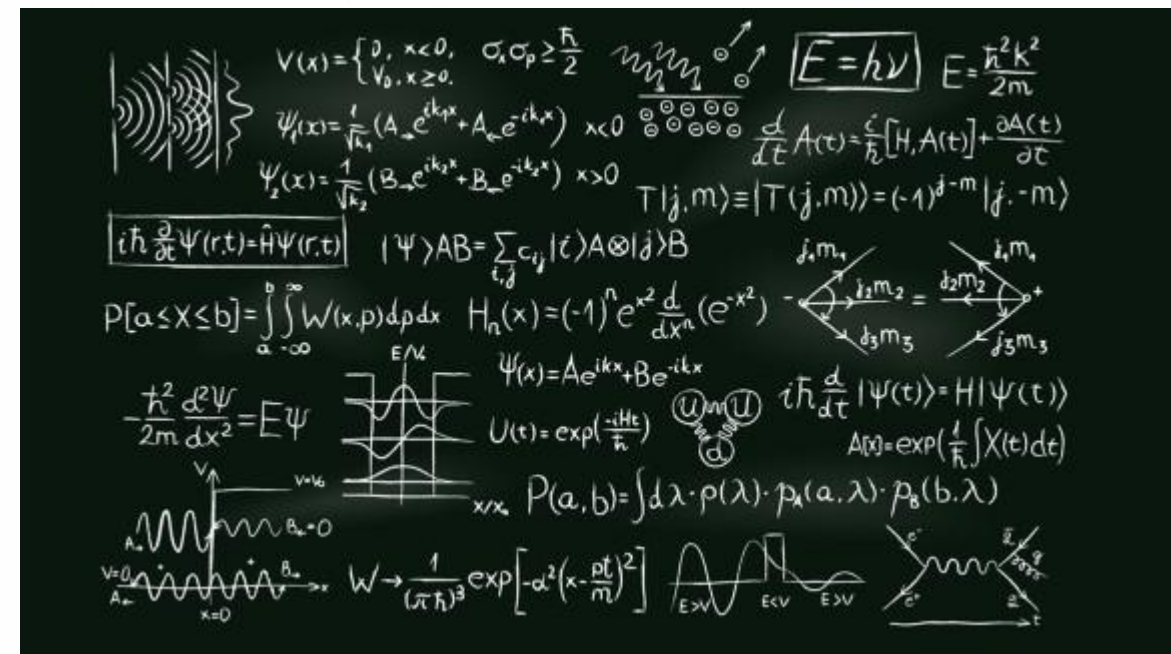


РЕШЕНИЕ ПРОСТЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ КВАНТОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ AZURE QUANTUM

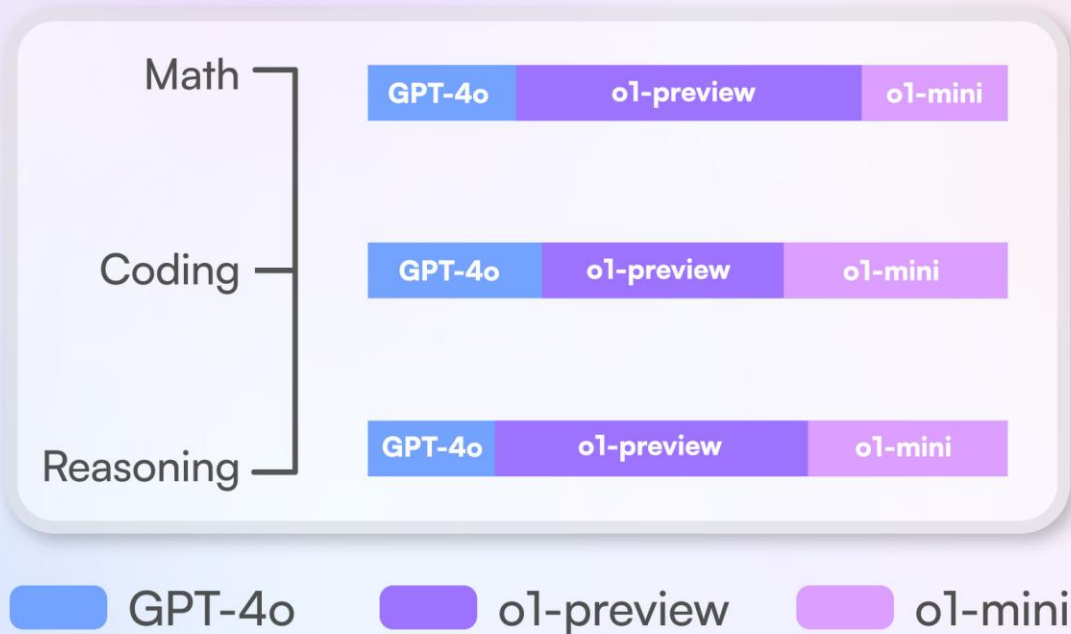
Карманов Андрей Андреевич
НТП "Криптософт"

100 YEARS OF QUANTUM IS JUST THE BEGINNING

The 2025 International Year of Quantum Science and Technology (IYQ) recognizes 100 years since the initial development of quantum mechanics. Join us in engaging with quantum science and technology and celebrating throughout the year!



Performance Score Chart





OpenAI

POLITICS

Trump announces up to \$500 billion in private sector AI infrastructure investment

By Jennifer Jacobs
Updated on: January 22, 2025 / 4:00 PM EST / CBS News



СЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Attention is all you need

[A Vaswani, N Shazeer, N Parmar...](#) - Advances in neural ..., 2017 - [proceedings.neurips.cc](#)

... to attend to **all** positions in the decoder up to and including that position. **We need** to prevent ... **We** implement this inside of scaled dot-product **attention** by masking out (setting to $-\infty$) ...

☆ Сохранить Цитировать Цитируется: 88474 Похожие статьи Все версии статьи (62)

[HTML] Machine learning meets quantum physics

[S Das Sarma, DL Deng, LM Duan](#) - **Physics** Today, 2019 - [pubs.aip.org](#)

... New **quantum** algorithms may offer tantalizing prospects to enhance **machine learning** itself. The interaction between **machine learning** and **quantum physics** will undoubtedly benefit ...


☆ Сохранить Цитировать Цитируется: 156 Похожие статьи Все версии статьи (6)

СЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

[HTML] Barren plateaus in **quantum neural network** training landscapes

[JR McClean, S Boixo, VN Smelyanskiy...](#) - Nature ..., 2018 - nature.com


... intermediate scale **quantum** devices involve training a parameterized **quantum** circuit with a
... Such hybrid **quantum**-classical algorithms are popular for applications in **quantum** simulation...

☆ Сохранить  Цитировать Цитируется: 1295 Похожие статьи Все версии статьи (15)

[HTML] Generalization in quantum machine learning from few training data

[MC Caro, HY Huang, M Cerezo, K Sharma...](#) - Nature ..., 2022 - nature.com

Modern quantum machine learning (QML) methods involve variationally optimizing a
parameterized quantum circuit on a training data set, and subsequently making predictions ...

☆ Сохранить  Цитировать Цитируется: 136 Похожие статьи Все версии статьи (12)

КВАНТОВЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ. ОСНОВНАЯ ИДЕЯ



Квантовые нейронные сети (Quantum Neural Networks, QNN) — это гибридная область исследований, объединяющая квантовые вычисления и искусственные нейронные сети. Они представляют собой попытку использовать принципы квантовой механики для улучшения или создания новых моделей машинного обучения. Вот основные аспекты, которые помогут понять, что такое квантовые нейронные сети:

1. Основная идея

Квантовые нейронные сети используют квантовые состояния и операции для обработки информации. В отличие от классических нейронных сетей, которые работают с битами (0 и 1), QNN оперируют **кубитами** (quantum bits), которые могут находиться в суперпозиции состояний (одновременно 0 и 1). Это позволяет потенциально обрабатывать данные экспоненциально быстрее и решать задачи, которые классическим компьютерам недоступны.



КВАНТОВЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ. КЛЮЧЕВЫЕ КОМПОНЕНТЫ. ПРЕИМУЩЕСТВА

2. Ключевые компоненты

- **Кубиты:** Основные единицы информации в квантовых вычислениях.
- **Квантовые гейты:** Аналоги логических операций в классических компьютерах, но с учетом квантовых эффектов, таких как суперпозиция и запутанность.
- **Квантовые схемы:** Последовательности квантовых гейтов, которые выполняют вычисления.
- **Квантовое обучение:** Процесс настройки параметров квантовой нейронной сети для минимизации ошибки.

3. Преимущества квантовых нейронных сетей

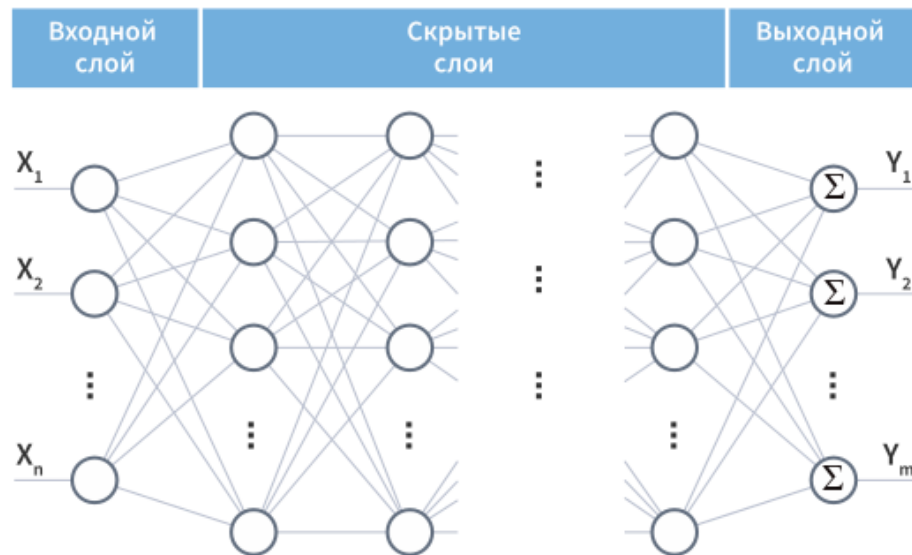
- **Ускорение вычислений:** Квантовые компьютеры могут обрабатывать большие объемы данных параллельно благодаря суперпозиции.
- **Эффективность для сложных задач:** QNN могут быть полезны для задач, связанных с оптимизацией, моделированием сложных систем или обработкой больших данных.
- **Новые возможности:** Квантовые нейронные сети могут открыть новые подходы к машинному обучению, которые невозможны в классических системах.



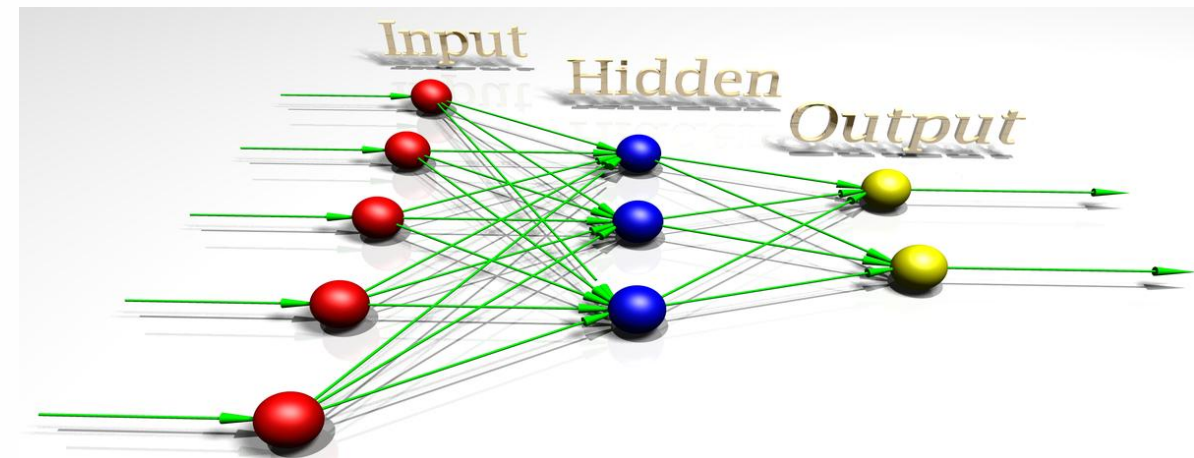
КЛАССИЧЕСКИЕ И КВАНТОВЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Классическая нейронная сеть — математическая модель, а также ее программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации или функционирования биологических нейронных сетей.

Квантовая нейронная сеть — вычислительная модель нейронной сети, основанная на принципах квантовой механики.



Классическая нейронная сеть

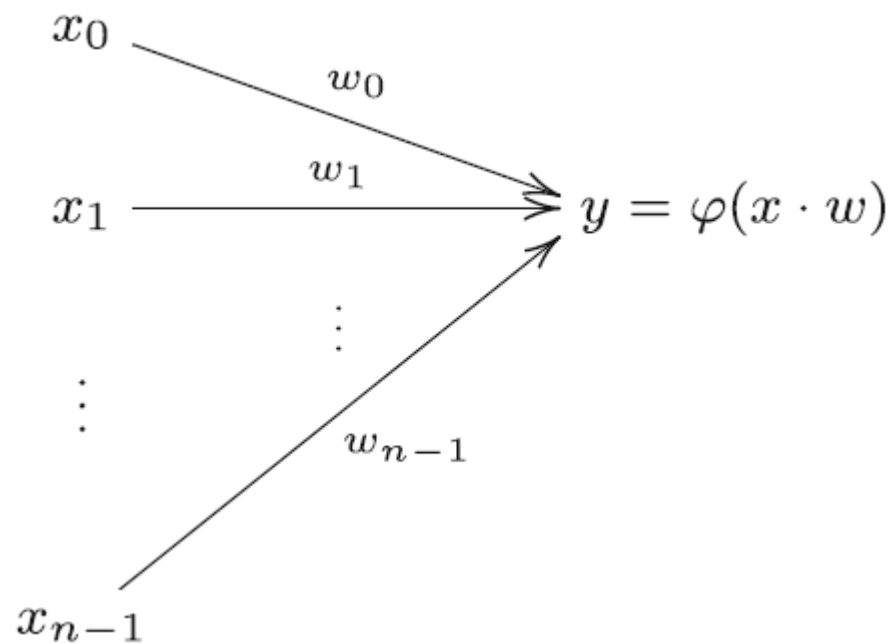


Квантовая нейронная сеть

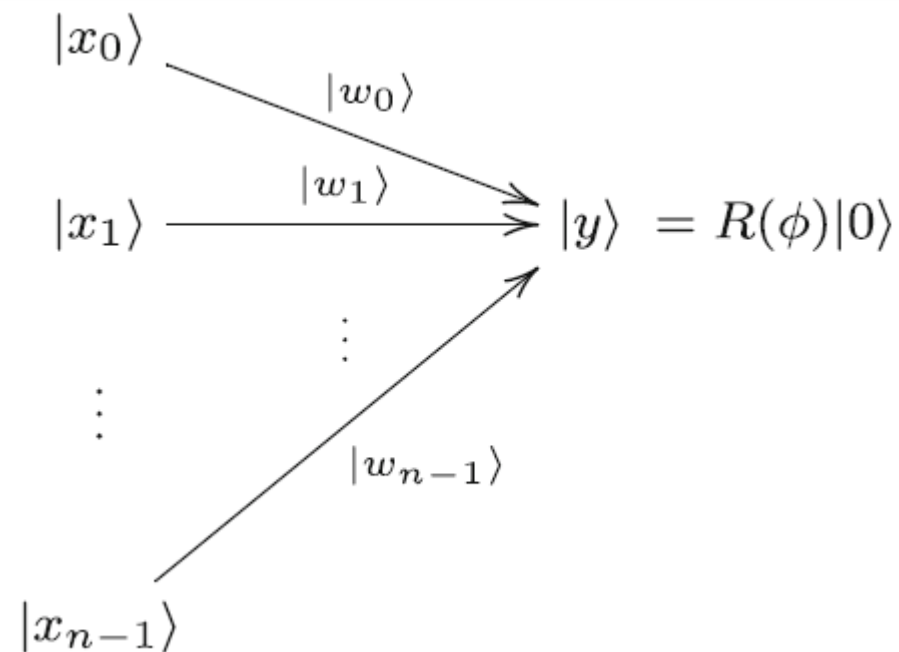
КЛАССИЧЕСКИЕ И КВАНТОВЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Перцептрон — математическая или компьютерная модель восприятия информации мозгом (простейшая искусственная нейронная сеть).

Квантовый перцептрон — параметризованная квантовая схема, применяемая к кубитам на соседних слоях нейронной сети.



Перцептрон Розенблатта



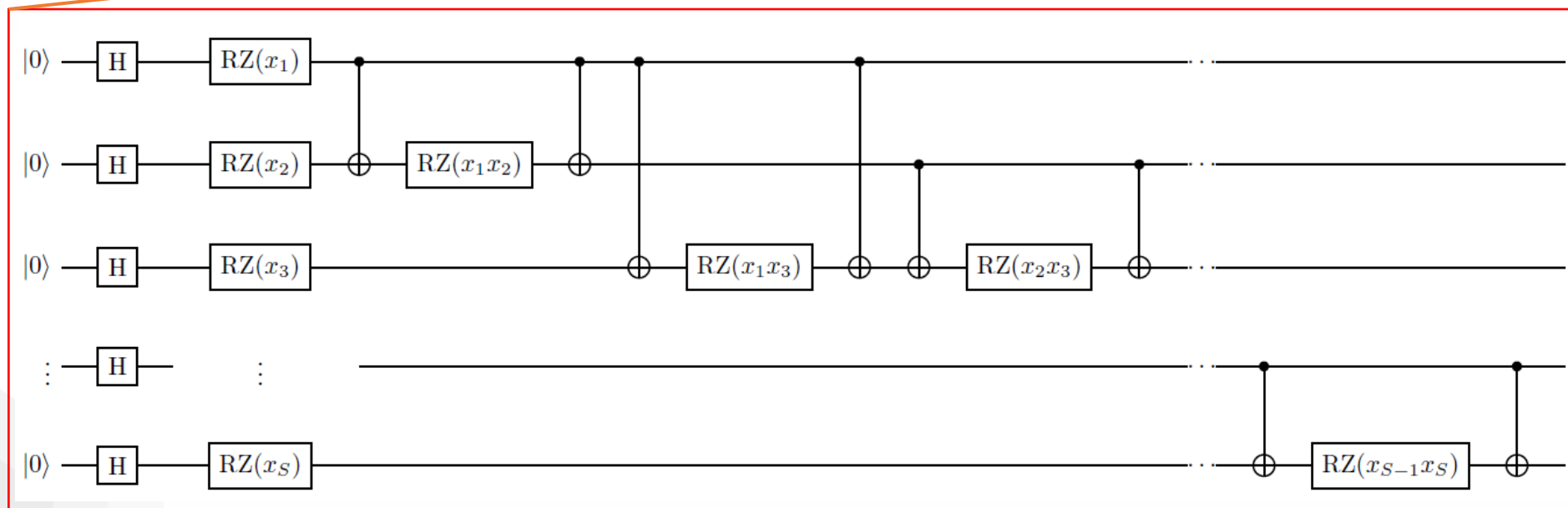
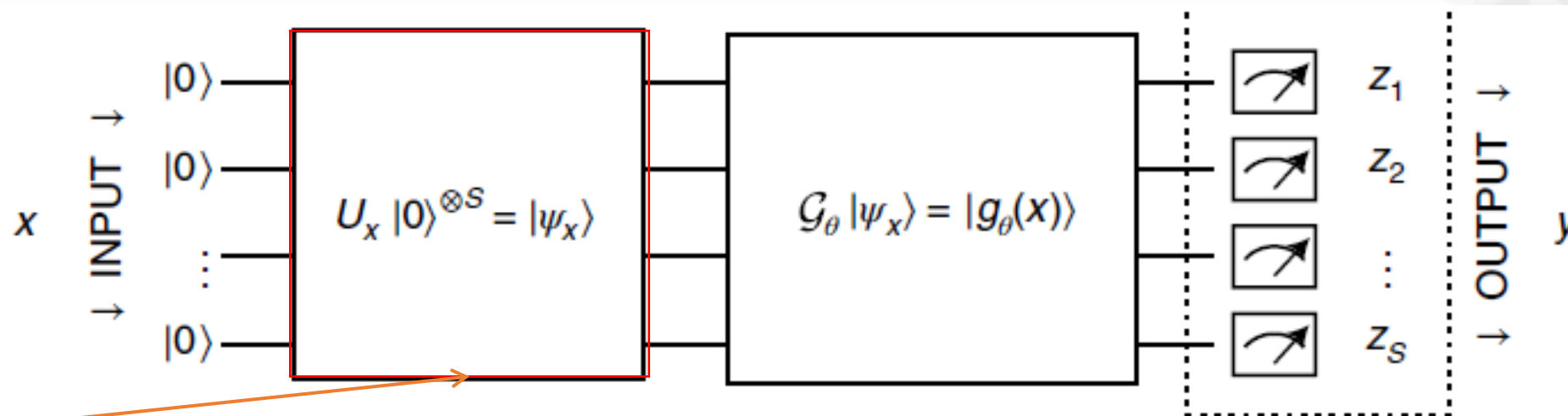
Квантовый перцептрон

КВАНТОВЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

- 1 • Квантовые данные
- 2 • Квантовый алгоритм
- 3 • Классические данные
- 4 • Классический алгоритм
- 5 • Гибридные схемы

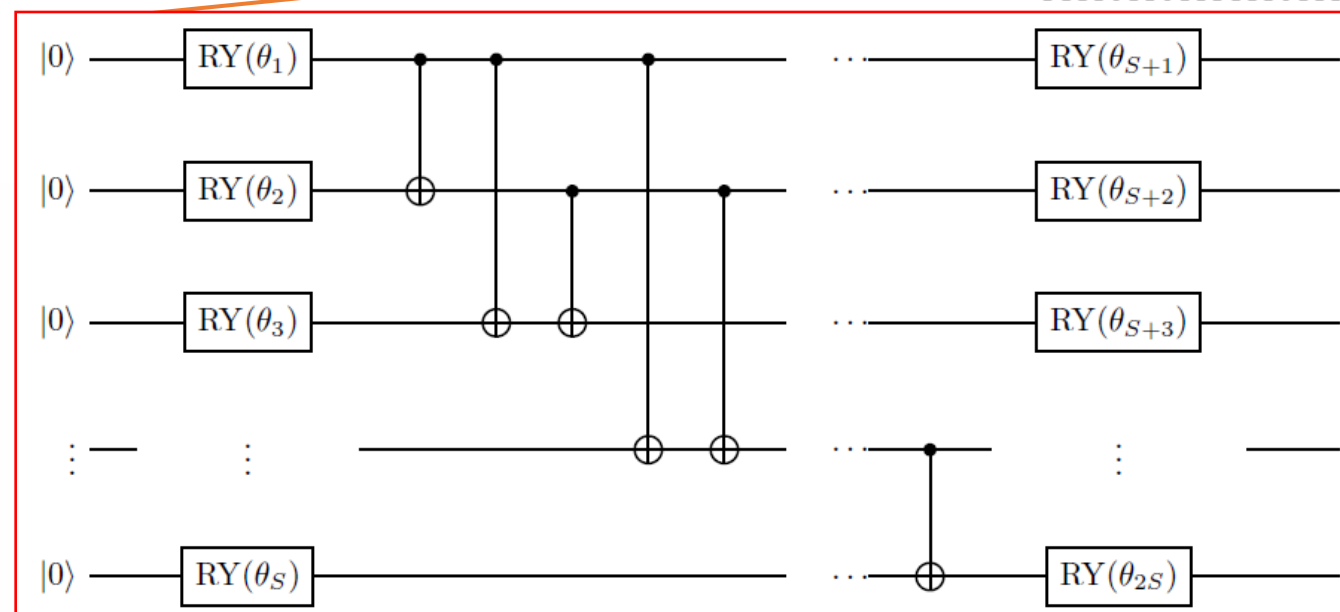
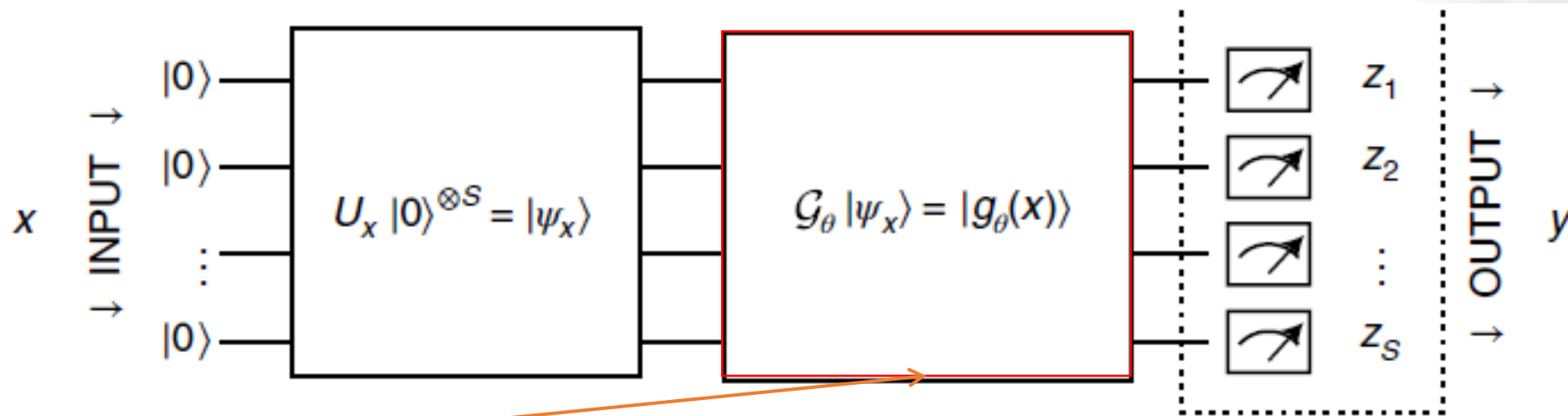
Type of Algorithm			
		<i>classical</i>	<i>quantum</i>
Type of Data	<i>classical</i>	CC	CQ
	<i>quantum</i>	QC	QQ

РЕШЕНИЕ ПРОСТЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ КВАНТОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ. АРХИТЕКТУРА



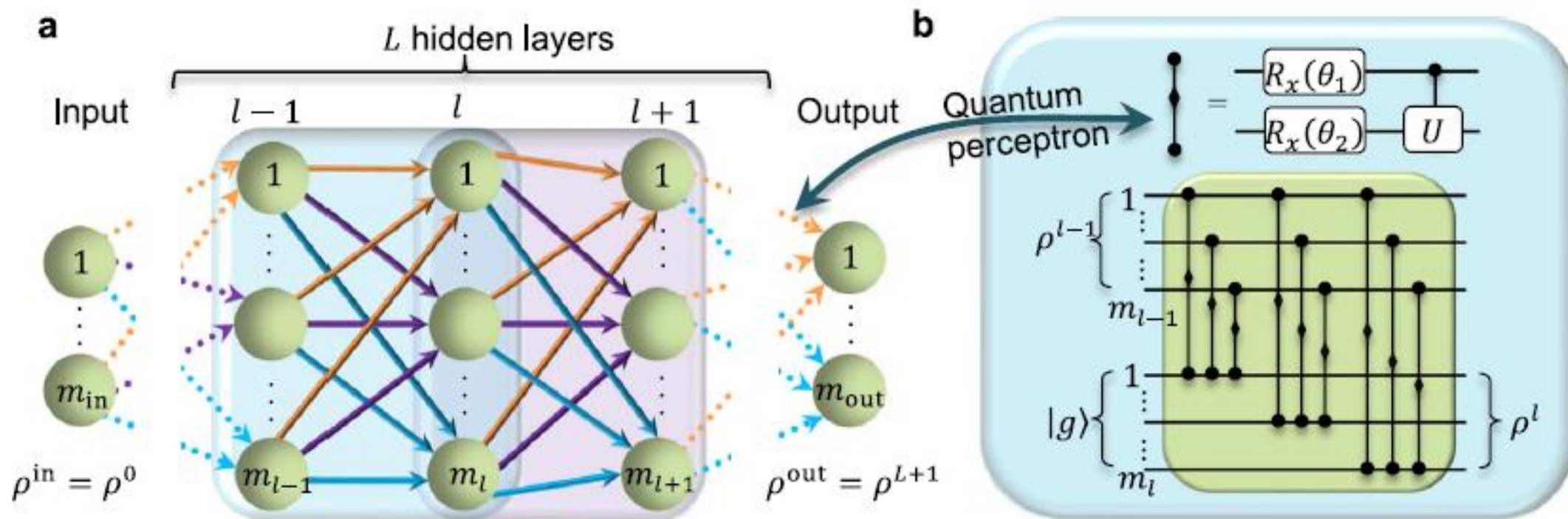
*Abbas A. et al. The power of quantum neural networks // Nature Computational Science. 2021 (<https://doi.org/10.1038/s43588-021-00084-1>)

РЕШЕНИЕ ПРОСТЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ КВАНТОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ. АРХИТЕКТУРА



*Abbas A. et al. The power of quantum neural networks // Nature Computational Science. 2021 (<https://doi.org/10.1038/s43588-021-00084-1>)

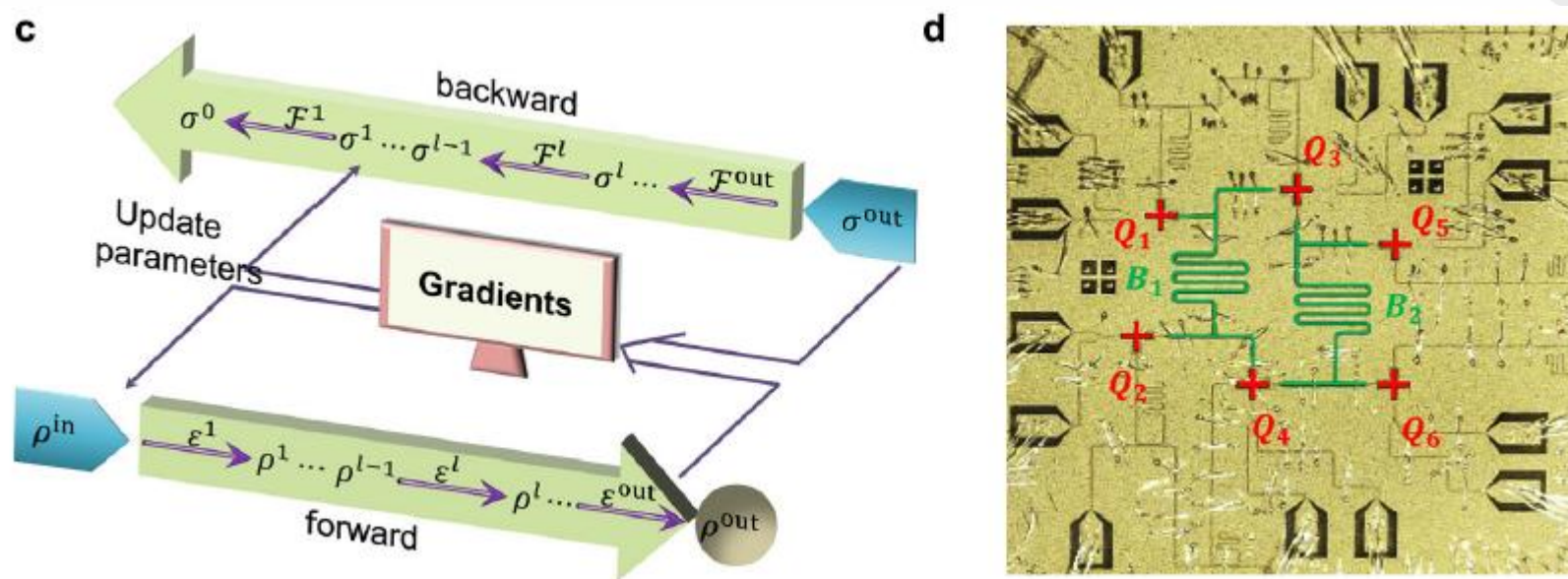
ГЛУБОКАЯ КВАНТОВАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ НА СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ПРОЦЕССОРЕ



- а) схема обучения глубокой квантовой нейронной сети;
б) квантовый перцептрон реализуется путем применения двух однокубитных вентилей вращения и CNOT

*Pan X. et al. Deep quantum neural networks on a superconducting processor// Nature Computational Science. 2021 (<https://doi.org/10.1038/s43588-021-00084-1>)

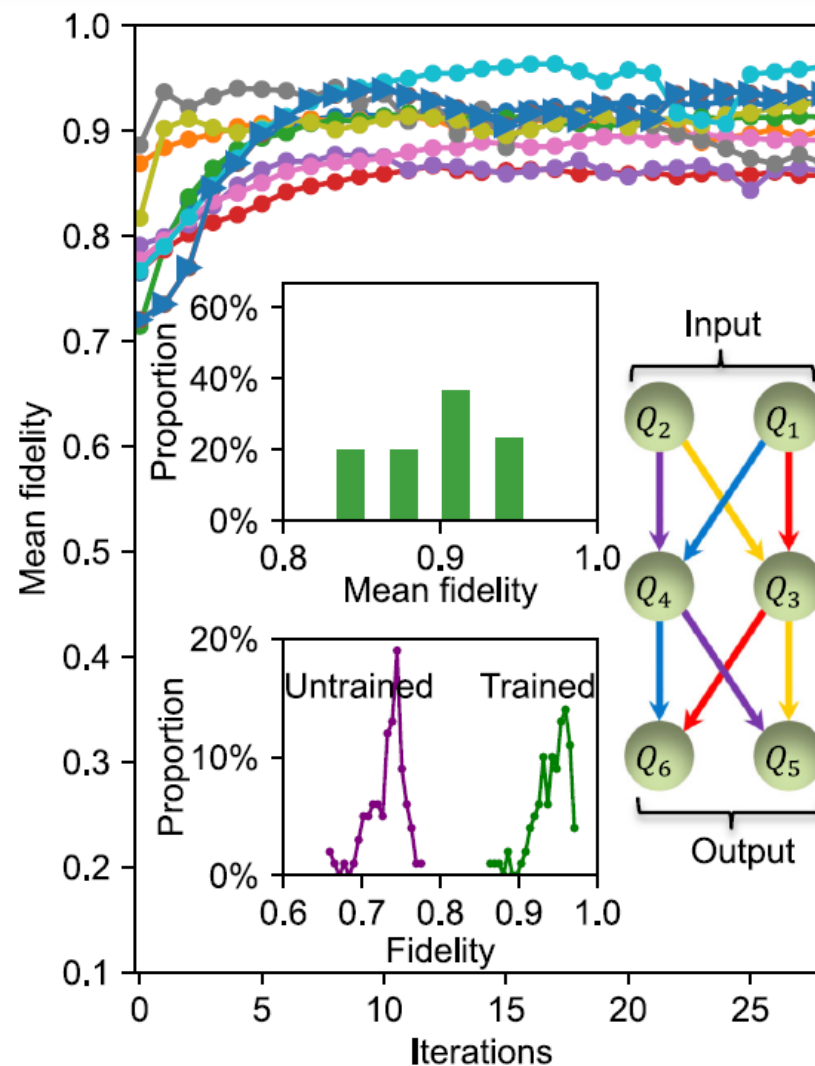
ГЛУБОКАЯ КВАНТОВАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ НА СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ПРОЦЕССОРЕ



- с) иллюстрация квантового алгоритма обратного распространения ошибки;
d) квантовый процессор с шестью сверхпроводящими трансмонными кубитами для реализации глубокой квантовой нейронной сети.

*Pan X. et al. Deep quantum neural networks on a superconducting processor// Nature Computational Science. 2021 (<https://doi.org/10.1038/s43588-021-00084-1>)

ГЛУБОКАЯ КВАНТОВАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ. ИЗУЧЕНИЕ ДВУХКУБИТНЫХ СОСТОЯНИЙ. КЛАССИФИКАЦИЯ



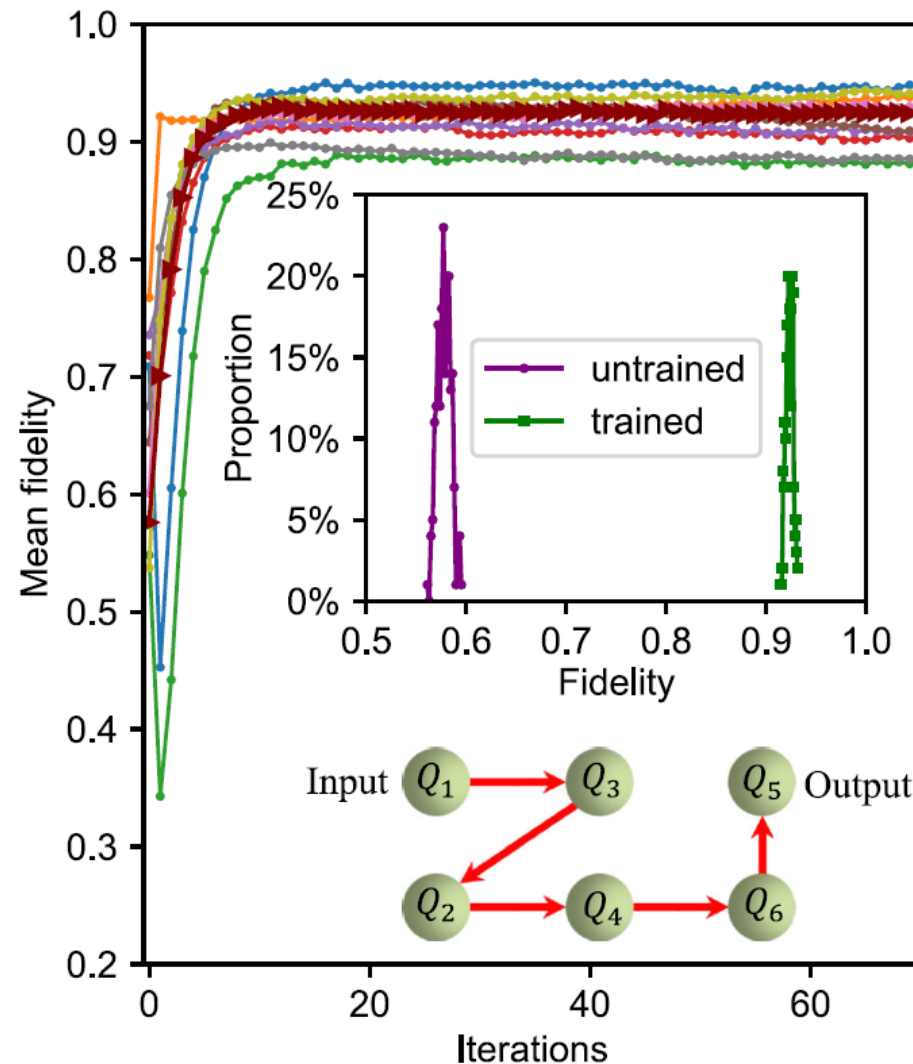
Алгоритм обучения глубокой квантовой нейронной сети:

- 1) Инициализация.
- 2) Прямой процесс обучения (с использованием квантового процессора).
- 3) Обратный процесс (с использованием классического компьютера).
- 4) Вычисление градиента для обновления вариационных параметров.
- 5) Повторение пунктов (2), (3), (4) в течение заданного количества раундов.

$|00\rangle, |01\rangle, |++\rangle, \text{ and } |++i+i\rangle$

*Pan X. et al. Deep quantum neural networks on a superconducting processor// Nature Computational Science. 2021 (<https://doi.org/10.1038/s43588-021-00084-1>)

ГЛУБОКАЯ КВАНТОВАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ. ИЗУЧЕНИЕ ОДНОКУБИТНЫХ СОСТОЯНИЙ. КЛАССИФИКАЦИЯ



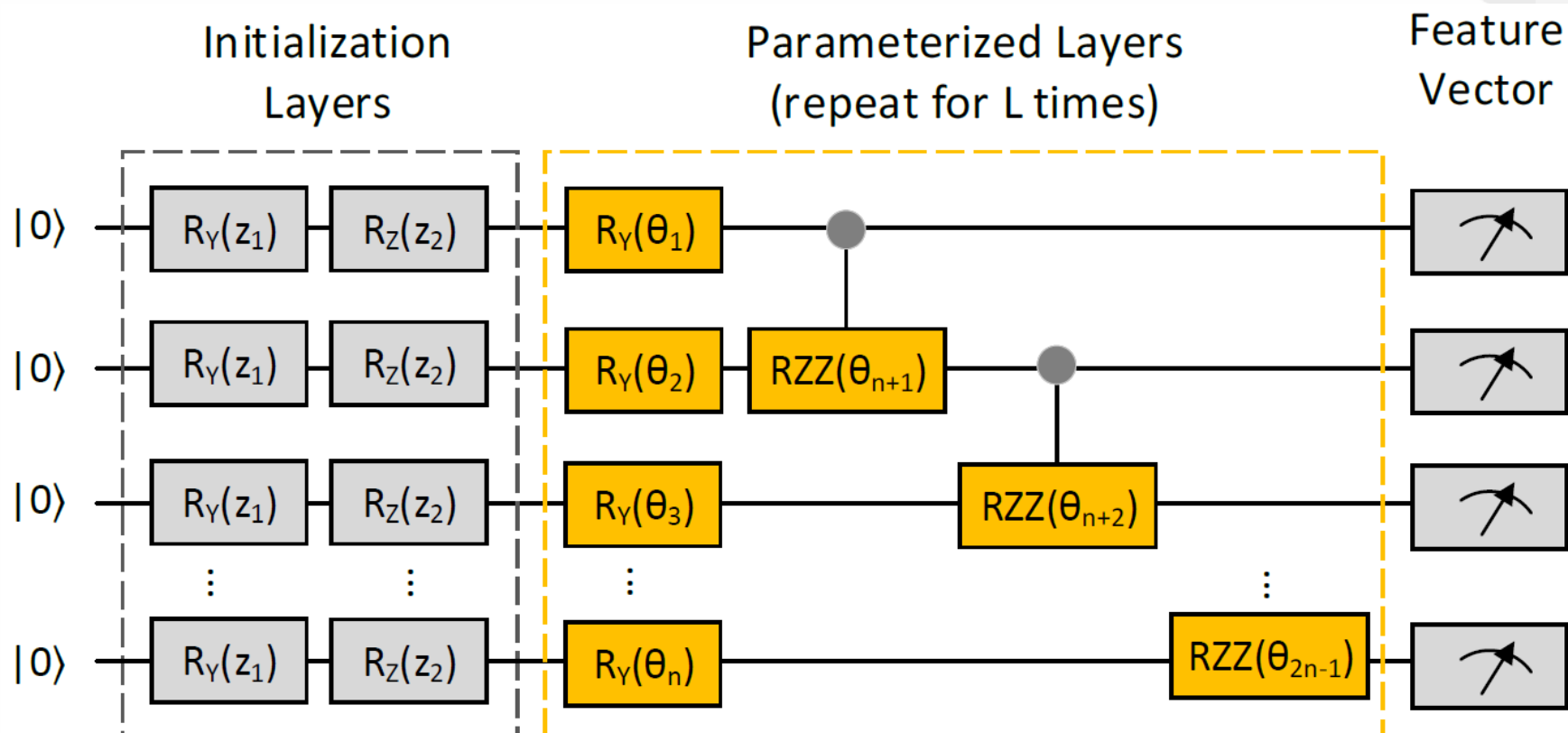
Изучение целевого однокубитного
квантового канала со входными
состояниями:

$$|0\rangle, |1\rangle, |-\rangle$$

Трехслойная схема квантовой
нейронной сети.

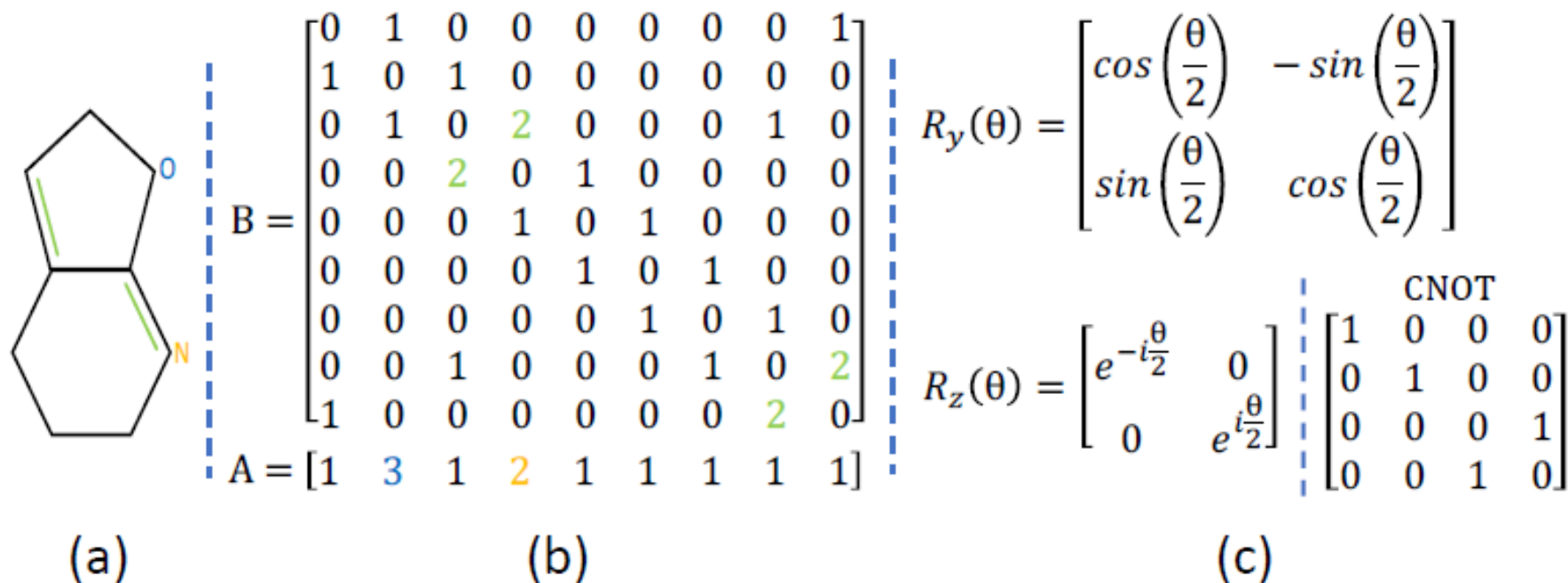
*Pan X. et al. Deep quantum neural networks on a superconducting processor// Nature Computational Science. 2021 (<https://doi.org/10.1038/s43588-021-00084-1>)

КВАНТОВАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСЧЕТА МАЛЫХ МОЛЕКУЛ. АРХИТЕКТУРА



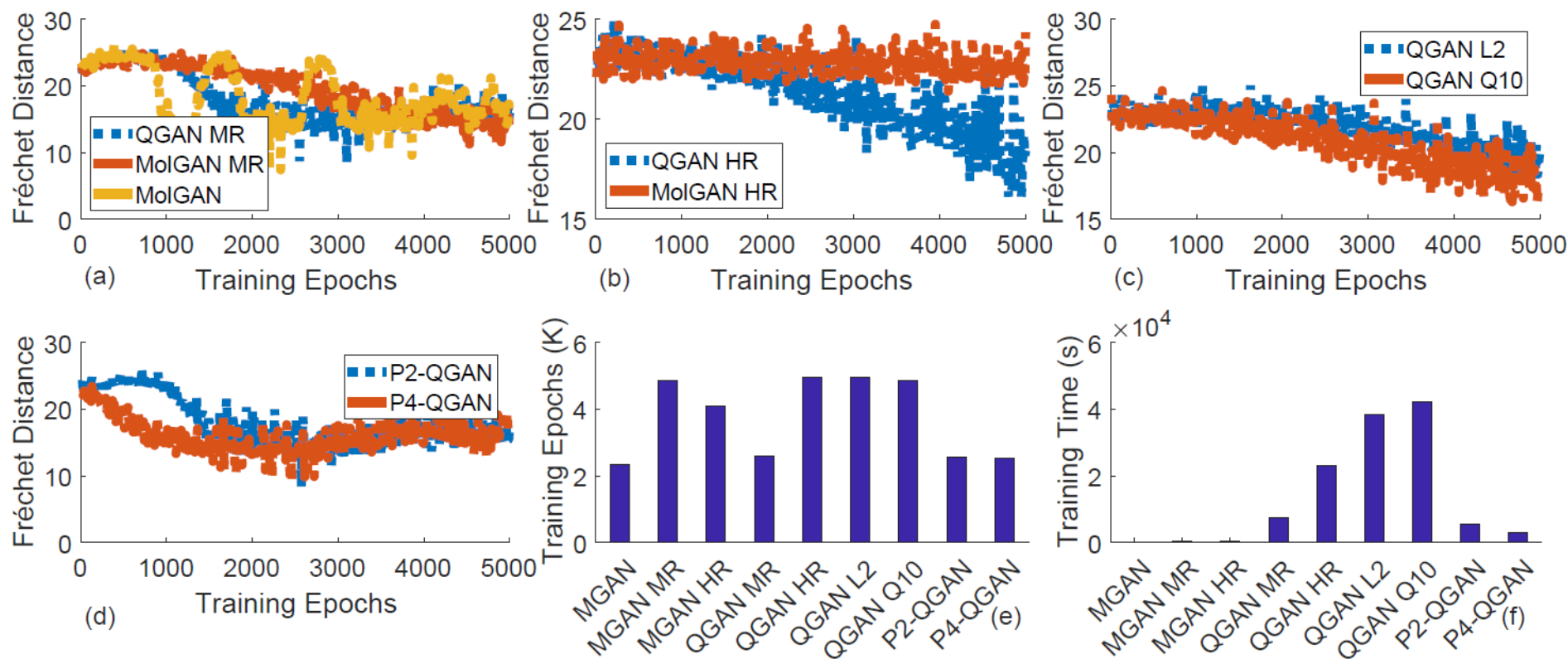
*Li J. et al. QuGAN: Quantum Generative Models for Small Molecule Drug Discovery // IEEE Transactions on Quantum Engineering. 2016. V. 4. (DOI 10.1109/TQE.2021.3104804)

КВАНТОВАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСЧЕТА МАЛЫХ МОЛЕКУЛ. КЛЮЧЕВЫЕ ИДЕИ



а) образец молекулярного графа для малых молекул; б) вектор атомов А и вектор связей В для малых молекул; в) квантовые гейты, используемые для обучения квантовой нейронной сети

КВАНТОВАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСЧЕТА МАЛЫХ МОЛЕКУЛ. КЛЮЧЕВЫЕ ИДЕИ



Расстояние Фреше, как функция числа итераций обучения квантовой нейронной сети (a-d), количество итераций тренировки (e) и время тренировки (s) для различных архитектур нейронных сетей

*Li J. et al. QuGAN: Quantum Generative Models for Small Molecule Drug Discovery // IEEE Transactions on Quantum Engineering. 2016. V. 4. (DOI 10.1109/TQE.2021.3104804)



Azure Quantum

Azure Quantum — это облачная платформа от Microsoft, которая предоставляет доступ к квантовым вычислениям и решениям для оптимизации. Она объединяет:

1. **Квантовые компьютеры:** Доступ к квантовым устройствам от партнеров (например, IonQ, Rigetti).
2. **Квантовые алгоритмы:** Готовые инструменты для разработки и тестирования квантовых программ.
3. **Гибридные решения:** Сочетание классических и квантовых вычислений для решения сложных задач.
4. **Оптимизация:** Инструменты для задач в логистике, финансах и других областях.

Azure Quantum делает квантовые технологии доступными для исследователей и разработчиков через облако.

Accelerating
scientific discovery





Azure Quantum Resource Estimation

Application Input



Q#



Qiskit



Libraries

BRING YOUR OWN

Application
Program

Compilation Tools

Q# and Qiskit
Compilers

BRING YOUR OWN

Compilation and
Optimization Tools



Quantum
Intermediate
Representation

BRING YOUR OWN

QIR Code

QEC Models

Built-in
QEC Schemes

BRING YOUR OWN

QEC Models

Qubit Models

Built-in Qubit
Parameter Settings

BRING YOUR OWN

Qubit Parameters

Analysis

Analysis and
Visualization Tools

BRING YOUR OWN

Analysis and
Visualization Tools

TRAPPED ION



[Quantinuum H1 Powered by Honeywell](#)

Trapped-ion system with high fidelity, fully connected qubits and the ability to perform mid-circuit measurement.

TRAPPED ION



[IONQ](#)

Multiple, dynamically reconfigurable systems ranging from 11 to 23 fully connected qubits to run a 2-qubit gate between any pair.

SUPERCONDUCTING



[Quantum Circuits, Inc.](#)

Fast, high-fidelity system with powerful real-time feedback to enable error correction.

SUPERCONDUCTING



[Rigetti Quantum Cloud Services](#)

Low-latency superconducting systems tailored for hybrid quantum-classical workflows.

NEUTRAL ATOM

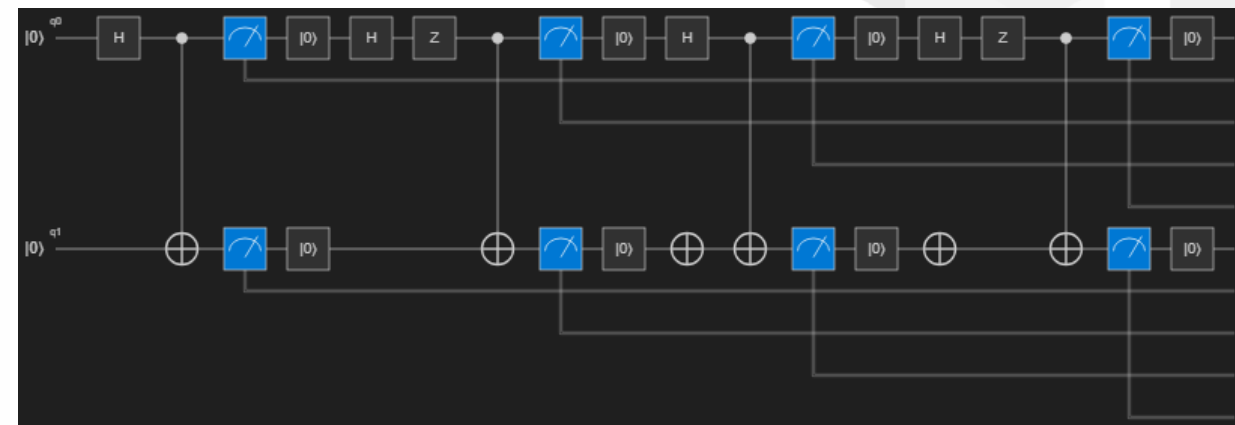


[Pasqal](#)

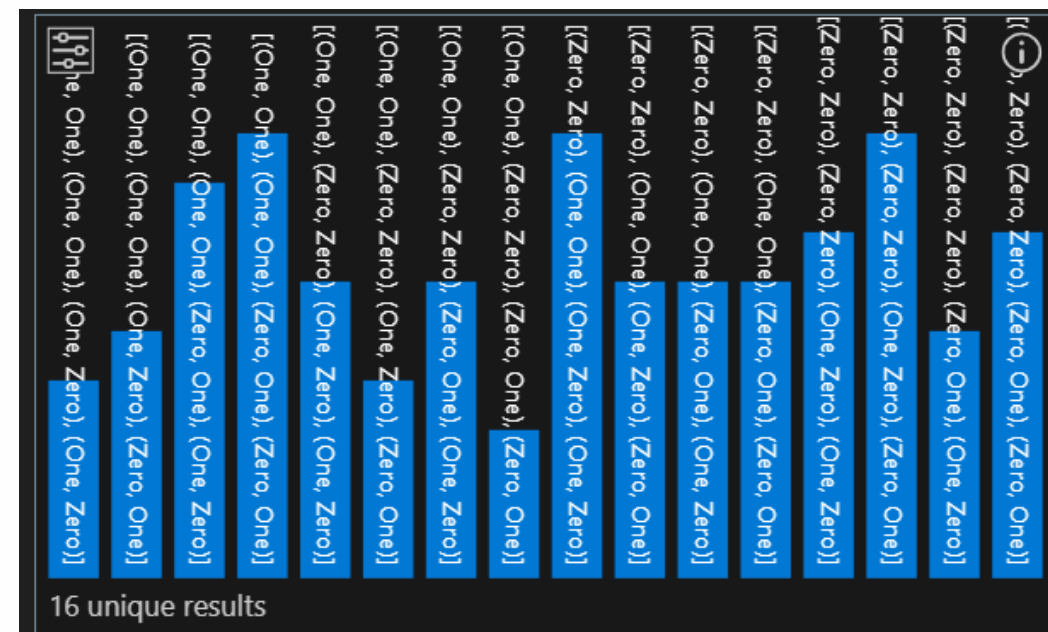
Starting at 100 fully connected dynamically reconfigurable qubits, with state-of-the-art performance to run analog, hybrid, and digital quantum algorithms.

Подготовка и измерение состояний Белла

```
P_Python > Main.qs
1 namespace BellStatesSample {
2   import Std.Diagnostics.*;
3   import Std.Measurement.*;
4
5   @EntryPoint()
6   Run | Histogram | Estimate | Debug | Circuit
7   operation BellStates() : (Result, Result)[] {
8     let bellStateTuples = [
9       ("|Φ+ ", PreparePhiPlus),
10      ("|Φ- ", PreparePhiMinus),
11      ("|Ψ+ ", PreparePsiPlus),
12      ("|Ψ- ", PreparePsiMinus)
13    ];
14
15    mutable measurements = [];
16    for (label, prepare) in bellStateTuples {
17      use register = Qubit[2];
18      prepare(register);
19      Message($"Bell state {label}:");
20      DumpMachine();
21      set measurements += [(MResetZ(register[0]), MResetZ(register[1]))];
22    }
23    return measurements;
24  }
25
26  Circuit
27  operation PreparePhiPlus(register : Qubit[]) : Unit {
28    H(register[0]);
29    CNOT(register[0], register[1]);
30  }
31
32  Circuit
33  operation PreparePhiMinus(register : Qubit[]) : Unit {
34    H(register[0]);
35    Z(register[0]);
36    CNOT(register[0], register[1]);
37  }
38 }
```



Результат измерения состояний Белла



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



WWW.CRYPTOSOFT.RU

WWW.CRYPTOSOFT.RU
(8412) 99-10-91, 56-00-77
MAILS@CRYPTOSOFT.RU

