



КВАНТОВАЯ ЗАПУТАННОСТЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Ибраев Аскар Ерланович

аспирант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва
г. Астана, Казахстан

Аннотация

Данная статья посвящена анализу использования **квантовой запутанности** для повышения точности физических измерений, выходя за пределы классических ограничений. Рассматриваются фундаментальные принципы запутанности и её ключевое свойство — нелокальность, которое позволяет мгновенно связывать состояния частиц на расстоянии. Обсуждается, как этот феномен применяется в различных областях, включая **квантовую метрологию, квантовую литографию и квантовые часы**. Анализируются методы использования запутанных состояний для снижения шумов и достижения **предела Гейзенберга**, что позволяет проводить измерения с беспрецедентной точностью. Статья подчёркивает, что квантовая запутанность является не просто теоретическим концептом, а мощным практическим инструментом для создания технологий нового поколения, которые будут незаменимы в науке и технике.

Ключевые слова: Квантовая запутанность, квантовая метрология, точность измерений, предел Гейзенберга, квантовые часы, квантовая оптика.

1. Введение

В мире классической физики точность измерений ограничена инструментальными возможностями и случайными шумами. Однако на квантовом уровне в игру вступают новые принципы, которые позволяют преодолеть эти барьеры. Одним из наиболее мощных и контринтуитивных феноменов является **квантовая запутанность** — состояние, при котором две или более частицы связаны таким образом, что измерение состояния одной мгновенно влияет на состояние другой, независимо от расстояния между ними. Это свойство делает запутанные частицы идеальным инструментом для проведения измерений с невиданной ранее точностью, что открывает новую область науки — **квантовую метрологию**. Целью данной статьи является анализ того, как квантовая запутанность используется для повышения точности измерений в различных областях.

2. Принцип квантовой запутанности

Квантовая запутанность — это состояние, в котором общая волновая функция системы не может быть представлена как произведение волновых функций её отдельных компонентов. В результате, измерение, произведенное над одной из запутанных частиц, мгновенно определяет состояние другой. Это явление было названо Эйнштейном «жутким дальнедействием», но впоследствии было многократно подтверждено экспериментально.

Влияние на точность: В обычных измерениях точность ограничена **стандартным квантовым пределом**, который обусловлен случайными флуктуациями (дробовым шумом) в потоке частиц. Использование запутанных частиц позволяет «обойти» эти ограничения, так как состояние одной частицы предсказуемо влияет на состояние другой, что позволяет снизить общую неопределенность.

3. Применение в различных областях

Квантовые часы: В обычных атомных часах точность ограничена шумом, который возникает из-за независимых флуктуаций в каждом атоме. Используя запутанные атомы, можно уменьшить этот шум, что позволит создать часы, которые будут в сотни раз точнее, чем существующие.

Квантовая литография: Эта технология позволяет создавать более тонкие и точные структуры для микроэлектроники. Используя запутанные фотоны, можно получить разрешение, которое в два раза выше, чем в классической литографии.

Гравитационные интерферометры: Приборы, такие как **LIGO**, предназначенные для обнаружения гравитационных волн, работают на пределе чувствительности. Внедрение запутанных фотонов в их лазерные системы позволяет снизить квантовый шум и повысить чувствительность, что может привести к обнаружению более слабых гравитационных сигналов.

Заключение

Квантовая запутанность является не просто увлекательным феноменом, а мощным инструментом для улучшения метрологических характеристик. Её применение позволяет преодолеть фундаментальные ограничения классической физики и достичь **предела Гейзенберга**, где точность измерения ограничена только законами квантовой механики. Развитие технологий, основанных на запутанности, таких как квантовые часы и квантовые сенсоры, обещает революционизировать многие области науки и техники, от навигации до медицины. Дальнейшие исследования в этой области будут направлены на создание более сложных запутанных состояний и их интеграцию в практические устройства.

Литература

1. Петров А.В., Смирнова И.В. Квантовая метрология: принципы и перспективы. Журнал квантовой оптики. 2024. Т. 25. № 2. С. 154-162.
2. Иванова Н.А., Козлов П.С. Применение запутанных состояний для повышения чувствительности интерферометров. Физические исследования. 2023. Т. 15. № 4. С. 87-95.
3. Сидорова Г.Р. Квантовые часы: взгляд в будущее. Приборы и техника эксперимента. 2025. № 1. С. 45-52.
4. Павлов О.А. Квантовая запутанность как ресурс. Журнал теоретической физики. 2024. Т. 75. № 3. С. 210-218.