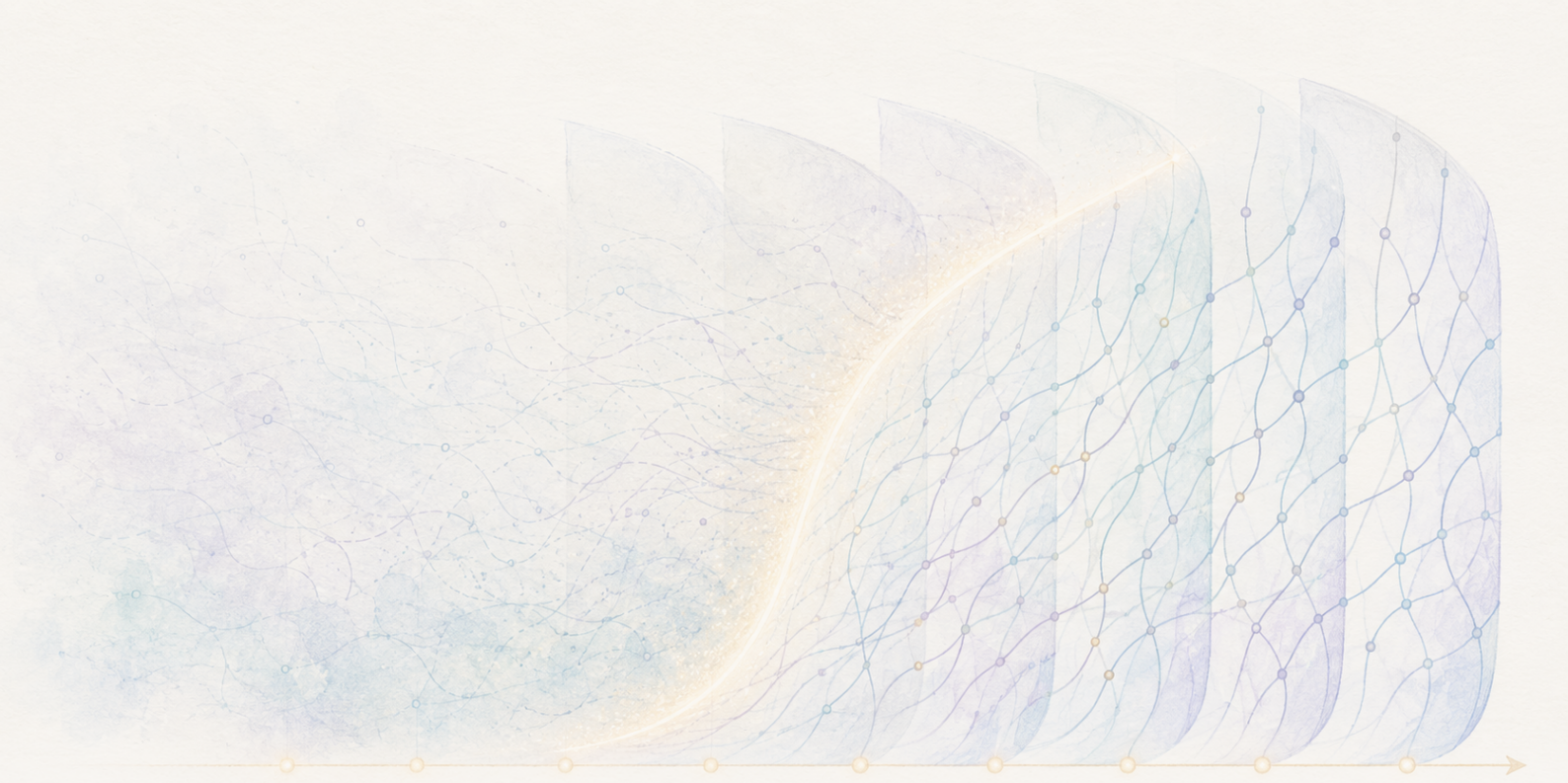




The CLEAN PAPER

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

Model klasik lima dimensi cuba membina semula tingkah laku kuantum tanpa mengkuantumkan graviti

Kertas Scientific Reports mencadangkan rangka kerja 4D + tau di mana ruang-masa biasa berevolusi mengikut satu parameter tambahan. Dalam simulasi dan pengiraan model, rangka kerja itu memulihkan graviti Newton pada keseimbangan, menghampiri sebahagian struktur asas relativiti umum, dan menghasilkan semula korelasi jenis EPR serta interferens seperti dua celah melalui dinamik garis dunia. Hasil ini ialah pembinaan teori yang provokatif, bukan bukti eksperimen bahawa masalah graviti kuantum telah diselesaikan atau bahawa mekanik kuantum piawai adalah salah.

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

Laluan klasik menuju graviti kuantum ialah dakwaan yang berani. Cadangan ini masih sebuah model.

Sebahagian besar usaha untuk menggabungkan mekanik kuantum dengan graviti bermula dengan cubaan menguquantumkan graviti. Makalah baharu dalam Scientific Reports oleh Filip Strubbe mengambil arah sebaliknya: mengekalkan asas klasik, menambah satu parameter evolusi, lalu bertanya sama ada kesan graviti yang biasa dan beberapa fenomena kuantum boleh muncul daripada dinamik klasik yang lebih luas itu.

Itu langkah yang provokatif, dan sangat mudah dibesar-besarkan.

Makalah ini tidak menyelesaikan graviti kuantum. Ia tidak menunjukkan bahawa mekanik kuantum salah. Ia tidak membantah teorema Bell atau membuktikan bahawa alam semesta diam-diam hanyalah mesin jam ringkas. Yang ditawarkan adalah rangka kerja klasik lima dimensi yang dicadangkan, yang dalam model dapat menghasilkan semula beberapa tingkah laku graviti dan tingkah laku serupa-kuantum tertentu, serta menghasilkan beberapa ramalan yang mungkin berbeza daripada teori kuantum piawai.

Persoalan yang berguna bukan “adakah fizik klasik telah mengalahkan fizik kuantum?” Belum. Soalan yang lebih tepat ialah: andaian apa yang perlu dilepaskan, atau unsur apa yang perlu ditambah, supaya teori klasik boleh meniru sebahagian fenomena yang tidak dapat diterangkan oleh fizik klasik empat dimensi piawai?

Dalam makalah ini, unsur tambahannya bukan dimensi ruang kelima. Unsur itu adalah parameter tambahan, yang disebut tau, yang mengatur evolusi ruang-masa empat dimensi biasa.

Masa tambahan yang bukan masa biasa

Rangka kerja dimulakan dengan ruang-masa empat dimensi biasa: satu koordinat masa dan tiga koordinat ruang. Lalu ia menambahkan parameter evolusi luaran, tau. Masa koordinat memberi label peristiwa di dalam ruang-masa. Tau mengatur bagaimana keseluruhan konfigurasi ruang-masa berelaksasi menuju keseimbangan.

Perbezaan itu ialah teras cadangan ini. Makalah menyebutnya rangka kerja 4D + tau. Secara formal, rangka kerja ini lima dimensi, tetapi penulis berhati-hati tentang ertinya: tiada metrik lima dimensi yang menggantikan metrik ruang-masa empat dimensi biasa. Sebaliknya, tau adalah parameter yang menggerakkan dinamik geometri empat dimensi dan garis dunia zarah di dalamnya.

Gambaran yang dicadangkan memang sengaja tidak biasa. Objek dasarnya bukan fungsi gelombang. Objek dasarnya adalah garis dunia: lintasan melalui ruang-masa yang dapat berevolusi ketika tau berubah. Makalah membayangkan ruang-masa secara berperingkat “mengkristal” sepanjang dimensi masa. Di belakang sempadan penghabluran, konfigurasi telah mencapai keadaan stabil; di hadapannya, masa depan belum tersusun dengan cara yang sama.

Bagi pemerhati di dalam sistem, hanya hasil yang telah mencapai keseimbangan yang dapat diakses. Pemerhati tidak melihat tau secara langsung. Mereka membina semula sejarah empat dimensi biasa daripada urutan hasil yang telah menghablur.

Dengan cara itu, makalah cuba mencapai dua perkara serentak: dinamik dasar yang deterministik dan klasik, serta gambaran masa biasa, hasil pengukuran, dan tingkah laku serupa-kuantum dari dalam sistem.

Graviti dahulu: Newton, kemudian sebahagian daripada Einstein

Bahagian graviti makalah dimulakan pada had graviti lemah. Penulis menuliskan persamaan relaksasi bagi keupayaan graviti. Apabila sistem mencapai keseimbangan terhadap tau, persamaan itu menjadi persamaan Poisson Newton yang biasa bagi graviti.

Makalah juga memberi garis dunia peraturan relaksasinya sendiri. Pada keseimbangan, garis dunia didorong menuju lintasan yang dijangka dari graviti Newton. Contoh berangkanya sengaja ringkas: misalnya satu jisim statik dan sistem dua jisim yang mengalami relaksasi menuju ruang-masa Newtonian.

Penulis kemudian memperluas idea yang sama ke arah relativiti umum. Daripada hanya mengenakan proses relaksasi pada keupayaan Newtonian, rangka kerja ini menerapkannya pada metrik ruang-masa itu sendiri. Pada keseimbangan, garis dunia menjadi **geodesik**: lintasan yang diikuti objek yang jatuh bebas ketika tiada daya selain graviti, iaitu padanan garis lurus dalam ruang-masa melengkung. Geometri itu bertujuan memulihkan ciri-ciri asas relativiti umum.

Catatannya penting. Makalah ini bukan derivasi lengkap setiap ramalan rejim medan kuat relativiti umum. Makalah secara jelas meninggalkan rejim medan kuat, singularitas, anjakan merah graviti, gelombang graviti, dan tingkah laku garis dunia yang lebih kaya untuk kajian masa depan. Dakwaannya adalah bahawa rangka kerja dapat memulihkan graviti Newton dalam had lemah dan struktur dasar relativiti umum dalam tetapan yang lebih halus, bukan bahawa ia telah menggantikan keseluruhan peranti graviti Einstein yang telah boleh diuji.

Langkah dalam ujian Bell: ubah andaian ruang-masa

Bahagian tersulit dari penjelasan klasik mana pun atas mekanik kuantum adalah ketaksetempatan.

Teorema Bell memberitahu kita bahawa, di bawah andaian piawai, tiada model pemboleh ubah tersembunyi setempat yang dapat menghasilkan semula semua korelasi kuantum. Eksperimen telah berulang kali melanggar ketaksamaan Bell. Itulah sebabnya gambaran klasik empat dimensi biasa gagal.

Ketaksamaan Bell dalam bahasa ringkas

Bayangkan dua zarah meninggalkan sumber yang sama sambil membawa helaian arahan tersembunyi. Jauh berasingan, Alice dan Bob secara bebas memilih bagaimana mengukur zarah mereka. Jika setiap hasil ditentukan oleh helaian arahan setempatnya, tiada pihak yang dapat dipengaruhi pilihan pihak lain, dan tetapan pengukuran secara statistik bebas dari arahan tersebut, maka ketaksamaan Bell memberi had atas pada sekuat mana dua kumpulan hasil boleh berkait. Eksperimen nyata melampaui had itu. Kesimpulannya bukan bahawa satu alternatif tertentu pasti benar, tetapi bahawa realisme, kelokalan, dan kebebasan statistik tidak dapat kesemuanya dipertahankan serentak.

Untuk derivasi langkah demi langkah tentang had setempat, ramalan kuantum, dan ujian eksperimennya, lihat panduan kami tentang teorema Bell.

Jawapan makalah bukan menyangkal teorema Bell. Makalah mengubah latar tempat teorema diterapkan. Dalam rangka kerja $4D + \tau$, pengaruh dapat merambat sepanjang garis dunia ketika konfigurasi berevolusi dalam τ . Dari sudut pandang ruang-masa biasa, keadaan ini boleh kelihatan seperti korelasi tak setempat. Dari sudut pandang dinamik dasar yang dicadangkan, interaksinya setempat sepanjang garis dunia yang relevan dalam τ .

Makalah memodelkan eksperimen jenis EPR dengan dua foton yang diukur oleh Alice dan Bob. Model menghasilkan semula korelasi kuantum piawai untuk keadaan polarisasi yang terbelit secara maksimum. Harga formalnya dinyatakan dengan jelas: model itu melepaskan kebebasan statistik sepenuhnya, dengan pengukuran Alice yang berlaku lebih dahulu mempengaruhi keadaan Bob melalui dinamik τ . Mekanismenya bukan keruntuhan kuantum piawai; mekanismenya adalah relaksasi keadaan polarisasi yang digerakkan τ sepanjang garis dunia yang bersambung.

Apa yang sebenarnya berbanding Alice dan Bob

Sebuah sumber menghantar satu foton kepada Alice dan pasangannya kepada Bob. Masing-masing menggunakan pemisah rasuk berpolarisasi yang diatur pada sudut tertentu dan merekodkan satu daripada dua hasil: melepasi atau dibelokkan. Satu pasangan sahaja tidak dapat mendedahkan korelasi. Ujian dilakukan dengan mengulangi eksperimen dan membandingkan berapa kerap dua hasil sepadan ketika sudut antara pemisah berubah. Teori kuantum meramalkan korelasi yang lebih kuat daripada yang dibenarkan arahan tersembunyi setempat dan bebas secara statistik. Dalam model Strubbe, pengukuran Alice berlaku lebih dahulu dalam τ ; relaksasi polarisasi kemudian merambat sepanjang garis dunia yang bersambung, kembali melalui sumber bersama dan terus sepanjang lintasan Bob, sehingga keadaan Bob telah pun dipengaruhi apabila dia membuat pengukuran. Itu menghasilkan semula korelasi dalam model, tetapi hanya dengan mengubah latar kausal dan melepaskan kebebasan statistik.

Bahagian ini memerlukan had paling tegas. Menghasilkan semula satu model jenis EPR di dalam rangka kerja yang dicadangkan tidak sama dengan menurunkan keseluruhan teori kuantum dari mekanik klasik. Makalah sendiri merekodkan bahawa penyimpangan dari ramalan kuantum piawai mungkin muncul jika pemindahan maklumat sepanjang garis dunia terlalu lambat, atau jika jarak

pemisahan yang cukup besar sehingga satu pengukuran selesai sebelum maklumat hasil yang relevan sempat merambat dalam tau.

Itu ialah laluan menuju ramalan yang boleh diuji, bukan alasan untuk mengisytiharkan kemenangan.

Dua celah, dibina semula sebagai garis dunia yang bergerak

Demonstrasi kuantum kedua adalah interferensi celah berganda.

Makalah memodelkan zarah berjisim, khususnya neutron, sebagai sekumpulan garis dunia, bukan sebagai satu titik klasik atau fungsi gelombang kuantum piawai. Dalam contoh, neutron mempunyai panjang gelombang de Broglie 2 nm dan kelajuan 2,000 m/s. Lebar celah simulasi adalah 10 nm dan jarak antara celah 25 nm, dipilih lebih kecil daripada eksperimen interferensi neutron biasa agar corak lebih mudah kelihatan.

Kumpulan garis dunia berevolusi mengikuti peraturan entropik. Ketumpatan titik akhir garis dunia menghasilkan taburan serupa interferensi, sementara satu “garis dunia momentum” yang dipilih membawa tenaga dan momentum serta menentukan peristiwa pengesanan sebenar. Begitulah makalah memisahkan tingkah laku serupa-gelombang daripada hasil serupa-zarah tanpa menggunakan superkedudukan kuantum intrinsik.

Makalah kemudian bertanya apa yang akan diungkap graviti. Pada setiap neutron simulasi, banyak garis dunia menyumbang pada ketumpatan serupa interferensi, tetapi hanya garis dunia momentum yang dipilih yang membawa tenaga dan momentum serta menjadi sumber graviti. Model menempatkan satu probe graviti ideal di titik tengah antara kedua celah dan dua lagi secara simetri di kiri dan kanan. Jika garis dunia momentum melalui celah kanan bukannya kiri, respons graviti yang sangat kecil ikut beralih. Membaca asimetri itu akan mendedahkan celah yang dipilih, sementara keseluruhan kumpulan garis dunia tetap membentuk corak interferensi pada skrin. Anggaran isyarat percepatan sekitar $2 \times 10^{-23} \text{ m s}^{-2}$, dan makalah secara jelas mengetepikan had pengukuran praktikal.

Angka itu penting kerana menjaga dakwaan tetap jujur. Usulannya bukan bahawa seseorang telah mengukur maklumat lintasan melalui graviti tanpa mengganggu interferensi. Usulannya adalah bahawa, dalam model ini, maklumat seperti itu secara prinsip sepatutnya dapat diakses kerana medan graviti terikat pada satu garis dunia pasti, bukan superkedudukan dua lintasan.

Ini secara langsung berbeza daripada harapan kuantum piawai bahawa maklumat lintasan menghapuskan interferens. Oleh itu, ia juga memberikan rangka kerja ini satu sasaran empirik yang berpotensi untuk diuji.

Apa yang tidak dibuktikan

- Makalah ini **tidak** membuktikan bahawa graviti kuantum telah diselesaikan.
- Makalah ini **tidak** membuktikan bahawa graviti pada dasarnya bersifat klasik.
- Makalah ini **tidak** membantah teorema Bell; ia mengubah latar kausal ruang-masa dan melonggarkan andaian kebebasan statistik dalam model.
- Makalah ini **tidak** menghasilkan semula keseluruhan mekanik kuantum. Ia memodelkan fenomena tertentu dan meninggalkan formalisme kuantum lengkap untuk kajian masa depan.
- Makalah ini **tidak** menunjukkan bahawa relativiti umum telah sepenuhnya dipulihkan dalam rejim medan kuat.
- Makalah ini **tidak** membuat fungsi gelombang, ruang Hilbert, bilangan kompleks, atau teori medan kuantum menjadi tidak berguna.
- Makalah ini **tidak** memberikan pengesahan eksperimen. Kajian ini bersifat teoretikal dan berasaskan simulasi.

Had yang bersih adalah ini: makalah mencadangkan rangka kerja klasik berdimensi lebih tinggi yang dapat meniru beberapa tingkah laku sukar. Makalah belum menunjukkan bahawa alam benar-benar menggunakan rangka kerja tersebut.

Apa yang akan menjadikannya boleh diuji?

Bahagian paling bernilai dari makalah adalah bahawa ia tidak berhenti pada falsafah. Ia menunjukkan tempat-tempat di mana rangka kerja ini dapat berbeza daripada teori kuantum piawai.

Satu ramalan menyangkut eksperimen jenis EPR. Jika pemindahan maklumat melalui garis dunia yang dimediasi tau tidak berlaku dengan cukup pantas berbanding proses penghabluran, maka tetapan pengukuran dengan jarak cukup besar atau cukup cepat dapat menyimpang dari korelasi kuantum biasa.

Ramalan lain menyangkut eksperimen celah berganda dengan zarah berjisim. Model menyatakan bahawa maklumat lintasan graviti secara prinsip dapat diekstraksi tanpa menyingkirkan corak interferensi. Ini berbeza secara jelas daripada penaakulan kuantum piawai, walaupun isyarat yang dicadangkan amat kecil dan kebolehlaksanaan praktikalnya belum diketahui.

Ramalan ketiga menyangkut cadangan ujian adakah graviti dapat menjadi pengantara bagi keterbelitan antara jisim. Banyak cadangan ujian graviti kuantum ketika ini menganggap keterbelitan yang diperantarai graviti sebagai bukti bahawa graviti perlu mempunyai ciri kuantum. Dalam rangka kerja Strubbe, medan graviti diberikan kepada satu garis dunia pasti, sehingga keterbelitan yang teraruh graviti sejenis itu sepatutnya tidak berlaku.

Itu bukan perbezaan kecil. Malah perbezaan seperti itulah yang diperlukan rangka kerja spekulatif jika ingin menjadi lebih daripada sekadar tafsiran.

Sejauh mana kukuhnya bukti?

Bukti paling kukuh ialah sebagai demonstrasi konsistensi dalaman.

Makalah membentangkan persamaan, simulasi dan contoh model yang menunjukkan bagaimana rangka kerja 4D + tau boleh memulihkan graviti Newton pada keseimbangan, bergerak menuju struktur relativiti umum, menghasilkan semula model korelasi jenis EPR, dan menghasilkan corak interferens seperti dua celah untuk zarah berjisim.

Namun bukti itu belum kukuh sebagai bukti tentang dunia sebenar.

Demonstrasinya selektif. Rangka kerja belum diperluas menjadi formalisme kuantum yang lengkap. Kes graviti kuat belum diselesaikan. Penyimpangan eksperimen yang dicadangkan belum diperhatikan. Pernyataan kebolehdapatan data menyebut bahawa set data yang dihasilkan dan dianalisis dalam kajian boleh diperoleh daripada penulis koresponden atas permintaan yang munasabah. Namun dakwaan utamanya bukan pengukuran baharu; ia ialah pembinaan teoretikal.

Itu bukan kekurangan dengan sendirinya. Rangka kerja baru sering bermula sebagai pembinaan. Namun bacaan yang bersih perlu menjaga pembinaan, simulasi, ramalan, dan pengesahan dalam kotak yang berasingan.

Mengapa ini penting

Makalah tentang asas fizik dapat terdengar megah kerana perbendaharaan katanya memang besar: graviti kuantum, ketaksetempatan, masa, realisme, determinisme. Bahayanya adalah tajuk menjadi lebih besar daripada hasil.

Makalah ini wajar dibaca kerana menangani masalah yang nyata. Teori kuantum piawai dan relativiti umum masih tidak dapat disatukan dengan lancar. Korelasi jenis Bell sememangnya mengalahkan penjelasan klasik setempat biasa di ruang-masa piawai. Pengukuran dan masa tetap sukar secara konseptual. Rangka kerja yang menyatakan “mungkin andaian ruang-masa adalah tempat yang salah untuk memulakan” tidak automatik benar, tetapi mengemukakan persoalan yang sah.

Langkah yang menarik bukan nostalgia terhadap fizik klasik lama. Yang menarik adalah harga untuk membuat gambaran klasik berfungsi: sebab-akibat ruang-masa biasa tidak lagi menjadi keseluruhan kerangka sebab-akibat. Rangka kerja itu cuba mengekalkan realisme dan determinisme dengan harga menambah dinamik tau yang tidak dapat dicapai secara langsung oleh pemerhati.

Adakah harga itu dapat diterima adalah persoalan fizik, bukan slogan. Ramalan makalah sendiri adalah tempat persoalan itu sepatutnya diuji.

Ringkasan utama

Filip Strubbe mencadangkan rangka kerja klasik lima dimensi di mana ruang-masa empat dimensi biasa berevolusi di bawah parameter tambahan, tau. Pada keseimbangan, rangka kerja memulihkan graviti Newton dalam had graviti lemah dan bertujuan memulihkan struktur dasar relativiti umum di luarnya. Rangka kerja juga memodelkan dua fenomena kuantum: korelasi jenis EPR melalui pengaruh yang merambat sepanjang garis dunia dalam tau, dan interferensi celah berganda melalui sekumpulan garis dunia yang ketumpatannya bertingkah laku serupa gelombang sementara satu garis dunia momentum menentukan hasil. Cadangan ini bersifat teoretikal dan berasaskan simulasi. Pentingnya bukan bahawa ia menyelesaikan graviti kuantum, melainkan bahawa ia membuat alternatif klasik yang konkrit dengan kemungkinan perbezaan eksperimen, termasuk maklumat lintasan graviti dan jangkaan negatif untuk beberapa ujian keterbelitan yang diperantarai graviti.

Semakan tanpa berlebihan

Apa yang ditunjukkan makalah: Sebuah rangka kerja klasik 4D + tau yang dicadangkan dapat menghasilkan semula tingkah laku graviti dan serupa-kuantum tertentu dalam model: graviti Newton pada keseimbangan, struktur dasar relativiti umum, korelasi jenis EPR, dan interferens seperti dua celah.

Apa yang munasabah tetapi belum dibuktikan: Bahawa rangka kerja ini dapat berkembang menjadi laluan alternatif nyata menuju graviti kuantum. Makalah memberikan sebuah laluan dan ramalan; ia tidak menetapkan bahawa alam mengikutinya.

Apa yang tidak ditunjukkan: Ia tidak menyelesaikan graviti kuantum, membantah mekanik kuantum, membantah teorema Bell, atau membuktikan secara eksperimen bahawa graviti bersifat klasik. Ia juga tidak menyediakan pengganti lengkap bagi keseluruhan formalisme kuantum.

Had utama bagi pembaca umum: Langkah kunci makalah adalah menambahkan dinamik tau di luar ruang-masa biasa. Itu mungkin produktif secara fizikal, tetapi juga merupakan andaian yang melakukan sebahagian besar pekerjaan. Jangan samakan “klasik di dalam rangka kerja yang lebih besar” dengan “fizik klasik biasa ternyata benar sejak awal.”

Sejauh mana pembaca umum patut yakin? Keyakinan sederhana bahawa makalah ini membentangkan pembinaan teori yang serius dan jelas; keyakinan rendah bahawa inilah jawapan muktamad. Kesimpulan yang tepat bukan percaya atau menolak, melainkan persoalan yang lebih tajam: bolehkah penyimpangan yang dicadangkan dari teori kuantum piawai dibuat dapat diuji secara eksperimen?

Sumber

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>