

О классической интерпретации квантовой интерференции (03.07.2008)

Введение

Фейнмановская формулировка квантовой механики предписывает вычислять *вероятность* перехода из некоторого (начального) состояния в другое (конечное) состояние путем сложения *амплитуд вероятности* перехода по всем возможным “траекториям” через различные промежуточные состояния. В отличие от самих (действительно-значных) вероятностей, амплитуды вероятности являются комплексными величинами, т.е. обладают модулем и фазой. Из-за наличия фаз при сложении амплитуд вероятности перехода возникает явление интерференции, обычное в классических волновых процессах, но не имеющее ясной интерпретации для корпускулярных квантовых объектов.

В работе [Rave, 2008] предлагается новый подход. Во-первых, согласно этой точке зрения следует рассматривать полное множество не только прямых (из начального в конечное), но и обратных (из конечного в начальное) возможных переходов. Точнее, должно рассматриваться полное множество *замкнутых* цепочек переходов – маршрутных петель, включающих начальное и конечное состояния. Во-вторых, для каждой такой петли определяется произведение Γ комплексных амплитуд перехода между парами состояний. Величина Γ для любой замкнутой петли не зависит от произвольного выбора фазы начального состояния, т.е. подобно фазе Берри оказывается инвариантной характеристики петли. В итоге следует просуммировать величины Γ по всем таким возможным замкнутым петлям, после чего результат получается тот же, что и в подходе Фейнмана.

Автор упомянутой работы исходит из того, что величина Γ является комплексно-значным аналогом вероятности (а не амплитуды вероятности), и заключает, что предлагаемая им точка зрения позволяет интерпретировать квантовую интерференцию *классическим* образом, т.е. суммировать именно “вероятности”, а не амплитуды вероятностей. Правда, суммирование должно теперь вестись по замкнутым на себя петлям (цепочкам переходов). Как пишет автор, если мы допускаем существование таких петель, то получаем возможность классически интерпретировать квантовую интерференцию, и “тайна” квантовых вероятностей заменяется “тайной” замыкания времени на себя.

С моей точки зрения, здесь обратить внимание на два момента. Во-первых, в названной работе действительно-значная “вероятность” заменяется комплексно-значной величиной Γ . Это обстоятельство позволяет противопоставить прямые и обратные переходы с точки зрения *знака* времени. Во-вторых, следует обсудить статус петель во времени.

Смысл и причины использования комплексных величин в квантовой механике

Комплексные величины ввел в квантовую механику один из ее основателей. Именно В. Гейзенберг в 1925 г. впервые представил координату и импульс квантовой частицы не действительными величинами, а в виде (бесконечного) ряда комплекснозначных гармоник. В то же время он наложил дополнительные

ограничения на амплитуды гармоник и правила умножения для этих величин (совпавшие, как выяснилось, с таковыми для матриц), откуда и было выведено все последующее. Таким образом, в КМ появились комплекснозначные функции, физический смысл которых некоторое время оставался не очень ясным. В 1926 г. М. Борн предложил статистическую интерпретацию волновой функции, которая позволила рассчитывать распределения вероятностей для квантово-механических явлений.

Смысл и причины использования комплексных величин в квантовой механике рассмотрены мной в работах [Shulman, 2004] и [Shulman, 2008]. Я исхожу из того, что все квантовые объекты в действительности участвуют в двух типах движений. Первый тип (“медленное” движение) описывается обычными уравнениями классической динамики. Второй тип движения соответствует очень “быстрому” вынужденному колебательному движению, фаза которого не контролируется современным наблюдателем. Именно этот общий факт порождает такие “квантовые” феномены, как некоммутативность наблюдаемых и необходимость использования комплексно-значных функций.

Комплексные величины с успехом применяются в теории цепей переменного тока. В этой теории используются представления о векторах тока и напряжения, “вращающихся” с течением времени как в положительном, так и в отрицательном направлении. Никаких парадоксов времени при этом не возникает, так как речь идет чисто о *фазовых* эффектах для *стационарных* процессов. В то же время расчет существенно действительно-значных параметров, например – активной мощности, выделяющейся на участке цепи, производится путем умножения тока на величину, *комплексно сопряженную* к падению напряжения. Это обусловлено тем, что при интегрировании мгновенной мощности за период *текущее время исчезает* из результата. Ровно по этой же причине в квантовой механике среднее по времени значение вероятности для квантового объекта выражается через его волновую функцию в виде $\psi^*\psi$.

Добавим, что, как показано в работе [Beniaminov, 2007], движение в полном конфигурационном пространстве (координат и импульсов) классической механики, представленное суммой медленного и быстрого осциллирующего движения, вследствие специфической диффузии быстро сходится к упрощенной модели движения в подпространстве (только) импульсов или (только) координат. Это, кстати, порождает и возможную трактовку принципа неопределенности Гейзенберга.

Замкнутые во времени петли как статистический эффект

Таким образом, использование “отрицательного” времени ни в теории цепей переменного тока, ни в квантовой механике не должно содержать никакой иной интерпретации, кроме чисто формального фазового эффекта. Какой же в этой связи смысл могут иметь замкнутые петли, о которых говорится в работе [Rave, 2008]?

Я думаю, что такие петли могут рассматриваться лишь как *идеальные* объекты. В действительности нет никакого замыкания во времени, но зато есть *большое количество экземпляров* состояний, входящих в эти петли, и соответствующее число переходов (в обе стороны) между этими состояниями. Таким образом, мы получаем картину, только *статистически* эквивалентную вышеуказанной идеальной группе замкнутых петель.

Об опережающих потенциалах Фейнмана

Надо заметить, что замкнутые во времени петли взаимодействий были рассмотрены Уиллером и Фейнманом еще в 1945 г. [Weeler, Feynman, 1945]. В этой работе для вычисления величины радиационного трения использовались не только запаздывающие, но и опережающие потенциалы, что в 1949 г. побудило этих же авторов исследовать возможные парадоксы во времени [Weeler, Feynman, 1949].

В работе [Shulman, 2007] я попытался обосновать, что в работе [Weeler, Feynman, 1945] фактически речь идет только о стационарных волновых процессах, поэтому вполне достаточно рассматривать лишь формальный – чисто фазовый – эффект, когда очередной фрагмент *запаздывающей* волны накладывается на синфазный фрагмент *ранее отраженной* волны.

Представляется, что в обоих случаях мы имеем дело с одним и тем же “парадоксом”: чисто фазовый эффект принимается за реально существующую эволюцию “назад” во времени.

Библиография

[Beniaminov, 2007] Е.М. Бениаминов. ДАН, 2007, т. 416, № 1, с. 1-5

[Rave, 2008] M. J. Rave. Quantum interference interpreted classically through application of Berry's phase. arXiv:0806.3970v1 [quant-ph] 24 Jun 2008. Русский перевод “Классическая интерпретация квантовой интерференции с использованием фазы Берри” доступен по ссылке http://timeorigin21.narod.ru/rus_translation/Closed_loops.pdf

[Weeler, Feynman, 1945] Wheeler J.A., Feynman R.P. Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation, Reviews of Modern Physics, **17**, 156, (1945)

[Weeler, Feynman, 1949] Wheeler J.A., Feynman R.P. Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action, Reviews of Modern Physics, **vol. 21**, numb. 3, p. 425-433 (1949)

[Shulman, 2004] Шульман М.Х. Вариации на темы квантовой теории. Москва, Едиториал УРСС, 2004. Доступно по ссылке:

http://timeorigin21.narod.ru/rus_quantum/Variations.pdf

[Shulman, 2007] Шульман М.Х. Об истинном смысле опережающих потенциалов. Доступно по ссылке

http://timeorigin21.narod.ru/rus_time/Advanced_rus.pdf

[Shulman, 2008] Шульман М.Х. Как перейти к квантовой механике от классической. Доступно по ссылке http://timeorigin21.narod.ru/rus_quantum/How_to_transit_rus.pdf