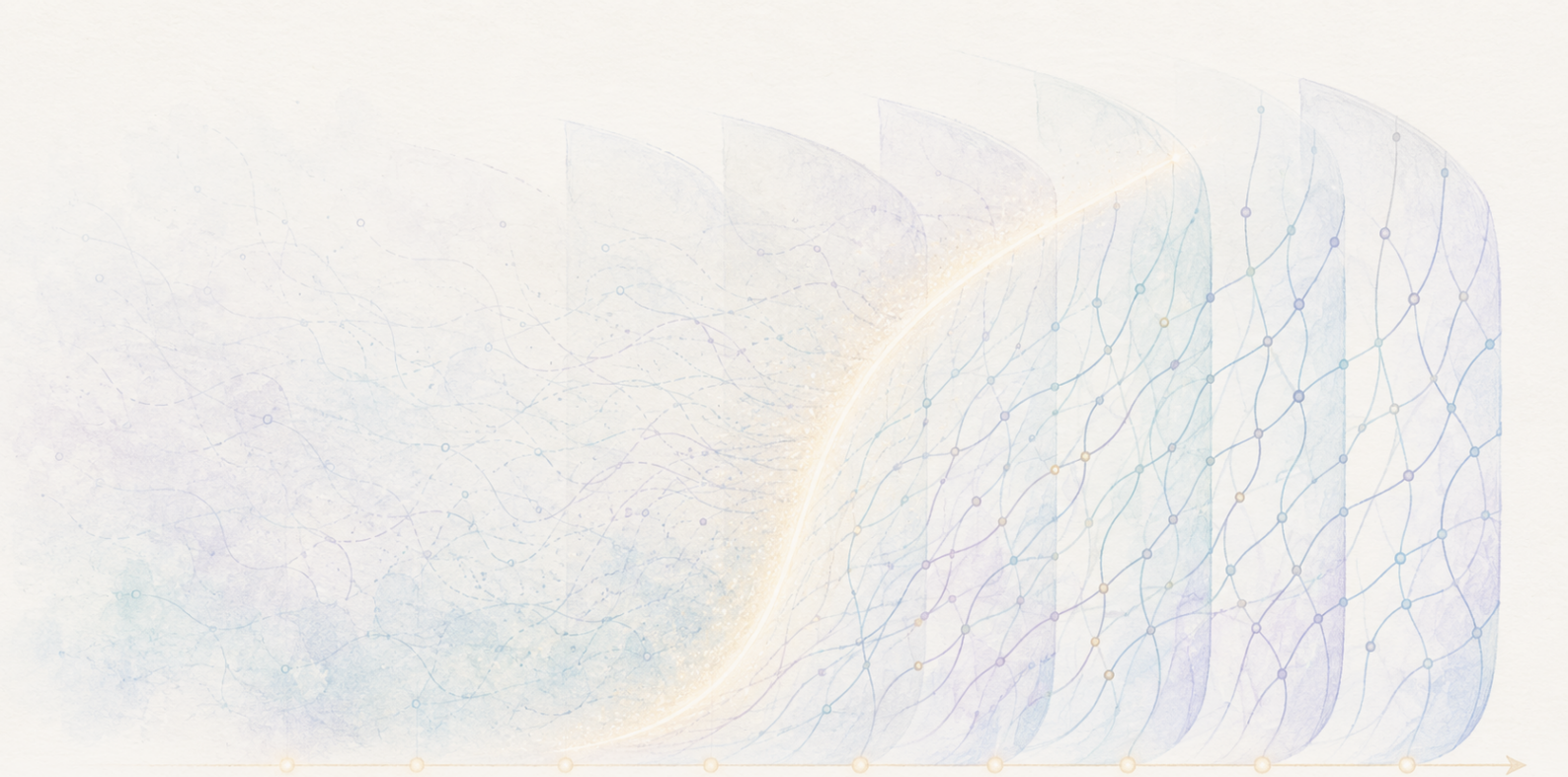




# The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

## ხუთგანზომილებიანი კლასიკური მოდელი ცდილობს კვანტური ქცევის აღდგენას გრავიტაციის დაკვანტვის გარეშე

*Scientific Reports-ში გამოქვეყნებული ნაშრომი გვთავაზობს  $4D + \tau$  ჩარჩოს, სადაც ჩვეულებრივი სივრცე-დრო დამატებითი პარამეტრის მიმართ ევოლუციას განიცდის. სიმულაციებსა და მოდელურ გამოთვლებში ის წონასწორობაში ნიუტონურ გრავიტაციას აღადგენს, ზოგადი ფარდობითობის საბაზისო სტრუქტურისკენ მიდის და worldline-ების დინამიკით EPR ტიპის კორელაციებსა და ორმაგი ნაპრალის მსგავს ინტერფერენციას წარმოქმნის. ეს პროვოკაციული თეორიული კონსტრუქციაა და არა ექსპერიმენტული მტკიცებულება, რომ კვანტური გრავიტაცია გადაწყვეტილია ან სტანდარტული კვანტური მექანიკა მცდარია.*

Written by Matteo · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: A five-dimensional classical framework for gravitational and quantum phenomena, Filip Strubbe, Scientific Reports 16, Article 2965 (2026) · DOI: 10.1038/s41598-025-32860-8

# კვანტური გრავიტაციის კლასიკური გზით ახსნა თამამი მტკიცებაა. ეს ნაშრომი ჯერ მხოლოდ მოდელს გვთავაზობს

კვანტური მექანიკის გრავიტაციასთან გაერთიანების მცდელობების უმეტესობა გრავიტაციის დაკვანტვით იწყება. ფილიპ სტრუბეს ახალი ნაშრომი *Scientific Reports*-ში საპირისპირო გზას ირჩევს: საფუძვლები კლასიკური დატოვოს, დაამატოს დამატებითი ევოლუციური პარამეტრი და იკითხოს, შეიძლება თუ არა გრავიტაციის ნაცნობი ეფექტები და ზოგი კვანტური მოვლენა ამ უფრო ფართო კლასიკური დინამიკიდან წარმოიშვას.

ეს პროვოკაციული ნაბიჯია. და მისი გადაჭარბებით წარმოდგენა ძალიან ადვილია.

ნაშრომი კვანტურ გრავიტაციას არ ხსნის. ის არ აჩვენებს, რომ კვანტური მექანიკა მცდარია. არც Bell-ის თეორემას უარყოფს და არც ამტკიცებს, რომ სამყარო ფარულად მარტივი მექანიკური საათია. იგი გვთავაზობს ხუთგანზომილებიან კლასიკურ ჩარჩოს, რომელსაც მოდელებში შეუძლია ზოგი გრავიტაციული და კვანტურის მსგავსი ქცევის აღდგენა და რომელიც რამდენიმე პროგნოზსაც აკეთებს, სადაც სტანდარტულ კვანტურ თეორიასთან განსხვავება შეიძლება გამოჩნდეს.

სასარგებლო კითხვა არაა „დაამარცხა თუ არა კლასიკურმა ფიზიკამ კვანტური ფიზიკა?“ — არა. უფრო ვიწრო კითხვა ასეთია: რის დამატება ან რაზე უარის თქმა დასჭირდებოდა კლასიკურ თეორიას, რათა მიბაძოს ისეთ მოვლენებს, რომელთა მიბაძვაც ჩვეულებრივ ოთხგანზომილებიან კლასიკურ ფიზიკას არ შეუძლია?

ამ ნაშრომში დამატებული ინგრედიენტი მესხეთე სივრცითი განზომილება არ არის. ეს არის დამატებითი პარამეტრი, სახელად  $\tau$  (ტაუ), რომლის მიმართაც ჩვეულებრივი ოთხგანზომილებიანი სივრცე-დრო ევოლუციას განიცდის.

## დამატებითი დრო, რომელიც ჩვეულებრივი დრო არ არის

ჩარჩო იწყება ჩვეულებრივი ოთხგანზომილებიანი სივრცე-დროთი — ერთი დროითი და სამი სივრცითი კოორდინატით. შემდეგ ემატება გარე ევოლუციური პარამეტრი  $\tau$ . კოორდინატული დრო სივრცე-დროში მოვლენებს აღნიშნავს;  $\tau$  კი აღწერს, როგორ რელაქსირდება მთლიანად სივრცე-დროითი კონფიგურაცია წონასწორობისკენ.

ეს განსხვავება წინადადების ბირთვია. ნაშრომი მას  $4D + \tau$  ჩარჩოს უწოდებს. ფორმალურად იგი ხუთგანზომილებიანია, თუმცა ავტორი ფრთხილად განმარტავს, რას ნიშნავს ეს: ჩვეულებრივ ოთხგანზომილებიან სივრცე-დროის მეტრიკას ხუთგანზომილებიან მეტრიკა არ ანაცვლებს. ამის ნაცვლად  $\tau$  არის პარამეტრი, რომელიც ოთხგანზომილებიანი გეომეტრიისა და მასში არსებული ნაწილაკების მსოფლიო ხაზების დინამიკას

მართავს.

სურათი შეგნებულად უჩვეულოა. ძირითადი ობიექტები ტალღური ფუნქციები კი არა, **მსოფლიო ხაზებია** — სივრცე-დროში გამავალი გზები, რომლებიც  $\tau$ -ს ცვლილებასთან ერთად შეიძლება შეიცვალოს. ნაშრომი სივრცე-დროს დროითი მიმართულების გასწვრივ თანდათანობით „კრისტალიზებული“ წარმოგვიდგენს. კრისტალიზაციის ფრონტის უკან კონფიგურაციები უკვე რელაქსირებულია სტაბილურ შედეგებამდე; წინ კი მომავალი ჯერ იმავე სახით ორგანიზებული არ არის.

სისტემის შიგნით მყოფ დამკვირვებელს მხოლოდ წონასწორობაში გადასული შედეგები მიუწვდება. ის  $\tau$ -ს პირდაპირ ვერ ხედავს. ჩვეულებრივ ოთხგანზომილებიან ისტორიას იმ შედეგების თანმიმდევრობიდან აღადგენს, რომლებიც უკვე „კრისტალიზდა“.

ასე ცდილობს ნაშრომი ერთდროულად ორი რამ მიიღოს: ქვედა დონეზე განსაზღვრული კლასიკური დინამიკა და სისტემის შიგნიდან დანახული ჩვეულებრივი დროის, გაზომვის შედეგებისა და კვანტურის მსგავსი ქცევის წარმოშობა.

## ჯერ გრავიტაცია: ნიუტონი, შემდეგ აინშტაინის ზოგი ნაწილი

ნაშრომის გრავიტაციული ნაწილი სუსტი გრავიტაციის ზღვარში იწყება. ავტორი გრავიტაციული პოტენციალისთვის რელაქსაციის განტოლებას წერს. როცა სისტემა  $\tau$ -ს მიმართ წონასწორობას აღწევს, ეს განტოლება გრავიტაციის ჩვეულებრივ ნიუტონის პუასონის განტოლებად იქცევა.

მსოფლიო ხაზებსაც საკუთარი რელაქსაციის წესი ეძლევა. წონასწორობაში ისინი იმ გზებისკენ მიდრეკილია, რომლებსაც ნიუტონური გრავიტაცია მოითხოვს. რიცხვითი მაგალითები განზრახ მარტივია: მაგალითად, სტატიკური მასა და ორმასიანი სისტემა, რომლებიც ნიუტონური სივრცე-დროისკენ რელაქსირდება.

შემდეგ ავტორი იმავე იდეას ზოგადი ფარდობითობისკენ აფართოებს. მხოლოდ ნიუტონური პოტენციალის ნაცვლად რელაქსაციას თვით სივრცე-დროის მეტრიკა განიცდის. წონასწორობაში მსოფლიო ხაზები **გეოდეზიურები** ხდება — გზები, რომლებსაც თავისუფლად ვარდნილი ობიექტები მიჰყვება, როდესაც გრავიტაციის გარდა სხვა ძალა არ მოქმედებს; მრუდე სივრცე-დროში ეს სწორი ხაზების ანალოგია. გეომეტრიამ ზოგადი ფარდობითობის ძირითადი თვისებები უნდა აღადგინოს.

მაგრამ შეზღუდვა მნიშვნელოვანია. ნაშრომი არ იძლევა ზოგადი ფარდობითობის ყველა ძლიერი ველის პროგნოზის სრულ წარმოებას. იგი პირდაპირ ტოვებს ძლიერ ველებს, სინგულარობებს, გრავიტაციულ წითელ წანაცვლებას, გრავიტაციულ ტალღებსა და უფრო რთულ მსოფლიო ხაზი ქცევებს სამომავლო სამუშაოდ. მტკიცება ისაა, რომ ჩარჩოს შეუძლია სუსტ ზღვარში ნიუტონური გრავიტაციისა და უფრო რბილ რეჟიმებში ზოგადი ფარდობითობის საბაზისო სტრუქტურის აღდგენა — და არა ის, რომ აინშტაინის გრავიტაციის მთლიანად გამოცდილი აპარატი უკვე შეცვალა.

# Bell-ის ტესტის ნაბიჯი: შეცვალე სივრცე-დროის დაშვება

კვანტური მექანიკის ნებისმიერი კლასიკური აღწერის ყველაზე რთული ნაწილი არალოკალურობაა.

Bell-ის თეორემა გვეუბნება, რომ სტანდარტული დაშვებების პირობებში არც ერთ ლოკალურ ფარულ-ცვლადიან მოდელს არ შეუძლია ყველა კვანტური კორელაციის გამეორება. ექსპერიმენტებმა Bell-ის უტოლობები არაერთხელ დააარღვია. სწორედ ამიტომ ვერ მუშაობს ჩვეულებრივი ოთხგანზომილებიანი კლასიკური სურათი.

## Bell-ის უტოლობები მარტივი ენით

წარმოიდგინეთ, რომ ერთი წყაროდან გამოსულ ორ ნაწილაკს ფარული ინსტრუქციების ფურცლები მოჰყვება. ერთმანეთისგან შორს Alice და Bob დამოუკიდებლად ირჩევენ, როგორ გაზომონ თავიანთი ნაწილაკები. თუ თითოეული შედეგი მხოლოდ ადგილობრივი ინსტრუქციითაა წინასწარ განსაზღვრული, არც ერთი მხარე არ შეიძლება მეორის არჩევანმა შეცვალოს და საზომი პარამეტრებიც სტატისტიკურად დამოუკიდებელია ამ ინსტრუქციებისგან, Bell-ის უტოლობები ზღვარს აწესებს იმაზე, რამდენად ძლიერი შეიძლება იყოს ორი შედეგის კორელაცია. რეალური ექსპერიმენტები ამ ზღვარს სცდება. დასკვნა არაა, რომ ერთი კონკრეტული ალტერნატივა იმარჯვებს, არამედ ის, რომ რეალიზმი, ლოკალურობა და სტატისტიკური დამოუკიდებლობა ერთად ვერ შენარჩუნდება.

ლოკალური ზღვრის, კვანტური პროგნოზისა და ექსპერიმენტული ტესტების ეტაპობრივი ახსნისთვის იხილეთ ჩვენი Bell-ის თეორემის გზამკვლევი.

ნაშრომის პასუხი ბელის თეორემის უარყოფა არ არის. ის ცვლის გარემოს, რომელშიც თეორემა გამოიყენება.  $4D + \tau$  ჩარჩოში გავლენები მსოფლიო ხაზების გასწვრივ შეიძლება გავრცელდეს მაშინ, როცა კონფიგურაცია  $\tau$ -ში ევოლუციას განიცდის. ჩვეულებრივი სივრცე-დროის თვალსაზრისით ეს შეიძლება არალოკალურ კორელაციას ჰგავდეს; შემოთავაზებული ქვედა დონის დინამიკის თვალსაზრისით კი ურთიერთქმედება შესაბამის მსოფლიო ხაზებზე  $\tau$ -ში ლოკალურია.

ნაშრომი მოდელირებს EPR ტიპის ექსპერიმენტს ორი ფოტონით, რომლებსაც ალისა და ბობი ზომავენ. მოდელი მაქსიმალურად ჩახლართული პოლარიზაციის მდგომარეობისთვის სტანდარტულ კვანტურ კორელაციებს აღადგენს. ფორმალური ფასი მკაფიოდ არის ნათქვამი: მოდელი სრულად თმობს სტატისტიკურ დამოუკიდებლობას; ალისას გაზომვა  $\tau$ -დინამიკის საშუალებით წინასწარ განაპირობებს ბობის მდგომარეობას. მექანიზმი სტანდარტული კვანტური კოლაფსი არ არის; ეს არის პოლარიზაციის მდგომარეობების  $\tau$ -ით მართული რელაქსაცია დაკავშირებულ მსოფლიო ხაზებზე.

### სინამდვილეში რას ადარებენ ალისა და ბობი

წყარო ერთ ფოტონს ალისას უგზავნის, მის წყვილს კი — ბობს. თითოეული იყენებს არჩეულ კუთხეზე დაყენებულ პოლარიზაციულ სხივგამყოფს და ერთ-ერთ ორ შედეგს აღრიცხავს: გატარებას ან გადახრას. ერთი წყვილი კორელაციას ვერ გამოავლენს. ტესტი ექსპერიმენტის მრავალჯერ გამეორებით და იმის შედარებით კეთდება, რამდენად ხშირად ემთხვევა ორი შედეგი სხივგამყოფებს შორის კუთხის ცვლილებისას. კვანტური თეორია უფრო ძლიერ კორელაციებს პროგნოზირებს, ვიდრე ლოკალური და სტატისტიკურად დამოუკიდებელი ფარული ინსტრუქციები უშვებს. სტრუბეს მოდელში ალისას გაზომვა  $\tau$ -ში პირველი ხდება; შემდეგ პოლარიზაციის რელაქსაცია დაკავშირებული მსოფლიო ხაზების გასწვრივ ვრცელდება, უკან მათი საერთო წყაროსკენ და შემდეგ ბობის გზაზე, ისე რომ ბობის მდგომარეობა გაზომვის მომენტისთვის უკვე განპირობებულია. მოდელი ასე აღადგენს კორელაციას, მაგრამ მხოლოდ მიზეზობრივი გარემოს შეცვლითა და სტატისტიკურ დამოუკიდებლობაზე უარის თქმით.

აქ ყველაზე მკაფიო საზღვარია საჭირო. ერთ EPR ტიპის მოდელში შედეგის აღდგენა არ უდრის მთელი კვანტური თეორიის კლასიკური მექანიკიდან გამოყვანას. თვით ნაშრომი აღნიშნავს, რომ სტანდარტული კვანტური პროგნოზებიდან გადახრები შეიძლება გამოჩნდეს, თუ მსოფლიო ხაზების გასწვრივ ინფორმაციის გადაცემა მეტისმეტად ნელია ან სივრცითი დაშორება იმდენად დიდია, რომ ერთი გაზომვა დასრულდება მანამდე, ვიდრე შესაბამისი შედეგის ინფორმაცია  $\tau$ -ში გავრცელდება.

ეს არის შესამოწმებელი პროგნოზის მიმართულება და არა გამარჯვების განცხადება.

## ორმაგი ნაპრალი, ხელახლა აგებული მოძრავი მსოფლიო ხაზებით

მეორე კვანტური მაგალითი ორმაგი ნაპრალის ინტერფერენციაა.

ნაშრომი მასიურ ნაწილაკს — კონკრეტულად ნეიტრონს — მსოფლიო ხაზების კონად მოდელირებს და არა ერთ კლასიკურ წერტილად ან სტანდარტულ კვანტურ ტალღურ ფუნქციად. მაგალითში ნეიტრონის დე-ბროილის ტალღის სიგრძეა 2 nm და სიჩქარე 2,000 m/s. სიმულირებული ნაპრალის სიგანეა 10 nm, ხოლო ნაპრალებს შორის მანძილი 25 nm; ეს მნიშვნელობები ტიპურ ნეიტრონულ ინტერფერენციულ ექსპერიმენტებზე მცირეა, რათა სურათი ვიზუალურად უფრო მკაფიო იყოს.

მსოფლიო ხაზების კონა ენტროპიული წესით ევოლუციას განიცდის. მსოფლიო ხაზების ბოლო წერტილების სიმკვრივე ინტერფერენციის მსგავს განაწილებას ქმნის, ხოლო ერთი არჩეული **იმპულსის მსოფლიო ხაზი** ენერგიასა და იმპულსს ატარებს და საბოლოო დეტექციის მოვლენას განსაზღვრავს. ასე ცდილობს ნაშრომი ტალღისმაგვარი ქცევა ნაწილაკისმაგვარი შედეგისგან გამოყოს თანდაყოლილი

კვანტური სუპერპოზიციის გამოყენების გარეშე.

შემდეგ ნაშრომი კითხულობს, რას გამოავლენდა გრაფიკაცია. თითოეულ სიმულირებულ ნეიტრონში მრავალი მსოფლიო ხაზი ინტერფერენციის მსგავს სიმკვრივეს ქმნის, მაგრამ ენერგიასა და იმპულსს მხოლოდ არჩეული იმპულსის მსოფლიო ხაზი ატარებს და გრაფიკაციის წყაროც მხოლოდ ის არის. მოდელი ერთ იდეალიზებულ გრაფიკაციულ ზონდს ნაპრალებს შორის შუაში, კიდევ ორს კი სიმეტრიულად მარცხნივ და მარჯვნივ ათავსებს. თუ იმპულსის მსოფლიო ხაზი მარჯვენა ნაპრალში გადის და არა მარცხენაში, უმცირესი გრაფიკაციული პასუხიც მასთან ერთად იცვლება. ამ ასიმეტრიის გაზომვა არჩეულ ნაპრალს გამოავლენდა, მაშინ როცა მსოფლიო ხაზების მთლიანი კონა ეკრანზე კვლავ ინტერფერენციულ სურათს შექმნიდა. შეფასებული აჩქარების სიგნალი დაახლოებით  $2 \times 10^{-23} \text{ m s}^{-2}$ -ია; ნაშრომი პრაქტიკული გაზომვის შეზღუდვებს აქ განზრახ გვერდზე დებს.

ეს რიცხვი მნიშვნელოვანია, რადგან მტკიცებას რეალურ საზღვრებში ტოვებს. ავტორი არ ამბობს, რომ ვინმემ უკვე გაზომა გრაფიკაციული ინფორმაცია იმის შესახებ, **რომელი გზით** გაიარა ნაწილაკმა, ინტერფერენციის დარღვევის გარეშე. მტკიცება უფრო ვიწროა: ამ მოდელში ასეთი ინფორმაცია პრინციპულად ხელმისაწვდომი უნდა იყოს, რადგან გრაფიკაციული ველი ერთ განსაზღვრულ მსოფლიო ხაზს უკავშირდება და არა ორივე გზის სუპერპოზიციას.

ეს პირდაპირ განსხვავდება სტანდარტული კვანტური მოლოდინისგან, რომლის მიხედვით ინფორმაცია იმის შესახებ, თუ რომელი გზით გაიარა ნაწილაკმა, ინტერფერენციას ანადგურებს. სწორედ ამიტომ აქვს ჩარჩოს აქ შესაძლო ემპირიული სუსტი წერტილი.

## რას არ ამტკიცებს ეს ნაშრომი

- ის **არ** ამტკიცებს, რომ კვანტური გრაფიკაცია გადაწყვეტილია.
- ის **არ** ამტკიცებს, რომ გრაფიკაცია ბუნებით კლასიკურია.
- ის **არ** უარყოფს Bell-ის თეორემას; მოდელში იცვლება სივრცე-დროის მიზეზობრივი გარემო და მოიხსნება სტატისტიკური დამოუკიდებლობა.
- ის **არ** აღადგენს მთელ კვანტურ მექანიკას. ნაშრომი მოდელირებს შერჩეულ მოვლენებს და სრულ კვანტურ ფორმალიზმს მომავალ სამუშაოდ ტოვებს.
- ის **არ** აჩვენებს, რომ ზოგადი ფარდობითობა სრულადაა აღდგენილი ძლიერი ველის რეჟიმებში.
- ის **არ** ხდის ტალღურ ფუნქციებს, ჰილბერტის სივრცეებს, კომპლექსურ რიცხვებს ან კვანტურ ველთა თეორიას უსარგებლოს.
- ის **არ** იძლევა ექსპერიმენტულ დადასტურებას. სამუშაო თეორიული და სიმულაციებზე დაფუძნებულია.

სუფთა საზღვარი ასეთია: ნაშრომი გვთავაზობს უფრო მაღალგანზომილებიან კლასიკურ ჩარჩოს, რომელსაც შეუძლია რამდენიმე რთული ქცევის მიბაძვა. ის არ აჩვენებს, რომ ბუნება რეალურად ამ ჩარჩოს იყენებს.

## რა გახდოდა მას შესამოწმებელს?

ნაშრომის ყველაზე ღირებული მხარე ისაა, რომ მხოლოდ ფილოსოფიაში არ რჩება. ის მიუთითებს ადგილებზე, სადაც ჩარჩო შეიძლება სტანდარტულ კვანტურ თეორიას დაშორდეს.

ერთი პროგნოზი EPR ტიპის ექსპერიმენტებს ეხება. თუ  $\tau$ -ით შუამავლობით მსოფლიო ხაზებზე ინფორმაციის გადაცემა კრისტალიზაციის პროცესთან შედარებით საკმარისად სწრაფი არ არის, მაშინ საკმარისად დაშორებულ ან სწრაფ საზომ კონფიგურაციებში ჩვეულებრივი კვანტური კორელაციებიდან გადახრა შეიძლება გამოჩნდეს.

მეორე პროგნოზი მასიური ნაწილაკების ორმაგი ნაპრალის ექსპერიმენტებს ეხება. მოდელის მიხედვით, გრავიტაციული ინფორმაცია იმის შესახებ, თუ რომელი გზით გაიარა ნაწილაკმა, პრინციპულად შეიძლება ამოიკითხოს ინტერფერენციული სურათის გაქრობის გარეშე. ეს სტანდარტულ კვანტურ მსჯელობას მკვეთრად ეწინააღმდეგება, თუმცა შემოთავაზებული სიგნალი უკიდურესად მცირეა და პრაქტიკული განხორციელებადობა დადგენილი არ არის.

მესამე პროგნოზი ეხება ექსპერიმენტებს, რომლებიც ამოწმებს, შეუძლია თუ არა გრავიტაციას მასებს შორის ჩახლართულობის შუამავლობა. კვანტური გრავიტაციის ბევრი თანამედროვე საცდელი წინადადება გრავიტაციით წარმოქმნილ ჩახლართულობას იმის მტკიცებულებად განიხილავს, რომ გრავიტაციას კვანტური თვისებები უნდა ჰქონდეს. სტრუბეს ჩარჩოში გრავიტაციული ველი ერთ განსაზღვრულ მსოფლიო ხაზს მიეკუთვნება, ამიტომ ამ ტიპის გრავიტაციულად წარმოქმნილი ჩახლართულობა არ უნდა წარმოიშვას.

ეს მცირე განსხვავებები არაა. სპეკულაციურ ჩარჩოს სწორედ ასეთი განსხვავებები სჭირდება, თუ მას ინტერპრეტაციაზე მეტი უნდა იყოს.

## რამდენად ძლიერია მტკიცებულება?

მტკიცებულება ყველაზე ძლიერია როგორც შიდა თანმიმდევრულობის დემონსტრაცია.

ნაშრომი აღწერს განტოლებებს, სიმულაციებსა და მოდელურ მაგალითებს, რომლებიც აჩვენებს, როგორ შეუძლია მის  $4D + \tau$  მექანიზმს წონასწორობაში ნიუტონური გრავიტაციის აღდგენა, ზოგადი ფარდობითობის სტრუქტურისკენ გადასვლა, EPR კორელაციის მოდელის გამეორება და მასიური ნაწილაკისთვის ორმაგი ნაპრალის მსგავსი ინტერფერენციული სურათის წარმოქმნა.

მაგრამ სამყაროს შესახებ მტკიცებულებად ეს ჯერ ძლიერი არაა.

დემონსტრაციები შერჩევითია. ჩარჩო სრულ კვანტურ ფორმალიზმად არ გაფართოებულა. ძლიერი გრავიტაციის შემთხვევები გადაწყვეტილი არაა. შემოთავაზებული ექსპერიმენტული გადახრები არ დაფიქსირებულა. მონაცემთა ხელმისაწვდომობის განცხადებაში ნათქვამია, რომ კვლევაში შექმნილი და გაანალიზებული მონაცემთა ნაკრები შესაბამის

ავტორთან გონივრული მოთხოვნითაა ხელმისაწვდომი, თუმცა მთავარი მტკიცება ახალი გაზომვა კი არა, თეორიული კონსტრუქციაა.

ეს თავისთავად ნაკლები არაა. ახალი ჩარჩოები ხშირად კონსტრუქციებით იწყება. მაგრამ სუფთა წაკითხვამ ერთმანეთისგან უნდა გამოყოფს კონსტრუქცია, სიმულაცია, პროგნოზი და დადასტურება.

## რატომ არის ეს მნიშვნელოვანი

ფუნდამენტური ფიზიკის ნაშრომები ხშირად გრანდიოზულად ჟღერს, რადგან მათი ლექსიკაც გრანდიოზულია: კვანტური გრავიტაცია, არალოკალურობა, დრო, რეალიზმი, დეტერმინიზმი. საფრთხე ისაა, რომ სათაური შედეგზე დიდი გახდეს.

ეს ნაშრომი საინტერესოა, რადგან რეალურ დაძაბულ წერტილს ეხება. სტანდარტული კვანტური თეორია და ზოგადი ფარდობითობა ერთმანეთში მარტივად არ ჯდება. ბელის ტიპის კორელაციები ნამდვილად გამორიცხავს ჩვეულებრივ ლოკალურ კლასიკურ ახსნებს სტანდარტულ სივრცე-დროში. გაზომვისა და დროის საკითხებიც კონცეპტუალურად რთული რჩება. ჩარჩო, რომელიც ამბობს „შესაძლოა, არასწორად გილას ვიწყებთ — სივრცე-დროის დაშვებაა შესაცვლელი“, ავტომატურად სწორი არ არის, მაგრამ ლეგიტიმურ კითხვას სვამს.

საინტერესო ნაბიჯი ძველი კლასიკური ფიზიკისადმი ნოსტალგია კი არა, კლასიკური სურათის შენარჩუნებისთვის გადახდილი ფასია: ჩვეულებრივი სივრცე-დროითი მიზეზობრიობა აღარ არის მთელი მიზეზობრივი არენა. ჩარჩო რეალიზმსა და დეტერმინიზმს დამატებითი  $\tau$ -დინამიკის ხარჯზე ინარჩუნებს, რომელსაც დამკვირვებლები პირდაპირ ვერ წვდებიან.

მისაღებია თუ არა ეს ფასი, ფიზიკის საკითხია და არა სლოგანი. პასუხის შესამოწმებლად ყველაზე მნიშვნელოვანი თვით ნაშრომის პროგნოზებია.

## მოკლე შეჯამება

ფილიპ სტრუბე გვთავაზობს ხუთგანზომილებიან კლასიკურ ჩარჩოს, სადაც ჩვეულებრივი ოთხგანზომილებიანი სივრცე-დრო დამატებითი პარამეტრის,  $\tau$ -ს, მიმართ ევოლუციას განიცდის. წონასწორობაში ჩარჩო სუსტი გრავიტაციის ზღვარში ნიუტონურ გრავიტაციას აღადგენს და მის მიღმა ზოგადი ფარდობითობის საბაზისო სტრუქტურის აღდგენას ისახავს მიზნად. ასევე მოდელირებულია ორი კვანტური მოვლენა: EPR ტიპის კორელაციები, რომლებიც  $\tau$ -ში მსოფლიო ხაზების გასწვრივ გავრცელებული გავლენებით მიიღება, და ორმაგი ნაპრაღის ინტერფერენცია მსოფლიო ხაზების კონით, რომლის სიმკვრივე ტალღისმაგვარად იქცევა, ხოლო ერთი იმპულსის მსოფლიო ხაზი საბოლოო შედეგს განსაზღვრავს. წინადადება თეორიულია და სიმულაციებს ეფუძნება. მისი მნიშვნელობა არა ისაა, რომ კვანტური გრავიტაცია უკვე გადაწყდა, არამედ ის,

რომ გვთავაზობს კონკრეტულ კლასიკურ ალტერნატივას შესაძლო ექსპერიმენტული განსხვავებებით — მათ შორის გრავიტაციული ინფორმაციის შესაძლებლობით იმის შესახებ, თუ რომელი გზით გაიარა ნაწილაკმა, და ზოგი გრავიტაციით შუამავლობილი ჩახლართულობის ტესტისთვის უარყოფითი მოლოდინით.

## ზედმეტი ხმაურის გარეშე: შემოწმება

**რას აჩვენებს ნაშრომი:** შემოთავაზებულ  $4D + \tau$  კლასიკურ ჩარჩოს მოდელებში შეუძლია შერჩეული გრავიტაციული და კვანტურის მსგავსი ქცევის გამეორება: წონასწორობაში ნიუტონური გრავიტაცია, ზოგადი ფარდობითობის საბაზისო სტრუქტურა, EPR ტიპის კორელაციები და ორმაგი ნაპრალის მსგავსი ინტერფერენცია.

**რა არის შესაძლებელი, მაგრამ დაუმტკიცებელი:** რომ ეს ჩარჩო შეიძლება კვანტური გრავიტაციისკენ ნამდვილ ალტერნატიულ გზად იქცეს. ნაშრომი გზასა და პროგნოზებს გვთავაზობს; არ ადგენს, რომ ბუნება მას მიჰყვება.

**რას არ აჩვენებს:** ის არ ხსნის კვანტურ გრავიტაციას, არ უარყოფს კვანტურ მექანიკას ან ბელის თეორემას და ექსპერიმენტულად არ ამტკიცებს, რომ გრავიტაცია კლასიკურია. ასევე არ გვთავაზობს სრული კვანტური ფორმალიზმის სრულ შემცვლელს.

**მთავარი შეზღუდვა ფართო მკითხველისთვის:** ნაშრომის ძირითადი ნაბიჯია ჩვეულებრივი სივრცე-დროის გარეთ  $\tau$ -დინამიკის დამატება. ეს შეიძლება ფიზიკურად ნაყოფიერი დაშვება იყოს, მაგრამ სწორედ ის ასრულებს სამუშაოს დიდ ნაწილს. „უფრო დიდ ჩარჩოში კლასიკური“ არ უნდა აგვერიოს მტკიცებაში, თითქოს „ჩვეულებრივი კლასიკური ფიზიკა თავიდანვე სწორი იყო“.

**რამდენად უნდა ენდოს ფართო მკითხველი?** ზომიერი ნდობა, რომ ნაშრომი სერიოზულ და მკაფიო თეორიულ კონსტრუქციას წარმოადგენს; დაბალი ნდობა, რომ ეს საბოლოო პასუხია. სწორი დასკვნა არც რწმენაა და არც უარყოფა, არამედ უფრო ზუსტი კითხვა: შეიძლება თუ არა სტანდარტული კვანტური თეორიიდან მისი პროგნოზირებული განსხვავებების ექსპერიმენტულად შემოწმება?

## წყაროები

Strubbe, A five-dimensional classical framework for gravitational and quantum phenomena, Scientific Reports 16, Article 2965 (2026)  
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-32860-8>