

## О квантовых измерениях

С. А. Грановский<sup>1)</sup>

443071 г. Самара, Россия

Поступила в редакцию 20 ноября 2006 г.

Является ли редукция волновой функции реальным физическим процессом? Рассмотрен мысленный эксперимент, позволяющий ответить на этот вопрос.

PACS: 03.65.—w, 42.50.Lc

Проблема измерения в квантовой теории состоит в том, что формализм квантовой механики не объясняет нам точно, что такое процесс измерения и когда он происходит [1–5]. Формальная теория только постулирует, что в момент измерения волновая функция исследуемой системы претерпевает недетерминированное изменение и, фактически, мгновенно перестает существовать (коллапсирует), а вместо нее мы должны вводить новую волновую функцию, описывающую поведение системы до следующего измерения, и так далее [6]. Такая ситуация неудовлетворительна, потому что и прибор, используемый для измерения, и наблюдатель (человек) сами являются физическими системами и их состояния должны изменяться в соответствии с детерминированным и обратимым уравнением Шрёдингера. Буквальное следование формализму приводит к известным трудностям – возможности существования суперпозиций макроскопических тел (парадокс Шрёдингера) и утверждениям об особой роли сознания наблюдателей (парадокс Вигнера).

По мнению большинства специалистов, эволюция всех физических систем (квантовой частицы, взаимодействующего с ней прибора, наблюдателя и т.д. вплоть до масштабов всей Вселенной) полностью описывается уравнением Шрёдингера, а все видимые (или кажущиеся) эффекты коллапса волновой функции считаются эпифеноменами, связанными в основном с взаимодействием исследуемого объекта и его окружения и другими подобными причинами, углубляться в описание которых нет нужды.

Но есть и другое мнение, согласно которому коллапсы волновых функций действительно происходят и являются частью физической реальности независимо от того, наблюдает их кто-нибудь или нет [7].

Эти два мнения – реальные альтернативы, а не просто две интерпретации одной теории, потому что возможно представить себе эксперимент, результат

которого заставит сделать однозначный выбор между двумя противоположными точками зрения.

Идея эксперимента состоит в том, чтобы сосредоточить результат эволюции изолированной системы на одной частице, и провести измерение над этой частицей.

Представим себе контейнер, внутри которого находятся счетчик Гейгера, часы и излучатель фотонов. В полдень в контейнер помещается некоторое количество атомов радиоактивного вещества, такое, что вероятность распада хотя бы одного из атомов этого количества за один час равна 50%. Контейнер тут же закрывается и действие разворачивается следующим образом: если в течение часа хотя бы один атом распадается, то счетчик Гейгера гарантированно регистрирует распад и ровно в 13.01 излучатель испускает один фотон в окружающее пространство через отверстие  $A$  в стене контейнера. А если до 13.00 ни один из атомов не распадается, то ровно в 13.01 излучатель испускает один фотон через отверстие  $B$  в противоположной стене контейнера (два положения излучателя –  $A$  и  $B$  – макроскопически различимы).

Квантовая механика учит нас, что пока некий внешний наблюдатель не проведет измерение, зарегистрировав на одной из своих фотопластинок фотон, испущенный либо в направлении  $A$ , либо в направлении  $B$ , вся система, включая контейнер с его содержимым и сам фотон, находится в состоянии квантовой линейной суперпозиции и ее эволюция описывается уравнением Шрёдингера.

Но если система действительно находится в состоянии суперпозиции, то возможно при помощи зеркал свести оптические пути  $A$  и  $B$  фотона вместе и, повторив опыт достаточно большое количество раз, наблюдать интерференционную картину. Квантовая механика учит нас, что интерференция возможна в том и только в том случае, если коллапс волновой функции происходит тогда, когда фотон встречается

<sup>1)</sup>e-mail: stanislav-granovskij@yandex.ru

с фотопластинкой внешнего наблюдателя, и ни мгновением раньше.

С другой стороны, если бы в нашем эксперименте внутри контейнера находился еще один наблюдатель или хотя бы автоматическое устройство, регистрирующее положение излучателя ( $A$  или  $B$ ) в момент испускания фотона, то с их точки зрения фотон просто следует по одному определенному пути и никакой интерференции впоследствии быть не может.

Таким образом, эксперимент дает возможность по наличию или отсутствию интерференционных полос сделать выбор в пользу одной из теорий: либо редукция волновой функции является всего лишь иллюзией и эволюция любой квантовой системы подчиняется детерминированному и обратимому уравнению Шрёдингера, вследствие чего принципиально возможны линейные суперпозиции макроскопических тел, либо редукция волновой функции есть реальный физический процесс, сменяющий на определенном этапе шрёдингеровскую эволюцию.

Я мог бы назвать сто причин, почему я не верю в то, что если подобный эксперимент будет поставлен, то его результат будет свидетельствовать в пользу первой теории. Я назову одну: такой исход противоречит принципу неопределенности Гейзенберга. В самом деле, если мы установим внутри контейнера устройство, регистрирующее положение излучателя при испускании фотона, то впоследствии, прочитав показания этого устройства, мы узнаем, по какому пути прошел фотон, не нарушив при этом интерференционной картины, что противоречит принципу неопределенности. Это странно и неправдоподобно.

Из отсутствия интерференции между двумя маршрутами следования фотона мы заключаем, что коллапс волновой функции всей исследуемой замкнутой системы случился *раньше*, чем внешний наблюдатель зарегистрировал фотон; что чистое состояние превратилось в смесь *раньше*, чем фотон был поглощен фотопластинкой, которая может находиться, в принципе, сколь угодно далеко.

Следовательно, у меня не остается иного выхода, кроме как признать возможность того, что волновая функция физической системы может при некоторых условиях претерпевать коллапс *естественным* образом, даже когда система является замкнутой и за ней никто не наблюдает. Теперь можно понять, почему в природе не наблюдаются такие удивительные явления, как интерференция макроскопических тел.

Спонтанный коллапс волновой функции замкнутой системы, если он действительно происходит,

имеет как отрицательные, так и положительные следствия. Во-первых, этот эффект теоретически может помешать построить настоящие “большие” квантовые компьютеры. Но с другой стороны, этот же эффект решает проблему измерения в том смысле, что для объяснения редукции волновой функции более не потребуется искусственно разделять мир на микрообъект и макроприбор, а также частично возвращает интуитивное понятие причинности в процесс наблюдения (событие наблюдается, потому что оно действительно произошло, а не является следствием самого факта наблюдения).

Отдельно следует отметить, что рассмотренный выше мысленный эксперимент позволяет пресечь спекуляции о какой-то особой роли сознания в квантовой механике (в нашем эксперименте волновая функция системы благополучно коллапсирует без участия сознательной и вообще живой материи). Кроме того, эффект спонтанного коллапса естественно связать с возникновением необратимости, то есть стрелы времени. В самом деле, если случилось такое необратимое событие, как *зарегистрированный распад* радиоактивного атома, то этот атом уже не удастся сделать частью более обширной, но обратной системы.

- 
1. E. Schrödinger, *Naturwissenschaften* **23**, 812, 1935. [E. Schrödinger, *The present situation in quantum mechanics*, in: “*Quantum theory and measurement*”, Eds. J. A. Wheeler and W. H. Zurek, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1983].
  2. А. Эйнштейн, Письмо Шрёдингеру 9.VIII. 1938, в сб.: Шрёдингер Э., *Избранные труды по квантовой механике*, М.: Наука, 1976.
  3. А. Einstein, Remarks concerning the essays brought together in this co-operative volume, in: “*Albert Einstein philosopher-scientist*”, Ed. P. A. Schlipp, Evanston, Illinois, 1949. [А. Эйнштейн, Замечания к статьям, в сб.: Эйнштейн А., *Собрание научных трудов*, Том IV, М.: Наука, 1967.]
  4. Э. Шрёдингер, Письмо Эйнштейну, 15,18.X. 1950, в сб.: Шрёдингер Э., *Избранные труды по квантовой механике*, М.: Наука, 1976.
  5. А. Эйнштейн, Письмо Шрёдингеру, 22.XII. 1950, в сб.: Шрёдингер Э., *Избранные труды по квантовой механике*, М.: Наука, 1976.
  6. И. фон Нейман, *Математические основы квантовой механики*, М.: Наука, 1964.
  7. Р. Пенроуз, *Тени разума*, М.: ИКИ, 2005.