

Усиленная теорема о свободе воли

Дж. Конвэй и С. Кохен (США)

Реферат подготовил М.Х. Шульман (shulman@dol.ru)

arXiv:0807.3286v1 [quant-ph] 21 Jul 2008

The Strong Free Will Theorem

John Conway (jhorcon@yahoo.com) and Simon Kochen (kochen@math.princeton.edu)

Princeton University, Department of Mathematics

Princeton, NJ 08544–1000

June 12, 2008

1 Введение

Две теории, революционизировавшие физику в 20-м веке, теория относительности и квантовая механика, содержат ряд предсказаний, которые бросают вызов здравому смыслу. Недавно мы использовали три такие парадоксальные идеи для доказательства “Теоремы о свободе воли” (усиливаемой в настоящей публикации), которая представляет собой кульминацию серии теорем квантовой механики, появившихся с начала 1960-х годов. Она, грубо говоря, гласит, что если мы – люди – действительно обладаем свободой воли, то и элементарные частицы имеют свою небольшую порцию этого несомненного блага. Точнее, если экспериментатор может свободно выбирать направления ориентации некоторых измерительных приборов, то отклик частицы (строго говоря – отклик Вселенной вблизи от частицы) не определяется полностью всей предшествующей историей Вселенной.

2 Аксиомы

Теперь введем и обсудим три аксиомы, на которых покоится теорема.

(i) SPIN аксиома и парадокс Кохена-Спекера.

Ричард Фейнман однажды сказал: “Если кто-то говорит вам, что он понимает квантовую механику, то все, что вы учили - гнусная ложь”. Наша первая аксиома кажется легкой для понимания, но будьте осторожны – замечание Фейнмана действует! Эта аксиома оперирует с операцией, называемой “измерением квадрата спина для частицы со спином 1”, которая всегда дает результат 0 или 1.

SPIN аксиома: *Измерения квадрата (компонент) спина частицы со спином 1 в трех ортогональных направлениях всегда дает ответы 1, 0, 1 в некотором порядке.*

Квантовая механика предсказывает эту аксиому, поскольку для частицы со спином 1 квадраты операторов спина s_x^2, s_y^2, s_z^2 коммутируют и в сумме дают 2.

Это “101 – свойство” является парадоксальным, потому что из него уже следует, что величина, которую еще только предстоит измерить, не может на самом деле существовать до ее “измерения”. В противном случае должна существовать функция, определенная на сфере возможных направлений, принимающая три значения {1, 0, 1} для каждой ортогональной тройки направлений в некотором порядке. Из этого следует, что она принимает одинаковое¹ значение для пары противоположных направлений и никогда не дает значение 0 сразу для двух взаимно ортогональных направлений.

Мы называем функцию, определенную на множестве направлений, которая имеет все три эти свойства, “101 – функцией” для этого множества. Но, к несчастью, мы имеем парадокс Кохена-Спекера:

Не существует 101 – функции для 33 пар направлений, определенных конфигурацией Переса².

Несмотря на парадокс Кохена-Спекера, у физиков не возникает вопроса об истинности нашей SPIN аксиомы, поскольку она следует из квантовой механики, которая представляет собой одну из наиболее надежно подтвержденных научных теорий всех времен. Однако важно иметь в виду, что мы говорим не обо всей квантовой механике в целом, а только о двух проверяемых ее следствиях, именно о данной аксиоме SPIN, а также об аксиоме TWIN из следующего раздела.

Верно, что эти две аксиомы справедливы только для идеализированных экспериментально проверяемых предсказаний, поскольку они оперируют с точно ортогональными и параллельными направлениями в пространстве. Однако, как мы показали в [1], теорема робастна в том смысле, что приближенные формы этих аксиом все еще приводят к сходным заключениям. В то же время это показывает, что любые более точные модификации специальной теории относительности (такие, как общая теория относительности) и квантовой теории не повлияют на выводы этой теоремы.

(ii) TWIN аксиома и ЭПР-парадокс.

На один из наиболее примечательных фактов, связанных с квантовой механикой, было указано Эйнштейном, Подольским и Розеном в 1935 году. Он гласит, что даже если результаты некоторых разделенных расстоянием измерений не могут быть предсказаны по отдельности заранее, они могут коррелироваться между собой.

В частности, возможно изготовить пару частиц-“близнецов” (“twinned” particles) со спином 1 (переведя их в “синглетное состояние” с суммарным спином ноль), которые будут давать одинаковые результаты измерений вышеупомянутых квадратов спинов в параллельных направлениях. Наша “TWIN” аксиома является частью этого утверждения.

¹ Поскольку речь идет о *квадратах* компонент спина – Примеч. пер.

² См. обзор [8] – Примеч. пер.

TWIN аксиома: Пусть изготовлены частицы-близнецы со спином 1. Предположим, что экспериментатор А выполняет эксперимент, измеряя квадраты компонент спина частицы a в трех ортогональных направлениях x, y, z , в то время как экспериментатор В выполняет измерение над его частицей-близнецом b в одном направлении, w . Тогда, если направление w совпадает с одним из направлений x, y, z , то результат измерения экспериментатора В с необходимостью будет тем же, что и результат соответствующего измерения, выполненного А.

На самом деле мы ограничим w возможностью принимать 33 направления в конфигурации Переса, а для x, y, z допустим 40 частных ортогональных троек, именно - 16 таких троек из этой конфигурации и 24 следующие тройки, полученные путем дополнения остающимися ортогональными парами.

(iii) MIN аксиома, относительность и свобода воли.

Одним из парадоксов, внесенным теорией относительности, был тот факт, что упорядоченность во времени зависит от выбора инерциальной системы отсчета. Если два события разделены пространственно-подобным интервалом, то в одних инерциальных системах отсчета они появятся в одной временной последовательности, но в других – в обратной последовательности. Под двумя событиями мы будем иметь в виду вышеописанные измерения спинов для частиц-близнецов.

Обычно неявно предполагают, что принцип причинности во времени не допускает, чтобы будущее следовало после прошлого. Его релятивистская форма гласит, что на некоторое событие не может влиять то, что происходит позже него в любой заданной инерциальной системе отсчета. Другое неявное общепринятое допущение стоит в том, что экспериментаторы вольны в выборе между возможными экспериментами. Точнее, мы имеем в виду то, что выбор экспериментатора не является функцией прошлого. Мы в явном виде используем только очень специальные случаи этого допущения для уточнения нашей последней аксиомы.

MIN аксиома: Предположим, что эксперименты, выполненные А и В, разделены пространственно-подобным интервалом. Тогда экспериментатор В может свободно выбрать любое из 33 частных направлений w , и отклик частицы a независим от этого выбора. Подобным же образом и независимо, А может свободно выбрать любую из 40 троек x, y, z , и при этом отклик частицы b независим от этого выбора.

Именно свобода воли экспериментатора обеспечивает свободный и независимый выбор как x, y, z , так и w . Но в одной инерциальной системе – назовем ее “А-первая” система – эксперимент В произойдет лишь спустя какое-то время позже эксперимента А, и, таким образом, на отклик частицы a не может повлиять, в силу временной причинности, более поздний выбор направления w экспериментатором В. В системе отсчета “В-первая” ситуация будет противоположной, что и уточняет заключительную часть MIN аксиомы.

3 (Усиленная) Теорема о свободе воли

Наша теорема представляет собой усиленную форму оригинальной версии [1]. Перед тем, как ее сформулировать, уточним нашу терминологию. Мы используем слова “свойства”, “события” и “информация” в максимальной степени как взаимозаменяемые: возможность осуществления события является свойством, а факт осуществления свойства может быть закодирован битом, т.е. является информацией. Точные общие значения этих терминов, которые могут варьироваться в тех или иных рассматриваемых теориях, не так уж важны, поскольку мы используем их только в специфическом контексте наших трех аксиом.

Сказать, что выбор экспериментатором A тройки x, y, z является свободным, более точно означает, что он не предопределен тем (т.е. не является функцией от того), что происходило раньше (в любой инерциальной системе отсчета). Наша теорема представляет собой неожиданное следствие того, что отклик частицы a должен быть свободным в точности в том же смысле, т.е. не зависеть от происшедшего раньше (в любой инерциальной системе отсчета).

Теорема о свободе воли. *Из аксиом SPIN, TWIN и MIN следует, что отклик частицы со спином 1 на тройку экспериментов является свободным — иначе говоря, он не является функцией свойств той части Вселенной, которая предшествовала этому отклику в любой заданной инерциальной системе отсчета*³.

Ссылки

- [1] J. Conway and S. Kochen, The Free Will Theorem, Found. Phys. 36 (2006), 1441-1473.
- [2] S. Kochen and E. Specker, The Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics, J. Math. Mech. 17 (1967), 59-88.
- [3] A. Bassi and G. C. Ghirardi, The Conway-Kochen argument and relativistic GRWmodels, Found. Phys. 37 (2) (2007), 169-185.
- [4] D. Bohm, Phys. Rev. 85 (1952), 166 - 180 pp.
- [5] G. C. Ghirardi, A. Rimini, and T. Weber, Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems, Phys. Rev. D34, (1986), p.470.
- [6] R. Tumulka, arXiv:0711.0035v1 [math-ph] 31 Oct 2007.
- [7] R. Tumulka, Comment on “The Free Will Theorem”, Found. Phys. 37 (2) (2007), 186-197.
- [8] Теорема Кохена-Спекера (обзор)
http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_translation/KS_theorem.pdf

³ Доказательство в настоящем реферате я опускаю, оно, разумеется, приведено в оригинальной работе авторов. – Примеч. пер.