УДК 681.12

Н.В. Сколодчук
В.В. Мартинюк

Квантова заплутаність та її практичне застосування

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто фізичну природу явища квантової заплутаності як одного з ключових проявів квантової механіки. Зібрано та проаналізовано можливі сфери використання, обговорено значення явища для розвитку квантових технологій та фундаментальних уявлень про локальність і причинність.

Ключові слова: *квантова заплутаність, квантова механіка, хвильова функція, нерівності Белла, квантові кореляції, суперпозиція.*

Abstract

The paper examines the physical nature of the phenomenon of quantum entanglement as one of the key manifestations of quantum mechanics. Possible areas of application are collected and analyzed. The significance of the phenomenon for the development of quantum technologies and fundamental ideas about locality and causality are discussed..

Keywords: *quantum entanglement, quantum mechanics, wave function, Bell inequalities, quantum correlations, superposition*

Вступ

Квантова заплутаність — одне з найфундаментальніших і водночас найпарадоксальніших явищ сучасної фізики, передбачене формалізмом квантової механіки у працях Альберт Ейнштейн, Борис Подольський та Натан Розен у відомому парадоксі EPR. Її визначення описується так: Квантова заплутаність — квантовомеханічне явище, при якому квантовий стан двох або більшої кількості об'єктів повинен описуватися у взаємозв'язку один з одним, навіть якщо окремі об'єкти рознесені в просторі. Сенс слова «заплутаність» полягає у збереженні зв'язку навіть після складної історії руху квантової частинки. Тож за наявності зв'язку між двома частинками в клубку фізичної системи, «смикнувши» одну частинку, можна визначити стан іншої. Тобто простішими словами, 2 частинки якщо вони *"сплутані"* і знаходяться в різних куточках всесвіту, моментально без затримок у часі, можуть змінювати свій стан відносно одна одної. Що відкриває великі можливості для використання в майбутніх технологіях.

Результати дослідження

Принципи квантової механіки стверджують, що однакові квантові частинки неможливо жодним чином розрізнити чи навіть індексувати. Ці принципи вимагають від хвильових функцій квантовомеханічних систем повної симетричності або антисиметричності щодо перестановки частинок. Крім того, в квантовій механіці справедливий принцип суперпозиції: існування станів із невизначеними характеристиками. Спільна дія цих двох принципів призводить до сплутування квантових станів.

Теорія квантової механіки забороняє передачу інформації з надсвітловою швидкістю. Це пояснюється принципово ймовірнісним характером вимірювань і теоремою про заборону клонування. Уявімо рознесених у просторі спостерігачів А і Б, у яких є по примірнику квантово-заплутаних ящиків з котами Шредінгера, що знаходяться в суперпозиції «живий-мертвий». Якщо в момент t1 спостерігач А відкриває ящик, то його кіт рівноймовірно виявляється або живим, або мертвим. Якщо живим, то в момент t2 спостерігач Б відкриває свій ящик і знаходить там мертвого кота. Проблема в тому, що до

вихідного вимірювання немає можливості передбачити, у кого саме що опиниться, а після — один кіт живий, інший мертвий, і тому ситуацію не повернути.

Обхід класичних обмежень був знайдений в 2006 році А. Коротковим і Е. Джорданом з Каліфорнійського університету за рахунок слабких квантових вимірювань. Продовжуючи аналогію, виявилося, що можна не відкривати скриньку, а лише трохи підняти її кришку і підглянути в щілинку. Якщо стан кота невизначений, то кришку можна відразу закрити і спробувати ще раз. У 2008 році інша група дослідників з Каліфорнійського університету оголосила про успішну експериментальну перевірку даної теорії. «Реінкарнація» кота Шредінгера стала можливою. Спостерігач А тепер може відкривати і закривати кришку скриньки, доки не переконається, що у спостерігача Б кіт виявиться в потрібному стані.

Приклад максимально заплутаного стану двох кубітів (стан Белла):

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$$

Де $|\Psi\rangle$ — це вектор стану квантової системи, $\frac{1}{\sqrt{2}}$ - коефіцієнт нормалізації, а $|01\rangle$ і $|10\rangle$ це тензорний добуток двох кубітів.

Практичне застосування

Дослідники у декількох країнах працюють над створенням робочої системи квантової передачі даних (або квантового інтернету). Для цього необхідно аби заплутаність виникала швидко і тривала досить довго, щоб встигнути передати інформацію на наступний вузол. Часткове рішення знайшли у Делфтському технічному університеті.

2014 року нідерландські учені телепортували інформацію через кімнату, а за рік ця відстань збільшилася до 1,3 км. 2017 року китайські дослідники змогли створити заплутані фотони та через супутник Micius передати їх до двох наземних лабораторій. Відстань між лабораторіями становила 1,2 тис. км. А на початку 2018 року вчені використали Micius, щоб відправити дані з Китаю аж до Австрії.

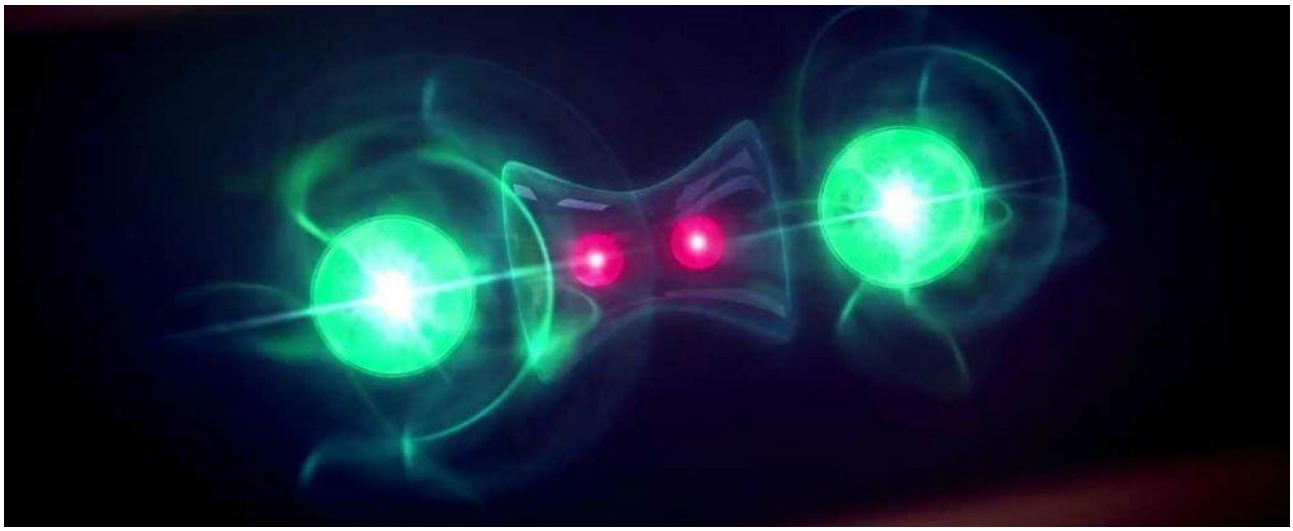


Рисунок 1 – Художнє зображення пов’язаних частинок

Висновки

Квантова заплутаність є фундаментальною властивістю складених квантових систем, що демонструє принципову відмінність мікросвіту від класичних фізичних уявлень. Експериментальні перевірки нерівностей Белла, сформульованих Джон Белл, підтвердили існування нелокальних квантових кореляцій і засвідчили, що заплутаність не є наслідком неповноти теорії, а відображає реальну фізичну природу квантових систем.

На сучасному етапі розвитку науки квантова заплутаність розглядається не лише як об’єкт фундаментальних досліджень, а й як стратегічний ресурс квантових технологій. Вона лежить в основі

квантової криптографії, квантової телепортації станів та квантових обчислень, відкриваючи перспективи створення принципово нових інформаційних систем.
Отже, дослідження квантової заплутаності має як глибоке теоретичне значення для розуміння законів природи, так і важливе прикладне значення для розвитку технологій майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Акулин В. М. Динамика сложных квантовых когерентных систем.
2. Альбер Р., Цайлингер А. та ін. Квантова інформація.
3. Ланде А. Основи квантової механіки.
4. Іванов С. Теоретичні та квантової механіки-основи для хіміків.
5. Левін І. Н. Квантова хімія.
6. Сквайр Е. Таємниці квантового світу.
7. Фущич В. И., Никитин. А. Г. Симметрия уравнений квантовой механики.
8. Джеммер М. Еволюція понять квантової механіки.
9. Бейтс Р. Атомні і молекулярні процеси.

Сколодчук Назарій Віталійович — студент групи 2КН-25б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazariiskol7@gmail.com

Науковий керівник: ***Мартинюк Володимир Валерійович —*** к-т техн. наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Skolodchuk Nazarii — student of group 2KN-25b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazariiskol7@gmail.com

Supervisor: ***Martyniuk Volodymyr Valeriiovych*** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia