

## КВАНТОВАЯ ЗАПУТАННОСТЬ

*Левчук А. О. ст. гр. 343201*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Горячун Н. В. — старший преподаватель*

**Аннотация.** Рассматривается квантовая запутанность как уникальное явление квантовой физики, нарушающее принцип локальности и позволяющее частицам взаимодействовать на расстоянии. Развитие исследований в этой области дает возможность понять и использовать этот феномен в различных областях науки и технологий. Квантовая запутанность имеет ключевое значение для квантовых компьютеров, где суперпозиция и запутанность обеспечивают высокую эффективность вычислений. В теории игр применение квантовой запутанности позволяет моделировать согласованность действий игроков и создавать новые равновесия Парето. Новые исследования в области квантовой теории игр и применения квантовых явлений продолжают открывать новые перспективы и возможности для различных областей науки и технологий.

Для того чтобы какой-то далекий объект изменился, он должен провзаимодействовать с другим объектом. При этом никакое взаимодействие не может распространяться со скоростью быстрее световой, это и делает физическую реальность локальной. Однако в квантовом мире локальность нарушается.

Квантовая запутанность — это уникальное свойство квантового мира, когда частицы (связанные друг с другом, то есть запутанные) могут «чувствовать» друг друга на расстоянии и мгновенно менять свое состояние в ответ на изменение состояния другой частицы. Эта технология лежит в основе множества потенциальных практических применений.

Долгое время вопрос заключался в том, связаны ли мгновенные изменения с тем, что частицы в запутанной паре содержали скрытые параметры – инструкции, сообщающие им, какой результат они должны дать в эксперименте.

Ещё в середине 1960-х Джон Белл заинтересовался проблемой нелокальности в квантовой механике. Ему удалось предложить математическую основу для вполне осуществимого эксперимента, который должен заканчиваться одним из альтернативных результатов. Первый итог срабатывал, если принцип локальности действительно нарушается, второй – если все-таки он действует всегда и нам придется искать какую-то другую теорию для описания мира частиц. Такие эксперименты были поставлены уже в начале 1970-х. Задача состояла в создании пар спутанных фотонов и измерении их спинов (собственных моментов импульса элементарных частиц), одного за другим. Статистические наблюдения показали, что спины оказываются не свободными, а скоррелированными друг с другом.

Учёные из Университета Глазго разделили пары запутанных фотонов, один направили сквозь жидкий кристалл, который играл роль пространственного модулятора света и изменял фазу фотонов, а другой — сразу на детектор. Камера зафиксировала изображения всех фотонов в момент, когда они претерпевали одни и те же превращения, хотя и были разделены в пространстве. То есть в момент квантовой запутанности.

Сверхчувствительная камера фиксировала единичные фотоны и делала снимки только в тот момент, когда на детекторы попадала пара запутанных фотонов. Помимо четырех отдельных изображений пар, которые проходили через четыре разных фильтра, авторы работы получили одну фотографию со всеми четырьмя вариантами изменения фазы (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Момент квантовой запутанности фотонов

В настоящее время известно множество способов запутать частицы. Простейшим примером возникновения пары запутанных фотонов является случай, когда они испущены одним источником в результате некоторого физического процесса. На эту роль подходит эффект появления двух квантов света при поглощении другого кванта особым кристаллом (спонтанное параметрическое рассеяние) — процесс в квантовой оптике, при котором рассеянные фотоны образуются в виде спутанных пар, формируя так называемое бифотонное поле. Слева на кристалл падает волна монохроматического излучения EL - накачки.

Тогда с вероятностью, определяемой коэффициентом параметрического преобразования  $F_{si}$  на выходе из кристалла в двух модах поля, сигнальной (индекс  $s$ ) и холостой (индекс  $i$ ) появляется пара фотонов, частоты и волновые вектора которых связаны законом сохранения энергии: равенство суммы частот родившихся фотонов, и импульса, когда выполняется условие фазового синхронизма.

Квантовая запутанность используется в квантовой теории игр. В настоящее время она активно осваивается, появляются все новые и новые исследования в этой области. В чем отличие квантовой теории игр от классической? Особенность всех квантовых вычислений в том, что они базируются на свойствах квантовых частиц, а именно на суперпозиции и запутанности. Без применения этих свойств вычисления нельзя считать квантовыми.

В теории игр квантовая запутанность позволяет моделировать согласованность — это параметр, определяющий, насколько согласованно игроки будут принимать решение в каждый момент времени, т.е. насколько их решения будут зависеть друг от друга. Также существует ряд задач, в которых применение квантовой теории игр дает новое равновесие по Парето (итальянский инженер, экономист и социолог). Равновесие по Парето — это такое состояние системы, при котором значение каждого частного показателя, характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других. Это равновесие более выгодно для всех игроков. Использование квантовой запутанности в теории игр позволяет согласовать действия игроков. При этом уровень запутанности отражает степень согласованности игроков.

Квантовая запутанность является основой для разработки квантовых компьютеров. Квантовые компьютеры обещают решать сложные задачи быстрее, чем классические компьютеры

- Квантовые вентили: Квантовые компьютеры используют квантовые вентили для манипулирования кубитами (наименьшими единицами информации) и выполнения операций.

- Квантовые алгоритмы: Квантовая запутанность позволяет квантовым компьютерам использовать квантовые алгоритмы, такие как алгоритм Шора для факторизации больших чисел или алгоритм Гровера для поиска в неупорядоченной базе данных значительно быстрее, чем классические алгоритмы.

- Квантовый параллелизм: Благодаря запутанности квантовых состояний, квантовые компьютеры могут выполнять операции параллельно, что позволяет им обрабатывать огромные объемы информации одновременно и значительно ускоряет процесс вычислений.

- Квантовая память и квантовая интерференция: Запутанность также используется для создания квантовой памяти и реализации квантовой интерференции, что позволяет хранить и обрабатывать информацию более эффективно.

В целом, квантовая запутанность позволяет квантовым компьютерам оперировать с кубитами в более сложном и эффективном состоянии, что в конечном итоге позволяет им с огромной скоростью и эффективностью выполнять вычисления и решать задачи.

**Список использованных источников:**

1. Квантовая запутанность — королева парадоксов / Редакция Naked Science/ URL: <https://naked-science.ru/article/nakedscience/kvantovaya-zaputannost>
2. Спонтанное параметрическое рассеяние света / URL: [https://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2006/2\(49\)-2006/parametric/](https://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2006/2(49)-2006/parametric/)
3. Физики сфотографировали квантовую запутанность / Издание «N + 1» / URL: <https://clck.ru/39gYPd>
4. В. Ф. Гузик, С. М. Гушанский, А. В. Касаркин / Использование квантовой запутанности для моделирования параметра согласованности в задачах теории игр