



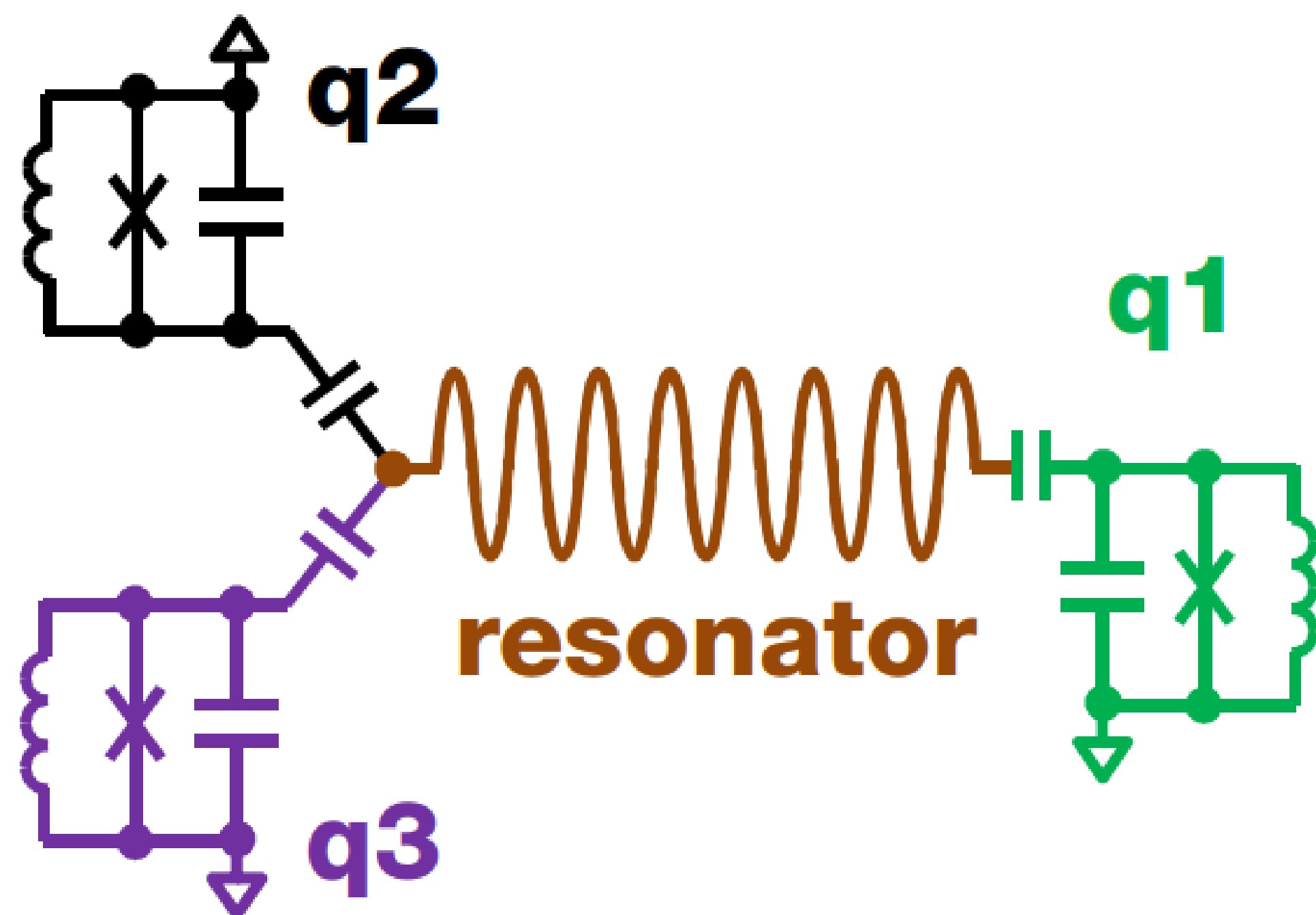
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ДВИЖЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ КУБИТОВ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В МАССИВЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КУБИТОВ

Выполнила: Кондина Ирина Владимировна
Преподаватель: доцент НУЛ «Квантовая
наноэлектроника» Васенко Андрей Сергеевич

Москва, 2018

МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ ДЕФЕЙЗИНГА ПУТЕМ ДВИЖЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ КУБИТОВ



Метод передачи логических кубитов по массиву физических кубитов основан на создании управляемого квантового взаимодействия между кубитами посредством связи с резонатором.

Движение логических кубитов в массиве физических кубитов подавляет низкочастотную дефазировку, тем самым увеличивая время декогеренции системы.



ГАУССОВ ШУМ

Основным источником дефазировки является низкочастотный шум.

Низкочастотный шум обычно генерируется флуктуациями в виде зарядов примесей или магнитных моментов, локализованных в каждом физическом кубите.

Каждый кубит связан с источником гауссовых флуктуация $\xi_j(t)$ разностью энергий между двумя расчетными базисными состояниями системы.

$$H_{\text{dec}} = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sigma_j^z \xi_j(t)$$



ГАУССОВ ШУМ

Если логический кубит в момент времени $t = 0$ находится в начальном состоянии j -го физического кубита и хранится там в течение периода τ , он будет исчезать из-за шума $\xi_j(t)$.

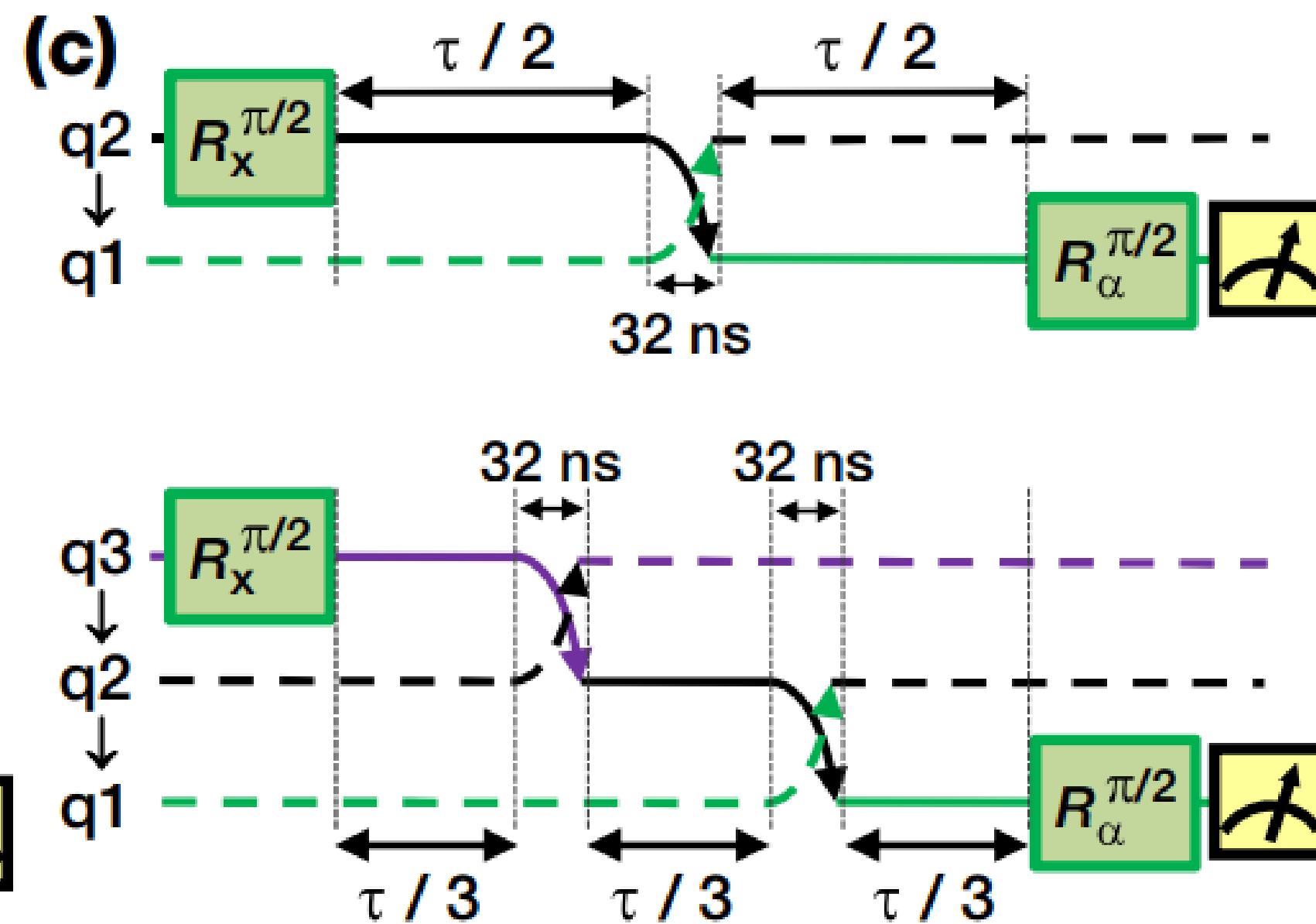
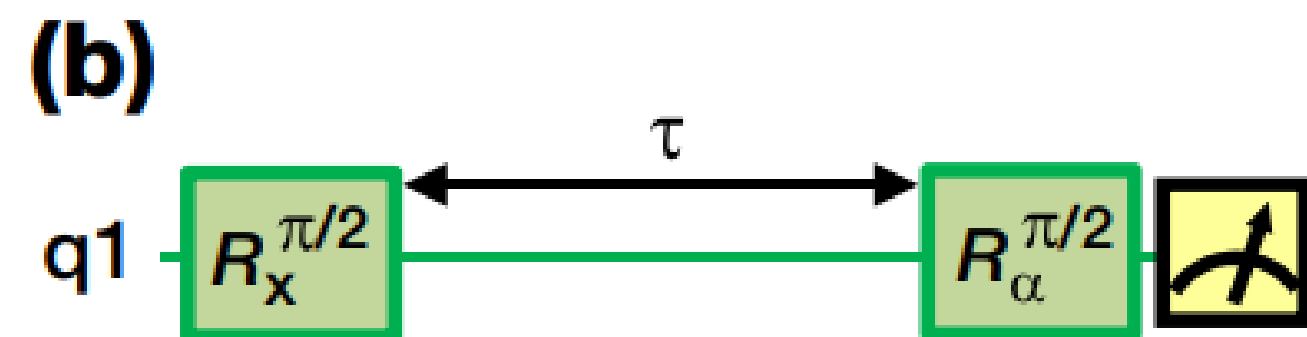
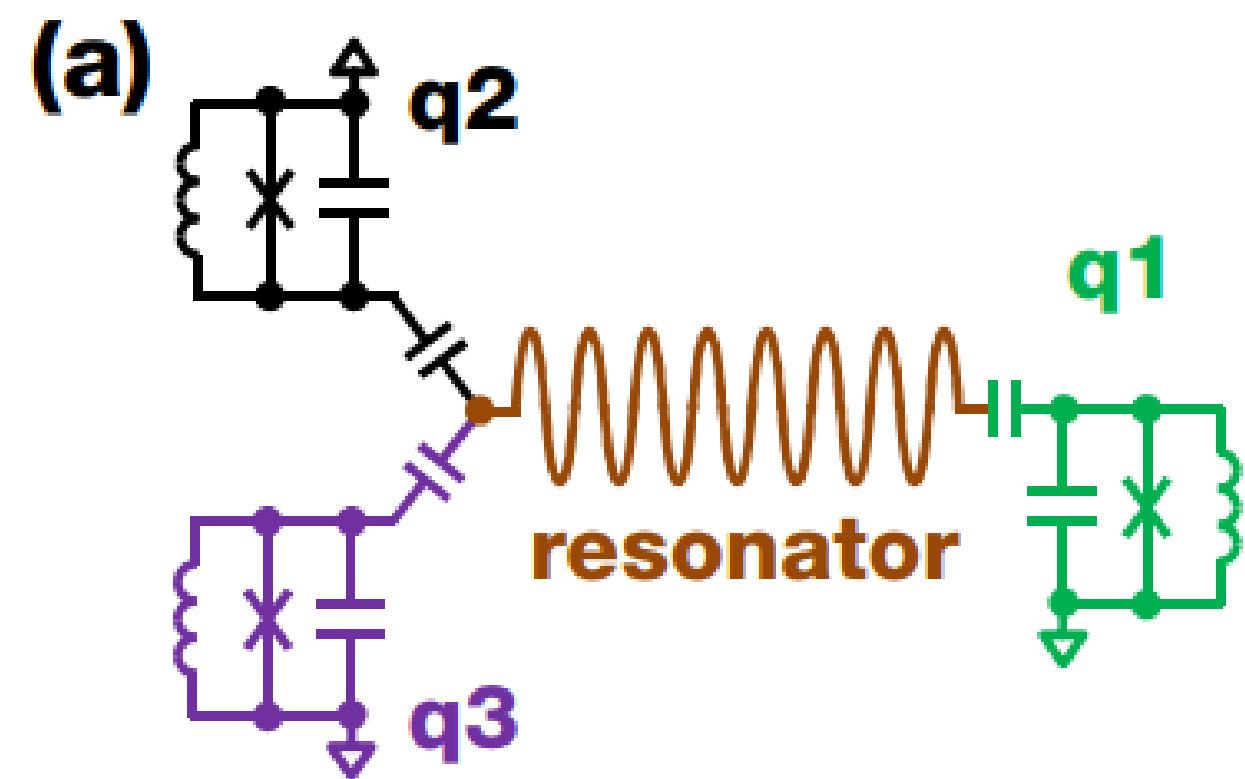
При последовательном переносе с 1 до n физического кубита процесс декогеренции можно количественно охарактеризовать функцией $F(\tau)$.

$$F(\tau) = \exp \left\{ - \sum_{j=1}^n \int_0^{\tau/n} dt \int_0^t dt' \langle \xi_j(t) \xi_j(t') \rangle - \sum_{j < k} \int_0^{\tau/n} dt \int_0^t dt' \left\langle \xi_k \left(\frac{\tau}{n}(k-j) + t \right) \xi_j(t') \right\rangle \right\}$$

В случае $1/f$ шумов с той же интенсивностью, некоррелированных на разных кубитах $F(\tau)$ равно

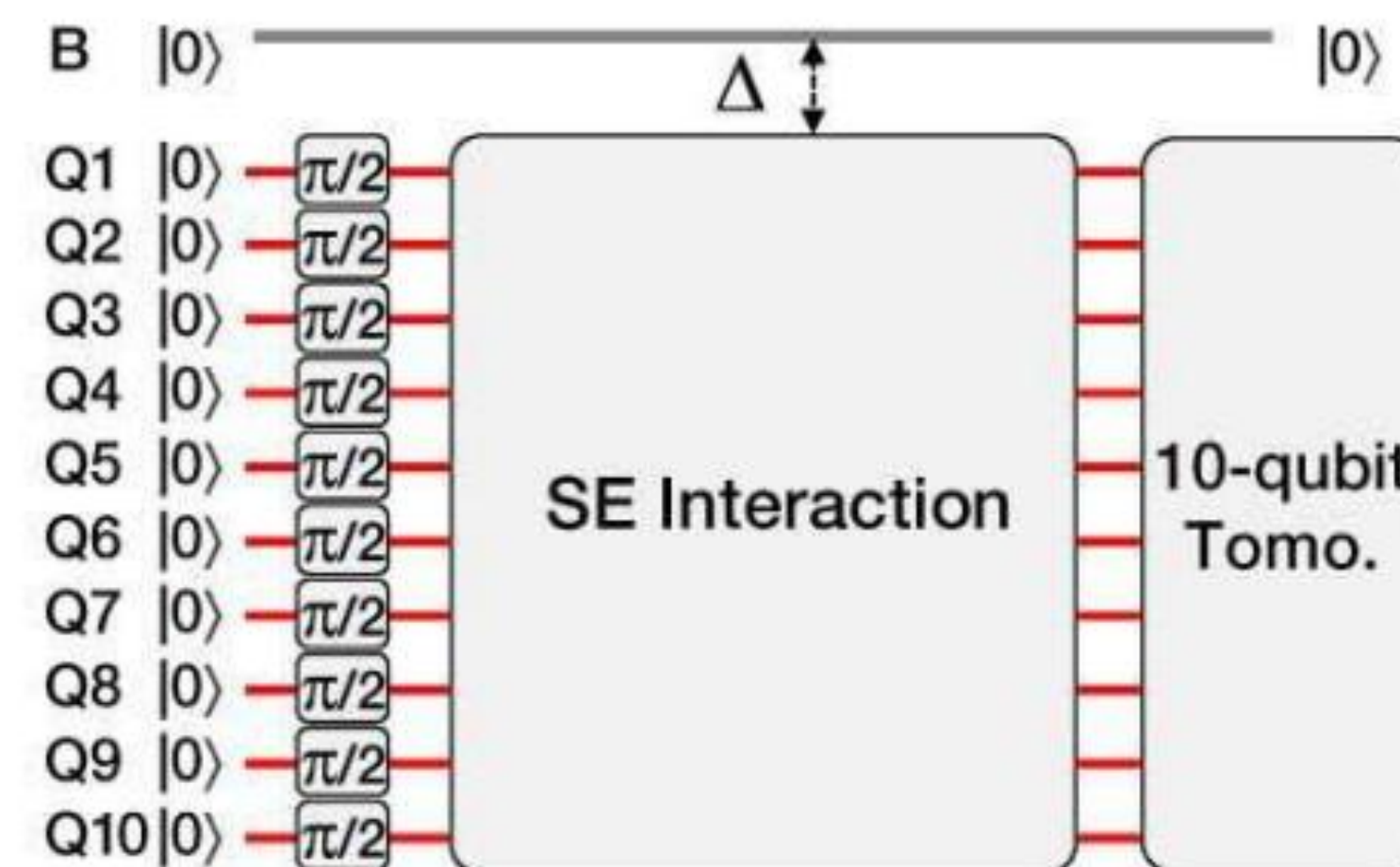
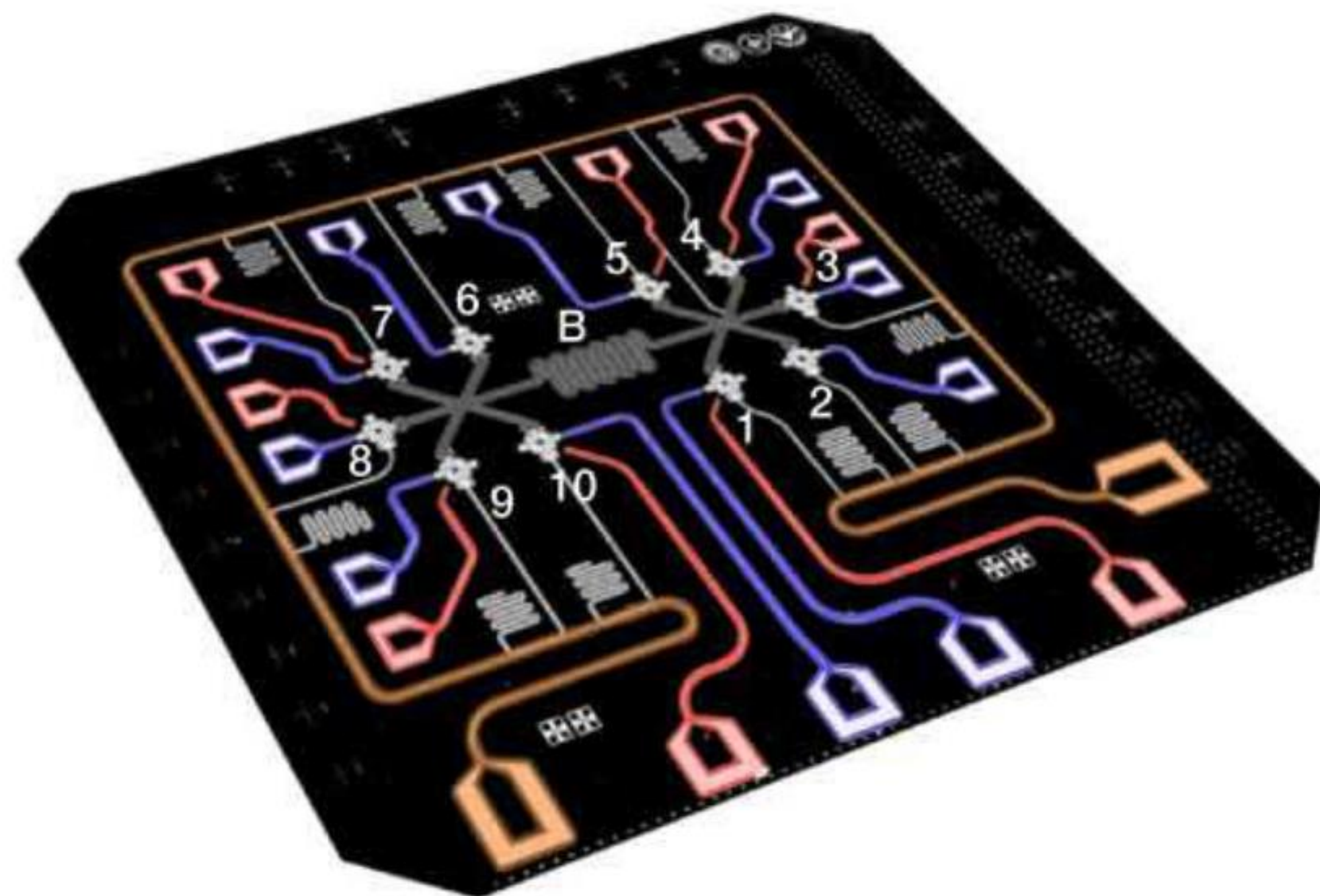
$$F(\tau) = e^{-(\tau/\tau_d)^2}, \quad \tau_d = \sqrt{2n}/W, \quad W^2 = (A/\pi) \ln(\omega_h/\omega_l)$$

МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ ДЕФАЗИРОВКИ В МНОГОКУБИТНЫХ СИСТЕМАХ



Логический кубит передается между двумя физическими кубитами путем последовательного применения двух SWAP гейтов.

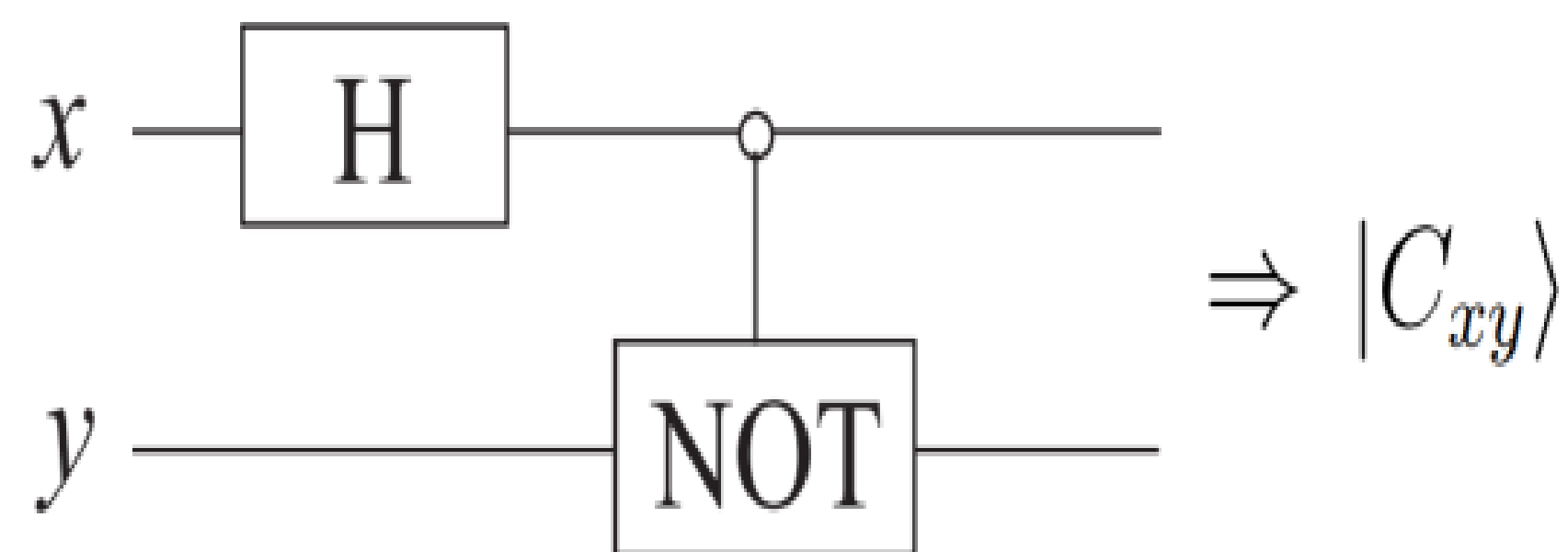
ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ



Каждому кубиту сообщается импульс $\pi/2$, далее происходит внутрипарное взаимодействие.

Следующим шагом происходит измерение кубитов в полученном состоянии в основаниях, образованных собственными векторами операторов Паули X , Y и Z и создание новых матриц вероятностей.

БЕЛЛОВСКОЕ СОСТОЯНИЕ



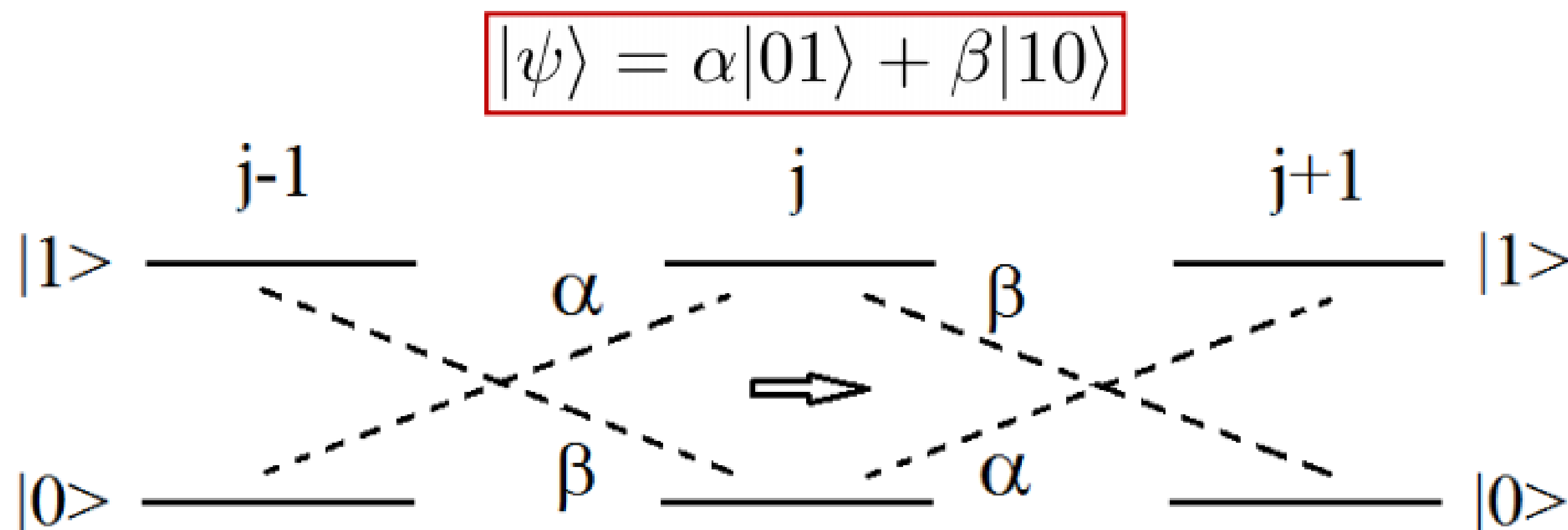
Физическая передача Белловского состояния реализует протокол подавления дефазировки, который объединяет подавление низкочастотного шума путем движения кубитов с простейшей схемой динамической развязки, спин-эхом.

$$|\psi\rangle = \alpha|01\rangle + \beta|10\rangle$$

ДВИЖЕНИЕ БЕЛЛОВСКОГО СОСТОЯНИЯ

Подача π - пульса не требуется, так как его роль автоматически воспроизводится передачей логического кубита.

Вклад шума j -го физического кубита в разность фаз между частями а и б в течение двух шагов уничтожается так же, как и в технике спинового эха.



$$F = e^{-\gamma t}, \quad \gamma = \frac{A\tau \ln 2}{2\pi}$$



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ КАРРА-ПАРСЕЛЛА

Движение логического кубита в массиве физических кубитов не выполняет автоматически отмену спинового эха, следовательно оно должно быть введено непосредственно π -пульсом, переворачивающим состояние логического кубита в середине временного интервала t .

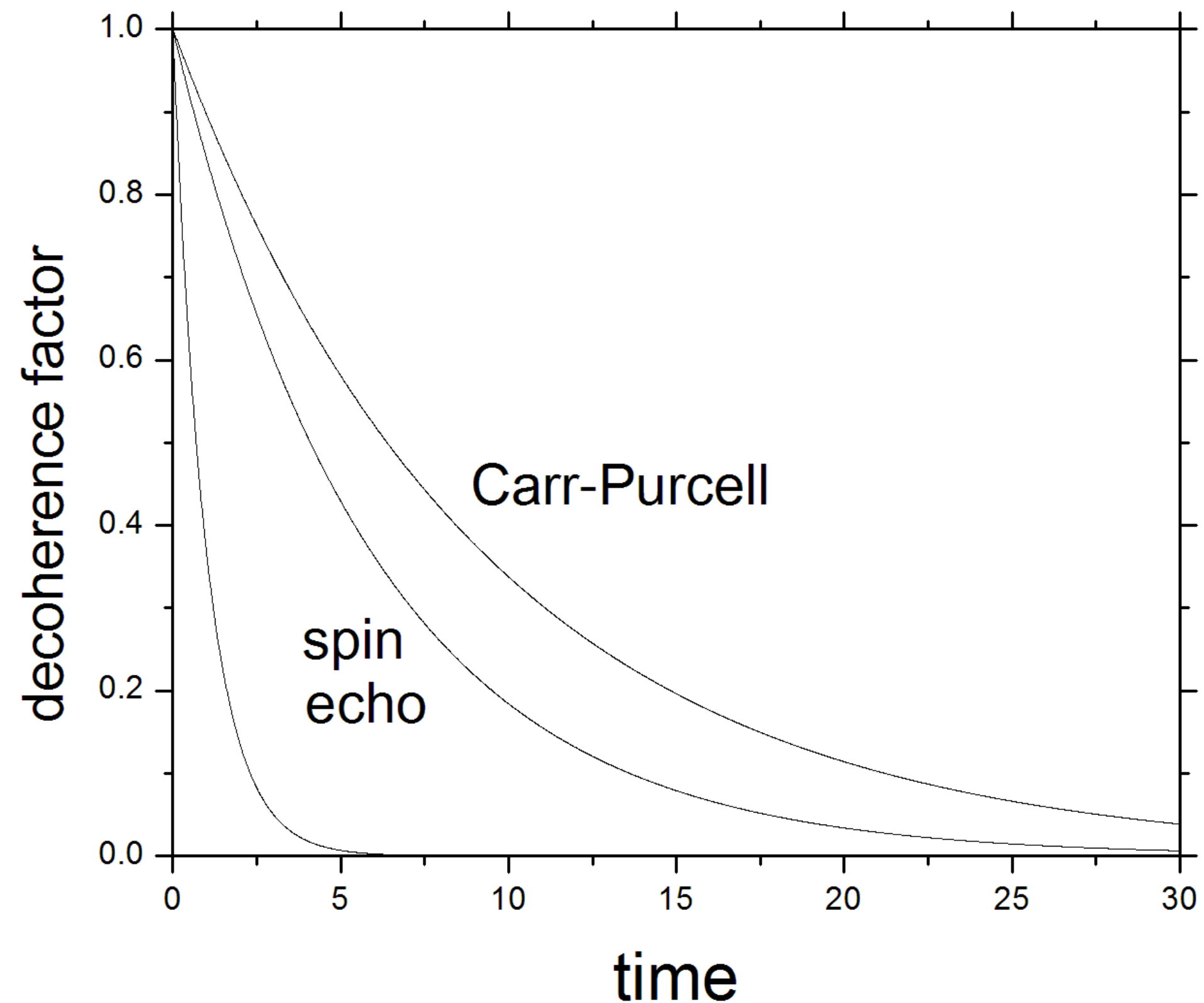
В таком случае также можно рассмотреть более сложные схемы шумоподавления, такие как последовательность Карра-Парселла, в которой один π -пульс заменяется двумя π -пульсами, временами $t / 4$ и $3t / 4$.

$$F_j = \langle \exp \left\{ i \int_0^{\tau/4} [\xi_j(t) + \xi_j(t + \tau/2)] dt - i \int_{\tau/4}^{3\tau/4} \xi_j(t) dt \right\} \rangle$$

Для шума $1 / f$ с одинаковыми интенсивностями A для всех кубитов имеем:

$$F_j = \exp \left\{ - \frac{A\tau^2}{8\pi} \left[\frac{9}{4} \ln(3) - \ln(2) \right] \right\}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ



Верхняя кривая соответствует протоколу последовательности Карра-Парселла для движения одного логического кубита.

Средняя кривая описывает декогеренцию Белловского состояния. Движение такого состояния автоматически реализует подавление спин-эха декогеренции в дополнение к подавлению посредством движения кубитов.

Нижняя кривая на графике соответствует простому движению одного логического кубита.



ВЫВОДЫ

Движение логического кубита в массиве физических кубитов приводит к увеличению времени дефазировки.

Белловское движение объединяет подавление низкочастотного шума посредством движения кубитов с простейшей схемой динамической развязки, спин-эхом.

Протокол последовательности Карр-Парселла для движения одного логического кубита дает параметрически то же выражение, что и простейшая схема развязки спинового эха.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Адрес: Москва, ул. Таллинская, д. 34, МИЭМ НИУ ВШЭ