**Аутор:** Ранко Бошњак
**Коаутори:** Милица Бошњак & Даница Бошњак
**Институција:** МЕТА-ПОЛИХИСТОР
DOI: 10.5281/zenodo.23770246
„ПОЛИХИСТОР“ N: PH-FIZ-01-07E-SRB
polihistor@meta-ns.co.rs

# О ПРИНЦИПУ ЕКВИВАЛЕНЦИЈЕ МАСА
## (E – експериментални рад)

***При ниским енергијама, инерција и гравитација су близнаци.***
***При високим — разлика је видна.***

## АПСТРАКТ
Овај рад представља експерименталну проверу теоријских предвиђања дуалности маса изведених у теоријском раду тријаде [2]. Теоријски рад [2] даје предвиђање да се инерциона и гравитациона маса раздвајају при релативистичким енергијама: $\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$, за сложене честице **(n = 1),** са инваријантом $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$. Ту пратимо структуру Прилога А теоријског рада [2]: редом проверавамо свако предвиђање на сада постојећим експерименталним подацима. Показујемо где постоји слагање, а где је ефекат испод осетљивости. Не тврдимо да је ова теорија потврђена. Подаци са фотонима и на ниском $\gamma$ нису у сукобу са теоријом, а подаци о неутринима из SN1987A ($\gamma \gtrsim 10^7$) су конзистентни са теоријом: неутрини имају $\mathbf{n = 0, m_g = E/c^2}$ (Теорема 2.6 из [2]), па реагују на гравитационо поље као фотони. Тај резултат не разликује теорију од стандардне GR и не тестира дуалност ($\mathbf{n = 1}$).

**КЉУЧНЕ РЕЧИ:** принцип еквиваленције, MICROSCOPE, GRB 170817A, гравитациона сочива, дуалност маса, SN1987A, $m_i/m_g = \gamma^2$

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

## 1. УВОД
Теоријски рад [2] успоставља дуалност маса из **(3+3)** геометрије. Кључна предвиђања су:

- **Инерциона маса** расте са кретањем: $\mathbf{m_i = \gamma m_0}$
- **Гравитациона маса сложених честица (n = 1)** опада са кретањем: $\mathbf{m_g} = \dfrac{\mathbf{m_0}}{\boldsymbol{\gamma}}$
- **Гравитациона маса елементарних честица (n = 0)** расте: $\mathbf{m_g} = \dfrac{\mathbf{E}}{\mathbf{c^2}}$
- **Однос**: $\dfrac{\mathbf{m_i}}{\mathbf{m_g}} = \boldsymbol{\gamma^2}$
- **Инваријанта**: $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$
- **Фотони, лептони, неутрини (n = 0):** $\mathbf{m_i = m_g} = \dfrac{\mathbf{E}}{\mathbf{c^2}}$ (нема дуалности)
- **Гранични случајеви**: $\mathbf{m_i = m_g}$ на $\mathbf{v = 0}$ и за фотон

У Прилогу А теоријског рада [2] дата су конкретна предвиђања за експерименталну проверу, док овај рад прати структуру тог прилога: редом се проверава свако предвиђање. Свако предвиђање добија свој одељак чак и ако није било тестирано. Даље наводимо шта би га тестирало и зашто то још није изведено.

**Важна напомена.** Дуалност маса се манифестује само при високим $\gamma$. На ниским енергијама ($\gamma \approx 1$), ефекат је занемарљив — па лабораторијски и сателитски тестови принципа еквиваленције не могу да

га детектују. То не значи да је теорија потврђена; тест на високом **γ** постоји само за неутрине (**n = 0**, 3.5), који не проверава дуалност.

## 2. ТЕОРИЈСКА ПРЕДВИЂАЊА ИЗ ПРИЛОГА А [2]

У овом прилогу дајемо теоријска предвиђања која узимамо редом из Прилога А теоријског рада [2].

### 2.1 Однос маса и Лоренцов фактор [2, A.1.1]

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

| γ | $m_i/m_g$ | Где тражити |
|---|---|---|
| 1 (мировање) | 1 | MICROSCOPE, Eötvös |
| $10^2$ | $10^4$ | RHIC, LHC (тешки јони) |
| $10^3$ | $10^6$ | 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:** табела важи за сложене честице (**n = 1**); за елементарне (**n = 0**) је $\frac{m_i}{m_g} = 1$.

### 2.2 Гравитационо убрзање [2, A.1.2]

**Предвиђање:** За тест честицу (**n = 1**) у гравитационом пољу извора **M**: $a = \frac{GM}{\gamma^2 r^2}$ (уместо $a = \frac{GM}{r^2}$)

### 2.3 Гранични случајеви [2, A.1.3]

- **v = 0**: $m_i = m_g = m_0$ (нема кретања, нема дуалности)
- **v → 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)

### 2.4 Фотони [2, A.1.4]

**Предвиђање:** За фотон, $m_i = m_g = \frac{E}{c^2}$ — нема дуалности. Фотони следе геодезијске линије нормално.

### 2.5 Неутрини [2, A.1.5]

**Предвиђање:** Неутрини имају **n = 0**, $m_g = \frac{E}{c^2}$ (Теорема 2.6 из [2]). Реагују на гравитационо поље — показују Shapiro кашњење, исто као фотони.

### 2.6 Дефлексија у гравитационом пољу [2, A.2.1]

**Предвиђање:** Ултра-релативистички хадрони (**n = 1**) слабије реагују на гравитационо поље (фактор $\frac{1}{\gamma^2}$). Фотони реагују нормално.

### 2.7 Стабилност честица [2, A.2.2]

**Предвиђање:** Како γ расте, унутрашња енергија опада. На критичној **γ,** честица се спонтано распада.

## 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Ово поглавље резервисано је за експерименталне резултате према упутству из претходног поглавља.

### 3.1 Однос маса и Лоренцов фактор [2, A.1.1]

**Претражени експерименти:** космички зраци. **Резултати:**

• Космички зраци: ултра-високоенергетски догађаји ($E > 10^{19}$ [eV]) имају $\gamma \sim 10^{10}$–$10^{11}$.

**Слагање: Није тестирано.** Космички зраци нису анализирани са хипотезом $\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$.

---

## 3.2 Гравитационо убрзање [2, A.1.2]

**Претражени експерименти:** MICROSCOPE [6, 7], Eötvös [3], космички зраци. **Резултати:**

• MICROSCOPE (2022) [6]: $\eta = (-1{,}5 \pm 2{,}3 \pm 1{,}5) \times 10^{-15}$ (1σ)
• Touboul et al. (2017) [7]: $\eta < 10^{-14}$
• Eötvös (1922) [3]: $\eta < 5 \times 10^{-9}$

**Слагање: Сагласно на ниским γ.** MICROSCOPE ради на орбиталним брзинама ($\gamma \approx 1 + 3 \times 10^{-10}$, $\gamma^2 - 1 \approx 6 \times 10^{-10}$). MICROSCOPE мери разлику убрзања два тела у истој орбити; оба имају исти γ, па се ефекат поништава у диференцијалном мерењу и MICROSCOPE му не противречи.

---

## 3.3 Гранични случајеви [2, A.1.3]

**Претражени експерименти:** MICROSCOPE [6, 7], гравитациона сочива, Eötvös [3], GW170817/GRB 170817A [1]. **Резултати:**

• **v = 0:** MICROSCOPE [6, 7] потврђује $m_i = m_g$; Eötvös [3] до $5 \times 10^{-9}$
• **v = c** (фотони): GW170817 и GRB 170817A [1] потврђују $c_g = c$; гравитациона сочива дала су потврду да фотони следе геодезијске линије

**Слагање: Потврђено.** Гранични случајеви су потврђени — али то су границе где дуалности нема, па потврда граница не значи потврду дуалности између.

---

## 3.4 Фотони [2, A.1.4]

**Претражени експерименти:** гравитациона сочива. **Резултати:**

• Гравитациона сочива: фотони скрећу у гравитационом пољу, конзистентно са GR

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

---

## 3.5 Неутрини и фотони из SN1987A [2, A.1.5]

**Претражени експерименти:** SN1987A [4, 5]. **Резултати:**

• Неутрини из SN1987A (енергије ~10 [MeV], масе $\lesssim 1$ [eV], дакле $\gamma \gtrsim 10^7$) и фотони из истог извора стигли су у размаку од тек неколико сати, иако је Shapiro кашњење у гравитационом пољу Галаксије реда месеци. Из тога следи да је ова гравитациона реакција неутрина једнака фотонској на нивоу реда процента [4, 5].

**Слагање:** Конзистентно. Неутрини имају **n = 0**, $m_g = \frac{E}{c^2}$ (Теорема 2.6 из [2]) 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.

**Напомена.** Овај тест проверава само да неутрини имају **n = 0**; за **n = 0** теорија и стандардна GR дају исти резултат, па тест не разликује теорију од GR и не тестира дуалност (**n = 1**).

---

## 3.6 Дефлексија у гравитационом пољу [2, A.2.1]

**Претражени експерименти:** космички зраци, гравитациона сочива. **Резултати:**

• Космички зраци: ултра-високоенергетски догађаји ($E > 10^{19}$ [eV]) имају $\gamma \sim 10^{10}$–$10^{11}$.
• Гравитациона сочива: фотони се скрећу нормално.

**Слагање: Није тестирано за масивне честице.** За фотоне, дефлексија је нормална (што ова теорија предвиђа). За ултра-релативистичке масивне честице, тест није изведен — јер нема извора који би ту дао довољно велики γ у контролисаним условима.

**Критеријум разликовања:** гравитациона реакција масивне честице, поређена са фотоном из истог извора, мора да опада као $\frac{1}{\gamma^2}$ (само за сложене честице; за неутрине видети 3.5).

## 3.7 Стабилност честица [2, A.2.2]

**Претражени експерименти:** LHC, космички зраци. **Резултати:**

- LHC: протони на 7 [TeV] имају $\gamma \sim 7000$. Нема детектоване нестабилности.
- Космички зраци: ултра-високоенергетски протони ($E > 10^{19}$ [eV]) имају $\gamma \sim 10^{10}–10^{11}$. Нема детектоване нестабилности.

**Слагање: Није тестирано на критичним γ.** Критичне γ вредности за спонтани распад нису биле ни изведене у [2] — само квалитативно предвиђене. Дакле, не знамо где то да тражимо.

# 4. ПРЕГЛЕД РЕЗУЛТАТА

| Предвиђање | Експеримент | Слагање | Статус |
|---|---|---|---|
| $m_i/m_g = \gamma^2$ | космички зраци | — | Није тестирано |
| $a = GM/(\gamma^2 r^2)$ | MICROSCOPE [6, 7], Eötvös [3] | Сагласно на $\gamma \approx 1$ | Није тестирано на високим γ |
| Гранични случајеви | MICROSCOPE [6, 7], GW170817 [1], сочива | Потврђено | Да |
| Фотони: $m_i = m_g$ | сочива | Потврђено | Да |
| Дефлексија (сложене честице) | Космички зраци | — | Није тестирано |
| Стабилност честица | LHC, космички зраци | — | Није тестирано на критичним γ |
| Неутрини ($n = 0$) | SN1987A [4, 5] | Конзистентно | Тестирано |

**Комбинована оцена:** Постојећи подаци не потврђују теорију. Тестови на ниском γ и на фотонима су сагласни, а тест на неутринима из SN1987A (3.5) је конзистентен са теоријом: неутрини имају $n = 0$, $m_g = \frac{E}{c^2}$ (Теорема 2.6 из [2]). Осим SN1987A (3.5), други тестови на високом γ нису изведени.

# 5. ЗАКЉУЧАК

Пратили смо структуру Прилога А теоријског рада [2] и проверили свако предвиђање на постојећим подацима:

- **A.1.1** [2] **($\frac{m_i}{m_g} = \gamma^2$)** — није тестирано на високим γ
- **A.1.2** [2] **($a = \frac{GM}{\gamma^2 r^2}$)** — сагласно на ниским γ, није тестирано на високим
- **A.1.3** [2] **(гранични случајеви)** — потврђено
- **A.1.4** [2] **(фотони)** — потврђено
- **A.1.5** [2] **(неутрини) —** конзистентно (SN1987A)
- **A.2.1** [2] **(дефлексија)** — није тестирано
- **A.2.2** [2] **(стабилност)** — није тестирано на критичним γ

Ови резултати не потврђују теорију. Тест на неутринима из SN1987A је конзистентен са теоријом (неутрини имају $n = 0$, $m_g = \frac{E}{c^2}$ — Теорема 2.6 из [2]). За остале масивне честице тестова на високом γ нема.

# ПРИЛОГ А: ПРЕДЛОЗИ ЗА БУДУЋА МЕРЕЊА

У циљу провере теорије дајемо неколико предлога за будућа мерења.

## A.1 Тест слободног пада са ултра-релативистичким честицама

- **Циљ:** Да ли ултра-релативистичке честице падају спорије ($a = \frac{GM}{\gamma^2 r^2}$)?
- **Метод:** Честице различитих енергија у слободном паду кроз гравитационо поље.
- **Изводљивост:** Потребан је извор ултра-релативистичких честица, као и прецизна детекција путање.

### A.2 Неутрини из будућих супернових и других извора

- **Циљ:** Да ли неутрини показују Shapiro кашњење или гравитациону дефлексију?
- **Метод:** Поређење времена доласка неутрина и фотона из истих астрофизичких извора: GRB и супернове. Користити IceCube, KM3NeT, и будуће неутринске детекторе.
- **Предвиђање:** $\mathbf{m_g(неутрин) = \frac{E}{c^2}}$ → једнако Shapiro кашњење као фотони, иста гравитациона дефлексија.
- **Изводљивост:** Постојећи детектори могу да прате будуће супернове. Потребна је координација са оптичким/гама детекторима.

---

## ПРИЛОГ Б: МРЕЖА ЕКСПЕРИМЕНАТА

| Предвиђање | Експеримент | Скала | Очекивани сигнал | Статус |
|---|---|---|---|---|
| $\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$ | Космички зраци | $\mathbf{\gamma \sim 10^{10}}$ | Дефлексија vs $\gamma$ | Није тестирано |
| $\mathbf{a = GM/(\gamma^2 r^2)}$ | MICROSCOPE [6, 7], Eötvös [3] | $\mathbf{\gamma \approx 1}$ | $\mathbf{m_i = m_g}$ | Сагласно (низак $\gamma$) |
| Гранични случајеви | MICROSCOPE [6, 7], GW170817 [1] | **v=0, v=c** | $\mathbf{m_i = m_g}$ | Потврђено |
| Фотони | сочива | **v=c** | $\mathbf{m_i = m_g}$ | Потврђено |
| Дефлексија | Космички зраци | $\mathbf{\gamma \sim 10^{10}}$ | $\mathbf{1/\gamma^2}$ | Није тестирано |
| Стабилност | LHC, космички зраци | $\mathbf{\gamma \sim 10^3–10^{11}}$ | Распад | Није тестирано |
| Неутрини **(n = 0)** | SN1987A [4, 5] | $\mathbf{\gamma \gtrsim 10^7}$ | Исто као фотони | Конзистентно |

---

## ЕПИЛОГ

Сагласна су три предвиђања на ниским $\gamma$ и за фотоне, али ту је ефекат занемарљив. Неутрини који су из SN1987A су конзистентни са теоријом ($\mathbf{n = 0, m_g = \frac{E}{c^2}}$), али исто даје и стандардна GR.

---

## 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). *О принципу еквиваленције маса – В.* PH-FIZ-01-07B-SRB.
- https://doi.org/10.5281/zenodo.23770241

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

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

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

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

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


---

## POST SCRIPTUM

***Теорија је тестибилна. SN1987A је у складу са n = 0 за неутрине, али не разликује теорију од стандардне GR; одлучујући ће бити тест дуалности сложених честица (n = 1) на високом γ али ови тестови још нису изведени.***

---


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

**Нови Сад**
**27.08.2026.**

**Научни часопис:**
**„ПОЛИХИСТОР“**


---

**Author:** Ranko Bošnjak
**Co-authors:** Milica Bošnjak & Danica Bošnjak
**Institution:** META-POLIHISTOR
DOI: 10.5281/zenodo.23770246
"POLIHISTOR" N: PH-FIZ-01-07E-SRB
polihistor@meta-ns.co.rs

# ON THE PRINCIPLE OF EQUIVALENCE OF MASSES
# (E – experimental paper)

***At low energies, inertia and gravitation are twins.***
***At high energies — the difference is visible.***

## ABSTRACT

This paper presents an experimental verification of the theoretical predictions of mass duality derived in the theoretical paper of the triad. The theoretical paper predicts that inertial and gravitational mass diverge at relativistic energies: $\mathbf{m_i/m_g = \gamma^2}$, for composite particles ($\mathbf{n = 1}$), with the invariant $\mathbf{m_0^2 = m_i \times m_g}$. Here we follow the structure of Appendix A of the theoretical paper: in order, we verify each prediction against currently existing experimental data. We show where agreement exists and where the effect is below sensitivity. We do not claim that this theory is confirmed. Data with photons and at low $\gamma$ are not in conflict with the theory. Data on neutrinos from SN1987A ($\boldsymbol{\gamma \gtrsim 10^7}$) are consistent with the theory: neutrinos have $\mathbf{n = 0}$, $\mathbf{m_g = E/c^2}$ (Theorem 2.6), so they respond to the gravitational field like photons. This result does not distinguish the theory from standard GR and does not test the duality ($\mathbf{n = 1}$).

**KEYWORDS:** equivalence principle, MICROSCOPE, GRB 170817A, SN1987A, gravitational lensing, $m_i/m_g = \gamma^2$, mass duality

## 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**
**27.08.2026.**

**Scientific Journal:**
"**POLIHISTOR**"