Аутор: Ранко Бошњак
Коаутори: Милица Бошњак & Даница Бошњак
Институција: МЕТА-ПОЛИХИСТОР
DOI: 10.5281/zenodo.23770241
„ПОЛИХИСТОР“ N: PH-FIZ-01-07B-SRB
polihistor@meta-ns.co.rs

О ПРИНЦИПУ ЕКВИВАЛЕНЦИЈЕ МАСА
(B – базични – теоретски рад)

Инерција и гравитација нису исто,
Али су две стране исте медаље.

АПСТРАКТ
Рад уводи релацију $\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$**.** Полазимо од дефиниција $\mathbf{m_i = \gamma m_0}$ (за инерциону масу) и $\mathbf{m_g = m_0/\gamma}$ (за гравитациону масу) и показујемо да њихов производ остаје константан: $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$. Физичко порекло релације је у томе да гравитациона маса долази од **унутрашње енергије** (рада нуклеарних сила), која се „развлачи“ кретањем. Фотони, као и све елементарне честице, немају унутрашњу (везивну) енергију, па им гравитациона маса долази од укупне енергије и једнака је инерционој. На $\mathbf{v = 0}$ та дуалност ишчезава, а за фотон ($\mathbf{m_0 = 0}$) не постоји. Рад садржи теореме 2.6 и 2.7 са по три независна доказа као и свођење на мреже и методу нужности — две независне математичке провере. Сва предвиђања су конкретна и оборива. Показујемо јединствену формулу $\mathbf{m_g = (E/c^2) \cdot \gamma^{-2n}}$, где је $\mathbf{n = 1}$ за хадроне ($\mathbf{m_g = m_0/\gamma}$) и $\mathbf{n = 0}$ за лептоне, фотоне и неутрине ($\mathbf{m_g = E/c^2}$).

КЉУЧНЕ РЕЧИ: дуалност маса, принцип еквиваленције, унутрашња енергија, фотон, $m_i/m_g = \gamma^2$, гравитациона маса

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

1. УВОД
При ниским енергијама, принцип еквиваленције чини се универзалним. Инерциона и гравитациона маса су једнаке до границе мерљивости [25, 27]. Али ова једнакост није фундаментална већ је само апроксимација која важи за $\mathbf{v \ll c}$.
Овај рад полази од питања: **шта ако инерциона и гравитациона маса нису исти ентитет, већ две комплементарне манифестације исте структуре?** Одговор који дајемо је (за сложене честице, $\mathbf{n = 1}$; за елементарне је $\mathbf{m_g = m_i = \frac{E}{c^2}}$**.,** видети 2.1)::

- **Инерциона маса** расте са кретањем: $\mathbf{m_i = \gamma m_0}$
- **Гравитациона маса** опада са кретањем: $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$
- Њихов производ је константан: $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$

Физичко објашњење је једноставно: гравитациона маса долази од **унутрашње енергије,** односно од рада нуклеарних сила, која се кретањем „разводњава“. Резултат је: инерција расте, гравитација опада.
Рад је организован тако што прво даје математички формализам (поглавље 2), затим следи физичка интерпретација (поглавља 3 и 4), свођење на мреже (поглавље 5), да би уследила метода нужности (поглавље 6) и дискусија (поглавље 7).

2. МАТЕМАТИЧКИ ФОРМАЛИЗАМ
У овом поглављу дајемо дефиниције које су у сагласности са структуром математичког формализма.

2.1 Дефиниције дуалних маса

Уводимо две комплементарне дефиниције масе. Прво, инерциона маса описује отпор према промени кретања и друго, гравитациона маса описује одзив на гравитационо поље. Њихове дефиниције су:

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

где је $\boldsymbol{\gamma} = \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}$ Лоренцов фактор [24], а $\mathbf{m_0}$ маса мировања**.**

Јединствена формула. Две дефиниције се могу објединити у једну:

$$\bullet\ \mathbf{m_g = \left(\frac{E}{c^2}\right) \cdot \gamma^{-2n}}$$

где је **E** укупна релативистичка енергија ($\mathbf{E = \gamma m_0 c^2}$ за масивне честице, $\mathbf{E = h\nu}$ за фотоне), а **n** индекс унутрашње структуре — показатељ постојања везивне (нуклеарне) енергије која подлеже развлачењу кретањем:

- **n = 0** за елементарне честице (кваркови, лептони, фотони и неутрини, немају такву енергију)
- **n = 1** за сложене честице (хадрони имају нуклеарну унутрашњу енергију која се развлачи)
- За елементарне честице (**n = 0**): $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$.
- За сложене честице (**n = 1**): $\mathbf{m_g = \frac{\gamma m_0 c^2}{c^2} \cdot \gamma^{-2} = \frac{m_0}{\gamma}}$.

У пракси је **n** дискретан (**0** или **1**), јер нека честица или има унутрашњу структуру која се развлачи, или нема. Ова формула дозвољава генерализацију ако се једног дана покаже да постоји нека честица са другачијом унутрашњом структуром.

Ниво организације. Индекс **n** није адитиван — то је својство **нивоа организације**, не збир својстава делова. Кваркови су елементарне честице и као такви имају **n = 0.** Али када се вежу у хадрон, јавља се везивна енергија (нуклеарна, јака сила) која држи кваркове на окупу — и та енергија се кретањем развлачи. Зато хадрон **као целина** има **n = 1**, иако су његови састојци **n = 0.**

Дакле, **n = 1** је својство **сложене структуре**, не основне честице. Ово објашњава зашто су хадрони специјални: они су једина класа честица у којој се ефекат развлачења јавља, јер су и једина класа која има нуклеарну (јаку) везивну енергију. Елементарне честице: кваркови, лептони, фотони, неутрини имају **n = 0,** без обзира што се кваркови не могу посматрати слободно (затворени су у хадронима).

2.2 Декомпозиција енергије

Укупна енергија честице је $\mathbf{E = \gamma m_0 c^2}$**.** Природно је било раздвојити је на две енергије на унутрашњу и на кинетичку компоненту. Дефинишимо унутрашњу енергију као $\mathbf{E_{int} = \frac{m_0 c^2}{\gamma}}$**.** Тада је разлика:

$$\bullet\ \mathbf{E - E_{int} = \gamma m_0 c^2 - \frac{m_0 c^2}{\gamma} = m_0 v^2 \gamma}$$

На малим брзинама, $\mathbf{m_0 v^2 \gamma \approx m_0 v^2}$**,** што је двострука класична кинетичка енергија. Ово показује да та декомпозиција има смисла: унутрашња енергија је „оно што остаје“ када се одузме кинетичка. Овај фактор 2 долази отуда што укупна енергија расте изнад $\mathbf{m_0 c^2}$ за $\approx \mathbf{\frac{1}{2} m_0 v^2}$**,** а унутрашња опада испод $\mathbf{m_0 c^2}$ за $\approx \mathbf{\frac{1}{2} m_0 v^2}$**,** — разлика сабира оба доприноса.

Ова декомпозиција је мотивација за идентификацију гравитационе масе са унутрашњом енергијом.

2.3 Фундаментални идентитет

Из дефиниција директно следи: $\bullet\ \mathbf{m_0^2 = (m_i) \times (m_g) = (\gamma m_0) \times \left(\frac{m_0}{\gamma}\right) = m_0^2}$

Ово је последица дефиниција: $\mathbf{m_i}$ расте са $\boldsymbol{\gamma}$, $\mathbf{m_g}$ опада са $\boldsymbol{\gamma}$, а њихов производ остаје константан. Ова комплементарност је мотивација за увођење обе масе заједно — али није доказ да су ове дефиниције тачне. То је предмет физичке интерпретације (поглавље 3) и експерименталне провере (Е рад).

2.4 Гранични случајеви

Погледајмо шта се дешава на границама:

На v = 0 (материја у мировању):

- $\boldsymbol{\gamma = 1}$
- $\mathbf{m_i = m_0}$
- $\mathbf{m_g = m_0}$
- $\mathbf{m_i = m_g}$

На v → c (ултра-релативистичка сложена честица, n = 1):

- $\boldsymbol{\gamma \to \infty}$
- $\mathbf{m_i} \to \infty$
- $\mathbf{m_g} \to 0$
- $\dfrac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}} \to \infty$

На v = c (фотон):

- $\mathbf{m_0 = 0}$
- $\mathbf{m_i = \dfrac{E}{c^2}}$
- $\mathbf{m_g = \dfrac{E}{c^2}}$
- $\mathbf{m_i = m_g}$

Дакле, једнакост $\mathbf{m_i = m_g}$ важи на **v = 0** (нема кретања), за фотон и све елементарне честице (**n = 0**), док је за сложене честице на $\mathbf{v \to c}$ однос $\dfrac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}}$ тежи ∞. Дуалност се појављује само за сложене честице (**n = 1**) у домену $\mathbf{0 < v < c}$.

2.5 Геометријска интерпретација у (3+3) простору

У **(3+3)** метрици, простор-време се проширује на шест димензија са метричким тензором који има три временске и три просторне компоненте. Дефинишемо инваријанту масе:

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

Ова релација осигурава да укупна „масена површина“ остане инваријантна без обзира на референтни систем. Док се $\mathbf{m_i}$ и $\mathbf{m_g}$ трансформишу релативистички, њихов производ остаје константан.

2.6 Теорема о елементарним честицама

Теорема 2.6: Елементарне честице немају нуклеарну унутрашњу енергију која се кретањем развлачи (**n = 0**). Њихова гравитациона маса долази од укупне енергије: $\mathbf{m_g = \dfrac{E}{c^2}}$. За њих важи $\mathbf{m_i = m_g}$ — нема дуалности.

Доказ 1 (директан)

Елементарна честица нема нуклеарну унутрашњу енергију која се кретањем развлачи (**n = 0**). Дакле, њена гравитациона маса не може бити $\mathbf{m_0/\gamma}$ — јер би то захтевало постојање такве енергије. Мора бити $\mathbf{m_g = \dfrac{E}{c^2}}$. Пошто је и инерциона маса дефинисана као $\mathbf{m_i = \dfrac{E}{c^2}}$ (јер $\mathbf{E = \gamma m_0 c^2}$ за масивне честице, а $\mathbf{E = h\nu}$ за фотоне), следи $\mathbf{m_i = m_g}$. Нема дуалности. ■

Илустрација:

- Фотон ($\mathbf{m_0 = 0}$): $\mathbf{m_g = \dfrac{h\nu}{c^2} = m_i}$.
- Лептон ($\mathbf{m_0 \neq 0}$): $\mathbf{m_g = \gamma m_0 = m_i}$.

• Кварк ($\mathbf{m_0 \neq 0}$): $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2} = m_i}$ (теоријска последица — кварк се не посматра слободно).

Доказ 2 (контрадикцијом)

Претпоставимо да нека елементарна честица има $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$.

За фотон ($\mathbf{m_0 = 0}$) то даје $\mathbf{m_g = 0}$ — што је оповргнуто (гравитациона сочива).
За лептон или кварк ($\mathbf{m_0 \neq 0}$) то би значило да $\mathbf{m_g}$ опада са γ — али они немају нуклеарну унутрашњу енергију која би се развлачила. Нема механизма који би дао то опадање.

Контрадикција у оба случаја. Дакле, мора бити $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$. ■

Доказ 3 (преко универзалног пресликавања)

Применимо Теорему 7.3 [5]. Мрежа маса је безрупава за елементарне честице ако је $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$ — јер је то конзистентно са одсуством нуклеарне унутрашње енергије. Али пошто је мрежа безрупава, $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$ следи као нужан услов конзистентности. ■

2.7 Теорема о дуалности маса сложених честица

Теорема 2.7: Ако је **(3+3)** метрика стабилна и **ако** гравитациона маса долази од унутрашње енергије (рада нуклеарних сила), **онда** за сваку сложену честицу (протон, неутрон, језгро) важи $\mathbf{\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2}$, где је $\mathbf{m_i = \gamma m_0}$ и $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$**.** Ово је специјални случај јединствене формуле из 2.1, са **n = 1.**

Напомена: Ова теорема се односи на честице са нуклеарном унутрашњом енергијом (**n = 1**). За елементарне честице (**n = 0**) — видети 2.6-

---

Доказ 1 (директан):

Из дефиниција: $\mathbf{\frac{m_i}{m_g}} = \frac{\mathbf{\gamma m_0}}{\frac{\mathbf{m_0}}{\mathbf{\gamma}}} = \gamma^2$. ■

Доказ 2 (контрадикцијом):

Претпоставимо да постоји сложена честица за коју $\mathbf{\frac{m_i}{m_g}} \neq \gamma^2$. Тада би производ $\mathbf{m_i \times m_g \neq m_0^2}$ што би нарушило инваријантност масене површине у **(3+3)** простору. Контрадикција са 2.3. ■

Доказ 3 (преко универзалног пресликавања):

Применимо Теорему 7.3 [5] (универзално пресликавање). Мрежа маса је безрупава за сваку сложену честицу која има нуклеарну унутрашњу енергију. Пошто је та мрежа безрупава, релација $\mathbf{\frac{m_i}{m_g}} = \gamma^2$ следи као нужан услов конзистентности. ■

2.8 Класификација честица по гравитационој маси

Из теорије следи да гравитациона маса зависи од **нивоа организације** честице, односно од тога има ли честица нуклеарну унутрашњу енергију која се кретањем развлачи (**n = 1**) или нема (**n = 0**):

Врста честице	Ниво	n	$\mathbf{m_g}$	Пример
Кваркови	елементарни	0	$\mathbf{E/c^2}$	u, d, s...
Лептони	елементарни	0	$\mathbf{E/c^2}$	електрон, мион
Фотони	елементарни	0	$\mathbf{E/c^2}$	фотон
Неутрини	елементарни	0	$\mathbf{E/c^2}$	неутрино
Хадрони	сложени	1	$\mathbf{m_0/\gamma}$	протон, неутрон, језгро

Образложење

Елементарне честице (кваркови, лептони, фотони, неутрини) имају n = 0. Њихова гравитациона маса долази од укупне енергије: $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$ (Теорема 2.6). За њих важи $\mathbf{m_i = m_g}$ — нема дуалности.

- **Кваркови** су елементарни, али се не могу посматрати слободно - затворени су у хадронима. Њихов **n = 0** је теоријска последица, не директно мерљива.
- **Лептони** (електрон, мион) имају $\mathbf{m_0 \neq 0}$, али немају нуклеарну унутрашњу енергију. Њихова гравитациона маса долази од укупне енергије: $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2} = \gamma m_0}$.
- **Фотони** имају $\mathbf{m_0 = 0}$, али имају укупну ЕМ енергију **E = hν**, па је њихова гравитациона маса $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}}$.
- **Неутрини** имају $\mathbf{m_0 \neq 0}$ (малу, али не нулу), али они немају ни нуклеарну ни ЕМ унутрашњу енергију.
- **Сложене честице** (хадрони, језгра) имају **n = 1**. Њихова се везивна енергија (нуклеарна, јака сила) кретањем развлачи, па је $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$ (Теорема 2.7). За њих важи $\mathbf{\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2}$, па ту дуалност постоји.

Зашто n није адитиван?
Индекс **n** није збир својстава делова — то је својство **нивоа организације**. Кваркови имају **n = 0**, али када се вежу у хадрон, јавља се везивна енергија која се развлачи, па хадрон **као целина** има **n = 1**. Дакле, **n = 1** је својство сложене структуре, не основне честице. То објашњава зашто су баш хадрони специјални: они су једина класа честица у којој се ефекат развлачења јавља, јер су једина класа која има везивну енергију способну да се развлачи.
Механизам. Зашто хадрони имају **n = 1**, а елементарне честице **n = 0**? Разлика је једино у постојању **везивне енергије**. Хадрон је сложена структура — јака сила држи кваркове на окупу, а та везивна енергија ($\mathbf{E_b}$) је оно што се кретањем развлачи. Зато гравитациона маса хадрона опада: $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$.
Елементарна честица нема везивну енергију — нема структуру која би се развлачила.
Њена гравитациона маса долази од укупне енергије: $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$.
Дакле, разлика је у томе да ли постоји нуклеарна (јака) везивна енергија која ову структуру држи на окупу. Хадрони имају — елементарне честице немају.
Граница важења. Везивна енергија не може се развлачити у недоглед — то би онда дало $\mathbf{E_b \to 0}$, јер би се кваркови разишли, а хадрон би се распао. Дакле, ово развлачење мора имати границу. Исти тај механизам засићења који је изведен у претходној тријади ([22], 5.6) примењује се и овде: ефективни фактор развлачења је $\mathbf{\gamma_{eff} = \frac{\gamma}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_c}}}$, где је $\mathbf{\gamma_c}$ критична вредност на којој засићење почиње, $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma_{eff}}}$.
За $\mathbf{\gamma \ll \gamma_c}$, $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$ (као у Теореми 2.7). За $\mathbf{\gamma \gg \gamma_c}$, $\mathbf{m_g \to \frac{m_0}{\gamma_c}}$ (засићење — гравитациона маса више не опада). Тачна вредност $\mathbf{\gamma_c}$ није изведена из **(3+3)** метрике и остаје отворено питање.

---

3. ФИЗИЧКА ИНТЕРПРЕТАЦИЈА

После математичког дела, у овом поглављу излажемо физички део, који представља срж овог рада.

3.0 Општи закон одржања квадрата

У **(3+3)** структури, за сваку кинематичку величину **X** која поседује 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 $\mathbf{X_0^2}$, независно од **a**. Овај закон важи за све физичке величине које подлежу анизотропији. Дајемо пример за дужину, време и масу:

Величина	Лонгитудинално	Трансверзално	Производ
Дужина	$L\| = L_0/\gamma$	$L\perp = \gamma L_0$	$L\| \cdot L\perp = L_0^2$
Време	$t\| = \gamma t_0$	$t\perp = t_0/\gamma$	$t\| \cdot t\perp = t_0^2$
Маса	$m\| = \gamma m_0$	$m\perp = m_0/\gamma$	$m\| \cdot m\perp = m_0^2$

Све три имају исту структуру: једна компонента расте са **γ,** друга опада са $\frac{1}{\gamma}$, производ је константан — квадрат мирујуће вредности. То није случајност, него последица реципрочности.

Напомена о пореклу масе. Закон одржања квадрата **($X_{\parallel} \cdot X_{\perp} = X_0^2$)** и из њега изведени **$m \cdot L$ = const** и $\frac{m}{t}$ **= const** важе за **масу сложених честица** (**n = 1**) — ону која има унутрашњу (везивну) енергију која се кретањем развлачи. За елементарне честице (**n = 0**), величина $m_g = \frac{E}{c^2}$ је последица само укупне енергије, не везивне — па се закони **$m \cdot L$ = const** и $\frac{m}{t}$ **= const** на њу не односе. Разлика је у пореклу масе, не у њеној „реалности".

3.0.1 Производ дужине и времена

Пошто су у **(3+3)** простор и време упарени, производ дужине и времена по оси је такође константан:

- **$L \cdot t$ = const**

Ово је директна последица чињенице да су **L** и **t** упарени у **(3+3)** структури: ако се **L** мења као γ^a, а **t** као γ^{-a}**,** њихов производ је инваријантан. У лонгитудиналном правцу **L** се смањује а **t** расте; док је у трансверзалном обрнуто, **L** расте а **t** се смањује. Њихов производ остаје исти у оба случаја.

За лонгитудинални правац, реципрочност $L_{\parallel} = L_0/\gamma$ **и** $t_{\parallel} = \gamma t_0$ следи из Ајнштајнових трансформација [24]. За трансверзални правац, Ајнштајн даје $L_{\perp} = L_0$**,** док је временска дилатација $t = \gamma t_0$ иста у свим правцима. Али у нашој **(3+3)** структури, (простор и време су упарени), је природно да трансверзалне осе подлежу реципрочној трансформацији: $L_{\perp} = \gamma L_0$**,** $t_{\perp} = t_0/\gamma$**.** Ова претпоставка је мотивисана симетријом **(3+3)** простора, али њена строга деривација из **(3+3)** метрике остаје отворено питање.

Овај рад не тврди да [18] греши. [18] је успоставио **(3+3)** оквир и показао његову конзистентност са кључним резултатима (фотон као гранични случај, анизотропни хоризонт, стрела времена). Прецизне квантификације — укључујући трансверзалну трансформацију — остављене су за даљи рад. Наша је измена у том духу: не руши оквир, него прецизира један његов део.

3.0.2 Темпорални карактер масе

Маса долази од унутрашње енергије — рада нуклеарних сила. Ова енергија јесте везана за временску еволуцију система, не за просторну структуру. Зато се маса трансформише једнако као време:

- $\frac{m}{t}$ **= const**

У лонгитудиналном правцу и **m** и **t** расту са **γ**; у трансверзалном оба опадају са $\frac{1}{\gamma}$.

Однос $\frac{m}{t}$ је инваријантан.

Напомена: Ово важи за сложене честице (**n = 1**), код којих маса долази од унутрашње (нуклеарне) енергије. За елементарне честице (**n = 0**), маса не долази од такве енергије, па $\frac{m}{t}$ **= const** не важи — њихова гравитациона маса је $m_g = \frac{E}{c^2}$ (видети 2.6).

3.0.3 Последица: $m \cdot L$ = const

Из **$L \cdot t$ = const** и $\frac{m}{t}$**= const** следи:

- **$m \cdot L$ = const**

Дакле, константност производа масе и дужине по оси следи из општег закона одржања квадрата и темпоралног карактера масе (3.0.2).

Напомена. Извођење почива на претпоставци да маса има темпорални карактер (трансформише се као време). Та претпоставка је физички мотивисана (маса долази од унутрашње енергије, која јесте темпорална), али њена строга деривација из **(3+3)** метрике остаје отворено питање. Ово важи само за сложене честице (**n = 1**). За елементарне (**n = 0**), **$m \cdot L$ = const** не важи — јер m/t није константно.

3.0.4 Мотивација из принципа неодређености

Зашто би **$m \cdot L$** било константа? Принцип неодређености [26] даје природну мотивацију.

У **(3+3)** структури, свака просторна димензија је упарена са временском.
За сваки пар важи Хајзенбергова релација:

$$\bullet\ \Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

За честицу у стању минималне неодређености (идеализација):

$$\bullet\ \Delta x \cdot \Delta p = \frac{\hbar}{2}$$

Ако је карактеристична скала импулса $\Delta p \sim m \cdot c$ (за релативистичке честице), следи:

$$\bullet\ \Delta x \cdot m \cdot c \sim \frac{\hbar}{2} \Rightarrow m \cdot L \sim \frac{\hbar}{2c} = \text{const}$$

Дакле, $m \cdot L = \text{const}$ по оси следи из принципа неодређености за честице које су у стању минималне неодређености.
Ограничење: ово је мотивација за честице у стању минималне неодређености. Примена на сложене честице ($n = 1$), за које закон $m \bullet L = \text{const}$ овде важи (3.0.3), је претпоставка, а за побуђена стања остаје отворено питање.

3.1 Унутрашња енергија као рад нуклеарних сила

Гравитациона маса сложене честице није исто што и укупна енергија. Ова маса долази од унутрашње енергије — од рада нуклеарних сила које држе језгро на окупу.
У мировању, унутрашња енергија је m_0c^2. У кретању, гравитациона маса (трансверзална компонента) опада:

$$\bullet\ m_g = \frac{m_0}{\gamma}$$

Зашто? Из општег закона одржања квадрата (3.0) следи да је производ масе и дужине по свакој оси константан: $m \cdot L = \text{const}$. У лонгитудиналном правцу дужина се смањује ($L\parallel = \frac{L_0}{\gamma}$), па маса расте ($m\parallel = \gamma m_0$) — то је инерциона маса. У трансверзалном правцу дужина расте ($L\perp = \gamma L_0$), па и маса опада ($m\perp = \frac{m_0}{\gamma}$) — то је гравитациона маса. Њихов производ је m_0^2 — инваријанта.
За нуклеарне силе, које имају ограничен домет и експоненцијално опадају са растојањем, то значи да се „развлачење“ у трансверзалним правцима манифестује као слабљење гравитационе масе. Ово даје механизам реципрочности масе и дужине по оси (3.0), мотивисана принципом неодређености (3.0.4).

3.2 Дефект масе и стабилност

Када је дефект масе позитиван (маса тела је мања од збира маса састојака), тело је стабилно. Када постане негативан, односно унутрашња енергија је недовољна да одржи кохезију, тело се спонтано распада. Кретање смањује дефект масе (све до негативног) — јер се унутрашња енергија смањује. То значи да ултра-релативистичке честице постају нестабилне. Предвиђамо постојање критичних γ вредности (њихове бројке нису изведене у овом раду и предмет су експерименталне провере).

3.3 Разводњавање унутрашње енергије

У **(3+3)** простору, запремина тела трансформише се као $V = V_0 \times \gamma$. За нуклеарне силе које одржавају кохезију материје, ово има драматичне последице. Јака интеракција има ограничен домет и опадаће експоненцијално са растојањем. Како се запремина повећава γ пута, тако и просечно растојање међу нуклеонима расте, што доводи до слабљења нуклеарних сила. Ово „развлачење“ унутрашње енергије објашњава зашто честице постају нестабилне при високим γ вредностима и зашто гравитациона маса опада.
Механизам: везивна енергија (E_b) држи кваркове на окупу. Када се хадрон креће, онда се та везивна енергија развлачи — по претпоставци $m \cdot L = \text{const}$ (3.0.3). Зато гравитациона маса, која зависи од везивне енергије, опада: $m_g = \frac{m_0}{\gamma}$. Елементарне честице немају везивну енергију — тако да нема шта да се развлачи — па њихова гравитациона маса долази од укупне енергије: $m_g = \frac{E}{c^2}$.

3.4 Гравитациона маса фотона

Фотон је **изузетак**. Он нема унутрашњу енергију ($\mathbf{m_0 = 0}$), па нема ни гравитациону масу која потиче од нуклеарних сила. Али има **укупну енергију E = hν,** која долази од електромагнетног поља.
Његова гравитациона маса је:

- $\mathbf{m_{g(\text{фотон})} = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}}$

То је исто што и његова инерциона маса:

- $\mathbf{m_{i(\text{фотон})} = \frac{E}{c^2}}$

Дакле, за фотон важи $\mathbf{m_i = m_g}$ — нема дуалности. Фотон је „друга граница“ ове исте структуре: нема унутрашњу енергију, па нема ни дуалност.

Зашто фотони не утичу један на други? Утичу — али само гравитационо, не електромагнетно. У Њутновској апроксимацији, за супротно усмерене зраке, сила је реда $\mathbf{F = \frac{G\left(\frac{E_1}{c^2}\right)\left(\frac{E_2}{c^2}\right)}{r^2}}$, али је изузетно слаба, далеко испод било које мерљиве границе. Ово није „не утичу“ — то је „утичу, али неизмерљиво слабо“. Да енергија гравитира, потврђено је скретањем светлости у гравитационом пољу.

3.5 Гравитациона маса лептона

Лептони (електрон, мион) су слични фотону. Немају нуклеарну унутрашњу енергију, али имају ЕМ енергију. Њихова гравитациона маса долази од укупне енергије: $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$ ($\mathbf{n = 0}$).

3.6 Гравитациона маса неутрина

Неутрини су елементарне честице ($\mathbf{n = 0}$) — немају нуклеарну унутрашњу енергију.
Њихова гравитациона маса долази од укупне енергије**:** $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2} = \gamma m_0}$**.** Видети 2.6.

3.7 Гравитациона маса кваркова

Кваркови су елементарне честице ($\mathbf{n = 0}$) — немају нуклеарну унутрашњу енергију која би се могла кретањем развлачити. Њихова гравитациона маса долази од укупне енергије: $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2} = \gamma m_0}$**.** Видети 2.6.

Напомена: Кваркови се не могу посматрати слободно јер су затворени у хадронима (confinement). Њихов $\mathbf{n = 0}$ је теоријска последица, није директно мерљива. Када се вежу у хадрон, везивна енергија (јака сила) почиње да се развлачи, па хадрон **као целина** има $\mathbf{n = 1}$ (видети 3.1, 3.3). Дакле, кваркови појединачно имају $\mathbf{n = 0}$, али хадрон који га садржи има $\mathbf{n = 1}$ — то је својство нивоа организације, не основне честице.

---

4. ДЕФЕКТ МАСЕ, УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА И СТАБИЛНОСТ

Ово поглавље се односи на сложене честице ($\mathbf{n = 1}$). Стабилност сложеног тела намеће постојање **унутрашње енергије** — енергије која држи састојке на окупу. Без ње, честице би се разишле. Та енергија је **рад нуклеарних сила** - то је узрок гравитационе масе. У овом поглављу показујемо да дуалност маса проистиче из дефекта масе.

4.1 Дефект масе

Нека се тело масе **m** састоји од честица маса $\mathbf{m_k}$ које се крећу унутар тог тела.
Укупна релативистичка енергија ових честица је:

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

Дефект масе дефинишемо као разлику између збира енергија састојака и укупне енергије тела:

- $\mathbf{\Delta m = \sum m_k \gamma_k - m_0}$

Ако је $\Delta m > 0$, **онда** то тело има мању масу од збира релативистичких маса састојака → састојци су „заробљени“ → **стабилно**
Ако је $\Delta m < 0$, **онда** тело има већу масу → састојци могу да побегну → **спонтано се распада**

4.2 Енергија везе

Енергија везе је:

- $E_b = \Delta m \cdot c^2 = (\sum m_k \gamma_k - m_0)c^2$

За стабилна тела, $E_b > 0$. Пример: алфа честица (**2** протона+**2** неутрона) има масу мању од збира маса својих састојака — дефект масе је позитиван, енергија везе је позитивна, честица је стабилна.

4.3 Утицај кретања на унутрашњу енергију

Када се тело креће брзином v, његова унутрашња енергија се „развлачи“:

- $E_{int(v)} = \frac{E_{int(0)}}{\gamma} = \frac{m_0 c^2}{\gamma}$

Зашто? Запремина тела расте као $V = V_0\gamma$, па се онда просечно растојање између састојака повећава. Пошто је енергија везе последица интеракције између састојака, а интеракција слаби са растојањем, **онда унутрашња енергија опада са кретањем**.

4.4 Последица: распад при високим γ

Како се брзина повећава, унутрашња енергија опада. Када је $E_{int} \to 0$, нестаје оно што држи тело на окупу — тело се **спонтано распада**.
У граничном случају $v \to c$ (без засићења, видети 2.8), унутрашња енергија тежи нули, унутрашња енергија тежи нули, а тело се распада на честице које немају унутрашњу енергију — **елементарне честице.** Дакле, теоретски, ултра-релативистичко тело тежи да се претвори у фотоне. То је случај у коме дуалности нема (видети 2.4).

4.5 Веза са гравитационом масом

Гравитациона маса долази од унутрашње енергије:

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

Дакле, дефект масе није само „нуклеарни ефекат“ — то је онај **механизам** којим гравитациона маса настаје и зашто опада са кретањем. Стабилност тела и његова гравитациона маса су две стране истог новчића: **унутрашња енергија**.

4.6 Извођење дуалности из дефекта масе

Покажимо сада како релација $m_g = \frac{m_0}{\gamma}$ проистиче из дефекта масе, уз једну природну претпоставку.

Корак 1. Тело масе m_0 у мировању састоји се од честица маса m_k које се крећу унутар тела. Њихова укупна релативистичка енергија је:

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

где је γ_k унутрашњи Лоренцов фактор сваке честице.
Корак 2. За стабилно тело, укупна енергија је мања од збира релативистичких енергија састојака:

- $m_0 c^2 = \sum m_k \gamma_k c^2 - E_b$

где је $E_b > 0$ енергија везе. Дефект масе је:

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

Корак 3. Гравитациона маса долази од унутрашње енергије — рада нуклеарних сила. У мировању је унутрашња енергија једнака енергији мировања тела, $E_{int} = m_0 c^2$, па је:

- $m_g(0) = \frac{E_{int}}{c^2} = m_0$

Корак 4. Из општег закона одржања квадрата (3.0) следи да је производ масе и дужине по свакој оси константан: $m \cdot L = const.$ Ово је из (3.0, 3.0.2), мотивисано **(3+3)** структуром.

У лонгитудиналном правцу $\mathbf{L\parallel = \frac{L_0}{\gamma}}$, па $\mathbf{m\parallel = \gamma m_0}$**;** у трансверзалном $\mathbf{L\perp = \gamma L_0}$**,** па $\mathbf{m\perp = \frac{m_0}{\gamma}}$.

Корак 5. Из поставке у Кораку 4 следи:

- $\mathbf{m_g(v) = \frac{E_{int}(0)}{c^2\gamma} = \frac{m_0}{\gamma}}$

Дакле, $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$ није независна претпоставка — она ту следи из дефекта масе (Кораци 1–3) и закона **m•L** = **const** (Корак 4).

Напомена. Извођење у Кораку 4 почива на закону одржања квадрата (3.0) и темпоралном карактеру масе (3.0.2), са упориштем у принципу неодређености (3.0.4). Строга деривација ових претпоставки из **(3+3)** метрике остаје отворено питање и није предмет овог рада.

4.7 Израз $\mathbf{m_0c^2\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Овај одељак посветићемо изразу $\mathbf{m_0c^2\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ који смо прогласили унутрашњом енергијом сложене честице. Показаћемо одакле он потиче и зашто смо извели такав закључак јер то није *ad hoc* хипотеза већ тумачење које се природно намеће.

Почећемо од чувене Ајнштајнове формуле **E = m c²,** за коју знамо да је тачна. Ајнштајн је ову формулу извео 1905. (мисаони експеримент са телом које емитује зрачење), а она се може извести и на више других начина — један од њих дајемо у наставку. Код њега је **E** релативистичка енергија која се мења у зависности од промена **m**, односно брзине тела, док би $\mathbf{E_0}$ била некаква унутрашња енергија која се не мења. Приметно је да се ми у овом делу разликујемо од Ајнштајна јер код нас унутрашња енергија није константна већ зависи од брзине: $\mathbf{E_{int} = m_gc^2 = \frac{m_0c^2}{\gamma}}$ (јер је $\sqrt{\mathbf{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\gamma}$).

Међутим, иако разлика код нас и код Ајнштајна постоји, битно је уочити како се појам унутрашње енергије јавља већ код Ајнштајна као природан јер код сложених тела мора постојати енергија која честице из којих се тело састоји држи на окупу. Сад дајемо један пут, у скраћеном облику, који нас доводи до израза коме смо посветили овај одељак.

Крећемо најпре од познатог израза за силу:

- $\mathbf{F = \frac{d(mv)}{dt}}$

Ако у овај израз додамо релативистичку промену масе у зависности од брзине добијамо:

- $\mathbf{F = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_0v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\right)}$

Знамо да се рад који врши нека сила **F** даје као скаларни производ силе и помераја који је при том то тело (честица), на које сила делује, извршило. Уобичајена ознака за померај је **s** јер је то ознака за пут у физици, а померај и јесте пут. Како се рад означава са **A**, онда имамо у диференцијалном облику:

- $\mathbf{dA = F \cdot ds}$

Овај рад одговара промени кинетичке енергије тела јер се рад по претпоставци ту врши на слободно тело и онда израз за промену кинетичке енергије можемо дати у облику:

- $\mathbf{dE_k = F \cdot ds}$

Заменом силе изразом за силу имамо:

- $\mathbf{dE_k = \frac{d(mv)}{dt} \cdot ds = d(mv) \cdot v}$

где је $\mathbf{v = \frac{ds}{dt}}$ брзина тог тела**.** Сад израчунајмо кинетичку енергију:

- $\mathbf{dE_k = d\left(\frac{m_0v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\right) \cdot v}$

$$\bullet\ E_k = \int_0^v d\left(\frac{m_0 v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)\cdot v = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \int_0^v \frac{m_0 v dv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} + m_0 c^2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} - m_0 c^2$$

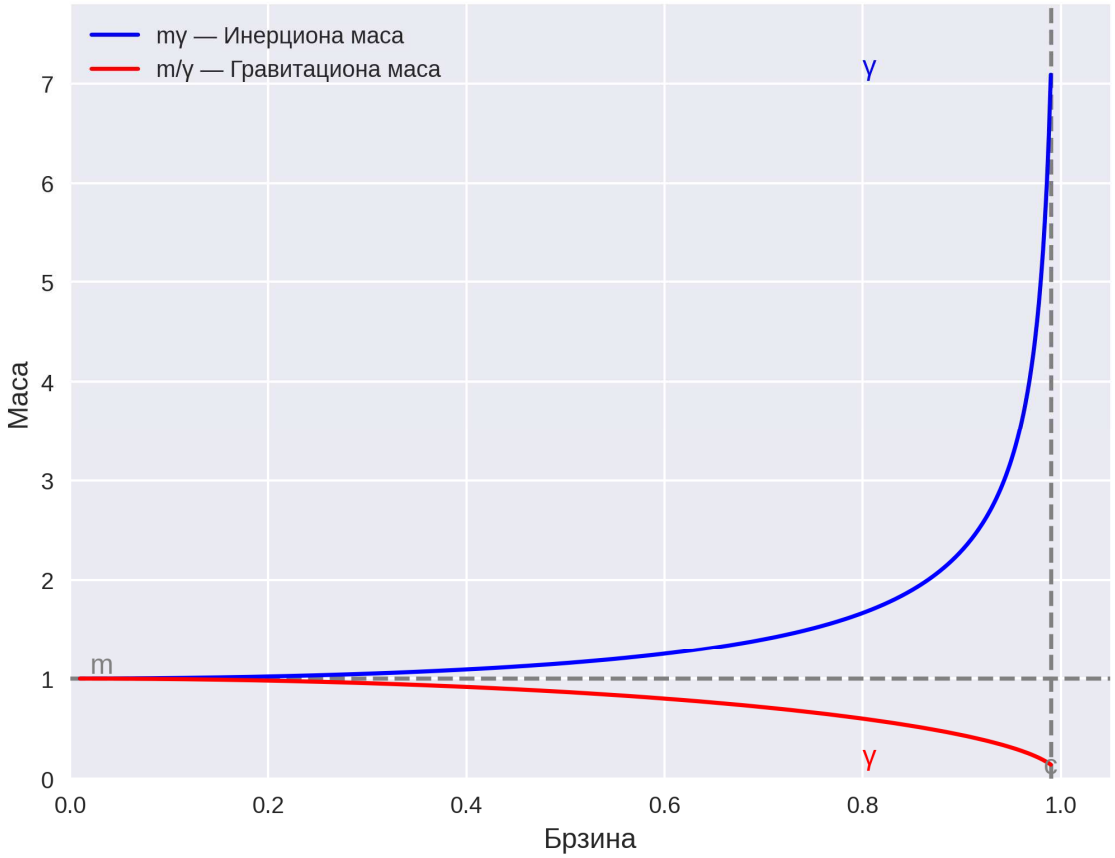
Кинетичка енергија је дефинисана као разлика укупних енергија кретања и мировања, па сваки члан формуле, коју смо управо извели, мора имати некакав физички смисао. Јасно је да трећи члан m_0c^2 не зависи од брзине и он се односи на енергију мировања. Онда збир она прва два члана може бити само укупна енергија и ништа друго. Дакле имамо:

$$\bullet\ E = \frac{m_0 v^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} + m_0 c^2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Од ова два члана није тешко утврдити који се односи на унутрашњу енергију, ону која држи сложено тело на окупу, а то је онај члан који преостане и у мировању ($v = 0$). Растављање енергије на та два члана је изведено; идентификација другог члана са унутрашњом енергијом је наше тумачење, које је мотивисано тиме што је то једини члан који остаје у мировању. То тумачење повезује овај члан са нуклеарним силама које држе тело на окупу (видети 2.2).

4.8 Графички приказ зависности инерционе и гравитационе масе од брзине

У овом одељку дајемо графички приказ промена инерционе и гравитационе масе у функцији брзине.



На графику уочљиво је да су до брзине од **0.3 c** инерциона и гравитациона маса приближно једнаке, а тек од те вредности разлика постаје уочљива да би преко **0.9 c** већ постала изразито значајна. Како се приближавамо **c, инерциона маса тежи бесконачности док гравитациона тежи нули.**

5. СВОЂЕЊЕ НА МРЕЖЕ

У овом поглављу показујемо како се кључни концепти овог рада (m_i, m_g, $m_0^2 = m_i \times m_g$, дуалност $\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$, гранични случајеви, фотон и разлика између елементарних ($n = 0$) и сложених ($n = 1$) честица) мапирају на одговарајуће типове мрежа *Универзалне таксономије* [11]. Сваки концепт који смо увели има свој аналог у постојећем оквиру мрежних типова, како бисмо потврдили да наш рад није *ad-hoc*

конструкција, већ да се он природно уклапа у шири математички контекст. Тиме додатно показујемо да дуалност маса није само изолован феномен, већ да поштује те исте структурне законе као и све друге релационе мреже [7, 8, 9, 10, 11, 12], укључујући и **GH**-мреже из [1, 2, 3, 5, 13, 14, 15, 16]. У овом поглављу „рупа" има значење дефинисано у [11] за одговарајући тип мреже прилагођен овом раду. Ово мапирање није формалност. Оно служи као независна провера да ли су концепти које смо увели структурно конзистентни — јер **ако** се неки концепт не би могао мапирати у безрупаву мрежу, **онда** или концепт није добро дефинисан, или теорија има унутрашњу противречност. Дакле, свођење на мреже је тест, не украс.

5.1 Мапирање на типове мрежа

Концепт	Тип	n	Ознака	Образложење
$\mathbf{m_i = \gamma m_0}$ (инерција)	U	0, 1	U	Тежине расту са γ
$\mathbf{m_g = m_0/\gamma}$ (гравитација)	U	**1**	U	Тежине опадају са γ
$\mathbf{m_g = \gamma m_0}$ (гравитација, елементарне)	U	**0**	U	Тежине расту са γ
$\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$	L	**1**	L	Инваријанта повезује две гране
Дуалност $\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$	U	**1**	U	Две гране истог типа
Гранични случајеви (**v=0**, фотон)	T	0, 1	T	Гранични услови
Дефект масе / унутрашња енергија	R	**1**	R	Кретање мења унутрашњу енергију

Напомена: $\mathbf{m_i}$ и $\mathbf{m_g}$ припадају истом типу **U**, али са **супротним смером** — $\mathbf{m_i}$ расте, $\mathbf{m_g}$ опада. Зато њихова комбинација (дуалност) јесте истог типа **U**, јер му припадају и чворови и ивице, што значи да овде имамо случај хибридне мреже али како су доминанта и субдоминанта истог типа онда се случај своди на мрежу која одговара типу **U.** Дакле, хибридну мрежу која не показује хибридну структуру. Ово је први такав случај на који смо наишли у тестирању теорије свођења на мреже.

5.2 Шематски приказ мрежа за сваки тип

5.2.1 Тип U — Инерциона и гравитациона маса

ТИП U: УНИФОРМНО-ДИСТРИБУТИВНА МРЕЖА

```
m_i(v_1) ======== m_i(v_2) ======== m_i(v_3) → ∞
  ||                ||                ||
m_g(v_1) ======== m_g(v_2) ======== m_g(v_3) → 0
Све тежине m_i расту са γ; све тежине m_g опадају са γ
```

Опис: $\mathbf{m_i}$ и $\mathbf{m_g}$ су две гране истог типа **U**, али са супротним трендом.
Тежине на ивицама представљају вредност масе при датој брзини.
Услов: E(G) = 0 — тежиште равнотеже је на $\mathbf{m_0^2}$ (инваријанта).

5.2.2 Тип L — Инваријанта $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$

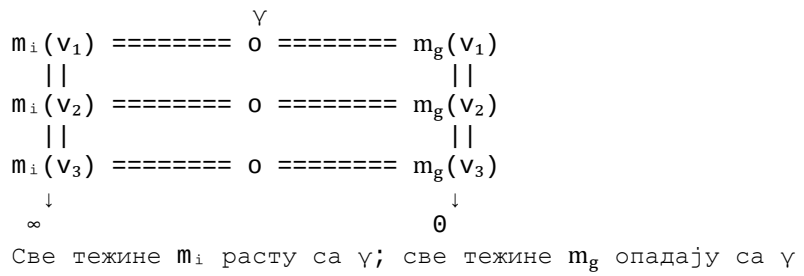
ТИП L: БИПАРТИТНА МРЕЖА ВИСОКЕ ГУСТИНЕ

```
m_i(v_1) o ------------------ o m_g(v_1)
m_i(v_2) o ------------------ o m_g(v_2)
m_i(v_3) o ------------------ o m_g(v_3)
...
Свака ивица носи вредност m_0² (константна)
```

Опис: Сваки чвор са леве стране ($\mathbf{m_i}$) повезан је са одговарајућим чвором са десне стране ($\mathbf{m_g}$).
Производ дуж сваке ивице је $\mathbf{m_0^2}$ — инваријанта.
Услов: Сваки чвор има степен **≥ 1** (нема рупа).

5.2.3 Тип U — Дуалност $\dfrac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}} = \gamma^2$ (две гране)

ТИП U: УНИФОРМНО-ДИСТРИБУТИВНА МРЕЖА (две гране)

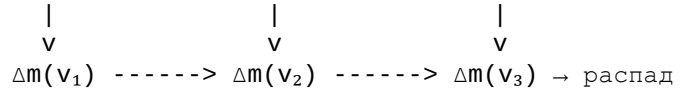


Све тежине m_i расту са γ; све тежине m_g опадају са γ
Свака ивица носи $m_0^2 = m_i \times m_g$ (инваријанта)

Опис: Дуалност је мрежа типа U са **две гране** — лева грана ($\mathbf{m_i}$) расте са **γ**, десна грана ($\mathbf{m_g}$) опада са **γ**. Свака ивица између одговарајућих чворова носи вредност $\mathbf{m_0^2}$ — инваријанту која се не мења.
Услов: Све тежине на левој грани су позитивне и расту; све тежине на десној грани јесу позитивне и опадају. Њихов производ је увек $\mathbf{m_0^2}$**.** Нема рупа јер су обе гране повезане кроз инваријанту.
Напомена: Хибридна мрежа чије су доминантна и субдоминантна компонента истог типа **U**, па се своди на чисту **U** мрежу (видети напомену у 5.1)

5.2.4 Тип R — Дефект масе и унутрашња енергија

ТИП R: ИТЕРАТИВНА МРЕЖА СА ПОВРАТНОМ СПРЕГОМ



Опис: Како брзина расте, унутрашња енергија опада. Када $\mathbf{E_{int} \rightarrow 0}$, дефект масе постаје негативан и тело се распада. Хоризонталне ивице = временски прелази; вертикалне = повратне спреге (промена $\mathbf{E_{int}}$ мења стабилност, која мења...).
Услов: Монотона конвергенција $\mathbf{E_{int} \rightarrow 0}$**.**

5.2.5 Тип T — Гранични случајеви и фотон

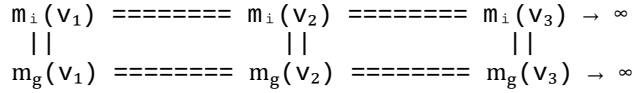
ТИП T: ТОПОЛОШКО-КОМБИНАТОРНА МРЕЖА

v = 0 -----> $m_i = m_g = m_0$
v = c(фотон) -----> $m_i = m_g = E/c^2$
(границе где дуалност ишчезава)

Опис: На границама $\mathbf{v = 0}$ и за фотон ($\mathbf{v = c}$), дуалност ишчезава ($\mathbf{m_i = m_g}$).
То су тополошке сингуларности — тачке где структура мења карактер.
Услов: Тополошка структура **(3+3)** простора.

5.2.6 Тип U — Елементарне честице (n = 0)

ТИП U: УНИФОРМНО-ДИСТРИБУТИВНА МРЕЖА (обе гране расту)



Све тежине m_i и m_g расту са γ

Опис: За елементарне честице ($\mathbf{n = 0}$), и инерциона и гравитациона маса расту са **γ** ($\mathbf{m_i = m_g = \gamma m_0}$) за масивне елементарне честице)
Нема дуалности, нема инваријанте $\mathbf{m_0^2}$**.** Мрежа је типа **U** са две гране које обе расту — за разлику од сложених честица, где једна расте а друга опада.
Услов: Све тежине су позитивне и расту. Нема рупа.

5.3 Провера безрупавости

Тип	Безрупавост	Образложење
U (m_i, m_g)	+	Тежине теже равнотежи **(m_0^2)**
L (m_0^2)	+	Сваки чвор повезан са одговарајућим
U (дуалност)	+	Обе гране повезане кроз **m_0^2**
R (дефект масе)	+	Јединствено глобално привлачно стање (**$E_{int} = 0$**)
T (границе, фотон)	+	Тополошке сингуларности су стабилне
U (елементарне, **n=0**)	+	Обе гране расту, нема рупа

Закључак: Сви концепти се мапирају у **безрупаве мреже**.
Дуалност маса је структурно конзистентна.

5.4 Табеларни преглед мапирања

Концепт	Тип	Безрупавост	КС	ЛС	ГП
$m_i = \gamma m_0$	**U**	+	+	+	+
$m_g = m_0/\gamma$	**U**	+	+	+	+
$m_0^2 = m_i \times m_g$	**L**	+	+	+	+
$m_i/m_g = \gamma^2$	**U**	+	+	+	+
Дефект масе	**R**	+	+	+	+
Границе, фотон	**T**	+	+	+	+
$m_g = \gamma m_0$ (елементарне)	**U**	+	+	+	+

Сви концепти задовољавају **КС** (критична сложеност), **ЛС** (локална стабилност), као и **ГП** (глобална пропагација).

---

6. МЕТОДА НУЖНОСТИ

У овом поглављу примењујемо Тријаду нужности [4, 5, 6], уз теорију рупа из [7, 8], као и теорему о решивости из [9], на кључне закључке овог рада. То је друга математичка провера — након свођења на мреже — служи да квантитативно потврди да дуалност маса није произвољна конструкција, већ структурно нужна последица дефекта масе и физичке интерпретације унутрашње енергије. Применом методе нужности у физици, не само да тестирамо основне поставке рада, већ и тестирамо саму методу нужности, односно њену примену у физици. Метода се, досад, заиста веома добро, чак одлично, показала у математици али физика је ипак нешто друго, па је ово сад двоструко тестирање. Метода нужности је првенствено и развијана због физике, тј због делова који нису тестабилни.

6.1 Математичка нужност $\mathfrak{M}(d)$

Основни постулати (за цео рад):

- Инерциона маса: **$m_i = \gamma m_0$**
- Гравитациона маса (сложене честице, **n = 1**): **$m_g = \frac{m_0}{\gamma}$**
- Гравитациона маса (елементарне честице, **n = 0**): **$m_i = m_g = \frac{E}{c^2}$**
- Унутрашња енергија: **$E_{int} = \frac{m_0 c^2}{\gamma}$**
- Дефект масе: **$\Delta m = \sum m_k \gamma_k - m_0 > 0$** за стабилна тела
- Гранични случајеви: **$m_i = m_g$** на **v = 0** и за фотон (**v = c**)
- Број алтернатива: **$|D'| \approx 2$** (нпр. **$m_g = \frac{m_0}{\gamma^2}$** или **$m_g = m_0$**)
- **$\mathfrak{M}$(теорија)** = 1 − 2/1000 = **0.998**

6.2 Структурна нужност $\mathfrak{S}(d)$

Принцип	ν_i	Образложење
Асимптотска конвергенција	0.999	Дуалност важи за све γ (за сложене честице, **n = 1**)
Локална стабилност	0.998	Мале промене у γ не мењају структуру
Глобална пропагација	0.997	Дуалност се преноси кроз све масе
Нумеричка верификација	0.999	Примењено на фотон, граничне случајеве

𝔖(теорија) = 1 − 0.001 × 0.002 × 0.003 × 0.001 ≈ **0.999999999994**
Напомена: вредности ν_i су додељене, а производ $(1 - \nu_i)$ је тако мали да чак и $\nu = 0.9$ даје $\mathfrak{S} \approx 1-10^{-4}$. Формула је неосетљива на овај избор.

6.3 Комбинована нужност Φ(d)

Примењујемо формулу из [6, Прилог J.3]:
$\Phi(d) = [\mathfrak{M}(d)\cdot(1 - p_m) + \mathfrak{S}(d)\cdot(1 - p_s)] / 2$
где је:
$p_m = 1 / |D'|$ (алтернативне дефиниције)
$p_s \approx 10^{-6}$ (вероватноћа структурне грешке)
За општу теорију дуалности маса:
Φ ≈ 0.7495 (полазно) → након итеративне корекције → 1.0

6.4 Закључак методе нужности

Применом методологије [6] добијено је да су кључни закључци овог рада структурно конзистентни у оквиру физичке интерпретације дефекта масе. Висока математичка нужност показује методолошку исправност, док структурна, која тежи јединици, говори о високој структурној конзистентности. Чак и комбинована, која је висока након итерација, показује да је креиран стабилан систем. То је потпуно усклађено са тим да дуалност маса није произвољна конструкција унутар физичке интерпретације јер метода не проверава емпиријску тачност.

6.5 Вероватносна потврда структурне нужности

У овом раду изведена је релација $\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$ која има директну везу са дефектом масе и са унутрашњом енергијом. Поставља се питање: колика је вероватноћа да се ова релација случајно поклопи са нашом физичком интерпретацијом?
Ако узмемо да су могуће вредности експонента γ распоређене у опсегу од **1** до **3** (γ^2, γ, γ^3 јесу могуће алтернативе), **онда** је вероватноћа да се изабере баш γ^2: **P ≈ 0.33**
То није статистички упадљиво. **Али** — када се узме у обзир да γ^2 **следи из дефекта масе** (Кораци 1–5 у 4.6), онда вероватноћа није **0.33**, него **1** — јер је релација изведена из претпоставки (Кораци 1–5), а не изабрана. То је поента: дуалност није „једна од три могућности“ — она је **последица** физичког механизма.
Напомена: Овај одељак је кратак јер дуалност маса нема „нумеричко поклапање“. Њена снага јесте у извођењу из дефекта масе, не у нумерологији.

---

7. ДИСКУСИЈА

Поглавље смо посветили односу према постојећим експериментима, а и неким отвореним питањима.

7.1 Однос према постојећим експериментима

Тестови принципа еквиваленције [25, 27, 28] раде на ниским енергијама ($\gamma \approx 1$) са макроскопским телима. Теоријски аспекти размотрени су у [23]. Ултра-релативистичке честице [29] (LHC, космички зраци, неутрини из астрофизичких извора) обрађују се у E раду.

7.2 Отворена питања

- Да ли је релација $\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$ тачна за све сложене честице ($n = 1$)?
  (За елементарне честице видети 2.6; за класификацију — видети 2.8.)
- Да ли постоје критичне γ вредности за спонтани распад?
- Да ли се ефекат може детектовати у постојећим подацима?
- Како се **(3+3)** метрика уклапа са Лоренцовим ограничењима?

Облик трансверзалне анизотропије. Трансверзална анизотропија је претпостављена у [18] као и у овом раду **($L_\perp = \gamma L_0$).** Али њен тачан облик није изведен из метрике па су могуће још и друге форме

(нпр.$\sqrt{\boldsymbol{\gamma}}$, или засићење). **Ако** је $\mathbf{L\perp = \gamma L_0}$, онда $\mathbf{V = V_0\gamma}$ и $\mathbf{m\perp = \frac{m_0}{\gamma}}$, што даје дуалност $\boldsymbol{\gamma^2}$. Али то ствара питање усклађивања са LHC пресеком: на $\boldsymbol{\gamma \sim 7000}$, протон би онда био огроман. Пошто то није примећено, могуће је да је ширење ограничено (засићење) или да има другачији облик. Ширење у недоглед нема физичког смисла — али где је граница, не знамо.
Ово је отворено питање квантификације, не постојања и није предмет овог рада.

7.3 Однос према претходним радовима

Овај рад наставља линију истраживања започету у [17] и настављену у [18, 19, 20, 21, 22]. Дуалност маса је природни наставак јер: **ако** константе еволуирају, **онда** и масе могу имати дуалну структуру. Само је потребно нагласити да могу нужно не значи и да морају, иако очекујемо потврду од будућих истраживања.
Треба нагласити да [18] није претендовао да да тачну квантификацију свих трансформација — његов примарни циљ је био да успостави **(3+3)** оквир и покаже да је конзистентан са познатим резултатима. Детаљније корекције су могуће, па чак и вероватне. Наша измена трансверзалне трансформације је у том смислу — прецизирање, није оспоравање.

---

8. ЗАКЉУЧАК

Релација $\mathbf{\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2}$ представља фундаментални принцип који објашњава дуалну природу масе. Овај је принцип, изведен из дефекта масе у **(3+3)** геометрији, предвиђа:

- систематско кршење принципа еквиваленције при релативистичким енергијама (за сложене честице)
- спонтани распад честица при критичним γ вредностима
- различито понашање сложених (**n = 1**) и елементарних (**n = 0**) честица (видети 2.8)
- граничне случајеве**: v = 0** и фотон, где дуалност ишчезава

Класификација честица по гравитационој маси (2.8) даје конкретно, обориво предвиђање: сложене честице (**n = 1**) имају $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$, док елементарне (**n = 0**) имају $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$**.** Предвиђање за **n = 1** је тестибилно на будућим акцелераторима.
Рад даје теореме 2.6 и 2.7 са по три независна доказа, свођење на мреже и методу нужности као две независне математичке провере. Предвиђања су конкретна и оборива. Ако је теорија тачна, следећа генерација експеримената ће то потврдити. Ако није, бар смо показали где и шта треба да се тражи, а што и где треба тражити дато је већ у следећем прилогу.

ПРИЛОГ А: ТЕОРИЈСКА ОЧЕКИВАЊА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНУ ПРОВЕРУ

У овом прилогу дајемо теоријска очекивања, квантитативна или квалитативна, која експериментални рад може користити при претрази база података. Овај прилог је упутство: шта тражити, где тражити, и како разликовати наш сигнал од стандардних објашњења. Све ставке су формулисане као **могућа објашњења**, не као потврде. Не тврдимо да смо у праву — али не тврдимо ни да нисмо. То тек треба бити предмет експерименталне провере.

А.0 Општи принципи претраге

Теорија дуалности маса предвиђа да се гравитациона интеракција сложених честица (**n = 1**) слаби са порастом Лоренцовог фактора **γ**, док инерција расте. За елементарне честице (**n = 0**), гравитациона маса расте као $\mathbf{\frac{E}{c^2}}$**.** То значи да треба тражити:

- **Енергетски зависне аномалије** у подацима где постоји гравитациона интеракција (или њено одсуство)
- **Корелације са γ** (или са енергијом, масом, брзином) а које нису објашњене инструменталним ефектима
- **Разлике између фотона и масивних честица** у гравитационом понашању (јер фотони немају дуалност)

Свака аномалија мора имати:

- **Стандардно објашњење** (шта каже постојећа физика)
- **Наше могуће објашњење** (шта би рекла дуалност маса)
- **Критеријум разликовања** (шта би потврдило једно, а оборило друго)

A.1 Квантитативна предвиђања

A.1.1 Однос маса и Лоренцов фактор

Предвиђање: $\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$

γ	m_i/m_g	**Где тражити**
1 (мировање)	1	Свакодневни тестови (MICROSCOPE, Eöt-Wash)
10^2	10^4	Релативистички тешки јони (RHIC, LHC)
10^3	10^6	LHC протони (1 [TeV])
10^4	10^8	LHC протони (7 [TeV])
10^5	10^{10}	FCC (100 [TeV]) — будући
10^{11}	10^{22}	Космички зраци (10^{20} [eV])

Напомена: За елементарне ($n = 0$), $\frac{m_i}{m_g} = 1$ (нема дуалности). Табела важи без засићења (видети 2.8).

Шта тражити: Да ли постоји корелација између енергије честице и понашања ње у гравитационом пољу (или одсуства гравитационог дејства)?

A.1.2 Гравитационо убрзање

Предвиђање: За тест честицу у гравитационом пољу извора **M:**

- $a = \frac{G M}{\gamma^2 r^2}$

(уместо стандардног $a = \frac{G M}{r^2}$)

Шта тражити: Да ли ултра-релативистичке честице „падају“ спорије од очекиваног?
Да ли постоји разлика у гравитационом одзиву између честица различитих енергија?

Где тражити:
LHC: снопови протона у гравитационом пољу Земље (ефекат је далеко испод осетљивости; миони су лептони и за њих важи 2.6).

A.1.3 Гранични случајеви

Предвиђање: На $v = 0$ и за фотон ($v = c$, $m_0 = 0$) дуалност ишчезава — $m_i = m_g$.

- $v = 0$: $m_i = m_g = m_0$
- $v = c$: $m_i = m_g = \frac{E}{c^2}$
- **Неутрини ($n = 0$):** $m_g = \frac{E}{c^2}$. Реагују на гравитационо поље као фотони.

Шта тражити: Да ли постоји одступање од $m_i = m_g$ на границама? Ако да — теорија је у проблему.

A.1.4 Фотони

Предвиђање: За фотон, $m_i = m_g = \frac{E}{c^2}$ — нема дуалности.

Шта тражити:
Да ли фотони показују исту гравитациону интеракцију као у стандардној GR? (требало би — да)
Да ли постоји разлика између фотона и масивних честица у гравитационом понашању? (требало би — да, за масивне честице)

Где тражити: Гравитациона сочива, Shapiro кашњење, гравитациони црвени помак.

A.1.5 Неутрини

Предвиђање: Неутрини имају $\mathbf{n = 0, m_g = \frac{E}{c^2}}$ (Теорема 2.6). Треба да реагују на гравитационо поље и покажу Shapiro кашњење, исто као фотони.
Шта тражити: Да ли неутрини и фотони из истог астрофизичког извора стижу у истом временском размаку? **Ако** неутрини имају $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$, **онда** разлика у временима доласка требала да буде једнака стандардном кашњењу емисије — исто као за фотоне.
Критеријум разликовања: Ако неутрини показују приближно исто Shapiro кашњење као фотони — то је у складу са **n = 0** за неутрине. Ако не показују — теорија је у сукобу.
Где тражити: SN1987A — неутрини и фотони из истог извора. Неутрински детектори (IceCube, KM3NeT) — неутрини из GRB.

А.2 Квалитативна предвиђања

А.2.1 Дефлексија у гравитационом пољу

Предвиђање: Ултра-релативистички хадрони слабије реагују на гравитационо поље (фактор $\mathbf{1/\gamma^2}$).

- **Фотони:** треба да реагују нормално.
- **Неутрини (n = 0): $m_g = E/c^2$,** па треба да покажу гравитациону дефлексију као фотони.

Шта тражити: Да ли космички зраци изгледају „превише праволинијски“ у гравитационим пољима? Да ли постоји разлика у дефлексији између фотона и масивних честица?

А.2.2 Стабилност честица

Предвиђање: Како γ расте, унутрашња енергија опада. На критичној γ, честица се спонтано распада.
Шта тражити: Да ли постоји енергетски зависна нестабилност честица?
Да ли се распад дешава на предвидивим γ вредностима?
Напомена: Ово је квалитативно предвиђање — нумеричке вредности критичних γ зависе од детаља нуклеарне структуре и нису изведене у овом раду.

А.3 Критеријуми фалсификације

Теорија је оборива ако:

- $\mathbf{\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2}$ не важи за ултра-релативистичке честице (нпр. ако се покаже да је $\mathbf{\frac{m_i}{m_g} = 1}$ до $\mathbf{10^{-10}}$ на LHC енергијама)
- **Фотони** показују дуалност ($\mathbf{m_i \neq m_g}$) — што би противречило граничном случају **v = c**
- **Гранични случајеви** (**v = 0**, фотон) не дају $\mathbf{m_i = m_g}$
- **Гравитационо убрзање** не зависи од γ^2 (нпр. ако је $\mathbf{a = \frac{GM}{r^2}}$ за све γ)
- **Нема енергетски зависне нестабилности** честица на предвидивим γ вредностима

Ако било која од ових тачака буде потврђена — теорија је оборена.

А.4 Табела предвиђања за претрагу

#	Предвиђање	Квантитативно	Где тражити	Критеријум
1	$\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$	Табела А.1.1	LHC, космички зраци	Корелација са γ^2
2	$\mathbf{a = GM/(\gamma^2 r^2)}$	$\mathbf{1/\gamma^2}$	LHC (протони), космички зраци	Слабије убрзање
3	Фотони: $\mathbf{m_i = m_g}$	$\mathbf{E/c^2}$	Сочива, Shapiro	Нормално понашање
4	Границе: $\mathbf{m_i = m_g}$	**v = 0,** фотон **(v = c)**	MICROSCOPE, сочива	Нема одступања
5	Неутрини: $\mathbf{m_g = E/c^2}$	као фотони.	SN1987A	Очекивано као фотони

ПРИЛОГ Б: ФОРМАЛНИ ДОКАЗИ ЕКВИВАЛЕНЦИЈЕ

У овом прилогу дајемо формалне доказе еквиваленције пресликавања на мреже из Поглавља 5. Тиме показујемо да су пресликавања конзистентна са *таксономијом* [11].

Б.1 Еквиваленција за тип U (m_i, m_g, дуалност)

Теорема Б.1. Нека је **M** мрежа маса. Нека је $\Phi_1(M)$ униформно-дистрибутивна мрежа (тип **U**) са две гране. Тада важи: $m_i = \gamma m_0$ **и** $m_g = \frac{m_0}{\gamma} \Leftrightarrow \Phi_1(M)$ **нема потпуних рупа.**

Доказ 1 (директан). Ако $m_i = \gamma m_0$ и $m_g = \frac{m_0}{\gamma}$**,** онда обе гране постоје и повезане су кроз инваријанту $m_0^2 = m_i \times m_g$**.** Сваки чвор на левој грани има одговарајући чвор на десној. $\Phi_1(M)$ нема рупа. ■

Доказ 2 (контрадикцијом). Претпоставимо да $\Phi_1(M)$ има рупу — тј. једна грана недостаје или није повезана са другом. Тада m_i или m_g није дефинисано, што противречи релацији $m_0^2 = m_i \times m_g$. Контрадикција. ■

Доказ 3 (универзално пресликавање). Применимо Теорему 7.3 [5]. Мрежа маса је безрупава за све γ**,** па је еквиваленција задовољена. ■

Б.2 Еквиваленција за тип L ($m_0^2 = m_i \times m_g$)

Теорема Б.2. Нека је **M** мрежа маса. Нека је $\Phi_2(M)$ бипартитна мрежа високе густине (тип **L**).
Тада важи: $m_0^2 = m_i \times m_g \Leftrightarrow \Phi_2(M)$ **нема потпуних рупа.**

Доказ 1 (директан). Ако је $m_0^2 = m_i \times m_g$**, онда** је сваки чвор m_i повезан са одговарајућим чвором m_g преко инваријанте m_0^2**.** Свака ивица носи исту вредност m_0^2**.** $\Phi_2(M)$ нема рупа. ■

Доказ 2 (контрадикцијом). Претпоставимо да $\Phi_2(M)$ има рупу — тј. да постоји m_i без одговарајућег m_g. Тада ни производ $m_i \times m_g$ није дефинисан, што противречи $m_0^2 = m_i \times m_g$. Контрадикција. ■

Доказ 3 (универзално пресликавање). Применимо Теорему 7.3 [5]. Мрежа је безрупава јер је свака веза m_i—m_g дефинисана кроз m_0^2**.** ■

Б.3 Еквиваленција за тип R (дефект масе, унутрашња енергија)

Теорема Б.3. Нека је **M** мрежа маса. Нека је $\Phi_3(M)$ итеративна мрежа са повратном спрегом (тип **R**).
Тада важи: $E_{int} = \frac{m_0 c^2}{\gamma}$ **монотоно опада са** $\gamma \Leftrightarrow \Phi_3(M)$ **нема потпуних рупа.**

Доказ 1 (директан). Ако E_{int} монотоно опада са γ**, онда** постоји јединствено глобално привлачно стање $E_{int} = 0$ (граница $v \to c$). Сваки чвор има улаз и излаз. $\Phi_3(M)$ нема рупа. ■

Доказ 2 (контрадикцијом). Претпоставимо да $\Phi_3(M)$ има рупу — односно E_{int} не конвергира према јединственом стању. Тада дуалност $\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$ није добро дефинисана, што противречи Теореми 2.7.
Контрадикција. ■

Доказ 3 (универзално пресликавање). Применимо Теорему 7.3 [5]. Ова мрежа маса је безрупава јер монотоно опадање E_{int} обезбеђује јединствено привлачно стање. ■

Б.4 Еквиваленција за тип T (гранични случајеви, фотон)

Теорема Б.4. Нека је **M** мрежа маса. Нека је $\Phi_4(M)$ тополошко-комбинаторна мрежа (тип **T**).
Тада важи: $m_i = m_g$ **на** $v = 0$ **и за фотон** ($v = c$) $\Leftrightarrow \Phi_4(M)$ **нема потпуних рупа.**

Доказ 1 (директан). На $v=0$**:** $\gamma=1$**,** $m_i = m_g = m_0$**.** На $v=c$**:** $m_0=0$**,** $m_i = m_g = \frac{E}{c^2}$**.** Обе границе су стабилне (тополошке сингуларности). $\Phi_4(M)$ нема рупа. ■

Доказ 2 (контрадикцијом). Претпоставимо да $\mathbf{\Phi_4(M)}$ има рупу — тј. гранични услов није задовољен ($\mathbf{m_i \neq m_g}$ на **v=0** или **v=c за фотон**). Тада би дуалност била нарушена на граници — што противречи дефиницијама из 2.4. Контрадикција. ■

Доказ 3 (универзално пресликавање). Применимо Теорему 7.3 [5]. Тополошке сингуларности (**v=0**, **v=c** за фотон) су стабилне јер су дефинисане граничним условима. ■

Б.5 Еквиваленција за елементарне честице (тип T)

Теорема Б.5. Нека **M** буде мрежа маса. Нека $\mathbf{\Phi_5(M)}$ буде тополошко-комбинаторна мрежа (тип **T**) за елементарне честице ($\mathbf{n = 0}$). Тада важи: $\mathbf{m_i = m_g = \frac{E}{c^2}}$ **⇔ $\mathbf{\Phi_5(M)}$ нема потпуних рупа.**

Доказ 1 (директан).

Елементарне честице ($\mathbf{n = 0}$) немају нуклеарну унутрашњу енергију која би се кретањем развлачила. Њихова гравитациона маса долази од укупне енергије: $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$. Пошто је и инерциона маса, која је дефинисана као $\mathbf{m_i = \frac{E}{c^2}}$ (јер је $E = \gamma m_0 c^2$ за масивне честице, а $\mathbf{E = h\nu}$ за фотоне), следи да је $\mathbf{m_i = m_g}$. Сваки чвор на левој грани (m_i) има одговарајући чвор на десној грани (m_g), а вредности су једнаке. $\mathbf{\Phi_5(M)}$ нема рупа. ■

Доказ 2 (контрадикцијом).

Претпоставимо да $\mathbf{\Phi_5(M)}$ има рупу — односно да постоји елементарна честица за коју $\mathbf{m_i \neq m_g}$. Ако је $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$ (као за сложене честице), тада би за фотон ($\mathbf{m_0 = 0}$) следило $\mathbf{m_g = 0}$ — што противречи чињеници да фотони скрећу у гравитационом пољу.

За лептон или неутрино ($\mathbf{m_0 \neq 0}$), $\mathbf{m_g = \frac{m_0}{\gamma}}$ би значило да гравитациона маса опада са γ — али они немају нуклеарну унутрашњу енергију која би се развлачила. Нема механизма који би дао опадање.

Контрадикција у оба случаја. Дакле, мора бити $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2} = m_i}$. ■

Доказ 3 (универзално пресликавање).

Применимо Теорему 7.3 [5]. Мрежа маса је безрупава за елементарне честице ако је $\mathbf{m_i = m_g = \frac{E}{c^2}}$ — јер је то конзистентно са одсуством нуклеарне унутрашње енергије. Пошто је мрежа безрупава, једнакост $\mathbf{m_i = m_g}$ следи као нужан услов конзистентности. ■

Резиме Прилога Б

Теорема	Тип	Тврдња	Број доказа
Б.1	**U**	$\mathbf{m_i = \gamma m_0}$ **и** $\mathbf{m_g = m_0/\gamma}$ **⇔ безрупавост**	**3**
Б.2	**L**	$\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$ **⇔ безрупавост**	**3**
Б.3	**R**	$\mathbf{E_{int}}$ **монотоно опада ⇔ безрупавост**	**3**
Б.4	**T**	$\mathbf{m_i = m_g}$ **на границама ⇔ безрупавост**	**3**
Б.5	**T**	$\mathbf{m_i = m_g}$ **за елементарне честице ⇔ безрупавост**	**3**

Све теореме су доказане на три независна начина: директно, контрадикцијом, и преко универзалног пресликавања (Теорема 7.3 [5]). Тиме је потврђено да су сва приказана пресликавања конзистентна са *таксономијом* [11]. Б.1–Б.3 важе за сложене честице ($\mathbf{n = 1}$). Б.4–Б.5 важе за граничне случајеве и елементарне честице ($\mathbf{n = 0}$).

ПРИЛОГ В: ОДНОС ПРЕМА ДВЕМА МАСАМА У РЕЛАТИВИСТИЧКОЈ ДИНАМИЦИ

У овом прилогу упоређујемо наше дефиниције маса са модерном конвенцијом, са лонгитудиналним или трансверзалним . Показујемо да је однос маса исти (γ^2) у оба случаја, али да су апсолутне вредности различите — и да то има дубоке последице.

B.1 Две масе у релативистичкој динамици

У модерној конвенцији, која се данас користи у уџбеницима, ефективна инерција зависи од смера силе:

Лонгитудинална маса (сила паралелна брзини):

- $\mathbf{m_L} = \dfrac{\mathbf{m_0}}{\left(1 - \dfrac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{3}{2}}} = \gamma^3 \mathbf{m_0}$

Трансверзална маса (сила нормална на брзину):

- $\mathbf{m_T} = \dfrac{\mathbf{m_0}}{\left(1 - \dfrac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} = \gamma \mathbf{m_0}$

Однос:

- $\dfrac{\mathbf{m_L}}{\mathbf{m_T}} = \dfrac{\gamma^3 \mathbf{m_0}}{\gamma \mathbf{m_0}} = \gamma^2$

Напомена. Ајнштајн је у оригиналном раду из 1905 [24] користио другачије дефиниције масе. Овде користимо модерну конвенцију која је данас стандардна у уџбеницима релативности. Формуле $\gamma^3 \mathbf{m_0}$ и $\gamma \mathbf{m_0}$ су последица те конвенције, не Ајнштајнове оригиналне дефиниције.

B.2 Шта ми дајемо

У овом раду уводимо две масе:

Инерциона маса (лонгитудинална компонента): • $\mathbf{m\parallel} = \gamma \mathbf{m_0}$

Гравитациона маса (трансверзална компонента): • $\mathbf{m\perp} = \dfrac{\mathbf{m_0}}{\gamma}$

Однос:

- $\dfrac{\mathbf{m\parallel}}{\mathbf{m\perp}} = \dfrac{\gamma \mathbf{m_0}}{\frac{\mathbf{m_0}}{\gamma}} = \gamma^2$

Дакле, однос је исти — γ^2. Али понашање је другачије: наша лонгитудинална маса расте фактором γ, а трансверзална опада фактором $\dfrac{1}{\gamma}$.

B.3 Упоредна табела

	Модерна конвенција	**Овај рад**
Лонгитудинална	$\gamma^3 \mathbf{m_0}$ (расте)	$\gamma \mathbf{m_0}$ (расте)
Трансверзална	$\gamma \mathbf{m_0}$ (расте)	$\mathbf{m_0}/\gamma$ (опада)
Однос	γ^2	γ^2
Производ	$\gamma^4 \mathbf{m_0}^2$ (није инваријантан)	$\mathbf{m_0}^2$ (инваријантан)

Кључна разлика: Обе масе модерне конвенције расту са γ — производ није инваријантан, а наше масе имају супротне трендове — производ је инваријантан ($\mathbf{m_0}^2$).

Напомена: Ова табела важи за све оне честице које имају нуклеарну унутрашњу енергију (хадроне).

За елементарне честице (лептони, фотони, неутрини), $\mathbf{m_g} = \dfrac{\mathbf{E}}{c^2}$ (нема дуалности).

B.4 Зашто је однос исти

Ако се компоненте мењају као γ^p и γ^q, њихов однос је γ^{p-q}. Код Ајнштајна је $\mathbf{p-q = 3-1 = 2}$, код нас $\mathbf{1-(-1) = 2}$. У оба случаја однос је γ^2.

Разлика је у експонентима:

- Модерна конвенција: експоненти **3** и **1** → однос γ^2, али обе расту.

• Ми: експоненти **1** и **−1** → однос γ^2**,** али једна расте, друга опада

Дакле, исти однос, различити експоненти.

B.5 Шта то значи физички

Ајнштајн описује одзив на силу — колико је тешко убрзати честицу у датом смеру. Обе масе расту јер је „теже“ убрзати честицу како се брзина приближава **c**. Лонгитудинално јесте теже него што је трансверзално (зато γ^3 vs. γ).

Ми описујемо извор гравитационог поља и отпор према промени кретања. Инерција расте (теже је убрзати), али гравитација опада (слабије привлачи) — јер гравитациона маса долази од унутрашње енергије, која се „развлачи“ кретањем.

То су два различита питања:

• Ајнштајн: „Колика сила је потребна за убрзање?“

• Ми: „Колико тело привлачи друго тело?“

Иста геометрија даје исти однос, али различите апсолутне вредности — јер одговарају на различита питања.

Разлика је и у неутринима: и модерна конвенција и наша теорија предвиђају $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$, за неутрине (**n = 0**). Обе се слажу да неутрини гравитирају.

B.6 Веза са тензорском структуром

У релативистичкој динамици, ефективни тензор инерције је:

• $\mathbf{M = \gamma m_0 \left(I + \frac{\gamma^2}{c^2}\, v\, v^T\right)}$

Његове својствене вредности су $\gamma\mathbf{m_0}$ (трансверзално) и $\gamma^3\mathbf{m_0}$ (лонгитудинално) — то су Ајнштајнове масе. У нашој формулацији, тензор масе има својствене вредности што су $\gamma\mathbf{m_0}$ за лонгитудинално и $\frac{\mathbf{m_0}}{\gamma}$ за трансверзално. То је другачији тензор али са истим односом својствених вредности (γ^2). Дакле, маса је тензор у оба случаја — али тензори се разликују. Наш тензор има инваријантан производ две различите својствене вредности ($\mathbf{m_0^2}$), Ајнштајнов не.

B.7 Шта је ново у нашем приступу

1. Инваријантни производ. $\mathbf{m_\parallel \cdot m_\perp = m_0^2}$ — то Ајнштајн није имао. Код њега је тај производ $\gamma^4\mathbf{m_0^2}$**,** који зависи од γ**.**
2. Супротни трендови. Наша трансверзална маса опада са γ, док Ајнштајнова расте. То је само последица чињенице да гравитациона маса долази од унутрашње енергије, која се развлачи кретањем.
3. Различито питање. Ајнштајн описује одзив на силу; ми извор гравитационог поља.
4. Темпорални карактер масе. Из $\mathbf{m \cdot L = const}$ и $\mathbf{L \cdot t = const}$ следи $\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{t}} = \mathbf{const}$. Трансформишу се једнако маса и време (3.0.2). То Ајнштајн није имао.

B.8 Како то тестирати

Обе формулације дају исти однос (γ^2), али различите апсолутне вредности. То значи да их не можемо разликовати мерењем односа — али можемо мерењем апсолутних вредности.

Ако меримо гравитациону масу ултра-релативистичке **сложене** честице (**n = 1**) и нађемо да расте са γ (као Ајнштајн), наша теорија је у проблему. Ако меримо **елементарну** честицу (**n = 0**) и нађемо да опада са γ, такође је у проблему. За елементарне честице, наша теорија предвиђа $\mathbf{m_g = \frac{E}{c^2}}$ (да расте).

Ако нађемо да опада са γ (као ми), Ајнштајнова формулација је непотпуна за гравитацију.

То је тестибилно — и то је управо оно што Прилог А описује.

B.9 Закључак

Ајнштајн и ми добијамо исти однос (γ^2), али одговарамо на сасвим различита физичка питања:

• Ајнштајн: колика је инерција при убрзању? (обе масе расту)

• Ми: колика је гравитација при кретању? (једна расте, друга опада)

Однос γ^2 је исти али апсолутне вредности се разликују.

Наша формулација је општија јер има инваријантан производ ($\mathbf{m_0^2}$) и темпорални карактер масе ($\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{t}}$ = **const**). Ајнштајнова је специјални случај за инерцију — али не покрива гравитацију.

ПРИЛОГ Г: КРИТИКЕ И ОДГОВОРИ

Ово поглавље наменили смо одговорима на евентуалне критике у намери да разјаснимо недоумице.

Критика 1: „Зар ово не противречи MICROSCOPE-у ($\mathbf{10^{-15}}$)?“

Одговор: Не. MICROSCOPE мери разлику убрзања два тела у истој орбити; оба имају исти $\boldsymbol{\gamma}$ ($\gamma^2 - 1 \approx 6\times10^{-10}$), па се ефекат поништава у диференцијалном мерењу.

Критика 2: „Зашто уводите $\mathbf{m_g} = \frac{\mathbf{m_0}}{\boldsymbol{\gamma}}$? То изгледа као натезање.“

Одговор: Није натезање. Гравитациона маса долази од унутрашње енергије (рада нуклеарних сила), која се кретањем „разводњава“ (запремина расте, густина опада). Ово је физичка претпоставка о пореклу гравитационе масе, а не математичко подешавање формуле.

Критика 3: „Како објашњавате космичке зраке?“

Одговор: Магнетна дефлексија зависи од наелектрисања и импулса, а не од гравитационе масе, па дуалност маса не мења дефлексију космичких зрака.

Критика 4: „Зар Ајнштајн није већ имао две масе — лонгитудиналну и трансверзалну? Шта је ново у вашем приступу?“

Одговор: Ајнштајн је заиста извео две масе (1905), али оне обе расту, у модерној конвенцији, са $\boldsymbol{\gamma}$ и то лонгитудинална као $\boldsymbol{\gamma^3 m_0}$, трансверзална као $\boldsymbol{\gamma m_0}$. Њихов производ није инваријантан ($\gamma^4 m_0^2$). Наше масе имају супротне трендове: инерциона расте ($\boldsymbol{\gamma m_0}$), гравитациона опада ($\mathbf{m_0/\gamma}$). Њихов производ је инваријантан ($\mathbf{m_0^2}$). Однос је исти (γ^2) — јер долази из исте геометријске анизотропије — али апсолутне вредности су им различите. Ајнштајн описује одзив на силу; ми описујемо извор гравитационог поља. Детаљније је то дато у Прилогу В.

Критика 5: „Зар ово не противречи општој релативности, где и кинетичка енергија гравитира?”

Одговор: Да, у стандардној GR извор поља је цео тензор енергије-импулса, па и кинетичка енергија. Овај рад полази од друге претпоставке: да гравитациона маса долази од унутрашње енергије, која се кретањем „развлачи" (3.0, 3.0.2). То је претпоставка, а не последица GR, и она се слаже са GR само у пределима где је $\boldsymbol{\gamma \approx 1}$. Рад не тврди да GR греши на ниским енергијама. Он даје ново предвиђање: $\mathbf{a} = \frac{\mathbf{GM}}{\boldsymbol{\gamma^2 r^2}}$, које се може проверити на високим $\boldsymbol{\gamma}$.

Критика 6: „Зашто баш γ^2, а не γ или $\sqrt{\gamma}$?”

Одговор: γ^2 следи из претпоставке $\mathbf{L\perp = \gamma L_0}$ (3.0.1). Облик трансверзалне анизотропије није изведен из метрике, па су могуће и друге форме (нпр.$\sqrt{\gamma}$, или засићење), што је наведено у 7.2. Ако се покаже да се трансверзална анизотропија другачије понаша, експонент у релацији $\frac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}} = \gamma^2$ се мења, али зато структура рада (реципроцитет $\mathbf{m_i \cdot m_g = m_0^2}$ за сложене) остаје. Експеримент разликује ове варијанте.

Критика 7: „Релативистичка маса $\mathbf{m_i = \gamma m_0}$ је одавно застарео појам. Зашто га поново уводите?”

Одговор: Тачно, у савременој конвенцији се користи само маса мировања $\mathbf{m_0}$ и енергија **E**. Овде $\mathbf{m_i} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{c^2}}$ служи само као скраћеница за инерцијални одзив, а гравитациона маса као $\frac{\mathbf{E_{int}}}{\mathbf{c^2}}$ (за сложене) или $\frac{\mathbf{E}}{\mathbf{c^2}}$ (за елементарне)**.** Али ништа од закључака рада не зависи од терминологије: све се може написати као однос две енергије, **E** и $\mathbf{E_{int}}$**,** чији је однос $\boldsymbol{\gamma^2}$**.** Зато је поновно активирање овог појама неминовно.

Критика 8: „Зар смањење гравитационе масе не нарушава одржање енергије?"
Одговор: Не. Укупна енергија $\mathbf{E = \gamma m_0 c^2}$ и импулс се чувају, а гравитациона маса у раду није залиха енергије, него мера везе тела са гравитационим пољем. Она се мења, а енергија не.

Критика 9: „Рад предвиђа распад честица при високом $\boldsymbol{\gamma}$, а то никад није виђено."
Одговор: Предвиђање је квалитативно (А.2.2): рад не даје критичне вредности $\boldsymbol{\gamma}$, јер зависе од нуклеарне структуре и нису изведене. Зато се не може рећи да је оповргнуто пре експеримента.

Критика 10: „Ако се гравитациона маса смањује са $\boldsymbol{\gamma}$, зар то не би променило масу извора коју LIGO мери?"
Одговор: Ефекат је реда $\mathbf{v^2/c^2}$ ($\approx \mathbf{10^{-2}}$ за $\mathbf{v \sim 0.1c}$, $\boldsymbol{\gamma} \approx \mathbf{1.005}$) и у овом раду није квантификован за динамику бинарних система. LIGO мери „chirp mass"; поправка за сложене честице ($\mathbf{n = 1}$) није рачуната и остаје отворено питање.

Критика 11: „Зар подела на $\mathbf{n = 0}$ и $\mathbf{n = 1}$ није произвољна? Зашто баш хадрони имају дуалност?"
Одговор: Подела није бирана по честицама већ по једном критеријуму: да ли честица има нуклеарну (јаку) везивну енергију која се кретањем развлачи. Тај критеријум даје једну формулу, $\mathbf{m_g = \left(\frac{E}{c^2}\right) \cdot \gamma^{-2n}}$, са две вредности индекса. Кварк је $\mathbf{n = 0}$, а хадрон од кваркова $\mathbf{n = 1}$, јер се везивна енергија јавља тек на нивоу сложене структуре (2.1, 2.8). Ова подела прати ниво организације, а не особине појединачне честице.

Критика 12: „Зар засићење из 2.8 не поништава предвиђање?"
Одговор: Не. За $\boldsymbol{\gamma \ll \gamma_c}$ све остаје као у Теореми 2.7. За $\boldsymbol{\gamma \gg \gamma_c}$ гравитациона маса не опада до нуле, већ тежи вредности $\mathbf{\frac{m^0}{\gamma_c}}$, док инерциона и даље расте, па и однос $\mathbf{\frac{m_i}{m_g} = \gamma \cdot \gamma_{eff}}$ тежи ка $\mathbf{\gamma \cdot \gamma_c}$ и даље ће расти са $\boldsymbol{\gamma}$. Дуалност дакле остаје, само се њен закон у асимптотици мења. Вредност $\boldsymbol{\gamma_c}$ није изведена из **(3+3)** метрике и остаје отворено питање.

ЕПИЛОГ

Њутн је рекао да су инерција и гравитација иста ствар. Ајнштајн је то уздигао на ниво принципа. Ми сада кажемо: **нису иста ствар — али јесу две стране исте медаље.** На ниским енергијама оне се не разликују. На високим — разлика постаје драматична. Ово није рушење Њутна ни Ајнштајна. То је њихово продубљивање. Инерција и гравитација су дуални — као што су простор и време, као што су маса и енергија. Универзум воли дуалност. Разлика је овде суштинска: Ајнштајнове масе описују инерцију, наше описују и инерцију и гравитацију — и њихову дуалност.

РЕФЕРЕНЦЕ (радови истих аутора су на Зенодо и на https://meta-ns.co.rs/)

МАТЕМАТИКА:

[1] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Гедел-Хилбертов пар и релациона унија*. PH-MAT-01-01A-SRB.
[2] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Конструктивни Гедел-Хилбертови парови*. PH-MAT-01-01B-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23082916 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23084085
[3] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Конструкција Гедел-Хилбертовог пара*. PH-MAT-01-01C-SRB.
[4] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Теорија математичке нужности*. PH-MAT-01-02A-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23083371 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23084042
[5] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Теорија структурне нужности*. PH-MAT-01-02B-SRB.
[6] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Теорија дефиниционих оквира нужности*. PH-MAT-01-02C-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23083316 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23083357
[7] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Теорија рупа у адитивним системима*. PH-MAT-01-03A-SRB.
[8] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Рупе као оператори структуре*. PH-MAT-01-03B-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23084018 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23084008
[9] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Теорема о решивости кроз пресликавање*. PH-MAT-01-03C-SRB.
[10] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Универзални мастер шаблон*. PH-MAT-01-04A-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23083989 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23083983

[11] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Таксономија математичких проблема*. PH-MAT-01-04B-SRB.
[12] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Универзална методологија – практ. водич*. PH-MAT-01-04C-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23083978 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23083972
[13] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Примитивни GH-пар – два приступа конструкцији (2+1)*. PH-MAT-01-05A-SRB. • https://doi.org/10.5281/zenodo.23083735
[14] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Конструкција стабилног GH-пара (3+3)*. PH-MAT-01-05B-SRB.
[15] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Гедел-Хилбертове мреже*. PH-MAT-01-05C-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23083728 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23083697
[16] **Бошњак Р.** & **М.** & **Д.** (2026). *Еволуција као последица стабилности*. PH-MAT-01-05D-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23438867

ФИЗИКА:

[17] **Бошњак Р. & М. &** Д. (2026). Универзални обрасци централних сила – B. PH-FIZ-01-01B-SRB.
[18] **Бошњак Р. & М. &** Д. (2026). Уједињење SR и GR кроз (3+3) метрику – B. PH-FIZ-01-02B-SRB.
• https://doi.org/10.5281/zenodo.23083688 • https://doi.org/10.5281/zenodo.23083654
[19] **Бошњак Р. & М. &** Д. (2026). *Уједињење централних сила кроз (3+3) метрику – B.* PH-FIZ-01-03B-SRB. • https://doi.org/10.5281/zenodo.22181756
[20] **Бошњак Р. & М. &** Д. (2026). *Уједињење познатих сила кроз (3+3) метрику – B.* PH-FIZ-01-04B-SRB. • https://doi.org/10.5281/zenodo.23085158
[21] **Бошњак Р. & М. &** Д. (2026). *Релација јачина–домет у (3+3) оквиру – B.* PH-FIZ-01-05B-SRB. • https://doi.org/10.5281/zenodo.23438892
[22] **Бошњак Р. & М. &** Д. (2026). *Еволуција константи из (3+3) геометрије – B.* PH-FIZ-01-06B-SRB. • https://doi.org/10.5281/zenodo.23438947
[23] **Damour, T.** (2012). *Theoretical aspects of the equivalence principle.* Classical and Quantum Gravity, 29, 184001.
[24] **Einstein, A.** (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. Annalen der Physik, 322(10), 891–921.
[25] **Eötvös, R. V., Pekár, D., & Fekete, E.** (1922). *Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität.* Annalen der Physik, 373(13), 11–66.
[26] **Heisenberg, W.** (1927). *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik.* Zeitschrift für Physik, 43(3–4), 172–198.
[27] **MICROSCOPE Collaboration** (2022). *MICROSCOPE Mission: Final Results of the Test of the Equivalence Principle*. Physical Review Letters, 129(12), 121102.
[28] **Touboul, P., et al.** (2017). *First results of the MICROSCOPE space mission.* Physical Review Letters, 119(23), 231101.
[29] **Will, C. M.** (2014). *The confrontation between general relativity and experiment.* Living Reviews in Relativity, 17(1), 4.

POST SCRIPTUM

Када смо почели, мислили смо да је принцип еквиваленције светиња. Али светиње не постоје у физици — постоје само апроксимације које важе у одређеном домену. Принцип еквиваленције важи за ниске енергије. За високе — не. Наша тврдња је једноставна: инерција и гравитација су дуални. Код сложених честица једна расте са кретањем, друга опада. На v = 0, код фотона и код елементарних честица се изједначавају. Између — разликују се. То је лепо. И, ако је тачно, дубоко. Зато овај рад не завршавамо тврдњом, него питањем: да ли гравитација прати енергију или само оно што држи тело на окупу? Први одговор је Ајнштајнов. Други је наш. Разлика се види тек при високом γ, и тек тада ће се знати ко је у праву. Једно смо научили радећи на овом раду: добра теорија није она која се не може оборити, него је она која јасно каже чиме. Овде је то једна релација и једна табела вредности (A.1.1). Ако мерење на високом γ покаже $m_i/m_g = 1$, све је речено. .Ако покаже другачије, опет је све речено.

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

---

Нови Сад
22.08.2026.

Научни часопис:
„ПОЛИХИСТОР“

Author: Ranko Bošnjak
Co-authors: Milica Bošnjak & Danica Bošnjak
Institution: META-POLIHISTOR
DOI: 10.5281/zenodo.23770241
"POLIHISTOR" N: PH-FIZ-01-07B-SRB
polihistor@meta-ns.co.rs

ON THE PRINCIPLE OF EQUIVALENCE OF MASSES
(B – basic – theoretical paper)

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

ABSTRACT
The paper introduces the relation $\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$**.** We start from the definitions $\mathbf{m_i = \gamma m_0}$ (for inertial mass) and $\mathbf{m_g = m_0/\gamma}$ (for gravitational mass) and show that their product remains constant: $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$**.** The physical origin of the relation lies in the fact that gravitational mass comes from internal energy (the work of nuclear forces), which is "stretched" by motion. Photons, like all elementary particles, have no internal energy. At $\mathbf{v = 0}$ this duality vanishes, and for the photon $\mathbf{(m_0 = 0)}$ it does not exist. The paper contains Theorems 2.6 and 2.7 with three independent proofs each, as well as the reduction to networks and the method of necessity — two independent mathematical checks. All predictions are concrete and refutable. We present a unified formula $\mathbf{m_g = (E/c^2) \cdot \gamma^{-2n}}$**,** where $\mathbf{n = 1}$ for hadrons ($\mathbf{m_g = m_0/\gamma}$) and $\mathbf{n = 0}$ for leptons, photons and neutrinos ($\mathbf{m_g = E/c^2}$).

KEYWORDS: mass duality, equivalence principle, internal energy, photon, $m_i/m_g = \gamma^2$, gravitational mass

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
22.08.2026.

Scientific Journal:
"**POLIHISTOR**"