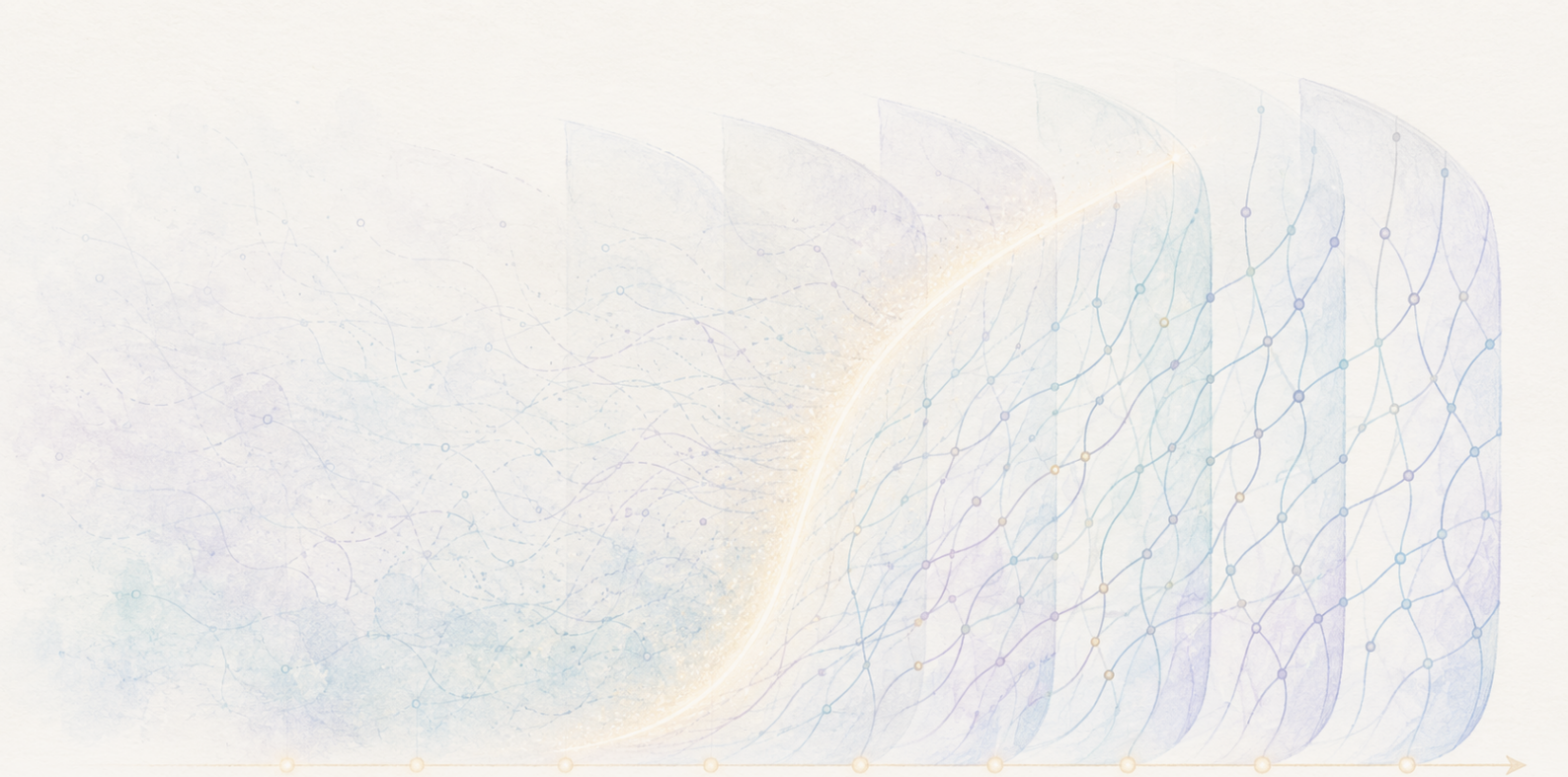




The CLEAN PAPER

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

Een vijfdimensionaal klassiek model probeert kwantumgedrag opnieuw op te bouwen zonder zwaartekracht te kwantiseren

Een artikel in Scientific Reports stelt een 4D + tau-raamwerk voor waarin gewone ruimtetijd onder een extra parameter evolueert. In simulaties en modelberekeningen krijgt het Newtonse zwaartekracht in evenwicht terug, beweegt het richting basale algemeen-relativistische structuur en reproduceert het EPR-achtige correlaties en interferentie als bij een dubbele spleet via wereldlijndynamica. Het resultaat is een prikkelende theoretische constructie, geen experimenteel bewijs dat kwantumzwaartekracht is opgelost of dat standaardkwantummechanica fout is.

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

Een klassieke route naar kwantumzwaartekracht is een stoutmoedige claim. Dit is nog steeds een model

De meeste pogingen om kwantummechanica met zwaartekracht te verenigen beginnen met het kwantiseren van zwaartekracht. Het nieuwe artikel van Filip Strubbe in Scientific Reports probeert de omgekeerde richting: houd de grondslagen klassiek, voeg een extra evolutieparameter toe en vraag of de vertrouwde effecten van zwaartekracht en sommige kwantumverschijnselen uit die uitgebreidere klassieke dynamica kunnen ontstaan.

Dat is een gedurfde stap. Het is ook gemakkelijk om er te veel uit af te leiden.

Het artikel lost de kwantumzwaartekracht niet op. Het laat niet zien dat de kwantummechanica fout is. Het weerlegt Bells stelling niet en bewijst niet dat het universum stiekem een eenvoudig uurwerk is. Wat het biedt is een voorgesteld vijfdimensionaal klassiek raamwerk dat geselecteerde zwaartekrachts- en kwantumachtige gedragingen in modellen kan reproduceren en enkele voorspellingen doet die van de standaardkwantumtheorie kunnen afwijken.

De nuttige vraag is niet: „Heeft klassieke natuurkunde de kwantumfysica verslagen?” Dat heeft ze niet. De nuttige vraag is smaller: wat zou een klassieke theorie moeten opgeven of toevoegen om sommige dingen na te bootsen die gewone vierdimensionale klassieke fysica niet kan nabootsen?

In dit artikel is het toegevoegde ingrediënt geen vijfde ruimtelijke dimensie. Het is een extra parameter, τ , waaronder de gewone vierdimensionale ruimtetijd evolueert.

De extra tijd die geen gewone tijd is

Het raamwerk begint met gewone vierdimensionale ruimtetijd: één tijdcoördinaat en drie ruimtecoördinaten. Daarna voegt het een externe evolutieparameter toe, τ . Coördinaattijd labelt gebeurtenissen binnen de ruimtetijd. τ bestuurt hoe de volledige ruimtetijdconfiguratie naar evenwicht ontspant.

Dat onderscheid is de ruggengraat van het voorstel. Het artikel noemt de opstelling een $4D + \tau$ -raamwerk. Formeel is ze vijfdimensionaal, maar de auteur is zorgvuldig over wat dat betekent: er is geen vijfdimensionale metriek die de gebruikelijke vierdimensionale ruimtetijdmetriek vervangt. τ is in plaats daarvan een parameter die de dynamica van de vierdimensionale geometrie en van de deeltjeswereldlijnen daarin aandrijft.

Het beeld is bewust ongebruikelijk. De fundamentele objecten zijn geen golf functies. Het zijn wereldlijnen: paden door de ruimtetijd die kunnen evolueren wanneer τ verandert. Het artikel stelt de ruimtetijd voor als iets dat langs de tijdsdimensie geleidelijk „kristalliseert”. Achter het kristallisatiefront zijn configuraties tot stabiele uitkomsten ontspannen; ervoor is de toekomst nog niet op dezelfde manier georganiseerd.

Voor een waarnemer binnen het systeem zijn alleen de geëquilibreerde uitkomsten toegankelijk. De

waarnemer ziet tau niet rechtstreeks. Hij reconstrueert een gewone vierdimensionale geschiedenis uit de reeks uitkomsten die zijn gekristalliseerd.

Zo probeert het artikel twee dingen tegelijk te krijgen: een bepaalde, klassieke onderliggende dynamica en het verschijnen van gewone tijd, meetuitkomsten en kwantumachtig gedrag vanuit het perspectief van het systeem.

Eerst zwaartekracht: Newton, daarna delen van Einstein

Het zwaartekrachtdeel van het artikel begint in de limiet van zwakke zwaartekracht. De auteur schrijft een relaxatievergelijking voor een zwaartekrachtpotentiaal. Wanneer het systeem ten opzichte van tau evenwicht bereikt, reduceert die vergelijking tot de gebruikelijke Newtonse Poissonvergelijking voor zwaartekracht.

Ook wereldlijnen krijgen een eigen relaxatieregel. In evenwicht worden de wereldlijnen naar de paden gedreven die uit de Newtonse zwaartekracht worden verwacht. De numerieke voorbeelden zijn opzettelijk eenvoudig: bijvoorbeeld een statische massa en een systeem van twee massa's die ontspannen naar een Newtonse ruimtetijd.

Vervolgens breidt de auteur hetzelfde idee uit richting algemene relativiteit. In plaats van alleen een Newtonse potentiaal te laten ontspannen, laat het raamwerk de ruimtetijdmetriek zelf ontspannen. In evenwicht worden wereldlijnen **geodeten**: de paden van vrij vallende objecten wanneer geen andere kracht dan zwaartekracht werkt, de tegenhangers van rechte lijnen in gekromde ruimtetijd. De geometrie moet elementaire kenmerken van de algemene relativiteit terugbrengen.

De kanttekening is belangrijk. Het artikel leidt niet elke sterke-veldvoorspelling van de algemene relativiteit volledig af. Het laat sterke-veldregimes, singulariteiten, gravitationele roodverschuiving, zwaartekrachtsgolven en rijker wereldlijngedrag uitdrukkelijk over aan toekomstig werk. De claim is dat het raamwerk Newtonse zwaartekracht in de zwakke limiet en basale algemeen-relativistische structuur in een gladder regime kan terugkrijgen, niet dat het de volledige geteste machinerie van Einsteins zwaartekracht heeft vervangen.

De stap bij de Bell-test: verander de aanname over ruimtetijd

Het moeilijkste onderdeel van elke klassieke verklaring van kwantummechanica is niet-lokaliteit.

Bells stelling vertelt ons dat, onder de standaardaanname, geen lokaal verborgen-variabelenmodel alle kwantumcorrelaties kan reproduceren. Experimenten hebben Bell-ongelijkheden herhaaldelijk geschonden. Daarom falen gewone vierdimensionale klassieke beelden.

Bell-ongelijkheden in gewone taal

Stel je voor dat twee deeltjes dezelfde bron verlaten met verborgen instructiebriefjes. Ver uit elkaar kiezen Alice en Bob onafhankelijk hoe ze hun deeltjes meten. Als elk resultaat wordt vastgelegd door het lokale instructiebriefje, geen van beide kanten door de keuze aan de andere kant kan worden beïnvloed en de instellingen statistisch onafhankelijk van de instructies zijn, leggen Bell-ongelijkheden een bovengrens op aan hoe sterk de twee reeksen uitkomsten kunnen correleren. Echte experimenten overschrijden die grens. De conclusie is niet dat één bepaald alternatief wint, maar dat realisme, lokaliteit en statistische onafhankelijkheid niet alle drie tegelijk behouden kunnen blijven.

Voor een stapsgewijze afleiding van de lokale grens, de kwantumvoorspelling en de experimentele tests, zie onze gids over Bells stelling.

Het antwoord van het artikel is niet Bells stelling te ontkennen. Het verandert de omgeving waarin de stelling wordt toegepast. In het 4D + tau-raamwerk kunnen invloeden langs wereldlijnen voortplanten terwijl de configuratie in tau evolueert. Vanuit gewone ruimtetijd kan dat eruitzien als een niet-lokale correlatie. Vanuit de voorgestelde onderliggende dynamica is de interactie lokaal langs de relevante wereldlijnen in tau.

Het artikel modelleert een EPR-achtig experiment met twee fotonen die door Alice en Bob worden gemeten. Het model reproduceert de standaardkwantumcorrelaties voor een maximaal verstrengelde polarisatietoestand. De formele prijs wordt uitdrukkelijk betaald: het model laat statistische onafhankelijkheid volledig los, waarbij de meting van Alice via de tau-dynamica de toestand van Bob vooraf conditioneert. Het mechanisme is geen standaard kwantuminstorting; het is een door tau aangedreven relaxatie van polarisatietoestanden langs verbonden wereldlijnen.

Wat Alice en Bob werkelijk vergelijken

Een bron stuurt één foton naar Alice en zijn partner naar Bob. Elk gebruikt een polariserende bundelsplitser onder een gekozen hoek en registreert één van twee uitkomsten: doorgelaten of afgebogen. Eén enkel paar kan de correlatie niet onthullen. De test bestaat uit herhaalde proeven en het vergelijken van hoe vaak de twee uitkomsten overeenkomen wanneer de hoek tussen de bundelsplitters verandert. De kwantumtheorie voorspelt correlaties die sterker zijn dan lokale, statistisch onafhankelijke verborgen instructies toelaten. In Strubbes model vindt Alices meting eerst in tau plaats; polarisatielerelaxatie plant zich daarna voort langs de verbonden wereldlijnen, terug door hun gemeenschappelijke bron en verder langs Bobs pad, zodat Bobs toestand al geconditioneerd is wanneer hij meet. Dat reproduceert de correlatie in het model, maar alleen door het causale kader te veranderen en statistische onafhankelijkheid op te geven.

Dit onderdeel vraagt om de scherpste grens. Eén EPR-achtig model reproduceren binnen een voorgesteld raamwerk is niet hetzelfde als de volledige kwantumtheorie uit klassieke mechanica afleiden. Het artikel merkt zelf op dat afwijkingen van standaardkwantumvoorspellingen kunnen optreden wanneer informatieoverdracht langs wereldlijnen te traag is, of wanneer ruimtelijke afstanden groot genoeg worden dat één meting voltooid is voordat de relevante uitkomstinformatie

zich in tau heeft voortgeplant.

Dat is een route naar voorspellingen, geen ereronde.

De dubbele spleet, herbouwd als bewegende wereldlijnen

Het tweede kwantumvoorbeeld is interferentie bij een dubbele spleet.

Het artikel modelleert een massief deeltje, specifiek een neutron, als een bundel wereldlijnen in plaats van als één klassiek punt of een standaardgolffunctie. In het voorbeeld heeft het neutron een de Broglie-golflengte van 2 nm en een snelheid van 2.000 m/s. De gesimuleerde spleetbreedte is 10 nm en de spleetafstand 25 nm, kleiner gekozen dan bij typische neutroninterferentie-experimenten om het patroon visueel duidelijker te maken.

De wereldlijnbundel evolueert volgens een entropische regel. De dichtheid van de eindpunten van wereldlijnen levert een interferentieachtige verdeling op, terwijl één geselecteerde „impulswereldlijn” energie en impuls draagt en de feitelijke detectiegebeurtenis bepaalt. Zo scheidt het artikel golfachtig gedrag van een deeltjesachtige uitkomst zonder intrinsieke kwantumsuperpositie in te roepen.

Vervolgens vraagt het artikel wat zwaartekracht zou onthullen. Bij elk gesimuleerd neutron dragen de vele wereldlijnen bij aan de interferentieachtige dichtheid, maar alleen de geselecteerde impulswereldlijn draagt energie en impuls en vormt de bron van zwaartekracht. Het model plaatst één geïdealiseerde zwaartekrachtsonde midden tussen de spleten en twee andere symmetrisch links en rechts. Als de impulswereldlijn door de rechter- in plaats van de linkerspleet gaat, verschuift de uiterst kleine gravitationele respons mee. Het uitlezen van die asymmetrie zou de gekozen spleet onthullen, terwijl de volledige bundel wereldlijnen toch het interferentiepatroon op het scherm opbouwt. De geschatte versnelling is ongeveer $2 \times 10^{-23} \text{ m s}^{-2}$, en het artikel zet praktische meetbeperkingen uitdrukkelijk terzijde.

Dat getal is belangrijk omdat het de claim eerlijk houdt. Het voorstel is niet dat iemand al gravitationele informatie over het genomen pad heeft gemeten zonder interferentie te verstoren. Het is dat zulke informatie volgens dit model in beginsel toegankelijk zou moeten zijn, omdat het zwaartekrachtsveld aan één bepaalde wereldlijn is gekoppeld en niet aan een superpositie van beide paden.

Dat staat rechtstreeks tegenover de standaardkwantumverwachting dat informatie over het genomen pad interferentie vernietigt. Het geeft het raamwerk ook een mogelijk empirisch drukpunt.

Wat dit niet bewijst

- Het bewijst **niet** dat kwantumzwaartekracht is opgelost.
- Het bewijst **niet** dat zwaartekracht in de natuur klassiek is.

- Het weerlegt Bells stelling **niet**; het verandert het ruimtetijd-causaliteitskader en laat statistische onafhankelijkheid in het model los.
- Het reproduceert **niet** de volledige kwantummechanica. Het artikel modelleert geselecteerde verschijnselen en laat een volledig kwantumformalisme aan toekomstig werk over.
- Het toont **niet** aan dat de algemene relativiteit volledig is teruggewonnen in sterke-veldregimes.
- Het maakt golf functies, Hilbertruimten, complexe getallen of kwantumveldentheorie **niet** overbodig.
- Het levert **geen** experimentele bevestiging. Het werk is theoretisch en gebaseerd op simulaties.

De heldere grens is deze: het artikel stelt een hoger-dimensionaal klassiek raamwerk voor dat meerdere moeilijke gedragingen kan nabootsen. Het heeft niet aangetoond dat de natuur dat raamwerk werkelijk gebruikt.

Wat zou het toetsbaar maken?

Het waardevolste deel van het artikel is dat het niet zuiver filosofisch blijft. Het wijst op plaatsen waar het raamwerk van de standaardkwantumtheorie kan afwijken.

Eén voorspelling betreft EPR-achtige experimenten. Als de door tau bemiddelde informatieoverdracht langs wereldlijnen niet effectief ogenblikkelijk is ten opzichte van het kristallisatieproces, kunnen opstellingen met voldoende grote afstanden of snelle metingen afwijken van de gebruikelijke kwantumcorrelaties.

Een andere voorspelling betreft dubbelspleetexperimenten met massieve deeltjes. Het model zegt dat gravitationele informatie over het genomen pad in beginsel kan worden verkregen zonder het interferentiepatroon te vernietigen. Dat contrasteert scherp met de standaardkwantumredenering, al is het voorgestelde signaal extreem klein en is praktische haalbaarheid niet vastgesteld.

Een derde voorspelling betreft voorstellen om te testen of zwaartekracht verstrengeling tussen massa's kan overbrengen. Veel huidige tests van kwantumzwaartekracht beschouwen door zwaartekracht bemiddelde verstrengeling als bewijs dat zwaartekracht kwantumeigenschappen moet hebben. In Strubbes raamwerk wordt het zwaartekrachtsveld aan één bepaalde wereldlijn toegewezen, zodat gravitationeel opgewekte verstrengeling van dat type niet zou mogen optreden.

Dat zijn geen kleine verschillen. Het zijn precies de verschillen die een speculatief raamwerk nodig heeft om meer te zijn dan een interpretatie.

Hoe sterk is het bewijs?

Het bewijs is het sterkst als demonstratie van interne consistentie.

Het artikel presenteert vergelijkingen, simulaties en modelvoorbeelden die laten zien hoe de 4D + tau-machinerie Newtonse zwaartekracht in evenwicht kan terugkrijgen, richting algemeen-

relativistische structuur kan bewegen, een EPR-correlatiemodel kan reproduceren en een interferentiepatroon als bij een dubbele spleet voor een massief deeltje kan genereren.

Maar als bewijs over de wereld is het nog niet sterk.

De demonstraties zijn selectief. Het raamwerk is niet uitgebreid tot een volledig kwantumformalisme. De sterke-zwaartekrachtgevallen zijn niet opgelost. De voorgestelde experimentele afwijkingen zijn niet waargenomen. De verklaring over gegevensbeschikbaarheid zegt dat de in de studie gegenereerde en geanalyseerde datasets op redelijk verzoek bij de corresponderende auteur verkrijgbaar zijn, maar de kernclaim is geen nieuwe meting; het is een theoretische constructie.

Dat is op zichzelf geen tekortkoming. Nieuwe raamwerken beginnen vaak als constructies. Maar een zuivere lezing moet constructie, simulatie, voorspelling en bevestiging in afzonderlijke vakken houden.

Waarom het ertoe doet

Artikelen over grondslagen kunnen groots klinken omdat hun woordenschat groots is: kwantumzwaartekracht, niet-lokaliteit, tijd, realisme, determinisme. Het gevaar is dat de kop groter wordt dan het resultaat.

Dit artikel is het lezen waard omdat het een echt drukpunt aanpakt. Standaardkwantumtheorie en algemene relativiteit passen niet netjes bij elkaar. Bell-correlaties verslaan werkelijk gewone lokale klassieke verklaringen in standaardruimtetijd. Meting en tijd blijven conceptueel moeilijk. Een raamwerk dat zegt „misschien is de aanname over ruimtetijd de verkeerde plek om te beginnen” is niet automatisch juist, maar stelt een legitieme vraag.

De interessante stap is geen nostalgie naar oude klassieke fysica. Het is de prijs om een klassiek beeld te laten werken: gewone ruimtetijdcausaliteit is niet langer het hele causale speelveld. Het raamwerk koopt realisme en determinisme door tau-dynamica toe te voegen waartoe waarnemers geen directe toegang hebben.

Of die prijs aanvaardbaar is, is een natuurkundige vraag, geen slogan. De eigen voorspellingen van het artikel zijn waar die vraag moet worden getest.

Heldere samenvatting

Filip Strubbe stelt een vijfdimensionaal klassiek raamwerk voor waarin gewone vierdimensionale ruimtetijd evolueert onder een extra parameter, tau. In evenwicht krijgt het raamwerk Newtonse zwaartekracht terug in de zwakke-zwaartekrachtlimiet en probeert het daarbuiten basale algemeen-relativistische structuur te herstellen. Het modelleert ook twee kwantumverschijnselen: EPR-achtige correlaties door invloeden die langs wereldlijnen in tau voortplanten, en interferentie bij een dubbele spleet via een bundel wereldlijnen waarvan de dichtheid golfachtig is terwijl één impuls wereldlijn

de uitkomst bepaalt. Het voorstel is theoretisch en op simulaties gebaseerd. Het belang is niet dat het kwantumzwaartekracht oplost, maar dat het een concrete klassieke alternatiefroute biedt met mogelijke experimentele verschillen, waaronder gravitationele informatie over het genomen pad en negatieve verwachtingen voor sommige tests van door zwaartekracht bemiddelde verstrengeling.

Zonder omwegen

Wat het artikel laat zien: Een voorgesteld klassiek 4D + tau-raamwerk kan geselecteerde zwaartekrachts- en kwantumachtige gedragingen in modellen reproduceren: Newtonse zwaartekracht in evenwicht, basale algemeen-relativistische structuur, EPR-achtige correlaties en interferentie als bij een dubbele spleet.

Wat plausibel maar niet bewezen is: Dat dit raamwerk een echte alternatieve route naar kwantumzwaartekracht kan worden. Het artikel biedt een route en voorspellingen; het stelt niet vast dat de natuur die volgt.

Wat het niet laat zien: Het lost kwantumzwaartekracht niet op. Het weerlegt de kwantummechanica of Bells stelling niet en bewijst evenmin experimenteel dat zwaartekracht klassiek is. Ook biedt het geen volledige vervanging voor het kwantumformalisme.

Belangrijkste beperking voor een algemene lezer: De kernstap is het toevoegen van tau-dynamica buiten de gewone ruimtetijd. Dat kan fysisch vruchtbaar zijn, maar het is ook de aanname die veel van het werk doet. Verwar „klassiek binnen een groter raamwerk” niet met „gewone klassieke fysica had altijd gelijk”.

Hoeveel vertrouwen moet een algemene lezer hebben? Redelijk vertrouwen dat het artikel een serieuze en expliciete theoretische constructie presenteert; weinig vertrouwen dat het het definitieve antwoord is. De juiste conclusie is geen geloof of afwijzing, maar een scherpere vraag: kunnen de voorgestelde afwijkingen van standaardkwantumtheorie experimenteel toetsbaar worden gemaakt?

Bronnen

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>