Квантовая Магия, том 7, вып. 3, стр. 3148-3150, 2010

Формализм квантовой механики в свете парадокса шрёдингеровского кота

Е.В. Бурлаченко

(Получена 30 мая 2010; опубликована 15 июля 2010)

Предлагается решение парадокса многих наблюдателей в ортодоксальной теории измерения.

С точки зрения ортодоксальной квантовой теории все возможные варианты протекания физического процесса уже «существуют» и только ждут подходящего прибора, чтобы один из них был зарегистрирован. Весь вопрос – что считать прибором? Если прибор – физический объект, тогда его взаимодействие с регистрируемым процессом также является физическим процессом, требующим своего регистрирующего прибора, и т.д., до бесконечности.

Для разрыва порочного круга вводится понятие сознания наблюдателя, означающее фактор, ответственный за превращение возможности в действительность. Но так как не может существовать двух различных метафизических факторов, ответственных за превращение возможности в действительность, то и сознание наблюдателя не может существовать в двух экземплярах. Возникает новая трудность, которую Шрёдингер изложил в виде парадокса.

В закрытом ящике находятся радиоактивный атом, пузырек с ядом и наблюдатель 1 (кот Шрёдингера). С определенной вероятностью атом может распасться в момент t_1. В этом случае пузырек разбивается и наблюдатель 1 умирает. Открывая ящик в момент t_2, наблюдатель 2 обнаружит в нем или живого наблюдателя 1, или его труп. Ситуация принципиально меняется, если удалить из нее наблюдателя 1: открывая ящик в момент t_2, наблюдатель 2 обнаружит в нем или целый пузырек, или его осколки. Тонкость в том, что судьба пузырька, разбившегося или не разбившегося в момент t_1, решается наблюдателем 2 в момент t_2.

В случае же многих наблюдателей каждый из них должен считать, что именно его личное вмешательство в ситуацию приводит к определенному результату наблюдения и, следовательно, определяет связанные с ним результаты наблюдений других наблюдателей, как в прошлом, так и в будущем. Можно ли согласовать данное условие с квантовомеханическим формализмом?

Покажем, что для достижения цели достаточно добавить к существующему формализму единственный штрих.

Функцию, областью определения которой является множество упорядоченных наборов из n натуральных чисел, а областью значений – множество действительных или комплексных чисел, назовем n-мерным вектором (наглядное представление тензора).

Например, одномерный вектор – это последовательность чисел, двумерный вектор – таблица чисел. Множество n-мерных векторов образуют бесконечномерное векторное пространство. Обозначим его L^n и отождествим с пространством состояний квантовомеханической системы n частиц.

Пространство L^n является тензорным произведением n экземпляров пространства L^1. Пусть $U(t)$ – оператор эволюции в L^1. Тензорное произведение n операторов $U(t)$ с произвольными значениями параметра t будем рассматривать как оператор эволюции n-мерного вектора состояния в n-мерном времени. Тем самым мы разрываем аналогию с формализмом статистической механики и связываем с каждым экземпляром L^1 не столько отдельную частицу, сколько отдельного наблюдателя.

Согласованность формализмов квантовой механики и тензорной алгебры проявляется в свойстве, которое можно назвать равноправием составляющих (т.е. сомножителей тензорного произведения) пространства состояний квантовой системы по отношению к редукции вектора состояния. Рассмотрим это свойство на примере пространства $L^2 = L^1 \otimes L^1$.

Пусть e_i , f_i – произвольные ортонормированные базисы в L^1. Редукцию вектора $A = \sum_{j,\,i=1}^{\infty} a_{j,\,i} e_j \otimes f_i$, $\sum_{j,\,i=1}^{\infty} a_{j,\,i}^2 = 1$, к базисному состоянию $e_n \otimes f_m$, с вероятностью $p = a_{n,\,m}^2$, можно представить в виде двух последовательных редукций двумя формально равноправными способами:

$$1:\quad A \to \left(\sum_{i=1}^{\infty} a_{n,\,i}^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^{\infty} a_{n,\,i} e_n \otimes f_i \to e_n \otimes f_m$$

$$p_1 = \sum_{i=1}^{\infty} a_{n,\,i}^2 \qquad\qquad p_2 = a_{n,\,m}^2 \left(\sum_{i=1}^{\infty} a_{n,\,i}^2 \right)^{-1};$$

$$2:\quad A \to \left(\sum_{j=1}^{\infty} a_{j,\,m}^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \sum_{j=1}^{\infty} a_{j,\,m} e_j \otimes f_m \to e_n \otimes f_m$$

$$p_1 = \sum_{j=1}^{\infty} a_{j,\,m}^2 \qquad\qquad p_2 = a_{n,\,m}^2 \left(\sum_{j=1}^{\infty} a_{j,\,m}^2 \right)^{-1}.$$

Подобным образом редукцию к базисному состоянию в пространстве L^n можно представить в виде последовательности редукций $n!$ равноправными способами.

Равноправие нарушается, если каждой последовательности редукций поставить в соответствие последовательность моментов абсолютного времени. Принимая такой формализм, мы ничего не выигрываем, но теряем надежду на согласование квантовой механики с теорией относительности. Самый оптимальный вариант – считать, что редукция вектора состояния квантовой системы происходит в момент абстрактного n-мерного времени $T_n = (t_1,\ t_2,\ \ldots\ ,\ t_n)$ где все моменты t_i измеряются в системе отсчета, связанной с одним из n наблюдателей.

Отрицательное время в квантовой механике присутствует в связи с тем, что одно и то же пространство состояний L^1 можно рассматривать с двух точек зрения: как множество начальных состояний, и как множество конечных состояний. Первую точку зрения обозначим L_0^1 , вторую – L_1^0 . Эволюция вектора состояния в пространстве L_0^1 задается оператором $U(t)$ с положительным значением параметра, в пространстве L_1^0– тем же оператором с отрицательным значением параметра. Элемент тензорного произведения m экземпляров L_0^1 и k экземпляров L_1^0 назовем тензором типа $(k,\ m)$. Введение n-мерного времени означает, что вектор состояния квантовой системы является тензором, тип которого изменяется в зависимости от момента времени T_n и системы отсчета, связанной с определенным наблюдателем.

Предлагаемое расширение квантового формализма позволяет рассматривать различных наблюдателей как различные «проекции», или «степени свободы» единого метанаблюдателя. Тем самым парадокс многих наблюдателей снимается.

При обсуждении проблемы измерения, как правило, вспоминают многомировую интерпретацию квантовой механики. Она несостоятельна по той причине, что не учитывает основной этап процесса измерения – выбор наблюдателем базиса в пространстве состояний квантовой системы. В результате редукции вектор состояния переходит в одно из базисных состояний, но операция выбора определенного базиса из бесконечного множества возможных базисов является волевым актом наблюдателя и не может быть описана с помощью физико-математического формализма.