

Понятие квантовой логики и его философское значение*

Квантовая механика требует иного описания реальности, что часто связывается с переходом к иной, или квантовой логике (К.-Ф. фон Вайцзеккер).

1. Понятие квантовой логики тождественно понятию логической структуры квантово-компьютерных вычислений. Эта логика представляет собой аналог обычных рекурсивных вычислений, на которых построена вся работа классических компьютеров. Она не имеет ничего общего с теми попытками, которые связаны с методикой коррекции булевой алгебры или с введением каких-то там тривалентно-бивалентных преобразований, как это имеет место, скажем, в статье [1].

2. Для того чтобы раскрыть содержание данного понятия показать его философское значение, придётся коснуться вкратце истории формирования идеологии квантово-компьютерных вычислений. В статье «Классическое вычисление, квантовое вычисление и алгоритм факторизации Шора» Ю.И. Манин указывает на источники мотивации по формированию идеологии квантово-компьютерных вычислений. Они, по его мнению, соотносятся с физикой, технологией, гносеологией и математикой. Ситуация выглядит примерно следующим образом.

С точки зрения физики квантовый способ описания действительности более фундаментален, нежели классический. В семидесятых и восьмидесятых годах прошлого столетия было замечено, что из-за принципа суперпозиции моделирование квантовых процессов на классических компьютерах слишком сложно с рекурсивно-вычислительной точки зрения. С другой стороны, хотя переход к квантовому описанию связан с трудностью того рода, что квантовые измерения дают недетерминированные результаты, но эту трудность можно использовать как существенное, в определённом смысле, преимущество квантовой идеологии.

Существуют, указывает Манин, ситуации, когда мы можем отличить квантовую случайность от классической, анализируя вероятностные распределения и используя неравенства типа белловских. «Было бы крайне интересно разработать экспериментальную установку с целью показать, что некоторые фрагменты центральной нервной системы, отвечающие за обработку информации, могут фактически быть в квантовой суперпозиции классических состояний» [2; 251]. Может быть, наш головной мозг можно отождествить с квантовым компьютером? Этот вопрос, поставленный Маниным, небезоснователен, так как человеческий мозг, способный изобрести квантовый компьютер, не может быть проще (примитивнее) самого компьютера.

3. С инициативой по разработке квантово-компьютерных вычислений, с учётом квантовой логики, выступил в своё время и Р. Фейнман. Его статья «Квантовомеханические компьютеры» была опубликована в издании «International Journal of Theoretical Physics», vol.21, num.6/7, 1982) и перепечатана в переводе на русский язык в сборнике [2]. В статье ставится задача приспособить для квантово-компьютерных вычислений элементарные логические операции, определяемые логическими связками «и», «или», «не», которые в новых условиях получили название *гейтов*. В частности, автор рассматривал такие гейты, как NOT, AND, EXCHANGE. Одна из целей статьи заключается в том, чтобы «предъявить некоторый гамильтониан для системы, которая могла бы служить в качестве компьютера» [2; 125].

Добавим от себя сразу же, что гамильтониан, расчленённый на отдельные гейты, должен был удовлетворять условию унитарности (поддержанию когерентности). Что же касается самой системы, то она представляет собой информационную систему, в которой единицей информации служит не бит, а кубит.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ. «Проблема новой онтологии в современном физическом познании», проект № 14-03-00452а.

4. В порядке более подробных разъяснений сошлёмся на статью П. Шора [3; 200–247]. Основные показатели и требования, предъявляемые к квантовой вычислительной системе, можно свести к следующим пунктам: 1) требование точности; 2) учёт того обстоятельства, что обратимая унитарная эволюция системы в состоянии реализовать, по крайней мере, вычислительный потенциал (идеальной) машины Тьюринга, что и было показано Бенёвым (P. Benioff) в начале 80-х годов прошлого столетия; 3) меры по предотвращению разрушения когерентности квантовой суперпозиции. Следующая цитата из статьи Шора позволит сосредоточить внимание на главном, существенном отличии логики квантово-компьютерных вычислений от логики рекурсивных вычислений. «Если измерить состояния машины (по отношению к данному (гильбертову. – Л.А.) базису) на любом конкретном шаге вычислений, то вероятность обнаружить систему в базисном состоянии $|S_i\rangle$ будет $|a_i|^2$; однако измерение состояния машины спроектирует её в наблюдаемый базисный вектор $|S_i\rangle$. Поэтому наблюдать состояние машины можно только в конце вычислений» [3; 208]. (В этом высказывании следует устранить одну неточность. В начальной фразе «Если измерить состояния машины...» слово «измерить» следовало бы заменить термином «предвычислить», так как измерение неотъемлемо связано с наблюдением).

Соблюдение унитарности вычислительного процесса конкретно означает сохранение суммы $\sum_i |a_i|^2 = 1$ на каждом шаге вычислительного процесса. А в качестве базисных

векторов в квантовом компьютере служат два вектора $|0\rangle$ и $|1\rangle$. Под этой символикой можно подразумевать, скажем, два состояния электрона с двумя противоположными проекциями его спина на заранее выбранное направление. В компьютере с двухкубитовым регистром реализуется, с соответствующими амплитудами вероятности, четыре комбинации: 00, 01, 10, 11. Квантовый компьютер, имеющий мощность, скажем, в одну тысячу кубитов, должен располагать регистром, насчитывающим тысячу находящихся в сцеплении частиц. Так что осуществлять в нём вычисления – значит воздействовать на данный кубитовый ансамбль обратимыми операторами (т.е. с наличием обратимых операций). При использовании, например, логического оператора NOT обращение достигается его повторным действием.

5. Наша философская оценка логической специфики работы квантового компьютера связана с расшифровкой парадоксального понятия «недетерминированный результат» (Ю.И. Манин). *Недетерминированность* в данном случае следует понимать как отсутствие обусловленности результата *причинно-следственной связью*. Здесь, однако, вскрывается предопределённость другого рода – *предопределённость со стороны цели*, располагаемой в будущем. Напоминаем, что непосредственный результат вычисления квантового компьютера всегда выражается в числовой форме (в виде числа). Но это число даётся вместе с *математическим ожиданием*, с определённой степенью вероятности. Поэтому вполне можно присоединиться к утверждению К.Ф. фон Вайцзеккера о том, что прошедшее интерпретируется в категориях действительно-фактического, а будущее – в категориях возможности. Высказывания о будущих событиях могут быть сделаны только в форме вероятностных суждений. Именно об этом свидетельствует как весь опыт квантовой физики, так и содержание понятия квантовой логики.

Литература:

1. Кузнецов Б.Г. Об основах квантово-релятивистской логики // Логические исследования (Сборник статей). М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959.
2. Манин Ю.А. Классическое вычисление, квантовое вычисление и алгоритм факторизации Шора // Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Том II. Ижевск, 1999.
3. Шор П. Полиномиальные по времени алгоритмы разложения числа на простые множители и нахождения дискретного логарифма для квантового компьютера // Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Том II. Ижевск, 1999.