

# IBM1

## Цель работы:

- Узнать основные понятия и явления, используемые в квантовой физике в IBM
- Узнать базовые операции над кубитами
- Посмотреть как поведет себя кубит или множество кубитов при применении к нему различных гейтов

## Базовая теория

- **Кубит** — наименьшая единица информации в квантовом компьютере.

Другими словами, кубит — квантовая версия всем нам привычного бита компьютера.

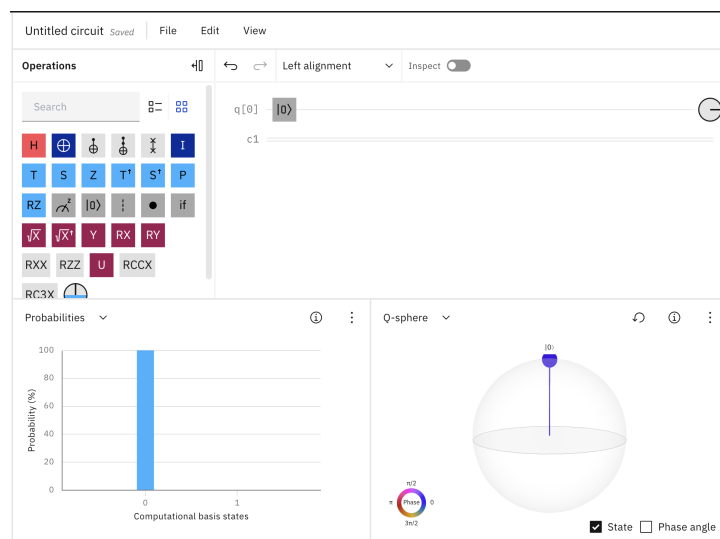
Кубит допускает два собственных состояния  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ . При этом, в отличие от бита, он может находиться в линейной комбинации (**суперпозиции**) обоих состояний.

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$
$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

В общем случае кубит можно представить как, где  $\alpha, \beta$  — амплитуды вероятностей, представляемые как комплексные числа:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$
$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$
$$\Downarrow$$
$$|\psi\rangle = \sqrt{1-p}|0\rangle + e^{i\phi}\sqrt{p}|1\rangle$$

Отсюда видим, что  $|\alpha|^2$  - вероятность того, что кубит будет в состоянии  $|0\rangle$ , а  $|\beta|^2$  - вероятность того, что кубит будет в состоянии  $|1\rangle$



- **Суперпозиция** — это взвешенная сумма или линейная комбинация двух или более квантовых состояний.

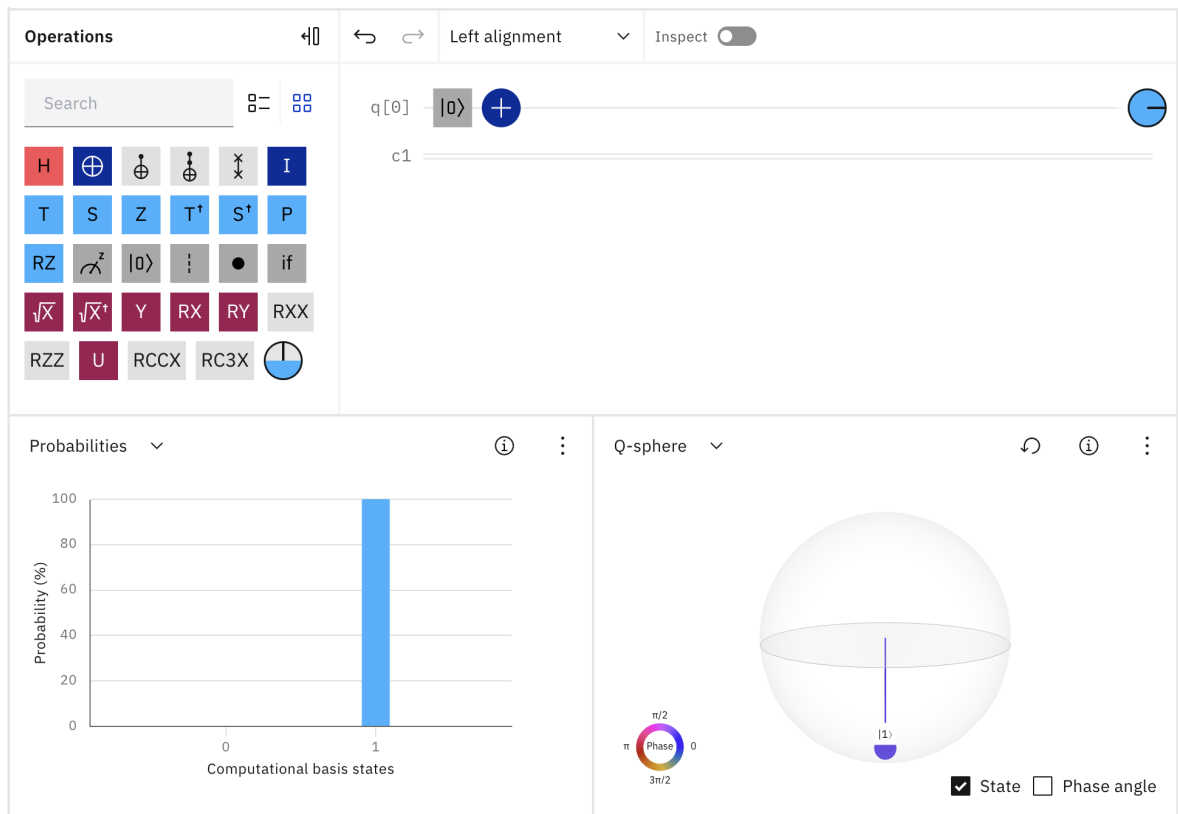
Квантовый компьютер с кубитами может существовать в суперпозиции всех  $2^n$  своих вычислительных базисных состояний от  $|000...0\rangle$  до  $|111...1\rangle$ . Использование суперпозиции лежит в основе большинства квантовых алгоритмов.

- **Интерференция** — элементарные частицы могут не только находиться более чем в одном месте в любой момент времени (посредством суперпозиции), но и отдельная частица, может пересекать свою собственную траекторию и мешать направлению своего пути.
- **Запутанность** — это свойство квантовых систем, состоящих из более чем из одного кубита, когда квантовое состояние любого кубита не может быть однозначно описано независимо от остальных подсистем.

## Основные операции

- **Оператор NOT** — обращает  $|0\rangle$  состояние в  $|1\rangle$  и наоборот.

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

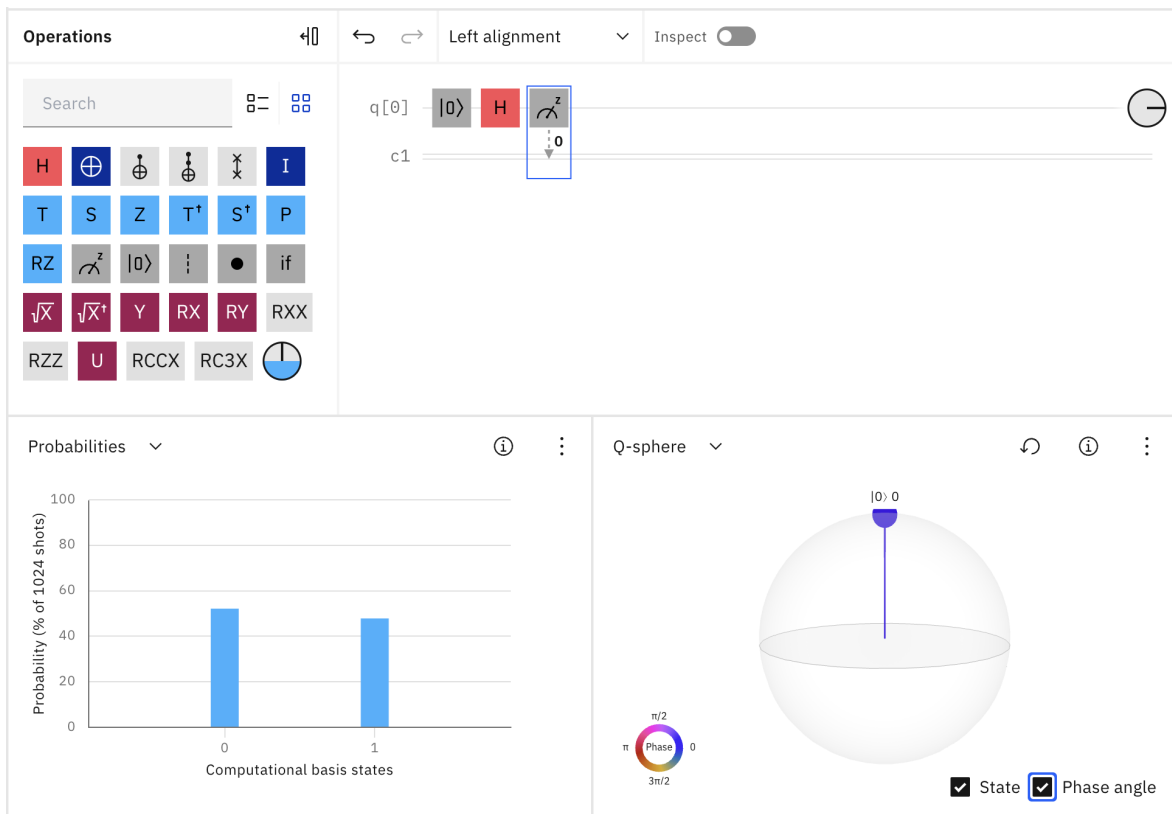


- **Матрица Адамара** — гейт обращает состояния  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$  в  $|+\rangle$  и  $|-\rangle$  соответственно. Используется для создания суперпозиции.

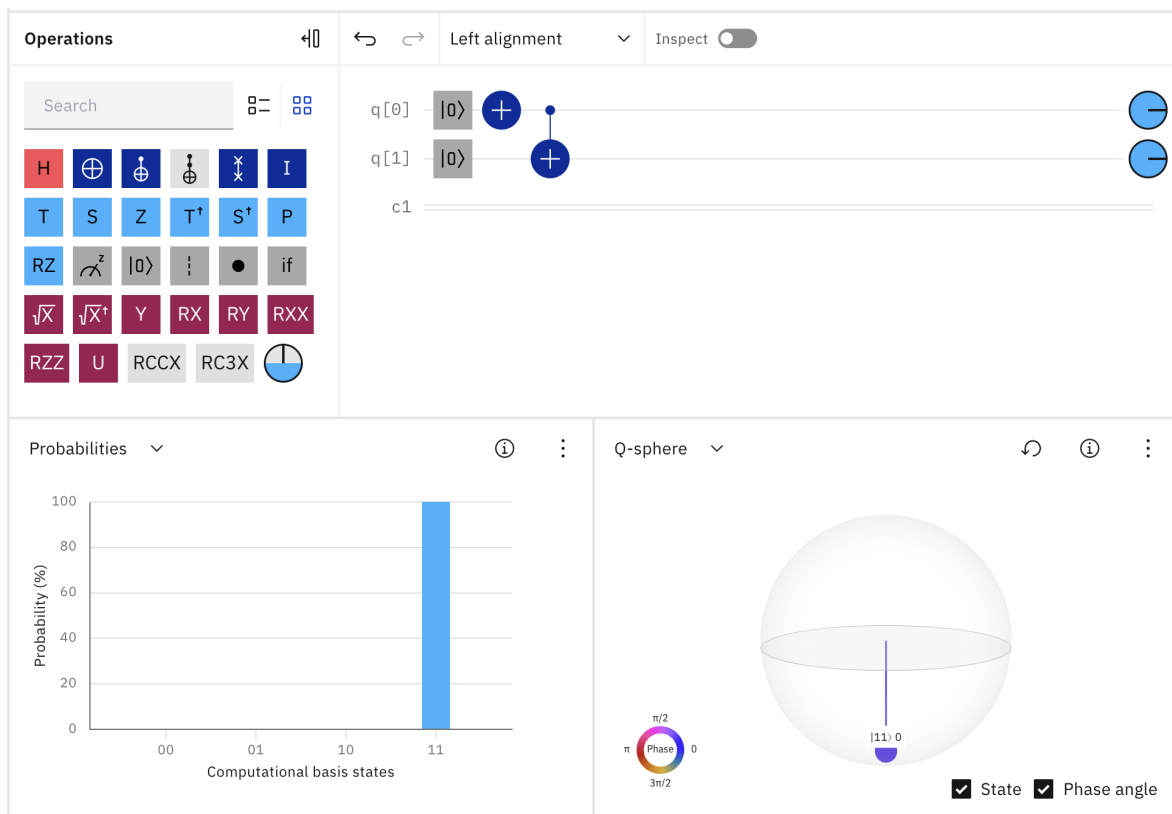
$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Выполнив расчеты нетрудно доказать, что вероятности обоих состояний будут по 0.5 при идеальности кубита.

Однако, в реальном мире существуют внешние условия, которые могут немного отклонить данные вероятности.

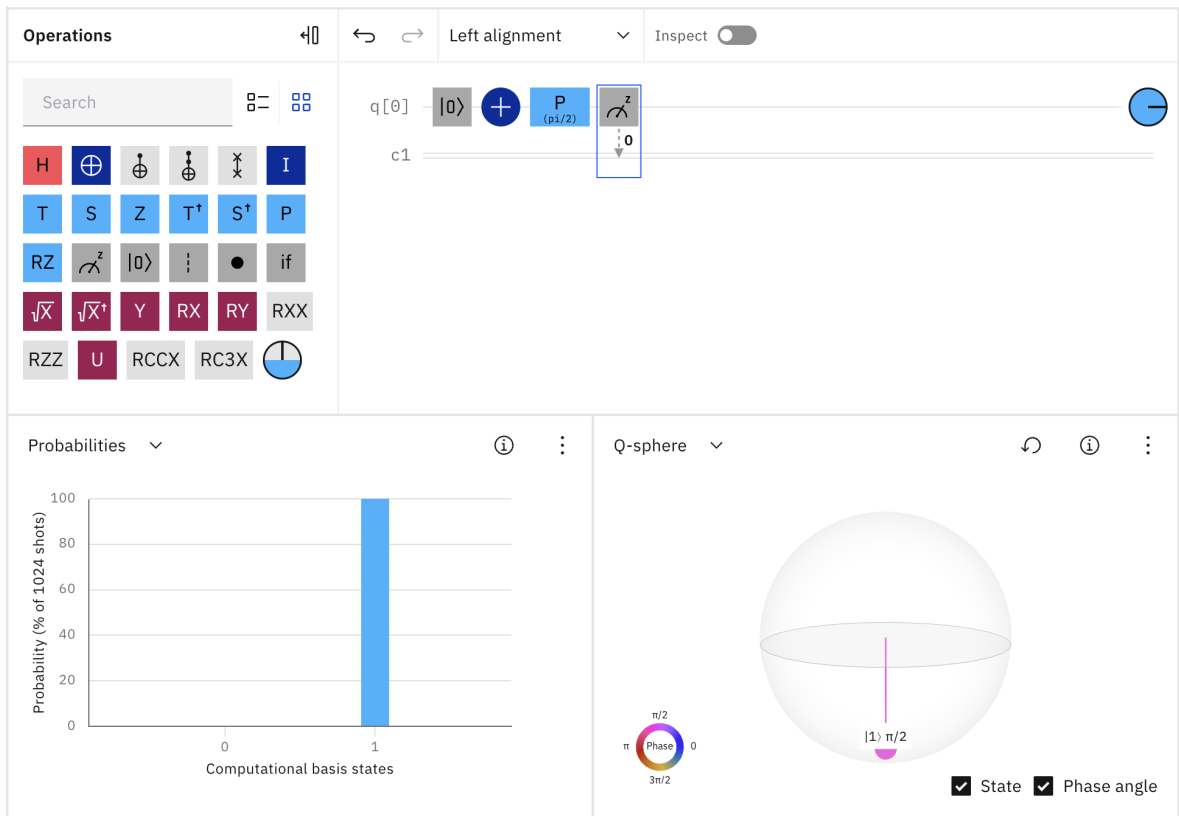


- **Оператор CNOT** — воздействует на пару кубитов, один из которых выступает в качестве контроля, а другой — в качестве цели. Он выполняет NOT для цели всякий раз, когда элемент управления находится в состоянии  $|1\rangle$ . Если управляющий кубит находится в суперпозиции, этот вентиль создает запутанность.



- **Квантовая фаза** — оператор, который изменяет фазу кубита на заданный угол  $\phi$

$$P(\phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{j\phi} \end{pmatrix}$$



#### • Усовершенствованные однокубитные вентили

$$|\psi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0\rangle + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)e^{j\phi}|1\rangle$$

$$0 \leq \phi < 2\pi$$

$$0 \leq \theta < 2\pi$$

Данное выражение можно связать с предыдущим:

$$x = \text{Re}[e^{j\phi}]$$

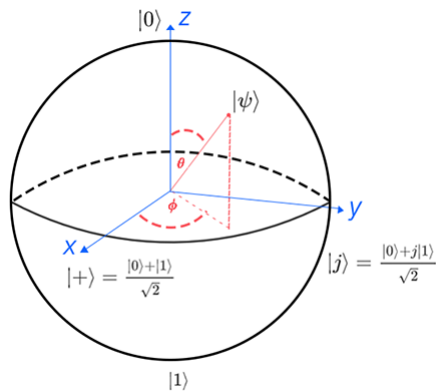
$$y = \text{Im}[e^{j\phi}]$$

$$p = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2}$$

$$z = p_0 - p = 1 - 2p \rightarrow z = \cos(\theta)$$

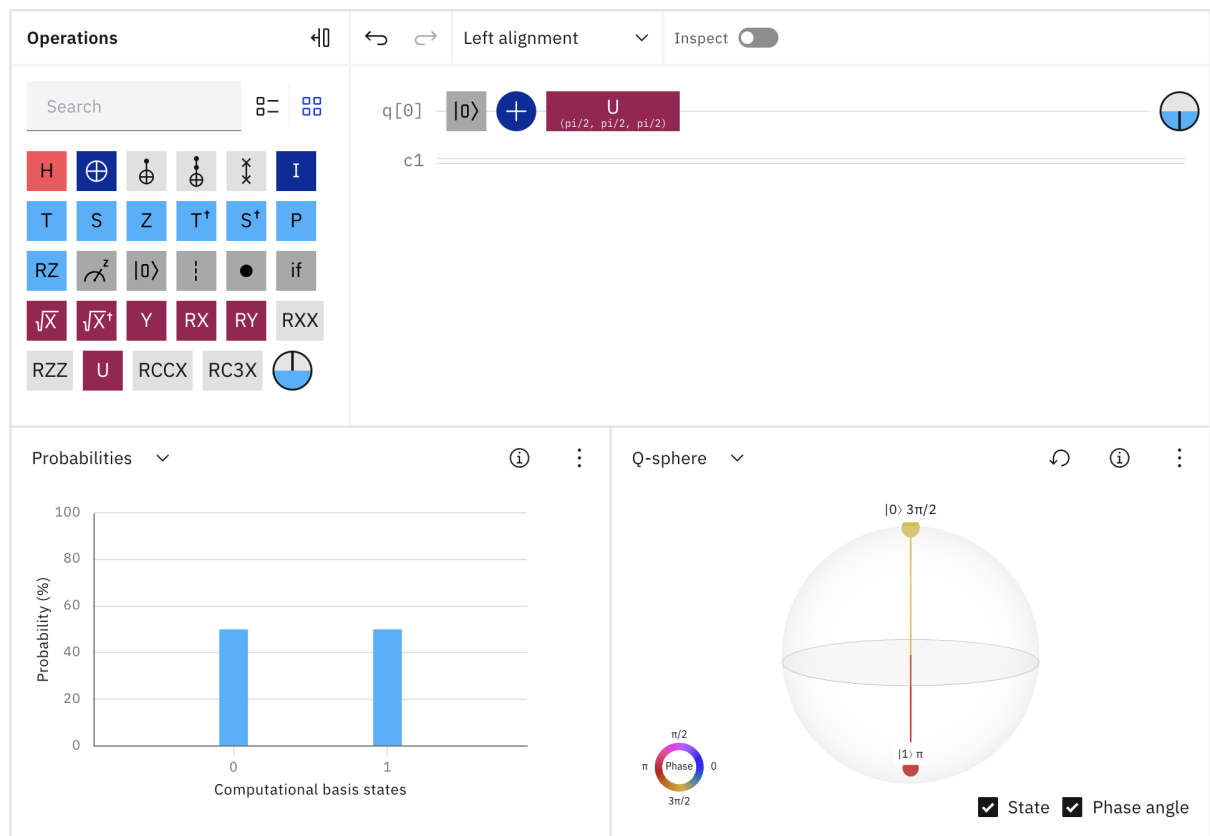
То есть  $\{x, y, z\}$  являются Декартовыми координатами сферы единичной длины.

На сфере Блока можно увидеть однозначное соответствие между состояниями кубита  $\mathbb{C}^2$  и точками сферы  $\mathbb{R}^3$ .



Унитарная матрица позволяет описать любой поворот состояния кубита.

$$U(\theta, \phi, \lambda) = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) & -e^{j\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ e^{j\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) & e^{j(\phi+\lambda)} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix}$$



## Вывод

- Разузнали, что такое кубит и из чего он состоит
- Узнали основные явления в квантовой физике — суперпозиция и интерференция
- Использовали разные гейты на кубитах, такие как матрица Адамара, NOT, CNOT, повороты фаз и узнали их тонкости