

## ***Связь между общей фазой квантового вентиля и временем его выполнения на примере квантового преобразования Фурье для трехуровневой системы***

*В.П. Шауро, науч. рук. д.ф.-м.н. В.Е. Зобов*

*Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН*

Нахождение эффективных способов управления квантовыми системами для реализации квантовых логических операций (вентилей) является важнейшей задачей на пути к созданию полномасштабного квантового компьютера. Аналитическое решение задачи оптимального управления возможно только для простейших моделей одно- или двухкубитовых систем. В остальных случаях, как правило, приходится прибегать к различным численным методам.

Известно, что для большинства вентилях существует некоторое минимальное (критическое) время  $T_{\min}$ , необходимое для его точного выполнения. В работе [1] с помощью численного моделирования рассчитано минимальное время, необходимое для выполнения вентиля квантового преобразования Фурье (КПФ) на системе из нескольких кубитов, представленных ядерными спинами  $I = 1/2$ . Интересным результатом этой работы является тот факт, что  $T_{\min}$  зависит от значения общего фазового множителя в определении вентиля. Тем не менее, причины такой зависимости авторами не объясняются.

В настоящей работе мы демонстрируем связь между общей фазой квантового вентиля и расположением уровней энергии в эффективном гамильтониане, реализующим данный вентиль, что в свою очередь отражается на длительности его выполнения. Предложенный подход рассмотрен нами на примере реализации вентиля КПФ для трехуровневой системы (кутрита), представленной квадрупольным ядром со спином  $I=1$ , управляемым методом ЯМР. Нахождение эффективного гамильтониана можно свести к решению системы уравнений для матричных элементов в равенстве

$$i \log \left( e^{i\varphi_p} U_G \right) = T H_{\text{eff}} .$$

Здесь  $U_G$  – матрица вентиля,  $\varphi_p$  – фаза вентиля, в случае кутрита принимающая значения  $\pi/6$ ,  $5\pi/6$  и  $9\pi/6$ . Структура гамильтониана  $H_{\text{eff}}$  взята аналогично работе [2]. Полученные решения дают приближенную аналитическую оценку  $T_{\min}$  для всех трех значений общего фазового множителя. Численная оценка  $T_{\min}$  получена из зависимости ошибки вентиля от длительности оптимизированного импульса, реализующего вентиль КПФ. Расчет таких импульсов выполнялся нами как с помощью алгоритма Кротова, так и BFGS-GRAPE. Аналитические оценки для разных фаз оказались в качественном соответствии с численными, однако дают завышенное значение  $T_{\min}$  во всех случаях. Это объясняется тем, что мы рассмотрели довольно простую форму гамильтониана  $H_{\text{eff}}$  без явной зависимости от времени, тем самым сильно ограничили круг возможных решений. Тем не менее, из аналитического решения можно построить простую последовательность РЧ импульсов, разделенных интервалами свободной эволюции, для выполнения вентиля КПФ, которая может найти применение в экспериментах по квантовым вычислениям на кутритах.

Литература:

- [1] T. Schulte-Herbrüggen, A. Spörl, N. Khaneja, S.J. Glaser, Phys. Rev. A **72**, 042331 (2005).
- [2] В. Е. Зобов, В. П. Шауро, Письма в ЖЭТФ **86**, 260 (2007).