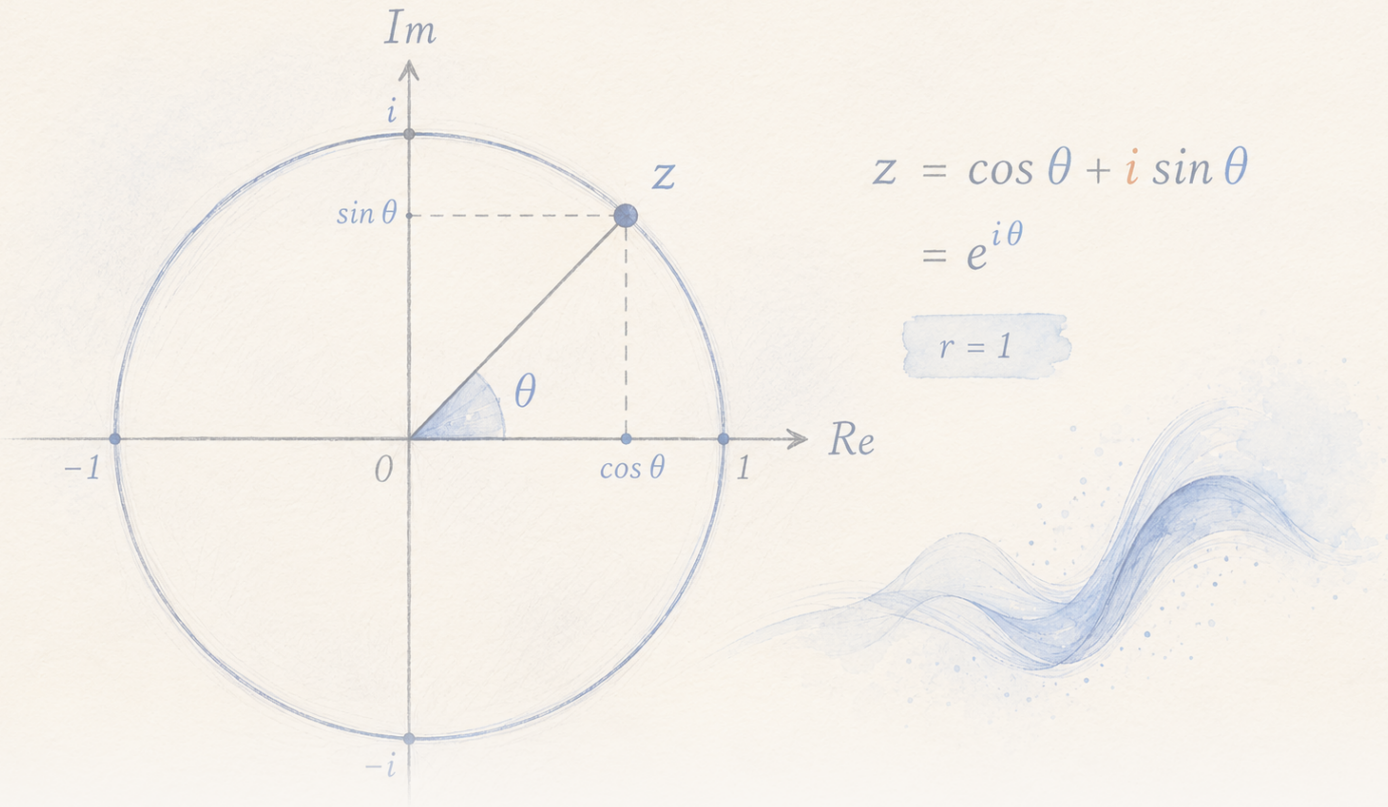


The Clean Paper

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

Quantum mechanics real numbers দিয়েও লেখা যায় — আগের experiments যে theory বাদ দিয়েছিল সেটা ছিল আরও নির্দিষ্ট

2021–22 experiments standard real-Hilbert-space theory with ordinary composition rule-কে disfavor করেছিল। নতুন theoretical work দেখায় modified composition rule ব্যবহার করলে real-number formulation complex quantum mechanics-এর observable prediction recover করতে পারে। Experiments ভুল ছিল না; "real numbers impossible" interpretation-টাই অতিরিক্ত broad ছিল।

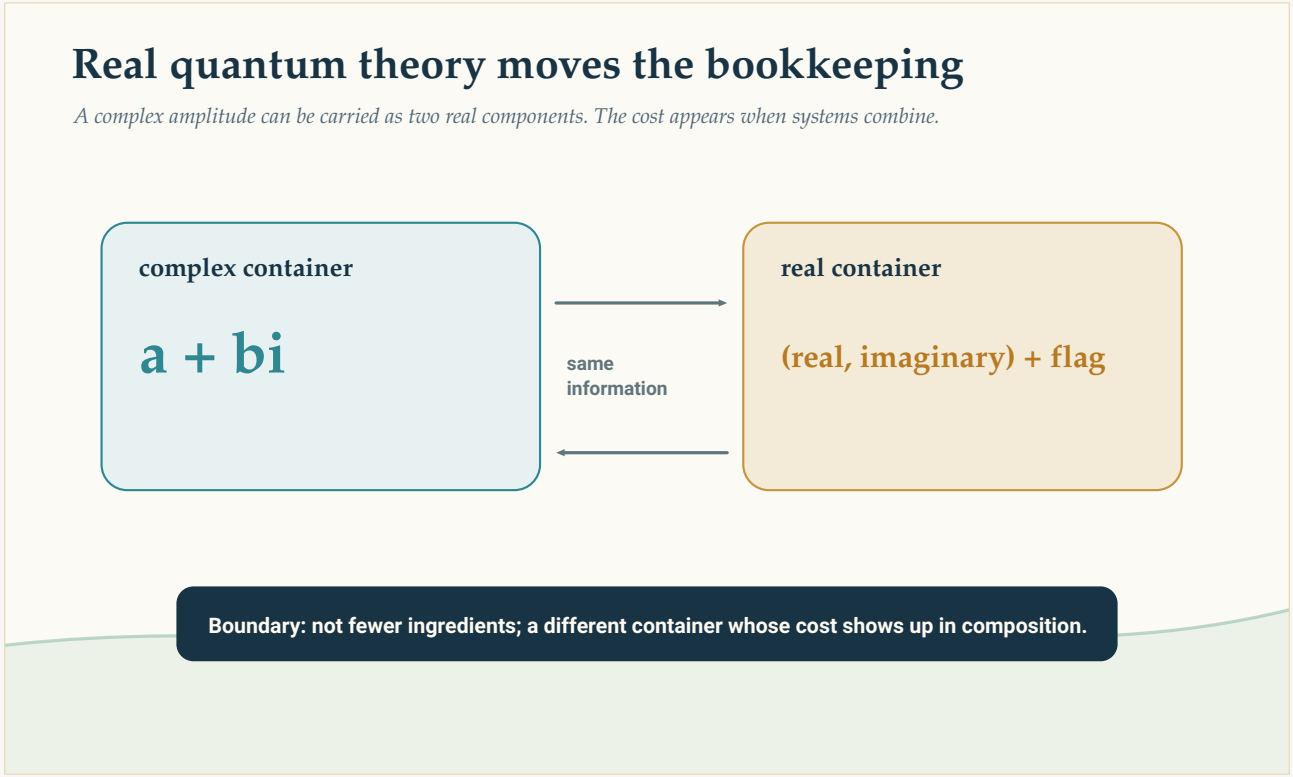
Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Quantum Mechanics Based on Real Numbers: A Consistent Description*, Pedro Barrios Hita, Anton Trushechkin, Hermann Kampermann, Michael Epping, Dagmar Bruss, Physical Review Letters · DOI: 10.1103/4k13-sdjh

একটি শিরোনাম যা দ্বিতীয়বার পড়া দরকার

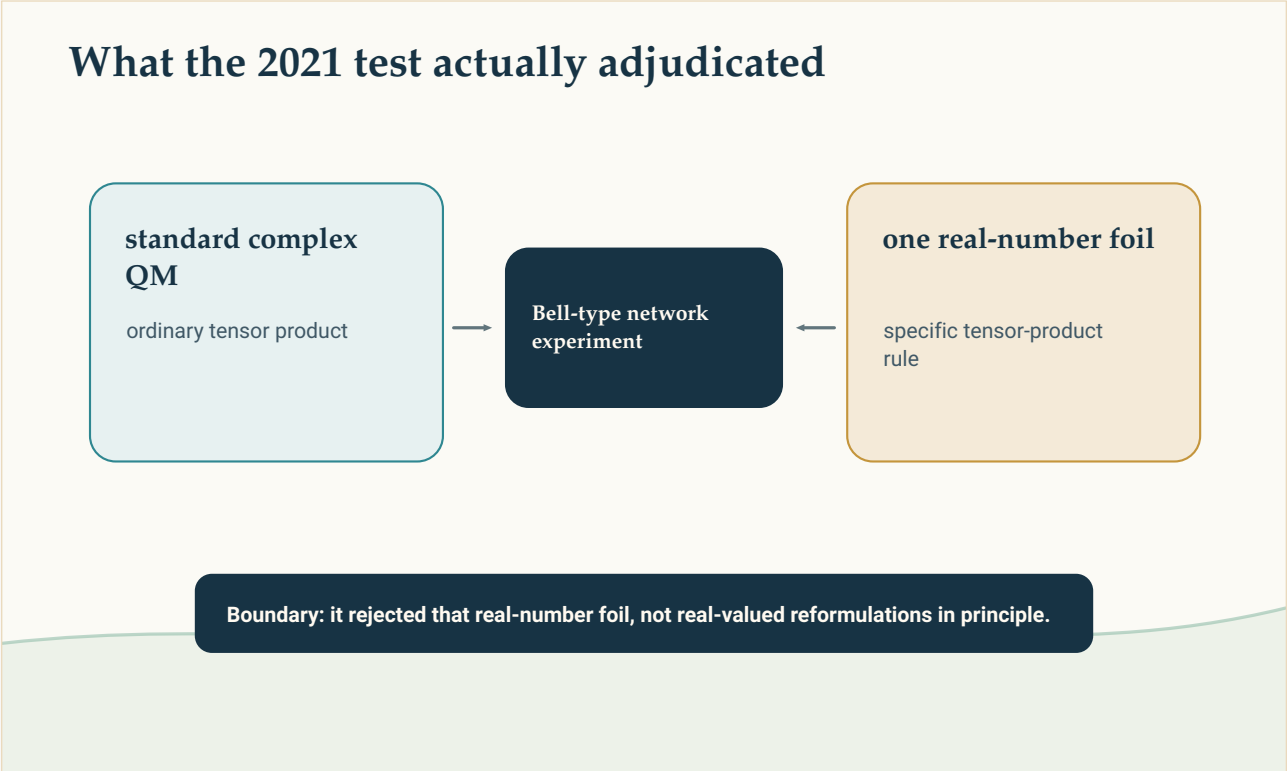
কোয়ান্টাম বলবিদ্যায় জটিল সংখ্যা—যেখানে পরিচিত বাস্তব সংখ্যার সঙ্গে imaginary একক i থাকে—পাঠ্যপুস্তক ফরমালিজমের একেবারে কেন্দ্রে। 2021–22 সালের কিছু Bell-ধরনের পরীক্ষাকে তাই "কোয়ান্টাম বলবিদ্যা প্রয়োজন জটিল সংখ্যাগুলো" হিসেবে প্রচার করা হয়েছিল। নতুন গবেষণাপত্র সেই শিরোনাম-টিকে সূক্ষ্মভাবে ঠিক করে।

আগের পরীক্ষা ভুল ছিল না। তারা একটি **নির্দিষ্ট বাস্তব-সংখ্যা কোয়ান্টাম তত্ত্ব** বাদ দিয়েছিল—যেখানে সাধারণ টেনসর-উৎপাদ নিয়ম দিয়ে আলাদা ব্যবস্থা compose করা হয়। নতুন কাজ দেখায়, বাস্তব সংখ্যাগুলো রেখেও যদি **গঠন নিয়ম বদলানো হয়**, জটিল কোয়ান্টাম তত্ত্বের পর্যবেক্ষণযোগ্য পূর্বাভাস পুনরুদ্ধার করা যায়।



জটিল কোয়ান্টাম বলবিদ্যা ও নতুন বাস্তব ফরমুলেশন একই পর্যবেক্ষণযোগ্য পূর্বাভাস রাখতে পারে, কিন্তু তথ্য হিসাবরক্ষণ এবং সমন্বিত-ব্যবস্থা নিয়ম এক নয়।

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0



2021–22 পরীক্ষা একটি নির্দিষ্ট বাস্তব-হিলবার্ট-মহাকাশ তত্ত্ব সঙ্গে মানক গঠন নিয়মকে পরীক্ষা করেছিল। ফল "সব সম্ভব বাস্তব-সংখ্যা ফরমুলেশন" বাদ দেয়নি।

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

জটিল সংখ্যা তত্ত্বে কী করছে

কোয়ান্টাম অবস্থা সাধারণত জটিল হিলবার্ট মহাকাশে ভেক্টর হিসেবে লেখা হয়। ধাপ ও ব্যতিচারের জন্য জটিল amplitude অত্যন্ত স্বাভাবিক এবং সংক্ষিপ্ত ভাষা দেয়। প্রশ্ন হলো: *জটিল সংখ্যাগুলো কি প্রকৃতির অপরিহার্য উপাদান, নাকি একই পদার্থবিদ্যা অন্য গাণিতিক হিসাবরক্ষণে লেখা যায়?*

একটি বিচ্ছিন্ন কোয়ান্টাম ব্যবস্থার জন্য জটিল তত্ত্বকে বাস্তব রূপে rewrite করা অনেক আগে থেকেই সম্ভব। কঠিন অংশ হলো **একাধিক স্বাধীন ব্যবস্থা কীভাবে compose হয়**। মানক বাস্তব তত্ত্বে সাধারণ টেনসর উৎপাদ ব্যবহার করলে জটিল তত্ত্বের কিছু সহসম্পর্ক হারিয়ে যায়।

2021 ফল আসলে কী দেখিয়েছিল

নেটওয়ার্ক/Bell-ধরনের পরীক্ষা এমন সহসম্পর্ক পরীক্ষা করেছিল যা মানক জটিল কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পূর্বাভাস দেয়, কিন্তু **বাস্তব হিলবার্ট মহাকাশ + মানক টেনসর-উৎপাদ গঠন** পুনরুৎপাদন করতে পারে না। তথ্য জটিল পূর্বাভাসের সঙ্গে মেলে এবং ওই বাস্তব পাত তত্ত্বকে শক্তভাবে disfavor করে।

কেন পরীক্ষায় দুইটি উৎস দরকার, একটি নয়

একটি একক ব্যবস্থা বা সাধারণ দ্বিপক্ষীয় Bell পরীক্ষায় জটিল amplitude-কে প্রায়ই বড় একটি বাস্তব-সংখ্যাভিত্তিক উপস্থাপনে সংকোচন করা যায়। পার্থক্যটি তীক্ষ্ণ হয় যখন নেটওয়ার্ককে স্বাধীন উৎস থাকে এবং উপব্যবস্থাগুলো কীভাবে একত্র হবে সেই নিয়মটিই ভেতো অনুমানে পরিণত হয়। তাই পরীক্ষার শক্তি শুধু "বাস্তব বনাম জটিল সংখ্যা" কথায় নয়; স্বাধীন উপব্যবস্থা কীভাবে গঠিত হয় সেই কাঠামোতে।

নতুন গবেষণাপত্র কী বদলায়

নতুন কাঠামো বাস্তব হিলবার্ট মহাকাশ রাখে, কিন্তু সমন্বিত ব্যবস্থার কাঠামোতে অতিরিক্ত হিসাবরক্ষণ যোগ করে। অন্তর্দৃষ্টি হলো: জটিল ধাপের কাজকে স্থানীয় অবস্থার "imaginary লক্ষ্যবিন্দু" হিসেবে না রেখে ব্যবস্থা গঠনে একটি যৌথ কাঠামোগত সীমাবদ্ধতা হিসেবে সংকোচন করা যায়।

এই পরিবর্তন composition rule-এ তত্ত্বটি জটিল কোয়ান্টাম বলবিদ্যার পূর্বাভাস পুনরুৎপাদন করতে পারে—সেই network correlation-সহ, যেখানে standard real-number theory ব্যর্থ হয়েছিল। তাই পরীক্ষার উপসংহার আরও সংকীর্ণ: **মানক বাস্তব-সংখ্যাভিত্তিক তত্ত্ব বাদ পড়ে; কিন্তু নীতিগতভাবে বাস্তব সংখ্যা ব্যবহার করাই বাদ পড়ে না।**

এটি বিরোধ নয় কেন

একটি পরীক্ষা সম্ভাব্য সব গাণিতিক পুনর্গঠন পরীক্ষা করে না; নির্দিষ্ট কিছু স্বতঃসিদ্ধ-সহ একটি তত্ত্ব পরীক্ষা করে। 2021–22 সালের বাস্তব-সংখ্যাভিত্তিক তত্ত্বে গঠন সম্পর্কে একটি বিশেষ অনুমান ছিল। নতুন তত্ত্ব সেই অনুমান বদলায়। তাই নতুন ফল আগের তথ্যকে "বাতিল" করে না; বরং আগের পরীক্ষা ঠিক কোন অনুমানটি যাচাই করেছিল তা স্পষ্ট করে।

এটি পদার্থবিদ্যায় পরিচিত ধরন: একই প্রায়োগিক বিষয়বস্তু ভিন্ন গাণিতিক ভাষায় লেখা যায়, কিন্তু সমতুল্যতা বজায় রাখতে কাঠামো অন্য কোথাও দিতে হয়। জটিল সংখ্যা সরিয়ে দিলে জটিলতা অদৃশ্য হয় না—অন্য জায়গায় চলে যায়।

এটি কী প্রমাণ করে না

- জটিল সংখ্যাগুলো "ভুল" বা "অপ্রয়োজনীয়"—এটি দেখায় না। তারা এখনও কোয়ান্টাম তত্ত্বের সবচেয়ে স্বাভাবিক ও দক্ষ ভাষা হতে পারে।
- 2021–22 পরীক্ষা ভুল ছিল—না। তারা লক্ষ্য তত্ত্ব-টিই সফলভাবে পরীক্ষা করেছিল।
- Reality "আসলে বাস্তব সংখ্যাগুলো দিয়ে তৈরি"—এমন metaphysical দাবি নয়।
- নতুন ফরমুলেশন পরীক্ষামূলক পূর্বাভাস বদলায় না; এটি মূলত ভিত্তিগত/সমতুল্যতা প্রশ্ন।
- গাণিতিক সমতুল্যতা মানে সব ব্যাখ্যা সমান elegant বা ভৌতভাবে explanatory—এটিও নয়।

কেন এটি গুরুত্বপূর্ণ

Foundational experiment-এর ফল শিরোনামে প্রায়ই পরীক্ষিত axiom-এর চেয়ে বড় হয়ে যায়। “প্রকৃতির জটিল সংখ্যা দরকার”—এটি আকর্ষণীয় shorthand ছিল, কিন্তু আসল ফল নির্ভর করছিল subsystem কীভাবে একত্র করা হবে সেই নিয়মের ওপর। নতুন গবেষণাটি দেখায়, কোনো গাণিতিক কাঠামোকে “অপরিহার্য” বলার আগে ঠিক কোন structural assumption পরীক্ষা করা হয়েছে তা খুব সাবধানে বলা দরকার।

এটি জটিল সংখ্যার গুরুত্ব কমায় না। বরং কোয়ান্টাম তত্ত্বের একটি গভীর শিক্ষা দেখায়: **অবস্থা মহাকাশ আর গঠন নিয়ম একসঙ্গে তত্ত্ব তৈরি করে।** একটিকে বদলে অন্যটিকে স্থির ধরে রাখলে “আবশ্যকতা” দাবি অতিরিক্ত বিস্তৃত হতে পারে।

সংক্ষিপ্ত সারাংশ

আগের নেটওয়ার্ক পরীক্ষা মানক বাস্তব-হিলবার্ট-মহাকাশ কোয়ান্টাম বলবিদ্যা সঙ্গে সাধারণ টেনসর-উৎপাদ গঠনকে শক্তভাবে disfavor করেছিল এবং জটিল কোয়ান্টাম পূর্বাভাস সমর্থন করেছিল। নতুন তাত্ত্বিক কাজ দেখায়, বাস্তব সংখ্যাগুলো রেখেও যদি সমন্বিত-ব্যবস্থা নিয়ম বদলানো হয়, জটিল তত্ত্বের পর্যবেক্ষণযোগ্য পূর্বাভাস পুনরুদ্ধার করা যায়। তাই পরীক্ষাগুলো ভুল নয়; তারা একটি নির্দিষ্ট বাস্তব পাত তত্ত্ব বাদ দিয়েছিল, বাস্তব সংখ্যাগুলোকে নীতি হিসেবে নয়।

বাড়াবাড়ি ছাড়া যাচাই

গবেষণা যা দেখায়: পরিবর্তিত গঠন নিয়ম-সহ বাস্তব-সংখ্যা ফরমুলেশন জটিল কোয়ান্টাম বলবিদ্যার প্রায়োগিক পূর্বাভাস পুনরুত্পাদন করতে পারে।

যা সম্ভাব্য: জটিল কাঠামো গাণিতিক হিসাবরক্ষণ হিসেবে অন্যভাবে সংকেতায়িত করা যায়; ভিত্তিগত “আবশ্যকতা” দাবি ফরমুলেশন-নির্ভরশীল।

যা দেখায় না: জটিল সংখ্যা পদার্থবিদ্যায় অপ্রয়োজনীয়, আগের পরীক্ষাগুলো অবৈধ, অথবা বাস্তবতা কোনো দার্শনিক অর্থে “শুধু বাস্তব সংখ্যা” দিয়ে গঠিত—এর কোনোটিই নয়।

মূল সীমাবদ্ধতা: এটি তাত্ত্বিক সমতুল্যতা/স্বতঃসিদ্ধ গবেষণা; নতুন পরিমাপযোগ্য বিচ্যুতি প্রস্তাব করে না।

আস্থা: গাণিতিক ফলে উচ্চ; কোন ফরমালিজম “আরও মৌলিক” সে philosophical ব্যাখ্যায় কম।

উৎস

P. Barrios Hita, A. Trushechkin, H. Kampermann, M. Epping and D. Bruss, Physical Review Letters 136, 240202 (2026), DOI 10.1103/4k13-sdjh
https://doi.org/10.1103/4k13-sdjh