

Testarea experimentală a ipotezei D5 din „Superluminal Communication?” (Lee Wen Wu, 2021) în contextul Delayed-Choice Quantum Eraser

Rezumat executiv

Analiza surselor primare și a literaturii experimentale despre „delayed-choice quantum eraser” (DCQE) arată că **ipoteza D5 / „path-combination” formulată de Lee Wen Wu (2021)** — în care **căile fotonului „signal” sunt recombinate și detectate la un detector D5**, cu pretenția că **„idler”-ul la Bob ar arăta interferență în observația directă (single counts) la D0** — **nu apare ca fiind implementată și raportată ca experiment de laborator în niciun articol experimental peer-reviewed sau raport de laborator credibil identificabil public până la data curentă (2026-03-31)**. ¹

În schimb, există **mai multe experimente de tip quantum eraser/DCQE** (începând cu propunerea lui Marlan O. Scully ² și Kai Drühl ³ și realizarea clasică a lui Yoon-Ho Kim ⁴ et al.) care demonstrează că **interferența apare doar în distribuții condiționate (coincidențe / post-selecție pe rezultatele partenerului entanglat)**, iar **distribuția marginală locală nu poate fi folosită pentru semnalizare superluminică**. ⁵

Deosebit de relevant este un experiment conceput explicit pentru a elimina orice „explicație prin comunicare subluminală”: **quantum eraser cu alegere causal deconectată / sub condiții de „Einstein locality”**, realizat de grupul lui Xiao-Song Ma ⁶ (colaborare cu Anton Zeilinger ⁷), care afirmă clar că, prin impunerea separării spațiu-temporale, **„no such communication is possible”** între alegerea de măsurare și rezultatul de interferență. ⁸

Concluzia evaluării dovezilor este că **nu există date experimentale publicate care să susțină D5**, iar **corpul de rezultate experimentale standard + teoreme de no-signaling/no-communication fac foarte puțin plauzibil** ca D5 să producă interferență observabilă la Bob în single counts (fără condiționare). ⁹

Identificarea exactă a lucrării și a ipotezei D5

Lucrarea care introduce ipoteza este **un preprint auto-publicat** (neidentificat ca articol peer-reviewed) distribuit ca fișier PDF în depozitul GitHub „Faster-than-light” și pe pagina aferentă GitHub Pages, unde este prezentată modificarea DCQE ce ar permite, în viziunea autorului, comunicare mai rapidă decât lumina. ¹⁰

Identificatori bibliografici (DOI/arXiv)

Pentru această lucrare (PDF-ul „superluminal.pdf”): - Nu a fost identificat un **DOI** asociat și nici o intrare **arXiv** pentru „Superluminal Communication?” atribuită lui Lee Wen Wu în sursele accesibile public (în schimb se oferă distribuție prin GitHub). ¹⁰

- În mod explicit, pagina autorului indică faptul că „math details” sunt în „paper” (PDF) și solicită feedback, nu prezintă o referință jurnal/DOI. ¹¹

Definirea ipotezei D5 și a „path-combination” (descriere operațională)

În forma popularizată pe pagina proiectului, scenariul este: - Sursa SPDC produce perechi entanglate signal-idler. - Alice primește „signal”. Bob primește „idler”. - Alice **combină cele două căi posibile ale signal** într-o singură cale și detectează la **D5** (propunerea: „atom într-o cavitate” care absoarbe și re-emite aleator, „ștergând” informația de care-regiune). ¹² - Autorul pretinde că, dacă Alice „șterge” astfel informația, atunci la Bob, pe detectorul D0, **ar apărea interferență direct**; dacă Alice măsoară „care-regiune” (D3/D4), la Bob nu apare interferență. ¹²

Citate-cheie (original + traducere)

Din pagina proiectului (original engleză, extras scurt):

„the two possible paths of the signal photon is combined into a single path... detected by detector **D5**... After this... Bob should be able to see an interference pattern with detector **D0**.” ¹³

Traducere (RO, fidelă sensului):

„cele două căi posibile ale fotonului signal sunt combinate într-o singură cale... detectate la D5... după aceasta... Bob ar trebui să poată vedea un tipar de interferență la D0.” ¹³

Ecuțiile și presupunerile „Eq.44–53” (transcriere și interpretare)

În PDF-ul autorului (fișierul „superluminal.pdf” din repo), ipoteza D5 este formalizată printr-un lanț de **presupuneri de stare după recombinare**, o „**partial collapse**” condiționată de detecția la D5 într-un **spot focal suficient de mic**, și o concluzie că distribuția la Bob ar include termen de interferență stabil (prin faze considerate aproximativ constante). Existența și distribuția PDF-ului în repo este documentată public. ¹⁴

Notă metodologică: deoarece PDF-ul este furnizat ca fișier în proiect (și în materialele dvs.), mai jos redau **forma matematică esențială** a ipotezei Eq.44–53 așa cum este prezentată acolo (transcriere). ¹⁵

Elementele „încărcate” (load-bearing) ale ipotezei, în limbaj standard de mecanică cuantică, sunt:

1) **Condiționarea pe detecția la D5 într-un punct (u_0)** pentru a proiecta idler-ul într-o superpoziție:

$$|\Psi_i\rangle \propto \Psi_{A,s}(u_0) |A_i\rangle + \Psi_{B,s}(u_0) |B_i\rangle \equiv \alpha |A_i\rangle + \beta |B_i\rangle.$$

Interpretare: detectarea lui signal într-un punct ar „pregăti” idler-ul într-o stare coerentă cu amplitudini α, β determinate de valorile funcțiilor de undă ale signal la acel punct.

2) **Evoluția spațială a idler-ului la Bob:**

$$\Psi_i(x) = \alpha \Psi_{A,i}(x) + \beta \Psi_{B,i}(x).$$

3) Apariția explicită a termenului de interferență în probabilitatea locală la Bob:

$$p_0(x) = |\Psi_i(x)|^2 = |\alpha|^2 |\Psi_{A,i}(x)|^2 + |\beta|^2 |\Psi_{B,i}(x)|^2 + 2|\alpha||\beta| |\Psi_{A,i}(x)| |\Psi_{B,i}(x)| \cos \phi.$$

4) Presupunere critică despre faze:

$$\phi = \phi_s(u_0) + \phi_i(x),$$

iar $\phi_s(u_0)$ este tratată ca (aproape) constantă pentru toate evenimentele relevante, prin ipoteza că spotul focal este suficient de mic încât $u_0 = u_p + \delta u$ cu $\delta u \ll 1$ (în unități normalizate ale autorului).

Această ultimă presupunere este exact „miezul” afirmației D5: dacă $\phi_s(u_0)$ devine deterministică la nivel de ansamblu (nu doar condiționat), atunci $p_0(x)$ ar arăta franje stabile în single counts.

Metodologia de căutare și acoperirea bazelor de date

Căutarea a urmărit două obiective: (i) existența unei **implementări experimentale** declarate a configurației D5; (ii) identificarea experimentelor **cele mai apropiate** conceptual care ar fi putut testa același tip de „semnalizare prin quantum eraser”.

Strategia de căutare (termeni și variante)

Am folosit combinații de termeni care capturează unicitatea ipotezei: - „Lee Wen Wu”, „StevenLeeWW”, „Faster-than-light”, „superluminal.pdf”, „Superluminal Communication?”, „detector D5”, „path combination”, „combine paths”, „single counts interference”, „no coincidence quantum eraser”. - Pentru literatura standard: „delayed choice quantum eraser”, „quantum eraser experiment”, „Einstein locality quantum eraser”, „causally disconnected choice”, „two-photon imaging quantum eraser”.

Am verificat apariția acestor termeni în: - **arXiv** (prin căutări dedicate și acces la preprinturi relevante, inclusiv versiuni arXiv ale unor articole experimentale). ¹⁶

- **APS (PRL/PRA/RMP)** prin pagini DOI oficiale ale articolelor experimentale și de sinteză. ¹⁷

- **INSPIRE-HEP** ca index suplimentar pentru lucrări fundamentale despre no-signaling/superluminal signaling și pentru unele articole de fundații. ¹⁸

- **proceedings / rapoarte**: căutări pentru „CLEO”, „SPIE”, „conference quantum eraser”, plus rapoarte tehnice (ex. CERN Document Server), unde apar uneori propuneri nepublicate jurnal. ¹⁹

- **teze**: căutări în depozite universitare publice pentru „delayed choice quantum eraser” (au fost identificate teze educaționale despre DCQE, fără legătură cu D5). ²⁰

Observație despre Google Scholar / Web of Science

Interfețele complete ale **Web of Science** și uneori **Google Scholar** sunt frecvent restricționate (paywall/anti-scraping). Ca substitut verificabil, am folosit: - paginile DOI oficiale (APS, Springer, Science/AAAS prin înregistrări bibliografice secundare) ²¹

- versiuni arXiv acolo unde există (Ma 2013, Scarcelli 2005/2007 etc.). ²²

Rezultatele căutării: lucrări experimentale care au testat sau ar fi putut testa D5

Constatul central privind D5

Nu a fost identificat **niciun articol experimental** (PRL/PRA/Nature/Science/Optica/PRX etc.), niciun raport de laborator și niciun set de date public atribuit unei instituții care să declare explicit implementarea: - recombinații căilor signal într-o singură cale + detecție D5 ca mecanism de „ștergere” **înainte** de detecția idler-ului - și, critic, măsurarea unei **schimbări în distribuția marginală** (single counts) la Bob, fără condiționare/coincidență.

În sursele publice găsite, D5 apare ca **propunere online** (GitHub/GitHub Pages) și ca mențiune informală în discuții (ex. Physics Stack Exchange, unde autorul însuși indică „paper” și cere verificare).

23

Tabel sinoptic: experimente relevante și „aproape-teste” ale ideii de semnalizare

Lucrare (tip)	An	Laborator / instituție	Tip experiment	D5 implementat?	Ce s-a măsurat	Rezultate
Yoon-Ho Kim ⁴ et al., „Delayed ‘Choice’ Quantum Eraser” (peer-reviewed)	2000	montaj SPDC tipic (lucrare clasică DCQE)	DCQE optic, interferență doar în subseturi condiționate	Nu	coincidențe D0–(D1..D4), distribuții subset	Demonstrare pe ecran n
Stephen P. Walborn ²⁵ et al., „Double-slit quantum eraser” (peer-reviewed)	2002	experiment optic cu perechi entanglate	eraser cu fante + marker polarizare	Nu	franje/antifranje condiționate de analizor pe partener	Arată st în marg
Giuliano Scarcelli ²⁷ et al., „Random delayed-choice quantum eraser via two-photon imaging” (peer-reviewed)	2007	University of Maryland, Baltimore County ²⁸ (autorii afiliați)	eraser pe schemă de „two-photon imaging/ghost”	Nu	corelații două-fotoni și reconstrucție ulterioară	Delayed-choice, r
Xiao-Song Ma ⁶ et al., „Quantum erasure with causally disconnected choice” (experiment pentru a exclude comunicarea)	2013	University of Vienna ³⁰ + legături lungi; include separare până la Canary Islands ³¹	eraser cu alegeri spațiu-like separate	Nu	interferență în condiționare + analiză spațiu-temporală; time-tagging	Textul a între ale tipo-D5

Lucrare (tip)	An	Laborator / instituție	Tip experiment	D5 implementat?	Ce s-a măsurat	Rezultate
Raport/propunere: CERN ³² CDS „Is It Possible to Use a Quantum Eraser to Send Binary Data...” (ne-peer-reviewed)	2007	(document server)	analiză/ propunere de „quantum information transmission device” (OQITD)	Nu (altă schemă)	modelare teoretică a distribuțiilor; condiții de timp ($t_{idler} < t_{signal}$)	Exemplu de experiment
Lee Wen Wu, „Faster-than-light communication?” (online preprint + schemă D5)	2021	auto-publicat (GitHub)	propunere D5: recombinare + D5	Propus, dar fără date	pretinde interferență în single counts la Bob	Nu există identificare

Diagramă schematică a ideii D5 (pentru orientare)

```

flowchart LR
    S[SPDC source (A/B regions)] -->|signal| A1[Alice: two signal paths]
    S -->|idler| B1[Bob: idler path to D0]

    subgraph Alice
        A1 -->|path A_s| M1[mirrors/combiner]
        A1 -->|path B_s| M1
        M1 --> D5[D5 detector (e.g., cavity atom)]
        A1 -->|optional which-path| D3D4[D3/D4 detectors]
    end

    subgraph Bob
        B1 --> D0[D0 screen / scanning detector]
    end

```

(Notă: această diagramă este o schematizare conceptuală, nu un desen optic cu toleranțe; reproduce ideea descrisă public pentru D5.) ³⁴

Experimente înrudite și diferențe critice față de D5

Ce testează DCQE standard și de ce nu este D5

În DCQE standard (propunerea Marlan O. Scully ² -Kai Drühl ³ și implementarea Yoon-Ho Kim ⁴ et al.), interferența „reapare” numai după ce evenimentele de pe ecran (D0) sunt **grupate** în funcție de unde a ajuns idler-ul (detectoare tip D1/D2 vs D3/D4). Aceasta este exact structura „fringe + anti-fringe” care se anulează dacă nu condiționezi. ³⁵

Ipoteza D5 încearcă să evite această anulare afirmând (implicit) că: - fie există un singur rezultat „eraser” (proiecție deterministă),
- fie faza introdusă de condiționarea pe D5 este suficient de bine controlată încât ansamblul la Bob să nu mai fie o mixtură fără franje, ci o distribuție cu termeni $\cos \phi$ care nu se anulează.

Aceasta ar fi o abatere majoră de la comportamentul standard al quantum eraser.

„Eraser sub Einstein locality”: cea mai apropiată clasă de teste împotriva semnalizării

Experimentul lui Xiao-Song Ma ⁶ și colaboratorii este conceput să răspundă exact suspiciunii „poate există comunicare clasică între alegere și interferență”:

„Here we report a quantum eraser experiment, in which by enforcing Einstein locality no such communication is possible.” ⁸

Chiar dacă acest experiment nu implementează D5, el este **direct relevant** metodologic: dacă o configurație D5 ar produce semnalizare în marginal, atunci un cadru de tip Ma et al. (alegeri active rapide, separare spațiu-like, time-tagging) ar fi modul standard de a o testa fără ambiguități.

Diferența tehnică cheie: marginal vs condiționat

În formalismul standard al densității (density matrix), un rezultat de tip „interferență/anti-interferență” apare în stări condiționate; însă **starea redusă a lui Bob** rămâne aceeași mixtură indiferent de operația locală a lui Alice. Acesta este conținutul „no-communication theorem/no-signaling” la nivel de mecanică cuantică liniară. ³⁶

Pe această logică, D5 ar necesita fie: - o încălcare a linearității/standardului de măsurare (ceea ce ar intra în discuții de tip „nonlinear QM \Rightarrow superluminal communications”), ³⁷
- fie o eroare de modelare (de exemplu, tratarea unei condiționări/post-selecții ca și cum ar fi un efect asupra ansamblului necondiționat).

Evaluarea calității dovezilor și a „stării” ipotezei D5

Calitatea evidenței pentru D5 ca afirmație experimentală

1) **Lipsă de raportare experimentală**: sursele publice identificate despre D5 sunt pagina proiectului, repo-ul (care conține PDF-ul) și mențiuni informale online; nu există un articol experimental peer-reviewed sau un set de date. ³⁸

2) **D5 contrazice așteptări foarte bine consolidate**: există argumente teoretice robuste împotriva transmiterii superluminice prin măsurare standard, de exemplu: - argumentul general contra transmiterii superluminice prin procesul de măsurare (Ghirardi-Rimini-Weber). ³⁹
- rezultate bine-cunoscute despre faptul că orice nonlinearitate deterministă ar permite comunicare superluminică (Gisin, 1990), ceea ce e folosit adesea ca test de consistență pentru modificări ale mecanicii cuantice. ³⁷
- discuții despre localitate și imposibilitatea semnalizării în contexte Bell/EPR (Eberhard, 1978). ⁴⁰

3) **Evidență experimentală indirectă împotriva semnalizării**: experimente precum Ma et al. sunt construite să facă imposibilă interpretarea prin semnale subluminale și tratează explicit problema „comunicării” între setări și interferență. ⁸

Ce ar însemna „date care susțin D5”

Pentru a spune că D5 este susținut experimental, ar fi necesar un rezultat de forma: - la Bob (D0), **distribuția marginală** $p_0(x)$ diferă semnificativ statistic între două setări ale lui Alice (D5 vs D3/D4), fără post-selecție pe rezultatele lui Alice și fără canal clasic, - iar toate canalele clasice (drift de fază,

„leakage” optic/electric, sincronizare, selecție de date) sunt excluse prin separare spațiu-like și verificări de control.

Nu am găsit nicio lucrare care să raporteze așa ceva.

Verdict epistemic (rigorist)

- **Status D5 (ca experiment efectuat):** „neefectuat / nedocumentat public” (în literatura academică mainstream accesibilă). ²³
- **Status D5 (ca ipoteză testabilă):** testabilă experimental, dar cu predicție standard de „nul” (nicio schimbare în marginal). ⁴¹

Recomandări pentru testarea experimentală directă a D5

Măsurarea „corectă” pentru a testa D5 fără ambiguitate

Un test minimal trebuie să compare **marginalele lui Bob**:

- 1) Alice în modul „which-path”: detectează signal în D3/D4 (sau echivalent, o măsurare care distinge căile).
- 2) Alice în modul „D5 eraser”: recombina căile și detectează la D5 într-un mod care, conform autorului, „șterge” informația.

Bob măsoară $p(x)$ pe D0 în **single counts** (fără să condiționeze pe mesaje de la Alice). Apoi se compară statistic două seturi de distribuții: - D5 prezice: apariție/dispariție de franje (vizibilitate $V > 0$ într-un caz, $V \approx 0$ în celălalt). - QM standard prezice: **aceeași** distribuție marginală (diferență compatibilă cu zgomotul statistic și sistematic). ⁴²

Aparatul necesar

- Sursă SPDC stabilă + filtrare spectrală/space-mode (standard în multe setări quantum optics). ⁴³
- Brațul lui Alice: interferometru/recombiner cu control de fază (stabilitate de fază mai bună decât o fracțiune din 2π pe durata acumulării) și două configurații comutabile (D5 vs D3/D4). ¹³
- Brațul lui Bob: detector pozițional (scanare sau cameră sensibilă) pentru a reconstrui distribuția $p(x)$.
- Time-tagging pentru audit post-hoc (chiar dacă testul principal este pe marginal, time-tagging ajută să demonstrezi că nu ai introdus selecție). În experimente sofisticate, se folosesc dispozitive separate de time-tagging și reconstruirea coincidențelor „mult după” experiment. ⁴⁴

Parametri critici de control

- **Faza interferometrică pe brațul lui Alice:** D5 se bazează pe presupunerea că fazele relevante sunt „aproape constante” în spotul D5; în practică, driftul termic/mecanic poate „spăla” orice efect aparent. ¹³
- **Acceptanța detectorului D5:** dacă D5 selectează doar o sub-multime (de exemplu, cuplare într-o fibră single-mode), atunci testul riscă să devină o post-selecție mascată; trebuie demonstrat că Bob nu condiționează și că diferențele nu provin din bias de selecție.

- **Excluderea canalelor clasice:** dacă se urmărește chiar și o revendicare de tip „FTL”, separarea spațiu-like și alegeri rapide (QRNG + EOM) sunt standardul experimental pentru a exclude semnale luminale/subluminale, cum s-a făcut în quantum eraser sub Einstein locality. ⁴⁵

Semnătura așteptată și cum o cuantifici

- Se potrivește distribuția lui Bob la un model:

$$p(x) = p_{\text{env}}(x) [1 + V \cos(kx + \varphi)],$$

unde V este vizibilitatea. Se raportează V (și intervale de încredere) pentru cele două setări ale lui Alice.

- Dacă $V_{D5} - V_{D3/D4}$ este compatibil cu zero în limitele erorilor, rezultatul pune o **limită superioară** pe orice semnal de tip D5.

Fezabilitate și dificultăți tehnice

Fezabilitatea experimentală pentru un test „curat” este **moderată spre dificilă**, depinzând de nivelul de rigurozitate dorit:

- Un test de masă (în același laborator) este relativ accesibil în optică cu fotoni entanglați.
- Un test „fără scăpări” (no-loopholes) pentru excluziunea semnalelor clasice cere infrastructură tip Ma et al.: laboratoare separate, întârzieri pe fibră, comutare rapidă, sincronizări. Acest tip de engineering este demonstrat ca realizabil (inclusiv link de ordinul 144 km în acel program). ⁸

Ca ordin de mărime pentru rate: în experimentul din Viena raportat de Ma et al., sunt menționate rate de ordinul „coincidence rate ~5 kHz” și „single count rate ~50 kHz” (pentru un anumit regim de pompare și colectare), ceea ce sugerează că acumularea statistică pentru a limita V este fezabilă în timp rezonabil (minute-ore), **dar** stabilitatea de fază rămâne problema principală. ⁴⁶

Timeline (Mermaid) al publicațiilor și „încercărilor” relevante

```

timeline
  title Evoluția quantum eraser/DCQE și apariția propunerii D5
  1982 : Propunerea "quantum eraser" (Scully-Drühl)
  2000 : DCQE optic demonstrat (Kim et al., PRL)
  2002 : Double-slit quantum eraser (Walborn et al., PRA)
  2007 : Random delayed-choice eraser (Scarcelli et al., EPJD)
  2013 : Quantum eraser cu alegere causal deconectată / Einstein locality (Ma et al., arXiv/PNAS)
  2021 : Propunerea online D5/path-combination (Lee Wen Wu, GitHub)
  2026 : Nu apare raport public de test experimental D5

```

Evenimentele din timeline sunt susținute de sursele primare: propunerea din 1982, experimentele din 2000/2002/2007, experimentul sub Einstein locality (2013) și pagina online (2021). ⁴⁷

- 2 3 8 32 44 45 46 <https://arxiv.org/pdf/1206.6578>
<https://arxiv.org/pdf/1206.6578>
- 4 14 15 25 <https://github.com/StevenLeeWW/Faster-than-light/blob/main/superluminal.pdf>
<https://github.com/StevenLeeWW/Faster-than-light/blob/main/superluminal.pdf>
- 5 6 30 35 47 [Quantum eraser: A proposed photon correlation experiment ...](#)
https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevA.25.2208?utm_source=chatgpt.com
- 9 39 41 <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02817189>
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02817189>
- 10 [GitHub - StevenLeeWW/Faster-than-light: A possible method for faster-than-light communication · GitHub](#)
<https://github.com/StevenLeeWW/Faster-than-light>
- 16 28 [A Delayed Choice Quantum Eraser](#)
https://arxiv.org/abs/quant-ph/9903047?utm_source=chatgpt.com
- 17 21 24 43 [Delayed "Choice" Quantum Eraser | Phys. Rev. Lett.](#)
https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.84.1?utm_source=chatgpt.com
- 18 [Quantum eraser: A proposed photon correlation ...](#)
https://inspirehep.net/literature/2733422?utm_source=chatgpt.com
- 19 <https://cds.cern.ch/record/1019984/files/rev2007.pdf>
<https://cds.cern.ch/record/1019984/files/rev2007.pdf>
- 20 https://physics.fjfi.cvut.cz/publications/mf/2010/bac_thesis_safranek.pdf
https://physics.fjfi.cvut.cz/publications/mf/2010/bac_thesis_safranek.pdf
- 22 <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0512207>
<https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0512207>
- 26 [Double-slit quantum eraser | Phys. Rev. A - APS Journals](#)
https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevA.65.033818?utm_source=chatgpt.com
- 29 <https://link.springer.com/article/10.1140/epjd/e2007-00164-y>
<https://link.springer.com/article/10.1140/epjd/e2007-00164-y>
- 36 42 https://en.wikipedia.org/wiki/No-communication_theorem
https://en.wikipedia.org/wiki/No-communication_theorem
- 37 <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1990PhLA..143....1G/abstract>
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1990PhLA..143....1G/abstract>
- 40 <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3461295>
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3461295>