

Оценка эвереттовской формулировки квантовой теории через «соотнесенное состояние».

Джон А. Уилер

Пальмеровская физическая лаборатория, Принстонский Университет, Принстон, Нью Джерси.

Предыдущая статья* представила принципы квантовой механики в новой форме.¹ Наблюдения рассматриваются как особые случаи нормального взаимодействия, происходящего внутри системы, а не как новый или иной вид процесса, протекающего при внешнем воздействии. Традиционные математические определения с их хорошо известными постулатами о вероятностях наблюдений получены как следствия новой или "*мета*" квантовой механики. Обе формулировки применяются как к сложным, так и к простым системам, а также к частицам и к полям. Обе представляют собой математические модели для физического мира. В новом формализме "*соотнесенного состояния*" эта модель связывается с функцией состояния изолированной системы, которая подчиняется линейному волновому уравнению. Теория имеет дело с совокупностью всех возможных способов, которыми можно разложить эту функцию состояния на суммы функций состояния подсистем, возникающих из общей системы, и более ничего. Например, в системе, наделённой четырьмя степенями свободы x_1, x_2, x_3, x_4 и координатой времени t общее состояние можно записать как $\Psi(x_1, x_2, x_3, x_4, t)$, однако не существует пути, при котором Ψ определяет какое-либо уникальное состояние для какой-либо подсистемы (подмножества x_1, x_2, x_3, x_4). Например, подсистема, состоящая из x_1 и x_3 , не может быть представлена состоянием $u(x_1, x_3, t)$ независимо от состояния, определяемого подсистемами x_2 и x_4 . Другими словами, обычно нельзя найти f или u , которые бы позволили записать Ψ в форме $\Psi = u(x_1, x_3, t) f(x_2, x_4, t)$. Самое большое, что можно сделать, это соединить относительное состояние подсистемы, $u_{rel}(x_1, x_3, t)$, с некоторым *определённым состоянием* $f(x_2, x_4, t)$ всей остальной системы. Метод построения соотнесенного состояния $u_{rel}(x_1, x_3, t)$ одной подсистемы со специфическим состоянием $f(x_2, x_4, t)$ позволяет разложить Ψ на результирующие суперпозиции, каждая из которых состоит из одного члена ортонормированного множества для каждой из подсистем и соответствующего ему соотнесенного состояния в других подсистемах:

$$\Psi = \sum_i a_i f_i(x_2, x_4, t) u_{rel} f_i(x_1, x_3, t), \quad (1)$$

где $\{f\}$ – ортонормированное множество. Соответственно, так как функция f_n представляет собой то или иное семейство ортонормированных функций, функции соотнесенного состояния u_{rel}, f_n так или иначе зависят от изменений остальных подсистем.

Другой способ описать эту уникальную ассоциацию соотнесенного состояния одной из подсистем с состоянием остальных подсистем, - это

сказать, что состояния коррелируются. Совокупность этих корреляций, которые могут возникать из всех возможных распадов на их состояния и соотнесенные состояния, это всё, что может быть вынесено из математических моделей.

Модель применима для наблюдений только при условии, что наблюдения происходят в пределах изолированной системы. Таким образом, теория наблюдений становится частным случаем теории корреляции между подсистемами.

Как эти математические модели действительности относятся к существующей концептуальной схеме физики? Наши выводы можно сформулировать очень кратко. Во-первых, эта концептуальная схема "соотнесенного состояния" квантовой механики полностью отличается от концептуальной схемы традиционной формы "*внешнего наблюдения*" квантовой механики. Во-вторых, выводы, сделанные из новой трактовки, полностью соответствуют во всех известных случаях выводам на основе обычного анализа. Остальная часть моего комментария служит тому, чтобы подчеркнуть это *соответствие в выводах*, но и *полное отличие концепции*.

Формулировка "*внешнего наблюдения*" в квантовой механике имеет значительные достоинства и является дуалистичной. Она ассоциирует функцию состояния с системой, которую мы изучаем - например, частица - но не с конечным оборудованием наблюдения. Система, которую мы изучаем, может быть расширена и включать оригинальный объект в качестве подсистемы, а части оборудования наблюдения - такого, как счётчик Гейгера, - в качестве другой подсистемы. При этом количество переменных в функции состояния может быть соответственно увеличено. Однако *конечное* оборудование для наблюдения всё ещё находится за пределами системы, которая описывается волновым уравнением. Как было ясно акцентировано Бором,² мы всегда интерпретируем волновую амплитуду путём наблюдений классических характеристик, получаемых вне квантовой системы. Традиционный формализм не предлагает иных путей интерпретации волновой амплитуды, она логически самосогласованна и справедливо исключает любое классическое описание внутренней динамики системы. Тем не менее, с помощью принципа дополненности, "*внешнее наблюдение*" сохраняет всё в рамках классической концепции. Без этой возможности классических измерительных приборов математический аппарат квантовой механики, казалось бы, на первый взгляд, не имеет корреляции с физическим миром.

Вместо того, чтобы основывать квантовую механику на классической физике, "соотнесенное состояние" использует совершенно иной вид модели для физики. Эта новая модель имеет свои собственные характеристики, определяет свои собственные возможности интерпретации и не требует для своей формулировки каких-либо ссылок на классическую концепцию. Трудно передать, насколько решительно отбрасывает формулировка "соотнесенного состояния" классические концепции. Она может быть сопоставлена только несколькими - неудачным на этом этапе - случаям в истории:³ когда Ньютон

описывал гравитацию неким нелепым действием на расстоянии; когда Максвелл описывал нечто действительно действующее на расстоянии в терминах столь неестественной теории поля; когда Эйнштейн отказался от выделенного характера любой системы координат, и все основы физических измерений, как казалось на первый взгляд, перестали существовать. Как можно серьёзно рассматривать модель Природы, которая не следует ни законам Ньютона, где координаты являются функциями времени, ни описанию "внешнего наблюдения", где вероятности приписываются возможным исходам измерений? Просто анализировать альтернативные разложения такой функции состояния, как (1), и не сказать, что представляет собой это разложение или как его интерпретировать, означает дать наихудшее определение теоретической структуре! Ничего сопоставимого не может быть извлечено из остальной части физики, за исключением принципа общей относительности, где все обычные системы координат одинаково справедливы. Как в ОТО, так и в интерпретации "соотнесенного состояния" квантовой механики, анализ наблюдения является ключом к физической интерпретации.

Наблюдения не производятся из-за пределов системы каким-либо супер-наблюдателем. В нашем распоряжении нет наблюдателя для использования его в обычной теории "внешнего наблюдения". Вместо этого аппарат наблюдения рассматривается в математической модели, как часть изолированной системы. Всё, что может показать модель или что она может сказать о наблюдателях, содержится во взаимосвязях собственных функций объекта, как части этой изолированной системы и функции соотнесенного с ней состояния оставшейся части системы. Формализм соотнесенного состояния никоим образом не пытается приписать наблюдаемым величинам вероятности, как это было бы в любом типе квантовой физики для одновременного описания координаты и импульса частицы. Слово "*вероятность*" включает понятие наблюдений извне аппаратурой, которая даёт описание в типичной классической терминологии. Ни эти классические термины, ни наблюдения извне, ни априорные соображения о вероятности не входят в *основания* квантовой теории в форме соотнесенного состояния. Выше так много сказано о концептуальных отличиях между новыми и старыми определениями, что теперь следует сказать об их соответствии. В предыдущей статье показано, что это соответствие детальное и близкое. Регистрация соответствия требует, чтобы система включала нечто, что можно назвать наблюдаемой подсистемой. Эта подсистема может быть такой простой, как частица, которая сталкивается с изучаемой частицей. В этом случае соответствие происходит на примитивном уровне между формализмом соотнесенного состояния, в котором система состоит из двух частиц, и теорией внешнего наблюдения, где система состоит только из одной частицы. Корреляция между собственными функциями частицы-объекта и функциями соотнесенного состояния наблюдаемой частицы в одной схеме тесно связаны с другой схемой посредством известного утверждения об относительных вероятностях для возможных различных

исходов измерений изучаемой частицы.

Более детальное соответствие можно отследить между двумя формами квантовой теории, когда наблюдающая система достаточно сложна для того, чтобы обладать тем, что можно описать как состояние памяти. В этом случае можно увидеть те аспекты теории обычного внешнего наблюдения, которые, в соответствии с принципом дополнительности, выступают в качестве другого способа доказательства теории соотнесенного состояния. Они выражены посредством ограничений на степени корреляции между состояниями памяти при последовательных наблюдениях за некоторой величиной в системе, несмотря на то, что производились промежуточные наблюдения не коммутирующей величины. В этом смысле формализм соотнесенного состояния впервые даёт возможность приблизиться к математической модели для принципа дополнительности.

Измерение в физике не сводится к единственному наблюдателю или прибору. Различные части оборудования, производящего измерения в одной и той же системе, должны демонстрировать образцовую согласованность, если концепция измерений имеет смысл. Не такая ли согласованность нужна для формулировки квантовой теории через внешнее наблюдение? Тогда результаты измерений можно выразить классическим языком. Но является ли этот "язык" предпосылкой для сравнения измерений, произведённых различными наблюдающими системами?

Анализ множества наблюдателей в предыдущей статье в рамках теории соотнесенного состояния указывает на то, что необходимое соответствие между измерениями уже получено без участия внешнего наблюдателя. Для описания этой ситуации можно использовать, если хотите, слова *"сообщение на ясном языке всегда требует классической концепции"*. Однако тип физики, который следует из этого, не регулируется имеющейся терминологией. Терминология должна регулировать сама себя в соответствии с видом физики, которая из неё следует. Короче, проблема множественности наблюдателей разрешается теорией соотнесенного состояния без использования традиционных теорий измерений.

Было бы слишком самонадеянно считать, что данный краткий обзор окончательно прояснит формулировку квантовой теории через соотнесенное состояние. Можно, в конце концов, закончить, сказав, что она не сделает этого. Она не стремится вытеснить формализм традиционного внешнего наблюдателя, но даёт новое и независимое определение этому формализму. Она не вводит идею супер-наблюдателя, она отвергает эту концепцию с самого начала. Она не даёт установку говорить, что верна функциональная форма Гамильтониана любой данной системы. Так же она не даёт каких-либо предсказаний в отношении функциональной зависимости общей функции состояния изолированной системы от переменных системы. Но, независимо от классической вселенной Лапласа, даёт некоторые прогнозы для точного положения и скоростей всех частиц, чьё будущее готов предсказать Лаплас. Другими словами, теория соотнесенного состояния не претендует на ответ на все вопросы физики. Концепция соотнесенного состояния не требует общего

нового взгляда на основополагающие характеристики физики. Представляется, что для тех, кто хочет иметь комплексную математическую модель квантовой механики для изолированных систем, нет никакого иного спасения, кроме её формулировки через соотнесенное состояние. Для объяснения квантования⁴ замкнутой системы, как мира общей теории относительности, вне концепции Эверетта о соотнесенном состоянии, как самосогласованной системе, других идей нет.

*Статья Д.А.Уиллера опубликована на страницах журнала непосредственно после статьи Х.Эверетта¹ (прим. переводчиков)

¹ Hugh Everett, III, *Revs. Modern Phys.* **29**, 454 (1957).

² Chapter by Niels Bohr in *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, edited by P.A.Schilpp (The Library of Living Philosophers, Inc., Evanston, Illinois, 1949).

³ См., например, Philipp Frank's *Modern Science and Philosophy* (George Brasiller, New York, 1955), Chap. 12.

⁴ C.W.Misner, *Revs. Modern Phys.* **29**, 497 (1957).

Оригинальный текст: *D.A.Wheeler, «Assessment of Everett's "Relative State" Formulation of Quantum Theory», *Reviws of Modern Physics*, 29, №3, july 1957, p. 463 – 465.*

Перевод В.Аблекимова и Ю.Лебедева. Редактура П.Амнуэля.

Поступила 16.05.2011