

Мета-квантовые вычисления на многообразиях Калаби–Яу. Лекция. от кудитов к СУбитам и Мета-СУбитам

[Евгений Монахов]
LCC "VOSCOM ONLINE" Research Initiative
<https://orcid.org/0009-0003-1773-5476>

Сентябрь 2025

Вступление

Добрый день, коллеги. Сегодня я расскажу о концепции, которая расширяет современное понимание квантовых вычислений. Мы начнём с привычного — бита и кубита — и шаг за шагом поднимемся к новой вычислительной единице: *СУбиту*, основанному на многообразиях Калаби–Яу. Затем мы сделаем ещё один шаг и введём *Мета-СУбит* — объект, который живёт в пространстве волновых функционалов. Таким образом, мы получаем систему, где квантовые принципы «вшиты» в саму структуру вычислений.

1 От бита к кубиту

Классический бит определяется как

$$x \in \{0, 1\}.$$

Кубит описывается как суперпозиция:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$

n кубитов образуют пространство размерности 2^n .

2 Кудиты

Обобщение кубита до d измерений:

$$|\psi\rangle = \sum_{i=1}^d \alpha_i |i\rangle, \quad \sum_{i=1}^d |\alpha_i|^2 = 1.$$

Кудиты позволяют хранить больше информации в одной ячейке и сокращать глубину квантовых схем.

3 СҮбит

Пусть M — многообразие Калаби–Яу размерности k . Мы определяем СҮбит как сечение:

$$\psi : M \rightarrow \mathbb{C}^d, \quad \psi(p) = (\psi_1(p), \dots, \psi_d(p)).$$

Скалярное произведение:

$$\langle \psi, \phi \rangle = \int_M \psi^\dagger(p) \phi(p) d\mu(p).$$

Таким образом,

$$\mathcal{H}_{CY} = L^2(M, \mathbb{C}^d).$$

4 CYlink и CYgluon

Связь между СҮбитами:

$$H = \sum_{(p,q) \in E} w_{pq} e^{i\phi_{pq}} U_{pq} \otimes |p\rangle\langle q| + \text{h.c.}$$

Параметры:

- w_{pq} — вес связи (метрика CY),
- ϕ_{pq} — фаза (интеграл Berry),
- U_{pq} — оператор перехода.

Мы также вводим *CYgluon* — объект, описывающий взаимодействие связей:

$$\hat{\mathcal{G}}(L_1, L_2) \sim g \int \Psi[\psi] F[L_1, L_2; \psi] \mathcal{D}\psi.$$

5 Мета-СҮбит

Ключевой шаг — повторное квантование. СҮбит живёт в \mathcal{H}_{CY} . Теперь вводим *волновой функционал*:

$$\Psi[\psi] \in L^2(\mathcal{H}_{CY}, \mathcal{D}\psi).$$

Нормировка:

$$\int |\Psi[\psi]|^2 \mathcal{D}\psi = 1.$$

Эволюция описывается функциональным уравнением Шрёдингера:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi[\psi] = \hat{\mathcal{H}} \Psi[\psi].$$

6 Сравнение уровней

Уровень	Объект	Пространство состояний
0	Бит	$\{0, 1\}$
1	Кубит/Кудит	\mathbb{C}^d
2	СҮбит	$\mathcal{H}_{CY} = L^2(M, \mathbb{C}^d)$
3	Мета-СҮбит	$\mathcal{H}_{Meta} = L^2(\mathcal{H}_{CY}, \mathcal{D}\psi)$

7 Вычислительный потенциал

Примерные оценки:

- Классический ПК: 10^{12} операций/с.
- 50 кубитов: $\sim 10^{15}$ амплитуд.
- 10 СУбитов (3D, $m = 10$): 10^{30} амплитуд.
- 10 СУбитов (6D, $m = 10$): 10^{60} амплитуд.
- Мета-СУбит: суперэкспоненциальное пространство функционалов.

8 Последствия

Математика: вычислительная геометрия Калаби–Яу.

Физика: новые применения СУ вне космологии.

Информатика: новая парадигма мета-квантовых вычислений.

ИИ: потенциальные новые архитектуры для обучения и моделирования.

Заключение

Мы прошли путь: бит \rightarrow кубит \rightarrow кудит \rightarrow СУбит \rightarrow Мета-СУбит. Эта иерархия открывает новый класс вычислительных моделей, где квантовые принципы встроены в саму структуру архитектуры. Дальнейшие исследования могут привести к созданию устройств, работающих в пространствах, которые мы пока только начинаем постигать.

Citation (BibTeX - EN)

```
@misc{CY_meta_quantum_2025,  
  author      = {Evgeny Monakhov and LCC "VOSCOM ONLINE" Research Initiative},  
  title       = {Meta-Quantum Computing on Calabi--Yau Manifolds},  
  year        = {2025},  
  publisher    = {Zenodo},  
  doi         = {10.5281/zenodo.17050352},  
  url         = {https://doi.org/10.5281/zenodo.17050352},  
  orcid       = {0009-0003-1773-5476},  
  url_orcid    = {https://orcid.org/0009-0003-1773-5476},  
  organization = {https://voscom.online/}  
}
```