



Нижегородский государственный университет  
им. Н.И.Лобачевского

*Институт Информационных Технологий, Математики и Механики*

# Экспериментальная оценка немарковости кубита в 5- кубитном квантовом компьютере

П. Е. Ведруков, А. В. Линев, И. Б. Мееров,  
Т. В. Лаптева

Москва, 25-26 сентября, RSCD-2023

# Содержание

- Методика проведения эксперимента
- Структура квантовых схем
- Результаты экспериментов
- Выводы

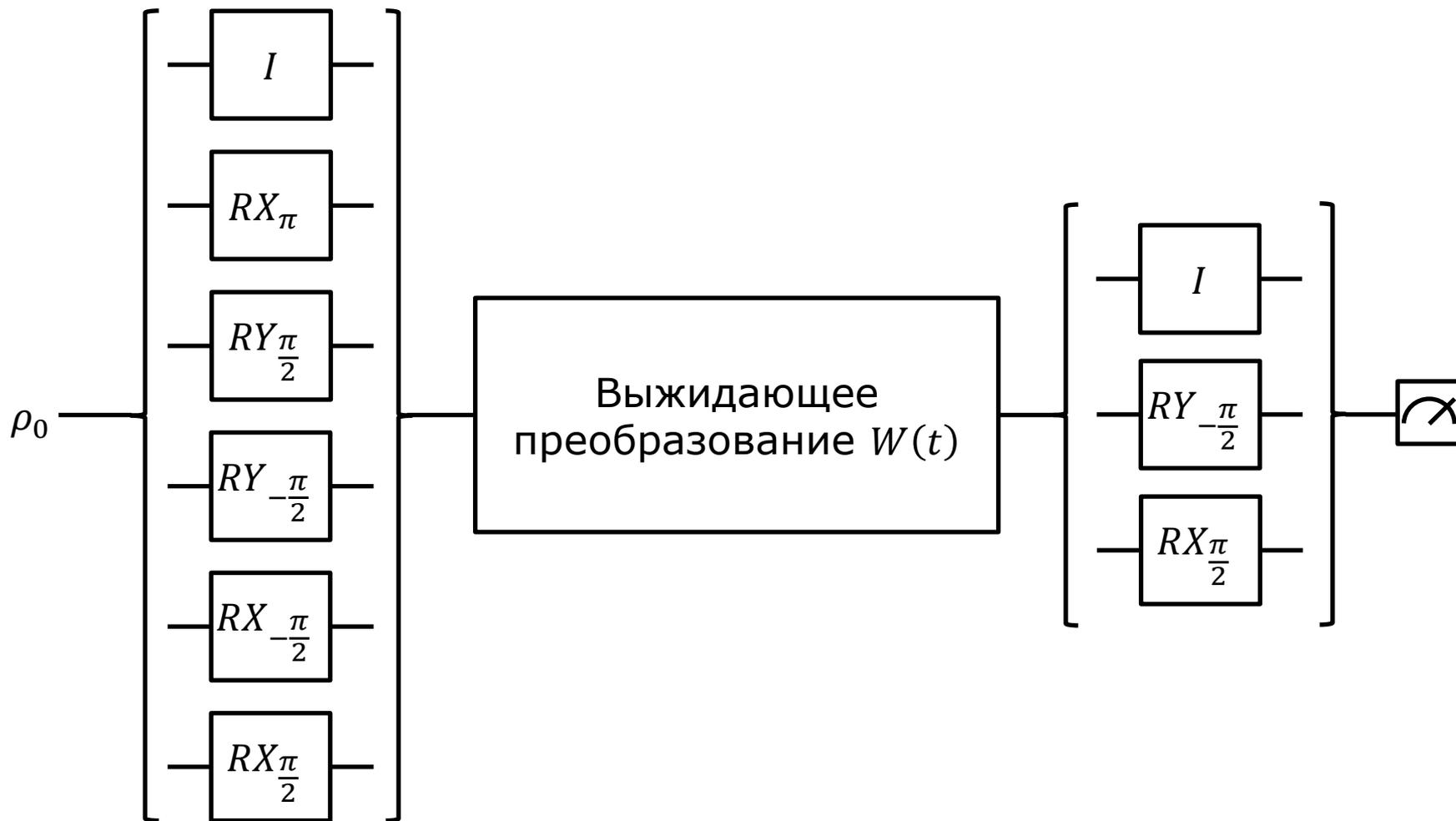


# Методика проведения эксперимента

- Запуск квантовых схем на квантовом компьютере
- Вычисление SPAM ошибки
- Восстановление дискретной динамики, описываемой матрицами Крауса
- Вычисление оценки немарковости кубита



# Структура квантовых схем



# SPAM ошибка

Расчет оценки SPAM (матрица начального состояния и матрица измерения) с помощью максимизации функции правдоподобия

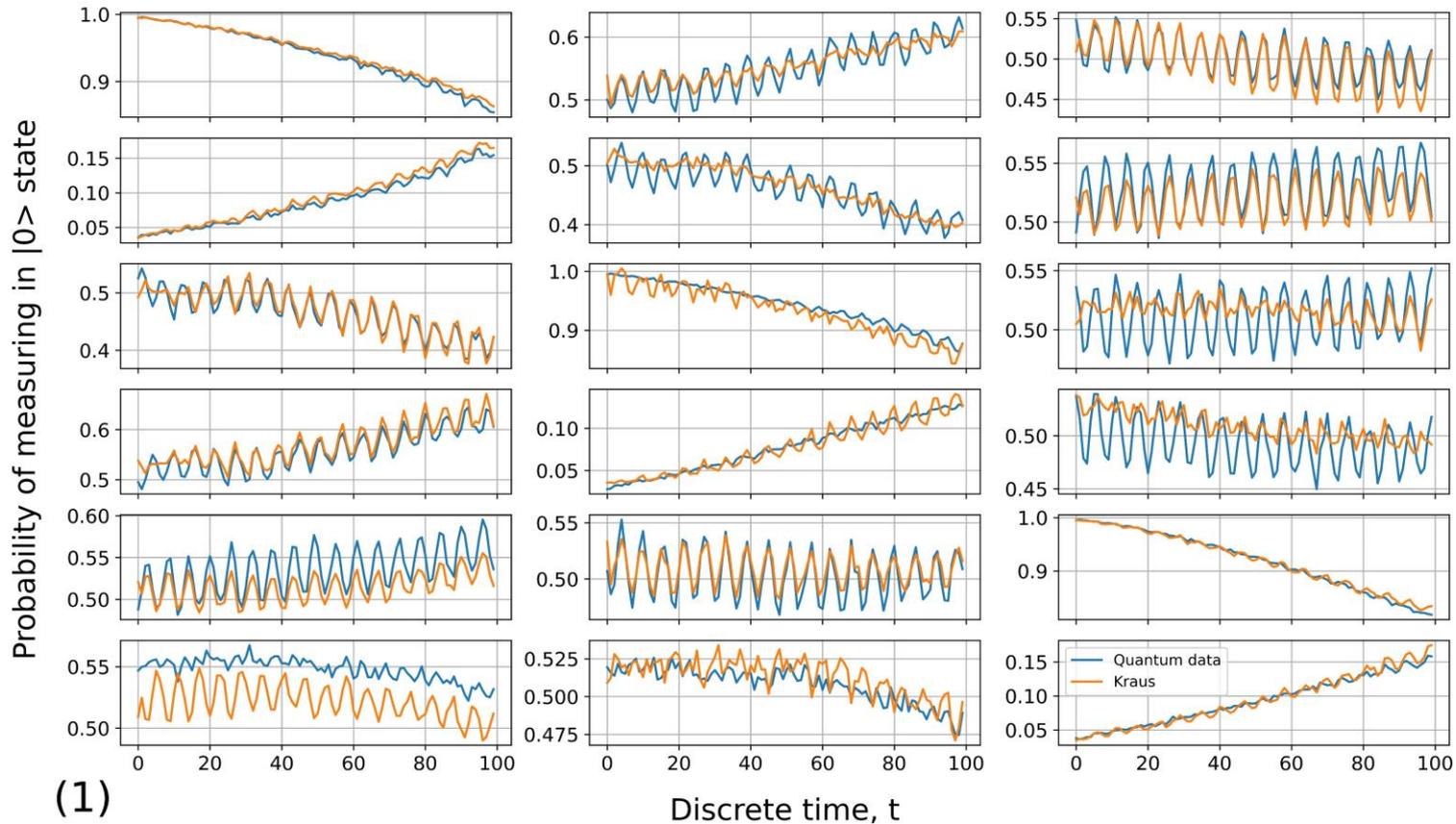
$$\ln(\mathcal{L}_{SPAM}) = \sum_{b,s} f(s,b) \ln(\text{Tr}[\rho_s M_b]) + \bar{f}(s,b) \ln(\text{Tr}[\rho_s (1 - M_b)])$$

ibmq\_belem

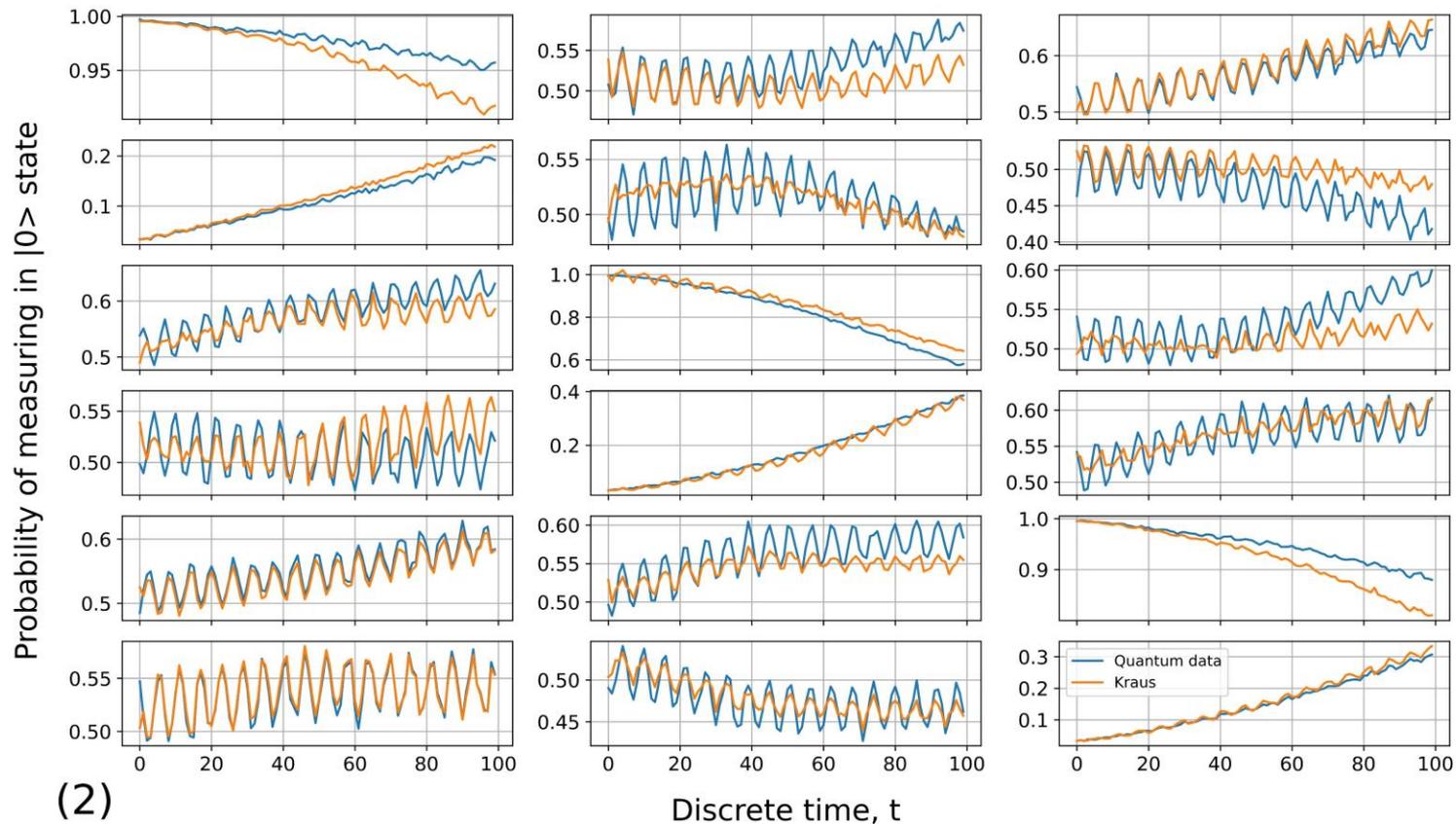
Эксперимент 1	Эксперимент 2
$\rho_0 = \begin{pmatrix} 0.9955 & -0.0061 + 0.0067i \\ -0.0061 - 0.0067i & 0.0045 \end{pmatrix}$	$\rho_0 = \begin{pmatrix} 0.9962 & -0.0018 + 0.0018i \\ -0.0018 - 0.0018i & 0.0038 \end{pmatrix}$
$M_0 = \begin{pmatrix} 0.9995 & -0.017 + 0.0124i \\ -0.017 - 0.0124i & 0.0307 \end{pmatrix}$	$M_0 = \begin{pmatrix} 0.9992 & -0.0228 + 0.0128i \\ -0.0228 - 0.0128i & 0.0293 \end{pmatrix}$



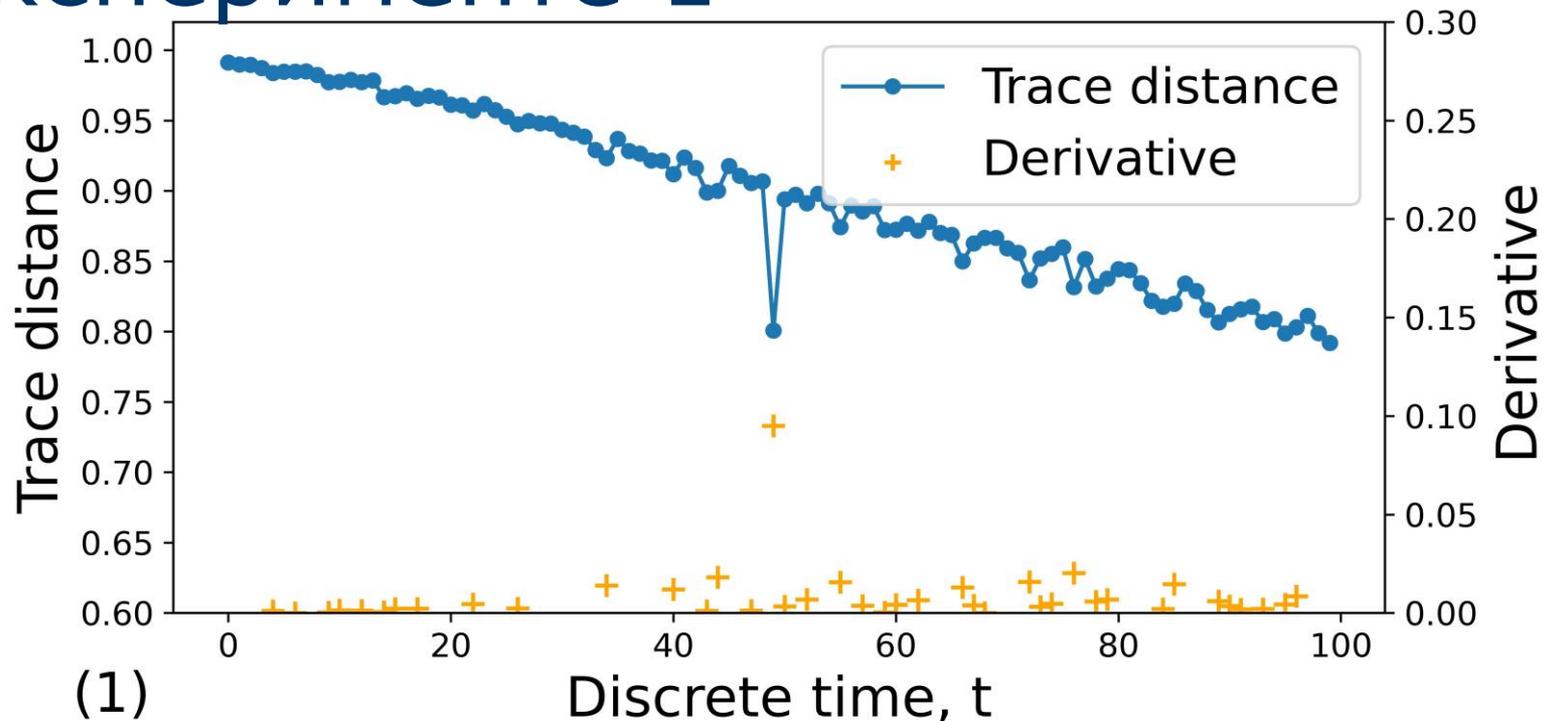
# Восстановление дискретной динамики в эксперименте 1



# Восстановление дискретной динамики в эксперименте 2



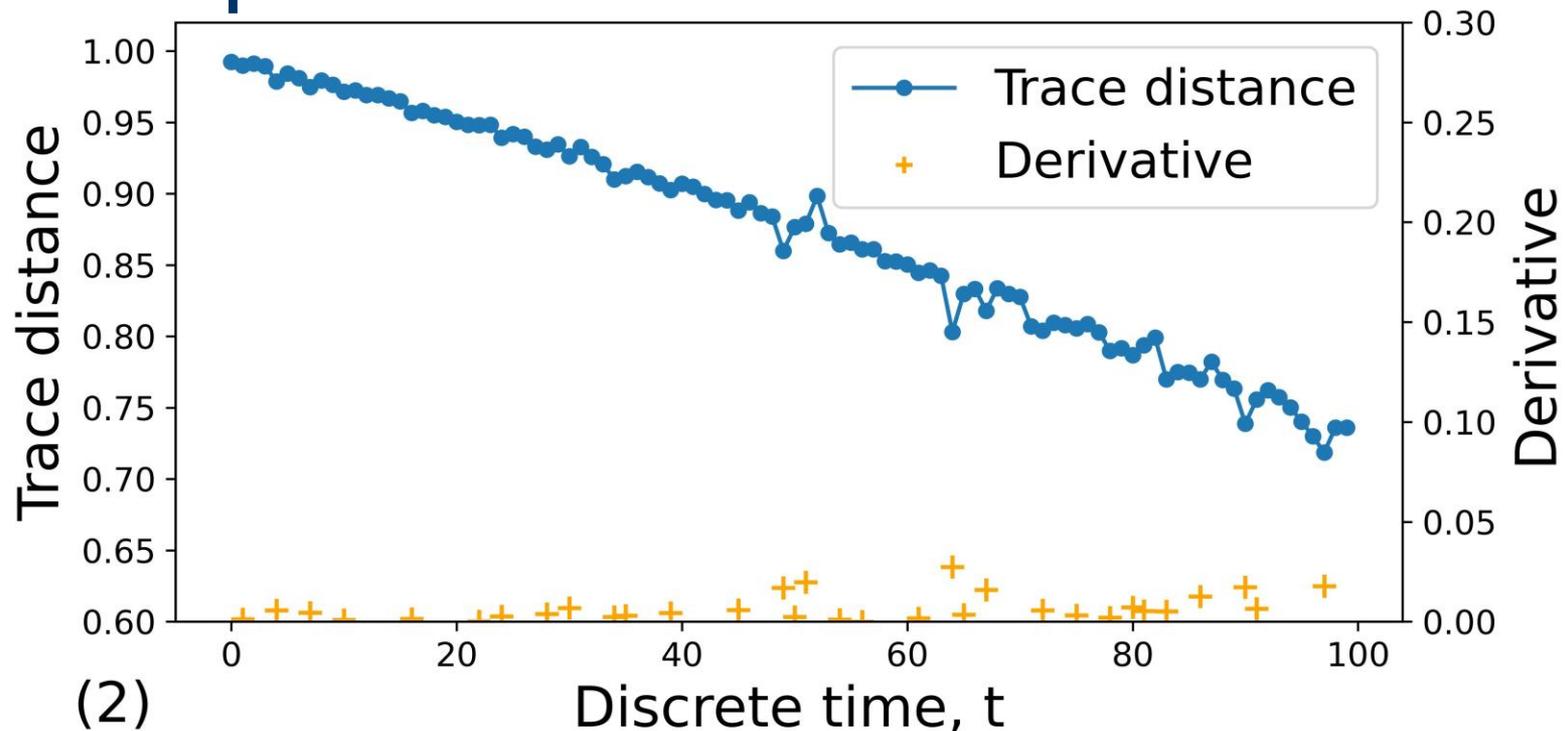
# Оценка немарковости в эксперименте 1



$$N_{markov} = \max_{\rho_1(0), \rho_2(0)} \int_{\sigma > 0} \sigma(t, \rho_1(0), \rho_2(0)) dt, \sigma(t, \rho_1(0), \rho_2(0)) dt$$
$$= \frac{d}{dt} D(\rho_1(t), \rho_2(t))$$



# Оценка немарковости в эксперименте 2



$$N_{markov} = \max_{\rho_1(0), \rho_2(0)} \int_{\sigma > 0} \sigma(t, \rho_1(0), \rho_2(0)) dt, \sigma(t, \rho_1(0), \rho_2(0)) dt$$
$$= \frac{d}{dt} D(\rho_1(t), \rho_2(t))$$



# Заключение

- Был произведен запуск 3600 различных квантовых схем, каждая из которых отработала 20 000 раз: 2 эксперимента \* 100 моментов времени \* 6 начальных состояний \* 3 измеряемых базиса. Запуск квантовых схем производился на 5-кубитном квантовом компьютере IBM ibmq\_belem
- Были произведены оценки SPAM ошибки и матриц Крауса для моментов времени  $t_i = [1, 2, \dots, 99]$ .
- Была рассчитана оценка немарковости. Полученные результаты показывают низкую степень немарковости, к тому же, проявляющейся в виде «выбросов», что может быть связано с ошибками при выполнении экспериментов. Также они позволяют рассчитывать на возможность описания наблюдаемых процессов в виде не зависящего от времени уравнения Линдблада.



# Контакты и благодарности

- Ведруков Павел Евгеньевич  
([pavelvedrukov@mail.ru](mailto:pavelvedrukov@mail.ru))
- Линев Алексей Владимирович  
([alin@unn.ru](mailto:alin@unn.ru))
- Работа поддержана научно-образовательным математическим центром «Математика технологий будущего»

