

А. Ю. Самарин

ЭПР ПАРАДОКС КАК РЕЗУЛЬТАТ НЕСИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЛОКАЛЬНЫХ КВАНТОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Введение

Рассмотрение квантовых частиц как совокупностей материальных полей, а не материальных точек основано не только на их представлении в квантовой теории волновыми функциями, но и на том обстоятельстве, что в противном случае постулат коллапса волновой функции квантовой механики противоречит выводам релятивистской теории о невозможности перемещения материальных объектов в пространстве со скоростью, превышающей скорость света. Подтвержденная экспериментально [1] возможность мгновенного взаимодействия частиц, волновые функции которых отличны от нуля в удаленных друг от друга областях пространства [2], непосредственно в момент времени после измерения какой-либо характеристики одной из частиц, не противоречит специальной теории относительности (СТО) только в том случае, если частицы представляют собой совокупности реальных материальных полей. Другими словами, Источником ЭПР парадокса является представление квантовых частиц как материальных точек, тогда как уравнения квантовой механики определяют их как распределенные в пространстве объекты, для которых волновая функция является единственным математическим образом в теории, который соответствует какому-либо элементу физической реальности [3]. Именно благодаря распределению в пространстве материальных носителей полей частиц и возможно их мгновенное влияния друг на друга без нарушения законов релятивистской механики.

1. Возможность реализации ЭПР парадокса в макроскопическом масштабе

Многочисленные работы, связанные с попыткой устранения противоречия между квантовой механикой и СТО, при сохранении представления о квантовой частице, как о материальной точке, связаны с предположением о невозможности мгновенной передачи сигнала (информации) на расстоянии с использованием явления коллапса [4]. Дело в том, что формализм нелинейной эволюции редуцированных матриц плотности, принадлежащих к одному классу эквивалентности, примененный к стохастическим ансамблям квантовых частиц, не позволяет рассчитывать на

мгновенную передачу информации на макроскопическом уровне. Это обстоятельство, однако никак не устраняет противоречия между квантовой механикой и СТО на квантовом уровне, где законы релятивистской механики также должны выполняться. Однако обе теории не противоречат друг другу, если квантовая частица представляет собой распределенный в пространстве физический объект. Но в этом случае нет никаких оснований утверждать, что мгновенная передача информации в принципе неосуществима на макроскопическом уровне. Реализация связи быстрее скорости света («faster-than-light communication») возможна в том случае если исходные ансамбли не эквивалентны. В работе [5] такие ансамбли предлагалось получить клонированием в лазерном усилителе исходных фотонов, так что квантовые состояния каждого из фотонов после усилителя в точности совпадали с состоянием исходного фотона. Однако, такое клонирование оказалось в принципе невозможным согласно законам квантовой механики, что нашло свое отражение в соответствующей теореме ("no cloning-theorem"). Тем не менее, вопрос принципиальной различимости ансамблей квантовых частиц, возникающих непосредственно в результате реализации модифицированного ЭПР эксперимента (то есть измерения характеристик удаленной частицы) остается открытым.

Рассмотрим возможность возникновения таких ансамблей в результате эксперимента, аналогичного тому, на основании анализа которого формулируется ЭПР парадокс. Предположим сначала, что имеется система невзаимодействующих между собой квантовых частиц A^k с пространственными координатами x^k , каждая из которых взаимодействовала в прошлом с частицей B с координатой x'' . Пусть $\Psi_{t_1}^1(x_1^1), \dots, \Psi_{t_1}^n(x_1^n), \Psi_{t_1}''(x_1'')$ — волновые функции частиц до взаимодействия. После взаимодействия система будет описываться запутанной волновой функцией, определяемой интегральным волновым уравнением. Согласно [6] инициация регистрирующего процесса при измерении, выражается в скачке потенциальной энергии в функционалах действия на множестве виртуальных траекторий, которое определяется как видом, производимого измерения, так и измеренным значением физической величины. Обозначим такое множество $\{\gamma_m\}$ и представим волновую функцию системы непосредственно после измерения в виде двух слагаемых

$$\begin{aligned} & \Psi_{t_2}(x_2^1, \dots, x_2^n, x_2'') \approx \\ & \approx \exp \frac{i}{\hbar} U_{A\varepsilon} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\int_{\{\gamma_m''\}} \exp \left(\frac{i}{\hbar} \int_{t_1}^{t_2} \frac{m'' x''}{2} d\tau \right) \prod_{k=1}^n \Psi_{t_2}^k(x_2^k, \gamma'') d\gamma'' \right) \Psi_{t_1}''(x_1'') dx_1'' + \\ & + \int_{-\infty}^{\infty} \left(\int_{\{\gamma'' \neq \gamma_m''\}} \exp \left(\frac{i}{\hbar} \int_{t_1}^{t_2} \frac{m'' x''}{2} d\tau \right) \prod_{k=1}^n \Psi_{t_2}^k(x_2^k, \gamma'') d\gamma'' \right) \Psi_{t_1}''(x_1'') dx_1'', \end{aligned}$$

первое из которых через чрезвычайно короткий промежуток времени редукции будет полностью определять волновую функцию в виде

$$\Psi_{t_3}(x_3^{i1}, \dots, x_3^{in}, x_3^{i'}) \approx \Psi_{t_3}''(x_3^{i'}) \prod_{k=1}^n \Psi_{t_3}^{ik}(x_3^{ik}).$$

Таким образом, после измерения волновая функция системы представляет собой произведение волновых функций составляющих ее частиц. Кроме того, волновая функция каждой частицы A^k зависит от вида и результата измерения характеристик удаленной частицы, что принципе позволяет по средним значениям физических величин этих частиц определить не только факт и вид удаленного измерения, но и его результат. Это означает, что в соответствии с законами квантовой механики, использование нелокальности коллапса волновой функции для мгновенной передачи информации возможно.

Другим возможным способом мгновенной передачи информации является использование в процессе взаимодействия с удаленной частицей мезоскопической механической системы, находящейся в состоянии кошки Шрёдингера [7].

Заключение

Запутанные квантовые состояния не являются единственными квантовыми состояниями, имеющими макроскопический размер. Этим свойством обладают, например, состояния некоторых электронов, возникающие при целочисленном квантовом эффекте Холла. Такая передача информации на макроскопическое расстояние была экспериментально осуществлена в работе [8]. К сожалению в условиях эксперимента временное разрешение не позволяло определить фактическую скорость передачи информации. Тем не менее, тот факт, что единственно возможным механизмом эволюции волновой функции в данном эксперименте (вследствие специфики оказанного на систему воздействия, исключающей возможность влияния эволюции Шрёдингера) являлся механизм, основанный на изменении веса образующих ее компонент, позволяет с уверенностью говорить о реализации способа мгновенной передаче информации на макроскопическое расстояние в форме, доступной для макроскопической регистрации. Иначе говоря, этот эксперимент доказывает возможность реализации процессов типа коллапса волновой функции (несилового, «весового» типа эволюции) на макроскопическом уровне, а это неизбежно (в силу основных постулатов квантовой механики) приводит к выводу о возможности мгновенной передачи информации на расстояние.

Список литературы

- [1] Aspect A., “Bell’s inequality test: more ideal than ever”, *Nature*, **398** (1999), 189–190 <http://www.nature.com/nature/journal/v398/n6724/full/398189a0.html>.

- [2] Bell J.S., “On the Einstein Podolsky Rosen paradox”, *Physics.*, **1**:3 (1964), 195–200.
- [3] Einstein A., Podolsky B., Rosen N., “Can quantum mechanics description of physical reality be considered complete?”, *Physical Review*, **47** (1935), 777–780 <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRev.47.777>.
- [4] A. Bassi, G.C. Ghirardi, “Dynamical reduction models with general Gaussian noises”, *Phys. Rev. A*, **65** (2002 <http://link.aps.org/pdf/10.1103/PhysRevA.65.042114>), 042114–042300, arXiv: /0201122.
- [5] N. Gerbert, “FLASH—A Superluminal Communicator Based Upon a New Kind of Quantum Measurement”, *Foundation of physics*, **12** (1982), 1171–1179.
- [6] А. Ю. Самарин, “Пространственная локализация квантовой частицы”, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, **1(30)** (2013), 387–397 <http://mi.mathnet.ru/vsgtu1138>.
- [7] M. Bruno, E.Hugle и др, “Observing the Progressive Decogence of the «Meter» in a Quantum Measurement”, *Phys.Rev.Lett.*, **72(24)** (1996), 4887–4890 <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.77.4887>.
- [8] Emelyanov S.A., “Quantum mechanics versus relativity: an experimental test of the structure of spacetime”, *Physica Scripta*, **2012**:T151 (2012), 014012 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-8949/2012/T151/014012/meta>, arXiv: 0901.0088 [quant-ph].

Сведения об авторе(ах)¹

Самарин Алексей Юрьевич^а, кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: samarinay@yahoo.com

^аСамарский государственный технический университет, Самара, Россия

¹Сведения об авторе(ах) являются обязательным элементом статьи и приводятся по предлагаемому образцу