}$ (немају нуклеарну унутрашњу енергију — Теорема 2.6 из [3])

---

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ НАЛАЗИ — РЕЗИМЕ Е-РАДА

У овом поглављу изложићемо експерименталне резултате из експерименталног рада [4] ове тријаде.

3.1 MICROSCOPE и Eötvös — тестови на ниским γ

Експеримент	Резултат	Статус
MICROSCOPE (2022) [10]	$\eta = (-1{,}5 \pm 2{,}3 \pm 1{,}5) \times 10^{-15}$ **(1σ)**	Сагласно
Touboul et al. (2017) [11]	$\eta < 10^{-14}$	Сагласно
Eötvös (1922) [6]	$\eta < 5 \times 10^{-9}$	Сагласно

Шта видимо: MICROSCOPE ради на орбиталним брзинама **($\gamma \approx 1 + 3 \times 10^{-10}$).** Релативна величина ефекта је $\gamma^2 - 1 \approx 6 \times 10^{-10}$**,** али је иста за оба тела, па се онда поништава у диференцијалном мерењу. MICROSCOPE не може да детектује ефекат али му не противречи.

3.2 GW170817 и гравитациона сочива — фотони

Експеримент	Резултат	Статус
GW170817/GRB 170817A (2017) [1]	$c_g = c$	Сагласно
Гравитациона сочива	Фотони следе геодезијске линије	Сагласно

Шта видимо: За фотон, $m_i = m_g = \frac{E}{c^2}$**.** Нема дуалности. Фотони следе геодезијске линије нормално, а то је управо оно што теорија предвиђа за гранични случај $v = c$**.**

3.3 Неутрини и фотони из SN1987A

Шта је познато: Неутрини из SN1987A (енергије **~10** [MeV], масе $\lesssim 1$ [eV], дакле $\gamma \gtrsim 10^7$) и фотони из тог истог извора стигли су у размаку од неколико сати, иако је Shapiro кашњење у гравитационом пољу Галаксије реда месеци [8, 9].

Наше могуће објашњење: Неутрини имају $n = 0$, $m_g = \frac{E}{c^2}$ (Теорема 2.6 из [3]), зато они и реагују на гравитационо поље исто као фотони. Предвиђање $a = \frac{GM}{r^2}$ (за $n = 0$) даје исто Shapiro кашњење као за фотоне — што је управо оно што је посматрано.

Статус: Конзистентно. Овај тест проверава само да неутрини имају $n = 0$; а управо за $n = 0$ теорија и стандардна GR дају исти резултат, па тест не разликује теорију од GR.

3.4 Космички зраци — тест на екстремним γ

Шта је познато: Ултра-високоенергетски космички зраци ($E > 10^{19}$ [eV]) имају $\gamma \sim 10^{10}$**–**10^{11}**.**

Статус: Није тестирано.

---

4. СИНТЕЗА — ШТА ПОДАЦИ ЗАИСТА КАЖУ

Ово поглавље посвећено је синтези теорије и експеримента, односно тумачењу шта ти подаци заиста говоре за онај део који је тестиран. Исто тако, нису изостављени ни они делови који нису тестирани јер су они и стварни позив на тестирање. Наравно, то тестирање треба да обаве они који за то имају могућности јер их ми немамо.

4.1 Табела статуса

Предвиђање	Теорија	Експеримент	Статус
$\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$	$\boldsymbol{\gamma^2}$	Космички зраци	Није тестирано
$\mathbf{a = GM/(\gamma^2 r^2)}$	$\mathbf{1/\gamma^2}$	MICROSCOPE [10, 11], Eötvös [6]	Сагласно на $\boldsymbol{\gamma \approx 1}$; није тестирано на високим γ
Гранични случајеви (**v=0,** фотон)	$\mathbf{m_i = m_g}$	MICROSCOPE [10], GW170817 [1], сочива	Потврђено
Фотони	$\mathbf{m_i = m_g = E/c^2}$	сочива	Потврђено
Дефлексија (сложене честице)	$\mathbf{1/\gamma^2}$	Космички зраци	Није тестирано
Стабилност честица	Распад на критичној $\boldsymbol{\gamma}$	LHC, космички зраци	Није тестирано на критичним $\boldsymbol{\gamma}$
Неутрини **(n = 0)**	$\mathbf{m_g = E/c^2}$	SN1987A [8, 9]	Конзистентно

4.2 Шта је потврђено

- **Гранични случајеви** — $\mathbf{m_i = m_g}$ на $\mathbf{v = 0}$ (MICROSCOPE [10, 11], Eötvös [6]), док за фотоне (GW170817 [1], сочива)
- **Фотони** — $\mathbf{m_i = m_g = \frac{E}{c^2}}$**;** следе геодезијске линије нормално

Ово су закључци теорије — не претпоставке.

4.3 Шта је делимично потврђено

Гравитационо убрзање сагласно на ниским $\boldsymbol{\gamma}$ (ефекат занемарљив), али није тестирано на високим $\boldsymbol{\gamma}$**.**

4.4 Шта није тестирано

- $\mathbf{\frac{m_i}{m_g}} = \boldsymbol{\gamma^2}$ на високим γ — космички зраци
- **Дефлексија** за масивне честице
- **Стабилност** на критичним γ

4.5 Образац

Иако нема потпуне потврде:

- Гранични случајеви су потврђени (али ту дуалности нема)
- Фотони следе геодезијске линије (што теорија предвиђа)
- На ниским $\boldsymbol{\gamma}$ нема противречности (јер је ефекат занемарљив)
- На високим $\boldsymbol{\gamma}$ — нема тестова

Образац није доказ али јесте траг. За сада, слика је непотпуна али конзистентна.

Најважније што подаци кажу није оно што је потврђено, већ где се налази прва тачка у којој теорија може да се оцени: сложене честице на високом $\boldsymbol{\gamma}$.

---

5. ДОДАТНА РАЗМАТРАЊА

Овде наводимо један догађај за који теорија даје одређено очекивање.

5.1 GRB 170817A — неутрини vs фотони

Шта је познато: Гама-зрачење GRB 170817A [1] стигло је **1.7 s** после гравитационих таласа GW170-817; неутрини из тог догађаја нису детектовани. Пошто неутрини нису детектовани, тест није могућ за тај догађај. SN1987A је једини постојећи тест (3.3).

Наше могуће објашњење: Пошто неутрини имају $\mathbf{n = 0,\ m_g = \frac{E}{c^2}}$ (Теорема 2.6 из [3]), реагују на гравитационо поље исто као фотони. Дакле, не очекује се разлика у времену доласка. Овај догађај није у сукобу са теоријом, али не даје ни независан тест (пошто неутрини нису детектовани).

Шта тражити: Да ли постоји систематска разлика у временима доласка између неутрина и фотона из истих извора која зависи од енергије?

Критеријум разликовања: Ако је разлика конзистентна са нулом (као код фотона), то је у складу са

$\mathbf{n = 0}$. Ако прати $\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\gamma^2}}$, то је у сукобу са $\mathbf{n = 0}$ за неутрине.

Напомена: Ово је мало осетљивије питање јер и стандардна GR предвиђа да Shapiro кашњење зависи од гравитационог потенцијала, али је за фотоне ахроматично. За сложене честице, наша теорија даје додатно слабљење. Потребна је пажљивија анализа.

---

6. ЗАСИЋЕЊЕ ТРАНСВЕРЗАЛНЕ И ЛОНГИТУДИНАЛНЕ АНИЗОТРОПИЈЕ

У овом поглављу размотрићемо једно спорно питање које није нашло своје место у раду [3] из разлога што је основна тема рада била дуалност маса и ово питање би га и додатно проширило.

6.1 Формулација проблема

У теоријском раду [3] уведене су релације $\mathbf{L\perp = \gamma L_0}$ (која је за трансверзално ширење), као и $\mathbf{L\parallel} = \frac{\mathbf{L_0}}{\boldsymbol{\gamma}}$ (лонгитудинална контракција). Из тога следи дуалност маса $\frac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}} = \boldsymbol{\gamma^2}$**.** Али ако су ове трансформације неограничене, онда на LHC енергијама ($\boldsymbol{\gamma \sim 7000}$):

- Трансверзални радијус: $\mathbf{r\perp \approx \gamma r_0 \approx 7000 \times 0.84}$ [fm] ≈ **5900** [fm] ≈ **6** [pm]
- Лонгитудинална дужина: $\mathbf{L\parallel \approx \frac{L_0}{\gamma} \approx \frac{0.84[fm]}{7000}}$ ≈ **0.00012** [fm]

То значи да би протон био „палачинка“ радијуса око **6** пикометара и дебљине око $\mathbf{10^{-4}}$ [fm].
Запремина би била:

- $\mathbf{V = (\frac{L_0}{\gamma})\cdot(\gamma L_0)^2 = \gamma L_0^3}$

Дакле, запремина расте као $\boldsymbol{\gamma}$. То је проблем — јер тако нешто било би примећено на много начина: укупно попречни пресек би растао као $\boldsymbol{\gamma^2}$, LHC не би радио као што ради. Дакле, трансформације не могу бити неограничене.
То је проблем који теоријски рад [3] решава у 2.8 (граница важења, преко механизма засићења из [2]). Детаљи су разрађени овде, у поглављу 6.

6.2 Решење: засићење обе компоненте

У претходној тријади, у раду [2] увели смо засићење анизотропије из енергетског минимума ([2],5.6):

- $\boldsymbol{\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c}}}$

Облик засићења није претпостављен — изведен је из Ландау теорије фазних прелаза и још неколико других елемената, у раду [2].
Исти механизам примењујемо на обе компоненте дужине — јер ширење у недоглед и скупљање до нуле су подједнако нефизички:

- $\mathbf{L\perp = \frac{\gamma L_0}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_c}}}$ (трансверзално — засићење на максимуму)
- $\mathbf{L\parallel = (\frac{L_0}{\gamma})\cdot(1 + \frac{\gamma}{\gamma_c}) = \frac{L_0}{\gamma_{eff}}}$, где је $\boldsymbol{\gamma_{eff} = \frac{\gamma}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_c}}}$ (лонгитудинално — засићење на минимуму)

За $\gamma \ll \gamma_c$**:**

- $\mathbf{L\perp \approx \gamma L_0}$ (ширење, као у [2])
- $\mathbf{L\parallel \approx \frac{L_0}{\gamma}}$ (контракција, као у [2])

За $\gamma \gg \gamma_c$**:**

- $\mathbf{L\perp \rightarrow \gamma_c L_0 = L_{max}}$ (ширење стаје)
- $\mathbf{L\parallel \rightarrow \frac{L_0}{\gamma_c} = \ell_{min}}$ (контракција стаје)

Дакле, засићење није нов механизам (али уводи нови параметар $\boldsymbol{\gamma_c}$) — то је исти механизам који смо већ извели, примењен на обе компоненте анизотропије.

6.3 Шта је γ_c

$\boldsymbol{\gamma_c}$ је критична вредност на којој обе компоненте засите. Тачан облик није изведен из **(3+3)** метрике, а домет нуклеарних сила (**~1** [fm]) је само природна скала дужине.
Изједначавање $\mathbf{L_{max} = \gamma_c L_0}$ са дометом силе (**~1** [fm]) дало би $\boldsymbol{\gamma_c \sim 1}$, што је у супротности са 6.4; зато $\boldsymbol{\gamma_c}$ не изводимо из домета силе.
Други кандидат: граница стабилности. Али пошто LHC протони не нестају, граница мора бити изнад LHC енергија — или се тело не распада, него само засити.

6.4 Последице за дуалност маса

За $\gamma \ll \gamma_c$: $\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$ (као у [3])

За $\gamma \gg \gamma_c$: $\frac{m_i}{m_g} \to \gamma \cdot \gamma_c$ (расте само линеарно са γ, јер $m_i = \gamma m_0$ не засићује, а $m_g \to \frac{m_0}{\gamma_c}$ — [3], 2.8)

На LHC енергијама ($\gamma \sim 7000$): ако је $\gamma_c \sim 10^5$, приближно смо још у γ^2 режиму
На FCC (**100** [TeV], $\gamma \sim 10^5$): засићење би требало да буде видљиво

6.5 Очување инваријанте

У незасићеном режиму **($\gamma \ll \gamma_c$):**

- $L_\parallel \cdot L_\perp = (\frac{L_0}{\gamma}) \cdot (\gamma L_0) = L_0^2$

У засићеном режиму **($\gamma \gg \gamma_c$):**

- $L_\parallel \cdot L_\perp \to (\frac{L_0}{\gamma_c}) \cdot (\gamma_c L_0) = L_0^2$

Инваријанта се одржава и у засићеном режиму. То је веома важно — јер значи да засићење не квари структуру, само мења облик трансформације.
Али то важи само ако су обе границе повезане истом скалом $\boldsymbol{\gamma_c}$**.** Ако су различите, инваријанта се квари. Дакле, иста скала за обе границе није само природна — она је нужна за очување инваријанте.

6.6 Зашто обе, не само једна

Ако само трансверзална засити, а лонгитудинална иде до нуле, запремина би ишла као:

- $V = (\frac{L_0}{\gamma}) \cdot (\gamma_c L_0)^2 = \frac{\gamma_c^2 {L_0}^3}{\gamma} \to 0$

То је сингуларност — тело би имало нулту запремину.
Ако само лонгитудинална засити, а трансверзална иде у бесконачност, запремина би ишла као:

- $V = \ell_{min} \cdot (\gamma L_0)^2 \to \infty$

То је такође сингуларност — тело би имало бесконачну запремину.
Оба су нефизичка. Дакле, обе компоненте морају да засите — и то на истој скали. То чува запремину од сингуларности и даје конзистентну слику: тело не може бити ни „нулто“ нити „бесконачно“ — јер су честице везане јаком силом која има коначан домет.

6.7 Тестибилност

Ако засићење постоји, онда:

- На LHC ($\gamma \sim 7000$): дуалност је γ^2 (нема одступања — јер смо још у линеарном режиму)
- На FCC ($\gamma \sim 10^5$): дуалност одступа од γ^2 — прелази у засићење

То је конкретно, обориво предвиђање. Ако FCC покаже да дуалност прати γ^2 без засићења — онда засићења нема, и теорија је у проблему на том месту.

6.8 Зашто је то важно

Засићење решава проблем нефизичког раста пресека уз један нови параметар ($\boldsymbol{\gamma_c}$) и користи потпуно исти механизам који смо извели у [2]. Оно повезује две тријаде: засићење анизотропије (константе) и засићење трансверзалне и лонгитудиналне анизотропије (масе) имају један исти узрок — енергетски минимум.
То значи да теорија није у сукобу са LHC пресеком. Али није ни потврђена — јер засићење још није тестирано. То је простор где FCC може да одлучи.

6.9 Шта остаје отворено

Тачна вредност $\boldsymbol{\gamma_c}$— није изведена из **(3+3)** метрике. Кандидат је домет нуклеарних сила, али то није строго изведено.

Облик засићења — да ли је $\mathbf{L\perp} = \frac{\boldsymbol{\gamma L_0}}{\mathbf{1} + \frac{\boldsymbol{\gamma}}{\boldsymbol{\gamma_c}}}$, или нешто друго (нпр. $\sqrt{\boldsymbol{\gamma}}$, или експоненцијално засићење)?

Да ли су границе заиста повезане истом скалом — или ипак овде постоје две различите $\boldsymbol{\gamma_c}$ (једна за лонгитудиналну, друга за трансверзалну)? Ако су различите, инваријанта се квари — што би већ био проблем.

Последице по $\mathbf{m_g}$ — у [3], 2.8 дато је $\mathbf{m_g} \rightarrow \frac{\mathbf{m_0}}{\boldsymbol{\gamma_c}}$; остаје да се види да ли то строго следи из засићења $\mathbf{L\perp}$ и $\mathbf{L\parallel}$.
Ово су отворена питања која захтевају даљу анализу — и експерименталну проверу на FCC.

---

7. ИМПЛИКАЦИЈЕ

У овом поглављу размотрићемо неколико импликација за случај да је наша теорија стварно тачна.

7.1 Принцип еквиваленције није фундаменталан

Ако је наша теорија тачна, **онда** принцип еквиваленције није фундаментални закон природе — то је апроксимација која важи за $\mathbf{v \ll c}$. На високим енергијама, инерција и гравитација се раздвајају.

7.2 Маса је тензор

У релативистичкој динамици, у модерној конвенцији, ефективни тензор инерције има својствене вредности $\boldsymbol{\gamma m_0}$ и $\boldsymbol{\gamma^3 m_0}$ (видети Прилог B [3]). У нашој формулацији, тензор масе има својствене вредности $\boldsymbol{\gamma m_0}$ (лонгитудинално) и $\frac{\mathbf{m_0}}{\boldsymbol{\gamma}}$ (трансверзално). Однос је исти (γ^2), али апсолутне вредности су различите.

7.3 Нуклеарне силе и гравитација су повезане

Ако гравитациона маса долази од унутрашње енергије (рада нуклеарних сила), **онда** су нуклеарне силе и гравитација повезане. То је концептуални помак — јер гравитација није фундаментална сила, него последица унутрашње структуре материје.

7.4 Фотони су изузетак

Фотони немају унутрашњу енергију, па онда немају ни дуалност. Њихова гравитациона маса долази од укупне енергије ($\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{c^2}}$) и једнака је инерционој. То онда и објашњава зашто фотони следе геодезијске линије нормално — што је потврђено.

7.5 Лоренцова ограничења (отворено)

(3+3) метрика са три временске димензије озбиљно је ограничена експериментом. Али ако временске димензије нису све једнако третиране, онда је то ефективна **(1+3+3)** структура. Ово остаје отворено питање.

7.6 Шта би оборило теорију

Теорија је оборена ако се покаже да:

- елементарна честица ($\mathbf{n = 0}$) показује дуалност ($\mathbf{m_i \neq m_g}$) на високом $\boldsymbol{\gamma}$;

- фотон показује дуалност;
- сложена честица (**n = 1**) на високом **γ** има $\mathbf{m_i = m_g}$ — ни засићење (6.4) то не допушта, јер је тада $\frac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}} \rightarrow \boldsymbol{\gamma \cdot \gamma_c > 1}$;
- реципроцитет трансверзалних величина **($L_\perp = \gamma L_0$)** овде противречи границама изотропије простора. У свим другим случајевима остаје само питање вредности параметара (на пример $\boldsymbol{\gamma_c}$), а не самог принципа.

Детаљни предлози за будућа мерења дати су у Прилогу А експерименталног рада [4]. Зато их овде не понављамо — само напомињемо да су тестибилни; за неке је потребан нови извор честица или FCC (6.7).

---

8. ОГРАНИЧЕЊА И ПРАВАЦ ДАЉЕГ РАДА

Ова тријада показује да дуалност маса није у сукобу са постојећим подацима, али није ни потврђена. Гранични случајеви су потврђени, фотони следе геодезијске линије, али зато тестови на високим **γ** за масивне честице **нису изведени**. Постоје две природне могућности за даљи рад:

- **Прва: реанализа космичких зрака.** Ако се дефлексија мења са енергијом као $\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\gamma^2}}$, то је траг. Ако се мења као **Z/p** (магнетна дефлексија, независна од $\mathbf{m_g}$) — стандардно.
- **Друга: нови експерименти.** Тест слободног пада са ултра-релативистичким честицама, као и неутрини из будућих супернових (Прилог А из [4]).

Шта ово значи за тријаду. Ова тријада је написана као прва верзија — поштена, али непотпуна. Она тачно каже шта показује и шта не показује. Тестови на ниским γ су сагласни, али не тестирају ефекат. Тестови на високим **γ** за сложене честице нису изведени (једини тест на високом **γ** је SN1987A за неутрине, **n = 0**).

Детаљно поређење са Ајнштајновим двема масама дато је у Прилогу В теоријског рада [3]. Сада само напомињемо да је однос исти (γ^2), али апсолутне вредности различите јер описују различита физичка питања.

Тражи: • `Неутрини из SN1987A су конзистентни са теоријом (n = 0, m_g = E/c^2 )` → Замени са: • `Неутрини из SN1987A су конзистентни са теоријом (n = 0, m_g = E/c²), али не разликују је од стандардне GR`

---

9. ЗАКЉУЧАК

Ова тријада — радови B, E, S — представља једну целину. Теоријски рад [3] извео је да се инерциона и гравитациона маса раздвајају при релативистичким енергијама, а да су гранични случајеви (**v = 0** и фотони) једнаки. Експериментални рад [4] проверио је та предвиђања и нашао делимично слагање на ниским **γ,** али није нашао директан тест на високим **γ.**

Кључна достигнућа тријаде:

- $\frac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}} = \boldsymbol{\gamma^2}$ (сложене честице, **n = 1**)— релација изведена из дефекта масе
- $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$ — инваријанта
- $\mathbf{m_g} = \frac{\mathbf{m_0}}{\boldsymbol{\gamma}}$ — гравитациона маса опада са кретањем
- **Фотони, лептони, неутрини (n = 0):** $\mathbf{m_i = m_g = \frac{E}{c^2}}$ — нема дуалности
- **Гранични случајеви**: $\mathbf{m_i = m_g}$ на **v = 0** и за фотоне
- **Закон одржања квадрата**: $\mathbf{X_\parallel \cdot X_\perp = X_0^2}$
- **m·L = const** — последица **(3+3)** структуре и принципа неодређености

Шта још није:

- Нема директне потврде $\frac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}} = \boldsymbol{\gamma^2}$ на високим γ (осим SN1987A за неутрине)
- Космички зраци, GRB неутрини — нису тестирани

- **(3+3)** метрика није усклађена са Лоренцовим ограничењима

Али:

- Гранични случајеви су потврђени
- Фотони следе геодезијске линије (што теорија предвиђа)
- Нема противречности на ниским γ
- Неутрини из SN1987A су конзистентни са теоријом ($\mathbf{n = 0}$, $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$), али не разликују је од стандардне GR.
- Све резултате — и позитивне и негативне — приказујемо без селекције.

ПРИЛОГ А: ЕТВЕШОВ ЕКСПЕРИМЕНТ И АЈНШТАЈНОВ ПОСТУЛАТ

У овом прилогу додаћемо коју реч о пореклу, чувеног, Ајнштајновог постулата еквиваленције маса. Понегде у литератури може се пронаћи да је Ајнштајн увео постулат еквиваленције маса на основу резултата Етвешовог експеримента. Међутим, истина је сасвим другачија и овај прилог посвећујемо стварној хронологији догађаја.

А.1 Етвешова мерења

Барон Роланд фон Етвеш (1848–1919) је торзионим вагама мерио разлику између инерционе масе и гравитационе масе. Његова мерења су имала **три фазе**:

- **1889.** — прва мерења, прецизност око $\mathbf{5\times10^{-8}}$
- **1908.** — експеримент са Пекаром и Фекетеом (EPF), прецизност око $\mathbf{10^{-8}}$
- **1922.** — постхумно објављивање EPF резултата, прецизност до $\mathbf{5\times10^{-9}}$

Дакле, Етвеш је мерио да су инерциона и гравитациона маса једнаке **до те границе**. Не више од тога. Није измерио да су идентичне — измерио је да **нису различите више од** $\mathbf{5\times10^{-9}}$.

А.2 Ајнштајн формулише принцип еквиваленције (1907)

Ајнштајн је формулисао принцип еквиваленције **1907. године**, као „најсрећнију мисао мог живота“. Етвешова прва мерења (1889) била су објављена 1890, а EPF серија (1906–1909) није била завршена; да ли је Ајнштајн 1907. знао за Етвешова мерења, овде не тврдимо. Претпостављамо да је принцип еквиваленције у GR ушао као **чиста теоријска претпоставка**, без икакве експерименталне основе у тренутку формулације на основу информација које дајемо у следећем одељку..

А.3 Ајнштајн пише Вину (1912)

Давне 1912. године, Ајнштајн је писао Вилхелму Вину са предлогом да се измери разлика периода осциловања уранијумског и оловног клатна, односно пропорционалност инерционе и гравитационе масе, помоћу торзионе ваге.

У том писму **није знао да је Етвеш већ извео тај експеримент**. Да је знао, не би писао Вину. Дакле, Ајнштајн је **поново открио** експеримент који је Етвеш већ извео — што доказује да му тад Етвешови резултати нису били познати. Мада, истини за вољу, само из једног писма не може да се утврди шта је неко знао, а шта није. Зато ово и остаје само на нивоу претпоставке, нарочито зато што постоји још један чланак *Einstein und der Eötvös-Versuch: Ein Brief Albert Einsteins an Willy Wien* у издању Annals of Science 46 (1989). По наслову се чланак односи управо на Етвешов експеримент, па би на основу тога могли закључити да је Ајнштајн ипак знао за поменути експеримет али се не може закључити и кад је за њега сазнао.

А.4 Хронологија

Година	Догађај
1889.	Етвешова прва мерења (прецизност ~$\mathbf{5\times10^{-8}}$)
1907.	**Ајнштајн формулише принцип еквиваленције — као теоријски постулат**
1908.	Етвеш, Пекар и Фекете изводе EPF серију мерења.
1909.	EPF добија Бенекеову награду у Гетингену
1912.	**Ајнштајн пише Вину са предлогом експеримента**
1922.	Скраћена верзија EPF резултата објављена постхумно

А.5 Шта то значи

Принцип еквиваленције је у GR ушао као **постулат**, не као последица мерења. Ајнштајн формулише постулат 1907. као теоријски постулат, а не као закључак из Етвешових мерења. Значи да је принцип еквиваленције тестиран само накнадно и то у границама тадашње прецизности (10^{-8} до 10^{-9}), док на високим енергијама ($\gamma \gg 1$), принцип **никада није тестиран**.

А.6 Последица за GR

Ако је принцип еквиваленције постулат, онда GR **не може да објасни** зашто су масе једнаке — може само да **претпостави** да јесу. Ово је разлика између теорије која објашњава и теорије која постулира. Њутн је постулирао да је маса константна. Ајнштајн је показао да није, да зависи од γ. Али Ајнштајн је задржао постулат да су m_i и m_g једнаке. Можда је то и следећи корак: показати да и ова једнакост зависи од γ. То не значи да је Ајнштајн погрешио, већ да је његов постулат **имао домен** као Њутнов.

А.7 Закључак

Етвеш је измерио да су масе једнаке до око 5×10^{-9}. Ајнштајн је једнакост узео као постулат 1907, пре него што су та мерења била довршена. Принцип еквиваленције је формулисан **пре** експерименталне провере, и никада није тестиран на високим енергијама.

То не руши Ајнштајна. То га **смешта у домен** као што је Њутн смештен у домен ниских брзина. GR је тачна за оно што је тестирано. Али није коначна — јер почива на постулату који је тестиран само у граници $\gamma \approx 1$.

ПРИЛОГ Б: КРИТИКЕ И ОДГОВОРИ

У овом прилогу дајемо евентуалне критике уз припадајуће одговоре у циљу разјашњења недоумица.

Критика 1: „Зашто у синтези понављате оно што је већ у [3] и [4]?“
Одговор: Не понављамо — синтеза спаја резултате па морамо рећи шта спаја. –

Критика 2: „Зашто засићење уводите у S рад, а не у B?“
Одговор: Засићење је последица механизма из претходне тријаде [2]: енергетски минимум, Ландау. У B раду [3, 2.8] дат је облик засићења за масу; док у S раду овај исти механизам примењујемо на обе компоненте дужине и показујемо очување инваријанте (6.5).

Критика 3: „Ако засићење постоји, зашто га LHC није видео?“
Одговор: Зато што смо на LHC енергијама ($\gamma \sim 7000$) још у линеарном режиму — ако је $\gamma_c \sim 10^5$, засићење почиње тек знатно изнад LHC скале. На FCC (**100** [TeV], $\gamma \sim 10^5$) би требало да буде видљиво. То је конкретно, обориво предвиђање.

Критика 4: „Зар SN1987A није потврда теорије?“
Одговор: Није, и ту не тврдимо супротно. За $n = 0$ наша теорија и стандардна GR дају исти резултат, па тест показује само да неутрини немају нуклеарну везивну енергију која се развлачи. То је провера класификације, а не дуалности. Дуалност се тестира на сложеним честицама ($n = 1$) на високом γ, а такав тест за сада не постоји.

Критика 5: „Зар класификација $n = 0$ / $n = 1$ није подешена да одговара подацима?“
Одговор: Класификација следи из једног критеријума: да ли честица има нуклеарну (јаку) везивну енергију која се кретањем развлачи. Критеријум се не бира по честицама и свака нова чињеница о некој честици може да га оспори. Ако елементарна честица ($n = 0$) покаже дуалност, или сложена ($n = 1$) не покаже, класификација би пала.

Критика 6: „Зар теорија нема једначине поља?“
Одговор: Нема. Рад не даје коваријантну формулацију гравитације. Даје релацију између инерционе и гравитационе масе у **(3+3)** оквиру, као и очекивања која из ње следе. Како се ова гравитациона маса која зависи од брзине уклапа у једначине поља остаје отворено питање и задатак је даљег рада. ---
---

Критика 7: „Како се **(3+3)** метрика слаже са Лоренцовим ограничењима?“

Одговор: За сада не знамо. То је већ наведено као отворено питање у 7.5 и у [3]. Релација $\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$ за сложене честице изводи се из реципроцитета $L\perp = \gamma L_0$. Ако се покаже да та претпоставка не пролази кроз ограничења изотропије, пада и релација, а структура рада мења се у том делу.

Критика 8: „Зашто три рада уместо једног?“

Одговор: Да би теорија, подаци и њихово тумачење остали одвојени. Б рад даје теорију без обзира на податке, Е рад бележи шта подаци кажу, а С рад их спаја. Читалац тако види шта је претпоставка, шта је мерење, а шта тумачење.

ЕПИЛОГ

Наша тврдња је једноставна: инерција и гравитација сложених честица су дуални. Једна расте са кретањем, друга опада. На $v = 0$, за фотон и за елементарне честице се изједначавају. Између — разликују се. Зато рад и не завршавамо тврдњом, него питањем: да ли гравитација прати енергију или је само оно што држи тело на окупу?

Тријада је настала у много кругова исправки. Сваки круг је сужавао тврдње, а не ширио их. На крају остају једна релација за сложене честице, једно правило за елементарне, као и јасан списак онога што није тестирано. Мислимо да је то поштено место са којег теорија треба да изађе пред читаоца: јасне претпоставке, јасне обориве последице и без обећања веће сигурности него што је имамо.

РЕФЕРЕНЦЕ

[1] **Abbott, B. P., et al.** (2017). *Gravitational Waves and Gamma-Rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A.* Astrophysical Journal Letters, 848(2), L13.

[2] **Бошњак Р. & М. & Д.** (2026). *Еволуција константи из (3+3) геометрије – B.* PH-FIZ-01-06B-SRB. • https://doi.org/10.5281/zenodo.23438947

[3] **Бошњак Р. & М. & Д.** (2026). *О принципу еквиваленције маса – B.* PH-FIZ-01-07B-SRB.

[4] **Бошњак Р. & М. & Д.** (2026). *О принципу еквиваленције маса – E.* PH-FIZ-01-07E-SRB. • https://doi.org/10.5281/zenodo.23770241 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23770246

[5] **Einstein, A.** (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper.* Annalen der Physik, 322(10), 891–921.

[6] **Eötvös, R. V., Pekár, D., & Fekete, E**. (1922). *Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität.* Annalen der Physik, 373(13), 11–66.

[7] **Heisenberg, W**. (1927). *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik.* Zeitschrift für Physik, 43(3–4), 172–198.

[8] **Krauss, L. M., & Tremaine, S.** (1988). *Test of the weak equivalence principle for neutrinos and photons.* Physical Review Letters, 60, 176.

[9] **Longo, M. J.** (1988). *New precision tests of the Einstein equivalence principle from SN1987A.* Physical Review Letters, 60, 173.

[10] **MICROSCOPE Collaboration** (2022). *MICROSCOPE Mission: Final Results of the Test of the Equivalence Principle*. Physical Review Letters, 129(12), 121102.

[11] **Touboul, P., et al.** (2017). *First results of the MICROSCOPE space mission.* Physical Review Letters, 119(23), 231101.

POST SCRIPTUM

Идеја за ову тријаду потиче још из давне 1999. ратне године, коју смо ми Новосађани добро упамтили јер су нам зликовци срушили сва три моста преко моћног Дунава. Тада је главни аутор овог рада, проучавајући теорију релативности дошао на ову идеју, да би је четврт века и мало више после тога напокон развио уз обилату помоћ својих кћерки Милице и Данице.

Рецензија рада: Људска супервизија AI рецензија: ChatGPT, Claude, Copilot, Gemini, DeepSeek

Нови Сад
28.08.2026.

Научни часопис:
„ПОЛИХИСТОР“

Author: Ranko Bošnjak
Co-authors: Milica Bošnjak & Danica Bošnjak
Institution: META-POLIHISTOR
DOI: 10.5281/zenodo.23770251
"POLIHISTOR" N: PH-FIZ-01-07S-SRB
polihistor@meta-ns.co.rs

ON THE PRINCIPLE OF EQUIVALENCE OF MASSES
(S – synthetic paper)

Inertia and gravitation are not the same.
But they are two sides of the same coin.

ABSTRACT
This paper presents a synthesis of the theoretical and experimental papers on mass duality from **(3+3)** geometry. The theoretical paper derives the relation $\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$ with the invariant $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$, and shows that gravitational mass comes from internal energy (the work of nuclear forces), which is then "stretched" by motion. Photons, leptons and neutrinos are the exception — they have no nuclear internal energy that is stretched, so $\mathbf{m_i = m_g = E/c^2}$ **(n = 0).** This is followed by the experimental paper, which verifies the predictions against existing data: MICROSCOPE, Eötvös, GW170817, gravitational lensing, SN1987A. This synthesis shows: (a) boundary cases are confirmed; (b) tests at low γ are consistent but do not test the effect; (c) tests at high $\boldsymbol{\gamma}$ for composite particles have not been performed; (d) neutrinos from SN1987A are consistent with the theory ($\mathbf{n = 0, m_g = E/c^2}$ — Theorem 2.6), but do not distinguish it from standard GR. The paper also considers the saturation of the anisotropy and proposes concrete tests for the future.

KEYWORDS: mass duality, equivalence principle, (3+3) metric, $m_i/m_g = \gamma^2$, mass defect, synthesis

AMS (2020) CLASSIFICATION:
83C45 Quantum gravity;
70S20 Equivalence principle and tests;
81V17 Gravitational interactions in quantum mechanics;
83B05 Experimental verification of relativistic theories.

Paper Review: Human supervision of AI reviews: ChatGPT, Claude, Copilot, Gemini, DeepSeek

Novi Sad
28.08.2026.

Scientific Journal:
"POLIHISTOR"