

Сознательные наблюдатели проясняют сущность многомировой теории*

Кристоф Саймон

*Институт Квантовой Информатики и Отдел Физики и Астрономии,
Университет Калгари, Калгари T2N 1N4, Альберта, Канада
(Дата: 4 августа 2009)*

В этом кратком обзоре я утверждаю, что помещение осознанно действующих наблюдателей в центр событий проясняет и усиливает многомировую интерпретацию. Это базовое предположение, которое кажется очень правдоподобным, основано на нашем текущем понимании мозга и декогеренции. Предположение это состоит в том, что квантовые состояния, соотносящиеся с определенными сознательными ощущениями, должны быть ортогональны. Я показываю, что если мы это принимаем, то вероятностные результаты измерений соответствующие базисным элементам и проистекающие из правила Борна, возникают естественным путем из глобальной унитарной динамики.

Отдавая должное огромному успеху квантовой физики в микроскопической области, было бы вполне естественным поинтересоваться, а является ли ее ценность универсальной, в частности, можно ли принимать ее в расчет в макроскопической области. Теория, утверждающая, что это так, называется учением о «многомировой интерпретации» квантовой физики. Она была высказана Эвереттом в 1957 году [1] и с тех пор поддерживалась и разрабатывалась многими другими учеными. В этой краткой заметке я утверждаю, что очень полезно в контексте этого подхода поместить себя, т. е. сознательных наблюдателей, в центре рассмотрений. Это не только естественно, поскольку нашей конечной целью является объяснить наше понимание мира (которое, на первый взгляд, противоречит квантовой теории), но и обладает ощутимой разъяснительной силой, особенно в сочетании с нашим современным пониманием декогеренции [2]. В частности, такой подход позволяет прояснить три пункта, которые часто возникают в дискуссиях о многомировой интерпретации [3], [4]. Во-первых, это объясняет, почему результаты идеальных измерений всегда соответствуют базисам в гильбертовом пространстве, хотя существует континуум возможных квантовых состояний «между» базисными элементами. Во-вторых, это объясняет, почему мы чувствуем строго определенные результаты, хотя глобальное квантовое состояние является суперпозицией всех вероятностей. Ну и в-третьих, это также ведет нас к пониманию того, почему вероятности этих определенных результатов даны в законе Борна.

Причина, почему размышления об этих сознательных наблюдателях полезны в этом контексте, следующие. Если в качестве аргумента предположить, что квантовая физика применима к сознательным сущностям, то, следовательно, абсолютно правдоподобно, что квантовые состояния, которые соответствуют определенным ощущениям (т.е. ощущениям наблюдений «вверх» или «вниз» в опыте Штерна-Герлаха), являются взаимно ортогональными. Это также правдоподобно, поскольку нейронаука уже достаточно убедительно показывает, что сознательные ощущения ассоциируются с различными шаблонами нейронной активности человеческого мозга. Более того, предполагаемые времена декогеренции для суперпозиции различных моделей предельно близко соотносятся с характерными масштабами времени сознательных ощущений [5]. Таким образом, можно с уверенностью предположить, что все возможные состояния ощущений или опыта сознательного субъекта формируют часть базиса. (Другие элементы того же базиса соответствуют наблюдателю несознательному или мертвому.)

Это означает, что если $|A1\rangle$ и $|A2\rangle$ являются двумя состояниями сознательного субъекта, скажем, Алисы, соответствующие двум различным состояниям ее сознательных ощущений (назовем их «ощущение 1» и «ощущение 2», то $\langle A1|A2\rangle = 0$. Более того, состояние $\mathbf{a}|A1\rangle + \mathbf{b}|A2\rangle$ (где \mathbf{a} и \mathbf{b} отличны от 0) не соотносится ни с одним одиночным сознательным ощущением. Вместо этого, оно соотносится, с точки зрения Алисы, с суперпозицией (наложением) двух различных «миров», в одном из которых она испытывает ощущение 1, а в другом - ощущение 2. Учтите, что другой наблюдатель, Боб, может быть абсолютно осведомлен, что Алиса находится в состоянии суперпозиции. Если он вооружен мощными технологиями, он мог бы произвести соответствующий эксперимент с квантовой интерференцией, чтобы доказать это. В ходе такого эксперимента Алиса должна была бы поте-

рять всю достоверную память о своем прежнем опыте или ощущениях (то есть ощущениях 1 или ощущении 2). Но это не было бы основной проблемой при таком развитии событий. В частности, ее сознательные ощущения не являются скрытой переменной с большей предсказательной силой, чем квантовое состояние. Наоборот, состояние квантовой суперпозиции $a|A1\rangle + b|A2\rangle$ даст нам полную историю о ней, как о квантовой системе, тогда как ее ощущения (или опыт), которые соотносятся с $|A1\rangle$ или $|A2\rangle$ (в зависимости от ее «мира») этого нам не дадут. Можно было бы даже представить себе, как Боб говорит Алисе, что она в действительности находится в состоянии суперпозиции. Она должна была бы ответить: «Может быть и так, но на основании только моих субъективных ощущения я не могу это знать».

А теперь позвольте мне сообщить, каким образом эта точка зрения помогает прояснить подход к «многомировой интерпретации». Идеальное измерение квантовой системы в состоянии $|S1\rangle$ должно всегда давать одинаковый результат («состояние $|S1\rangle!$ »). По определению измерения, этот результат соотносится с определенным ощущением (или опытом) наблюдателя. Более формально мы можем выразить эту динамику как $|S1\rangle|O0\rangle \rightarrow |O1\rangle$, где $|O0\rangle$ является исходным состоянием наблюдателя, которое также включает аппарат измерения, температуру воздуха в комнате и т. д., и $|O1\rangle$ является финальным состоянием наблюдателя соответствующим сознательному ощущению обнаруженного результата измерения « $|S1\rangle!$ ».

Заметьте, что в нашем обозначении измеренная квантовая система стала частью расширенного состояния наблюдателя $|O1\rangle$ (если это был, к примеру, фотон, он мог быть уловлен детектором). Здесь мы не предполагаем, что измерение может быть повторено с той же самой системой [3].

Теперь предположим, что та же процедура измерений, где исходное состояние системы $|S2\rangle$ всегда дает определенный результат « $|S2\rangle!$ ». Это соответствует другому состоянию ощущений наблюдателя, которое мы назовем $|O2\rangle$, так что динамика процесса измерения теперь выражается как $|S2\rangle|O0\rangle \rightarrow |O2\rangle$. Исходя из нашего базового предположения относительно состояний сознательного ощущения, следует, что $\langle O1|O2\rangle = 0$. Если общая динамика является унитарной, что, конечно, предполагается в многомировой интерпретации, то отображения $|S1\rangle|O0\rangle \rightarrow |O1\rangle$ и $|S2\rangle|O0\rangle \rightarrow |O2\rangle$ являются совместимыми только если $\langle S1|S2\rangle = 0$. Таким образом, различные возможные результаты идеального измерения всегда соответствуют взаимно ортогональным состояниям измеряемой системы. Данное рассуждение навеяно, но противоречит аргументации, приведенной в [3].

Во-вторых, теперь существует правдоподобное объяснение тому, почему наблюдатели испытывают определенные и вероятностные результаты в традиционных квантовых измерениях. Если квантовая система изначально находится в состоянии $a|S1\rangle + b|S2\rangle$ (где $\langle S1|S2\rangle = 0$), то согласно предыдущей динамике, в конце процесса измерения мы получим состояние $|ж\rangle = a|O1\rangle + b|O2\rangle$. Однако, согласно нашим аргументам, приведенным выше, только состояния $|O1\rangle$ и $|O2\rangle$ соответствуют определенным ощущениям. Не существует единичного состояния ощущения, соотносящегося с состоянием суперпозиции. Таким образом, мы должны заключить, что с точки зрения наблюдателя, состояние $|ж\rangle$ является состоянием суперпозиции двух различных «миров». В одном мире наблюдатель получает результат 1, в другом результат 2.

Поскольку наблюдатель всегда ощущает определенные результаты, он будет, применительно к данному эксперименту, обнаруживать результат 1 определенное количество раз, результат 2 определенное количество раз, и т. д. (в общем случае будет больше двух возможных результатов). Наблюдатель будет, таким образом, вынужден развивать вероятностное описание. Можем ли мы понять, основываясь только на глобальной унитарной динамике, почему наблюдатель придет к правилу Борна? Я буду теперь утверждать, что, в-третьих, мы можем сделать, по крайней мере, очень существенный шаг в этом направлении [6].

Наблюдатель может, конечно, измерить систему в разных базисах. Его задача, таким образом, состоит в том, чтобы присвоить вероятности всем этим разным базисам измерения. Но теорема Глисона говорит нам, что существует только один путь присвоения вероятностей всем элементам всех базисов последовательным путем, а именно – применяя правило Борна. В заданных рамках глобальной унитарной динамики правило Борна является, следовательно, единственным законом вероятности, к которому эксперименты наблюдателя могут его привести.

Вот одна характеристика для данного утверждения. Теорема Глисона [7] утверждает, что вероятности назначаются *неконтекстуальным способом*. Дано квантовое состояние $|\phi\rangle$, которое может быть выражено как $|\phi\rangle = a|1\rangle + b|2\rangle + y|3\rangle$ в базисе $\{|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle\}$ и которое также может быть выражено как $|\phi\rangle = a'|1'\rangle + b'|2'\rangle + y'|3'\rangle$, используя разные базисы $\{|2'\rangle, |3'\rangle\}$ в подпространстве охватыва-

вающем $\{|2\rangle, |3\rangle\}$, предполагается, что вероятность, присвоенная $|1\rangle$ для состояния $|\phi\rangle$, не зависит от выбора базиса в комплементарном подпространстве, т.е. зависит только от коэффициента a . Интересно отметить, что стандартная квантовая физика, т.е. правило Борна, является неконтекстуальной в назначении вероятностей, в то время как неконтекстуальные назначения «скрытых параметров», конечно же, невозможны [8].

Может ли удовлетворить предположение о неконтекстуальном назначении вероятности? Выраженное в том виде, как это было показано выше (вероятность зависит только от коэффициента a), оно кажется предельно естественным. Однако, здесь все еще может оставаться пространство для более глубокого понимания. Я считаю, что пример декогеренции подтверждает это. Более глубокое понимание того, как это работает физически, полученное после 1957 года, очень существенно усилило теорию многомировой интерпретации. Возможно, последующий шаг, сделанный в этом направлении, развеет все остающиеся сомнения относительно «всевластия» правила Борна в многомировых рамках.

Я утверждаю, что ключевые возможности нашего опыта (результаты измерений, соответствующие базисам, и predetermined результаты, возникающие с некоторой вероятностью, в значительной степени также соответствуют правилу Борна) появляются естественным путем в многомировых рамках, если мы поместим себя, т.е. сознательных наблюдателей, в центр событий. Конечно, это не означает, что квантовая физика имеет универсальную ценность. Это будет решено и, возможно, доказано, в ходе последующих экспериментов (об одной из таких попыток рассказано в [9]). Однако я верю, что современные представления в значительной степени подвигают нас к тому, чтобы серьезно рассматривать многомировую теорию, возможно как наиболее экономичный вариант квантовой физики.

Благодарности. Я благодарю Л.Вайдмана, убедившего меня несколько лет назад воспринять многомировую интерпретацию серьезно, и А.Кента, Дж. Курижки и В.Зурека за полезные обсуждения.

[1] H. Everett, Rev. Mod. Phys. 29, 454 (1957).

[2] D. Bohm, Phys. Rev. 85, 166 (1952), section 7; H.-D. Zeh, Found. Phys. 1, 69 (1970); W.H. Zurek, Rev. Mod. Phys. 75, 715 (2003); M. Schlosshauer, Rev. Mod. Phys. 76, 1267 (2005).

[3] W.H. Zurek, Phys. Rev. A 76, 052110 (2007).

[4] A. Kent, arXiv:0905.0624.

[5] M. Tegmark, Phys. Rev. E 61, 4194 (2000).

[6] Заметим, что уже предлагалось несколько выводов из правила Борна в контексте многомировой интерпретации, см. D. Deutsch, Proc. Roy. Soc. A455, 3129 (1999); W.H. Zurek, Phys. Rev. Lett. 90, 120404 (2003); W.H. Zurek, Phys. Rev. A 71, 052105 (2005); D. Wallace, arXiv:0906.2718. Естественно, причина того, что я представляю здесь свой подход, состоит в том, что я не считал ни один из этих выводов полностью убедительным.

[7] A.M. Gleason, J. Math. Mech. 6, 885 (1957).

[8] J.S. Bell, Rev. Mod. Phys. 38, 447 (1966); S. Kochen and E.P. Specker, J. Math. Mech. 17, 59 (1967).

[9] W. Marshall, C. Simon, R. Penrose, and D. Bouwmeester, Phys. Rev. Lett. 91, 130401 (2003).

* Оригинал статьи: arXiv:0908.0322v1 [quant-ph] 3 Aug 2009.

Перевод Д.Цициашвили

Поступил 26.05.2011 г.