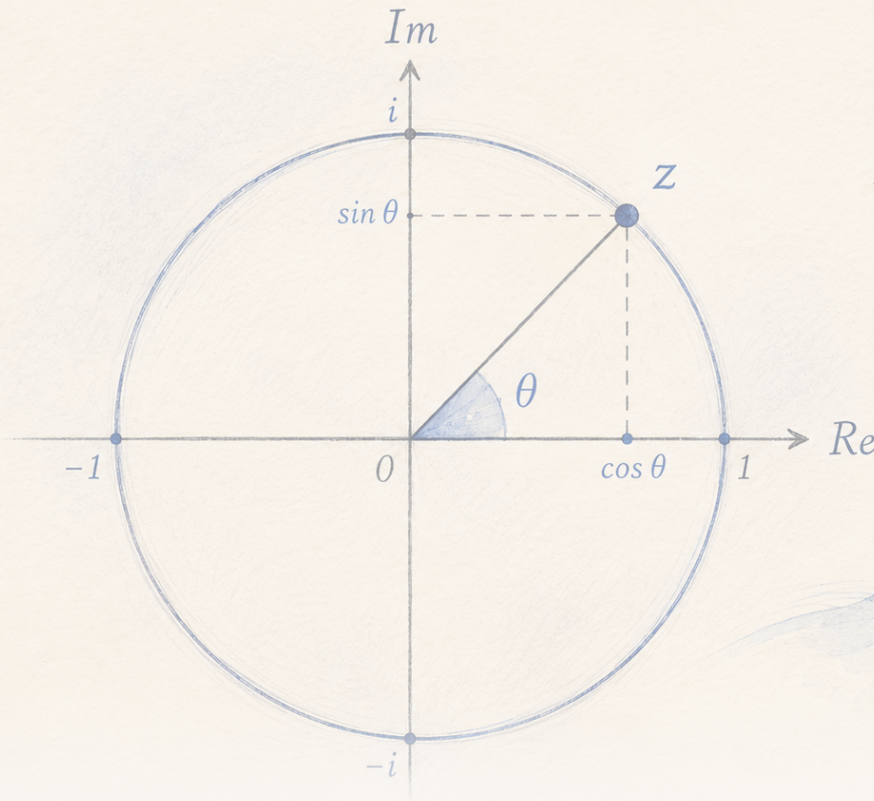




The CLEAN PAPER

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

ایک سرخی جسے دوبارہ پڑھنا چاہیے

2021 proposal اور 2022 تجربات نے دکھایا کہ نظام ملانا کرنے کے معیاری *tensor-product* فاعدہ پر *built* حقیقی-عدد کوانٹم میکینکس، کمپلیکس کوانٹم میکینکس سے مختلف *predictions testable* دیتی ہے، اور تجربات کمپلیکس نظریہ کے حق میں گئے۔ اسے *widely* اس ثبوت کے طور پر رپورٹ کیا گیا کہ *imaginary* اعداد *necessary physically* ہیں۔ نیا *طبیعی جائزہ *Letters** مقالہ مختلف، *postulate locality-based* پر حقیقی-عدد کوانٹم میکینکس *construct* کرتا ہے جو کمپلیکس نظریہ کی تمام *multipartite predictions* ٹیسٹ سمیت، افزائش کرنا کرتی ہے۔ اس سے معلوم ہوتا ہے کہ کمپلیکس اعداد *convenient* ہیں، *necessary strictly* نہیں۔ یہ نظری ساخت ہے، *earlier* تجربات *overturn* نہیں کرتا، اور عملی کوانٹم میکینکس کو حقیقی *formulation* میں *rewrite* کرنے کی *call* نہیں۔

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: 1103/4k13-sdjh.10

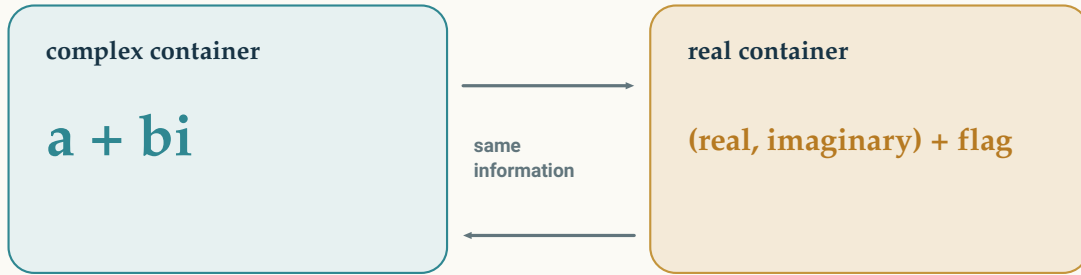
ایک سرخی جسے دوبارہ پڑھنا چاہیے

کچھ سال پہلے ایک striking دعویٰ بہت پھیلا: تجربات نے دکھا دیا کہ imaginary اعداد طبعی طور پر حقیقی ہیں، اور کوانٹم میکینکس ان کے بغیر لکھی ہی نہیں جا سکتی۔ دعویٰ، genuine محتاط طبیعیات سے نکلا تھا—Renou Marc-Olivier اور ساتھیوں کا 2021 کا تجویز نیچر میں، اور 2022 کے تجربات جنہوں نے اسے implement کیا۔ مگر popular ورژن نے درست بیان کو slogan میں compress کر دیا، اور slogan نتیجہ سے زیادہ مضبوط تھا۔

Bruß Dagmar اور Epping Michael Kampermann، Hermann Trushechkin، Anton Hita، Barrios Pedro کا ایک نیا طبعی جائزہ حروف مقالہ درست بیان واپس رکھتا ہے۔ وہ کوانٹم میکینکس کی ایسی ترکیب بناتے ہیں جو صرف حقیقی اعداد استعمال کرتی ہے اور معیاری کمپلیکس نظریہ کی ہر پیش گوئی افزائش کرتی ہے—ان multipartite تجربات سمیت جنہیں حقیقی اعداد قاعدہ out کرنے والا سمجھا گیا تھا۔ چال imaginary اعداد کو چھپ کر واپس لانا نہیں۔ چال یہ ہے کہ الگ نظام ملانا کرنے کے بارے میں ایک مفروضہ بدلی جائے۔ مصنفین کے اپنے الفاظ میں دیانت دار نتیجہ یہ ہے کہ کمپلیکس اعداد کوانٹم میکینکس describe کرنے کے لیے necessary نہیں، مگر یقیناً بہت مفید ہیں۔

Real quantum theory moves the bookkeeping

A complex amplitude can be carried as two real components. The cost appears when systems combine.



Boundary: not fewer ingredients; a different container whose cost shows up in composition.

کمپلیکس $a+bi$ amplitude کو دو حقیقی اعداد کے جوڑا کے طور پر دیکھا جا سکتا ہے، ساتھ ایک "نشان" جو ہر نظام کے ساتھ لے جاتا ہے۔ ہوتا ہے۔ حقیقی ترکیب میں ingredients کم نہیں ہوتے؛ container بدلتا ہے، اور قیمت نظام ملانا کرنے کے قاعدہ میں ظاہر ہوتی ہے۔

Original diagram — The Clean Paper CC BY 0.4

What the 2021 test actually adjudicated



2021-22 تجربات نے دو مخصوص نظریات موازنہ کیا۔ معیاری کمپلیکس کوانٹم میکینکس اور ایک حقیقی "متبادل سادہ نظریہ" جو ٹینسر-حاصل قاعدہ برقرار رکھتی ہے۔ اور ڈیٹا کمپلیکس نظریہ کے حق میں گیا۔ تجربات نے وہ متبادل سادہ نظریہ قاعدہ out کی، حقیقی اعداد اصولی طور پر کو نہیں۔

Original diagram — The Clean Paper CC BY 0.4

نظریہ میں کمپلیکس اعداد کیا کر رہے ہیں

کوانٹم میکینکس میں نظام کی حالت amplitudes سے describe ہوتی ہے، اور نتیجہ کی احتمال amplitude کے squared حجم سے ملتی ہے۔ معیاری نظریہ میں amplitudes کمپلیکس اعداد ہیں: ہر ایک قد اور فیز—یعنی رکھتا—angle ہے۔ فیز decoration نہیں۔ جب ایک ہی نتیجہ تک دو راستے ملانا ہوتے ہیں تو ان کے phases فیصلہ کرتے ہیں کہ وہ reinforce کریں گے یا یہی—cancel کوانٹم مداخلت ہے۔ دوسری طرف مکمل نظام کی مشترک مجموعی فیز قابل پیمائش نہیں ہوتی۔

کمپلیکس عدد بنیادی طور پر دو حقیقی اعداد کا جوڑا ہے۔ حقیقی حصہ اور imaginary حصہ—مگر خاص multiplication قواعد کے ساتھ۔ bundled۔ قدرتی سوال یہ ہے کہ essential bundling ہے یا نہیں۔ کیا دو حقیقی اعداد رکھ کر کمپلیکس packaging drop کی جا سکتی ہے اور پھر بھی پوری کوانٹم میکینکس مل سکتی ہے؟ multiplication قواعد ہی کمپلیکس اعداد کو دو اعداد جانب-by-جانب سے زیادہ بناتے ہیں، اس لیے جواب واضح نہیں—اور subtlety یہی ہے۔

2021 نتیجہ نے حقیقتاً کیا ثابت کیا

Renou اور colleagues نے یہی سوال testable sharp شکل میں پوچھا۔ انہوں نے یہ نہیں پوچھا کہ حقیقی اعداد کوانٹم نظریہ میں کہیں استعمال ہو سکتے ہیں یا نہیں؛ انہوں نے پوچھا کہ آیا حقیقی-عدد ترکیب کمپلیکس نظریہ کی تمام پیش گوئیاں مطابقت کر سکتی ہے، نظام ملانا کرنے کے ایک particular قاعدہ کے تحت۔ اس قاعدہ کو ٹینسر-حاصل قاعدہ کہیں—یہ آزاد حصے کو ایک مکمل نظام کے طور پر describe کرنے کا معیاری prescription ہے۔

اس قاعدہ کے تحت انہوں نے ایسا منظر نامہ نکالا جس میں تین parties دو آزاد مآخذ سے کوانٹم الجھاؤ حصہ کرتی ہیں، اور حقیقی-عدد نظریہ اور کمپلیکس نظریہ مختلف قابل پیمائش باہمی تعلقات پیش گوئی کرتی ہیں—Bell ٹیسٹ کی multipartite شکل۔ 2022 میں circuits superconducting اور فوٹونز کے تجربات نے یہ ٹیسٹ کیے۔ ناپا گیا باہمی تعلقات کمپلیکس کوانٹم میکینکس سے مطابقت ہوئیں اور حقیقی متبادل کے ساتھ inconsistent نہیں۔

ٹیسٹ کے لیے ایک مآخذ کے بجائے دو sources کیوں ضروری ہیں

حقیقی-عدد میں آپ سیٹ اس ہے۔ بھیجتا کو Bob اور Alice جوڑا entangled ایک مآخذ ایک میں ٹیسٹ Bell کا معمول ہیں، رہتی indistinguishable ہے—دونوں سکتی کر افزائش exactly تعلقات باہمی جیسی نظریہ کمپلیکس میکینکس کوانٹم سکا۔ کر نہیں فیصلہ مآخذ واحد لیے اس

2021 دلیل دوسری، آزاد مآخذ شامل کر کے فرق پیدا کرتا ہے۔ تین parties لائن میں تصور کریں: Charlie، Bob، Alice، ایک مآخذ Alice-Bob entangle کرتا ہے؛ الگ مآخذ، مشترک past کے بغیر، entangle Bob-Charlie کرتا ہے۔ Bob درمیان میں اپنے دونوں ذرات jointly پیمائش کرتا ہے، دونوں حصوں link ہو جاتی ہیں۔ دو مآخذ کی آزادی—یہ مفروضہ کہ وہ الگ سے prepared ہیں—اصل کام کرتی ہے: معیاری ٹینسر-حاصل قاعدہ کے تحت حقیقی-عدد نظریہ وہ three-way باہمی تعلقات مطابقت نہیں کر سکتی جو کمپلیکس کوانٹم میکینکس نیٹ ورک کے لیے پیش گوئی کرتی ہے، جبکہ واحد-مآخذ ٹیسٹ میں دونوں جوڑا رہتی ہیں۔ تجربات نے اسی خلا کو پیمائش کیا۔

یہ حقیقی اور صاف نتیجہ ہے۔ مگر غور کریں کہ موازنہ کیا گیا: معیاری کمپلیکس کوانٹم نظریہ بمقابلہ ایک مخصوص حقیقی نظریہ—جو معمول کا ٹینسر-حاصل قاعدہ رکھتی ہے۔ تجربات نے حقیقی اعداد such کو نہیں، اسی جوڑ کو adjudicate کیا۔ نیا مقالہ کوانٹم-بنیادیں کی terminology استعمال کرتے ہوئے ruled-out متبادل کو متبادل سادہ نظریہ کہتا ہے—ایسی نظریہ جسے کوئی درست امیدوار کے طور پر تجویز نہیں کرتا بلکہ قبول شدہ نظریہ کے contrast کے لیے جان بوجھ کر بنایا جاتا ہے، تاکہ تجربہ دونوں distinguish کر سکے۔ متبادل سادہ نظریہ قاعدہ out ہونے سے معلوم ہوتا ہے کہ حقیقی نظریہ کی کون سی مفروضے اصل کام کر رہی تھیں۔

نیا مقالے کا بدلتا ہے

نیا کام تقریباً سب کچھ برقرار رکھتا ہے اور ایک postulate بدلتا ہے۔ نظام ملانا کرنے کے لیے ٹینسر-حاصل قاعدہ assume کرنے کے بجائے، یہ مقام شرط سے شروع کرتا ہے جسے مصنفین زیادہ طبعی طور پر fundamental سمجھتے ہیں: کسی ایک subsystem پر کی گئی، untouched operation، دوسرے subsystem پر قابل پیمائش اثر نہ ڈالے۔

اسی نقطہ آغاز سے مصنفین حقیقی اعداد پر مبنی کوانٹم میکانیات بناتے ہیں۔ معمول کے مختلف amplitudes کے حقیقی اور خیالی حصوں کو اضافی حقیقی حسابی معلومات کے طور پر رکھا جاتا ہے — مقالہ اسے ہر نظام کے ساتھ جڑا “شان” کہتا ہے — اور مختلف

نظریے کا غیر مشاہدہ پذیر عالمی فیز، حقیقی نظریے میں اتنا ہی غیر مشاہدہ پذیر rotation بن جاتا ہے۔ اصل قیمت وہیں آتی ہے جہاں 2021 کا نتیجہ مسئلہ دکھاتا تھا: مختلف نظاموں کو آپس میں جوڑنے کے اصول میں۔ حقیقی بیانوں کو سادہ انداز میں چپکا دینا ایک واضح اور مستقل نسخہ نہیں دیتا، اس لیے ساخت ان بیانوں کو ایسے مساوی گروہوں میں رکھتی ہے جو ایک ہی طبیعیات کی نمائندگی کرتے ہیں اور پھر انہی گروہوں کے ساتھ کام کرتی ہے۔ اس جوڑنے کے قاعدے کے ساتھ حقیقی نظریہ مختلط نظریے کی ہر متوقع قدر دوبارہ پیدا کرتا ہے — ایک نظام کے لیے بھی اور دور موجود فریقوں پر مشتمل الجھے ہوئے کثیر جسمی نظام کے لیے بھی۔ مصنفین یہ بھی دکھاتے ہیں کہ یہ ساخت بنیادی طور پر یگانا ہے اور معیاری کوانٹم میکانیات کے مساوی ہے۔

اس لیے multipartite تجربات اس حقیقی نظریہ کو کمپلیکس نظریہ سے distinguish نہیں کر سکتے، کیونکہ پیش گوئیاں یکساں ہیں۔ پہلے تجربات ناکام ہونا نہیں ہوئے؛ وہ بس ایک مختلف، مزید restrictive حقیقی نظریہ کے خلاف ٹیسٹ کر رہے تھے۔

یہ contradiction کیوں نہیں

اسے “2021 تجربات غلط تھے” پڑھنا آسان ہوگا، مگر معاملہ الٹا ہے۔ تجربات درست تھے، اور نیا مقالہ ان کے درست ہونے پر انحصار کرتا ہے: یہ ناپا گیا باہمی تعلقات قبول کرتا ہے اور دکھاتا ہے کہ ایک حقیقی ترکیب بھی وہی باہمی تعلقات پیدا کر سکتی ہے۔ revise تشریح ہوتی ہے۔ “یہ حقیقی نظریہ falsified ہے” سے “حقیقی اعداد کوانٹم میکینکس میں ناممکن ہیں” تک چھلانگ۔ اس چھلانگ نے وہ مفروضہ skip کر دی جو کام کر رہی تھی۔

مقالہ یہ بھی نہیں کہتا کہ کمپلیکس اعداد چھوڑ دینے چاہئیں۔ اس کا خلاصہ دونوں طرف محتاط ہے: کمپلیکس اعداد strictly necessary نہیں، اور بہت مفید ہیں۔ حقیقی ساخت میں ہر نظام پر اضافی نشان اور زیادہ combining delicate قاعدہ چاہیے؛ کمپلیکس اعداد ہی ساخت ایک صاف package arithmetic میں بند کر دیتے ہیں۔ trivial convenience نہیں۔ طبیعیات میں اکثر ریاضیاتی قالب اسی لیے جیتتا ہے۔

یہ کیوں اہم ہے

اصل دلچسپ سوال یہ ہے کہ طبیعی نظریہ میں “necessary” کا مطلب کیا ہے۔ تجربہ دو نظریات کو تب distinguish کر سکتا ہے جب پیش گوئیاں مختلف ہوں۔ تجربہ خود یہ ثابت نہیں کر سکتا کہ کوئی particular ریاضیاتی ingredient پیش گوئیاں کے لیے واحد ممکن container ہے۔ یہ سوال اس بات سے حل ہوتا ہے کہ متبادل نظریات موجود کرتی ہیں یا نہیں، یعنی ساخت سے، پیمائش سے نہیں۔ یہ مقالہ ساخت ہے: وہ متبادل دکھاتا ہے جسے تجربات کے بعد وسیع طور پر خارج کیا سمجھا گیا تھا۔

نتیجہ ایک عمومی distinction بھی sharp کرتا ہے۔ “یہ نظریہ falsified ہے” اور “یہ ریاضیاتی ٹول unavoidable ہے” مختلف statements ہیں۔ انہی کے خلا میں صاف experimental نتیجہ مبالغہ بن سکتا ہے۔ کمپلیکس اعداد کوانٹم میکینکس کی قدرتی اور مؤثر زبان رہتے ہیں۔ کیا وہ required metaphysically ہیں، الگ سوال ہے۔ اور اس سوال پر موجودہ جواب “نہیں” ہے۔

صاف خلاصہ

2021 تجویز اور 2022 تجربات نے دکھایا کہ نظام ملانا کرنے کے معیاری ٹینسر-حاصل قاعدہ پر تیار حقیقی-عدد کوانٹم میکینکس، کمپلیکس کوانٹم میکینکس سے مختلف testable پیش گوئیاں دیتی ہے، اور تجربات کمپلیکس نظریہ کے حق میں گئے۔ اسے widely

اس ثبوت کے طور پر رپورٹ کیا گیا کہ imaginary اعداد طبعی طور پر necessary ہیں۔ نیا طبعی جائزہ حروف مقالہ مختلف، مقام-پر مبنی postulate پر حقیقی-عدد کوانٹم میکینکس construct کرتا ہے جو کمپلیکس نظریہ کی تمام پیش گوئیاں، multipartite ٹیسٹ سمیت، افزائش کرتی ہے۔ اس سے معلوم ہوتا ہے کہ کمپلیکس اعداد convenient ہیں، necessary strictly نہیں۔ یہ نظری ساخت ہے؛ پہلے تجربات overturn نہیں کرتا؛ اور عملی کوانٹم میکینکس کو حقیقی ترکیب میں rewrite کرنے کی آواز نہیں۔

بلا مبالغہ جانچ

مقالے کا دکھانا ہے: صرف حقیقی اعداد استعمال کرنے والی ہم-sefl آہنگ کوانٹم-میکینکس ترکیب معیاری کمپلیکس نظریہ کی ہر پیش گوئی افزائش کر سکتی ہے، multipartite قسم-Bell تجربات سمیت، اگر combining قاعدہ ٹینسر-حاصل postulate کے بجائے مقام postulate سے بنایا جائے۔

کیا قرین قیاس ہے مگر نقطہ نہیں: کہ یہ 2021-2022 نتائج کو "رد کرنا" کرتا ہے۔ نہیں کرتا۔ تجربات درست مانے جاتے ہیں؛ دائرہ reinterpret ہوتا ہے: انہوں نے ٹینسر-حاصل قاعدہ رکھنے والی ایک مخصوص حقیقی نظریہ قاعدہ out کی، حقیقی اعداد اصولی طور پر نہیں۔

کیا نہیں دکھاتا: کمپلیکس اعداد غلط، useless یا عملی طور پر چھوڑنے کے قابل ہیں۔ مقالہ واضح طور پر انہیں بہت مفید کہتا ہے۔ یہ نیا تجربہ بھی نہیں؛ کوئی ڈیٹا پیمائش نہیں ہوا—دعویٰ ریاضیاتی ساخت اور consistency ثبوت ہے۔

عام reader کے لیے اہم: limitation دلیل اس پر موڑ کرتا ہے کہ کون سی مفروضہ زیادہ طبعی طور پر fundamental سمجھی جائے—ٹینسر-حاصل قاعدہ یا مقام postulate۔ بنیادیں بحث میں reasoned انتخاب ہے، پیمائش سے مقرر حقیقت نہیں؛ اور حقیقی ساخت arguably کمپلیکس ترکیب سے کم قدرتی ہے۔

کتنا اعتماد؟ بلند کہ ہم مرتبہ جائزہ شدہ ساخت ریاضیاتی طور پر ہم آہنگ ہے۔ trust کرنے والا محدود اہم نکتہ یہ ہے: کمپلیکس اعداد کوانٹم میکینکس کی convenient زبان ہیں، ثابت شدہ metaphysical necessity نہیں۔ imaginary اعداد are حقیقی "قسم کی سرخی کو slogan سمجھیں، حتمی سائنسی بیان نہیں۔

ماخذ

240202 ,136 Letters Review Physical Bruss, D. and Epping M. Kampermann, H. Trushechkin, A. Hita, Barrios P. 1103/4k13-sdjh.10 DOI, (2026)
https://doi.org/10.1103/4k13-sdjh