**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

**«Национальный исследовательский университет ИТМО»**

Факультет информационных технологий и программирования

Лабораторная работа IBM2

*Управляемые гейты*

*Квантовые алгоритмы*

**Выполнил студент группы № М3311**

Сорокина Н.

Санкт-Петербург

2024

1) Цели работы:

Освоить функционал квантового компьютера IBM.

2) Задачи:

1. Создать однокубитные квантовые цепи.

2. Провести моделирование созданных цепей и зафиксировать результаты.

3. Сравнить результаты моделирования с теоретическими вероятностными распределениями.

3) Объект исследования:

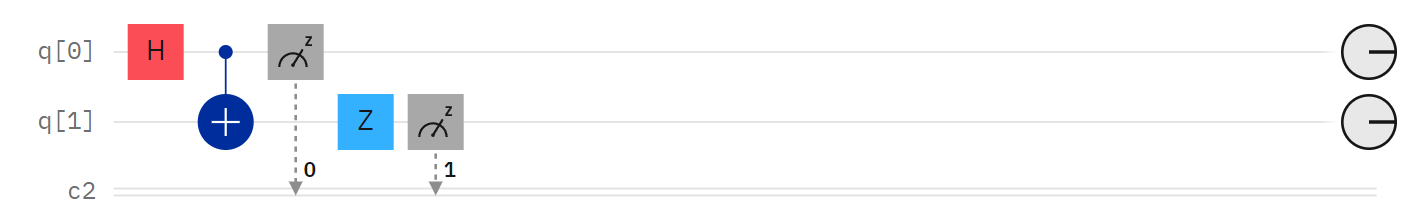
Квантовый компьютер и вероятностные распределения, связанные с работой однокубитных и многокубитных квантовых цепей.

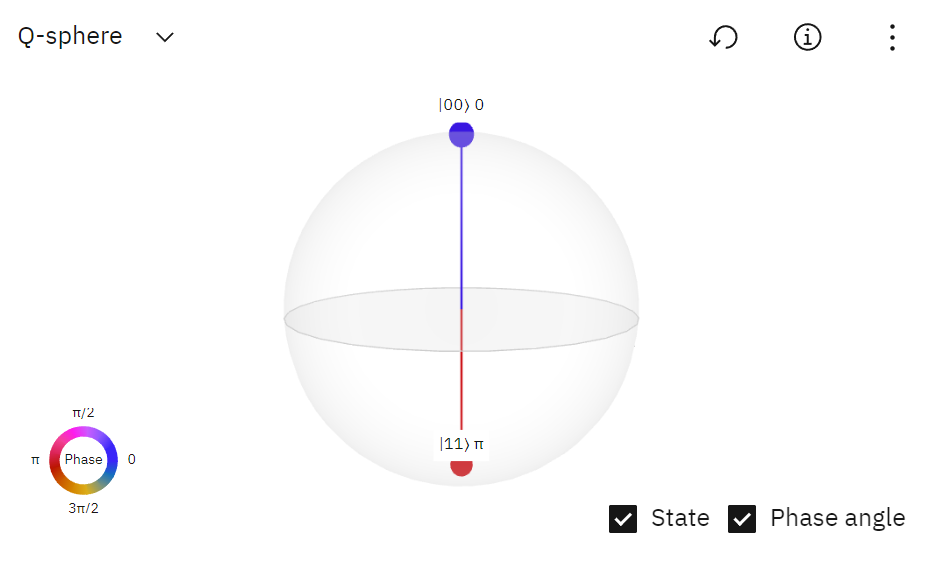
4) Метод исследования:

Разработка квантовых схем с использованием различных вентилей и проведение их моделирования для анализа.

5) Упражнение №3

*1. Соберите схему для получения запутанного состояния квантовой системы из двух кубитов . Выполните симуляцию работы схемы. Получите математическое обоснование результата.*



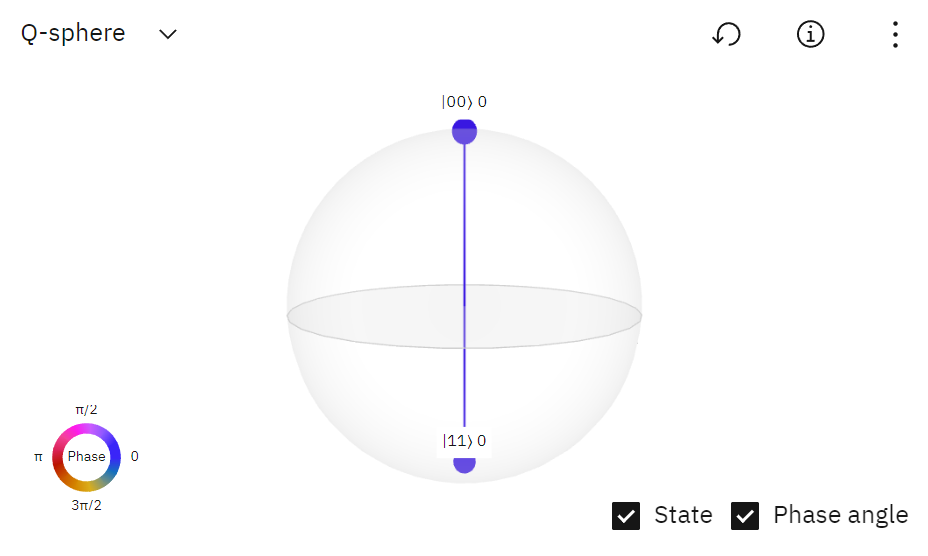


Получаем запутанное состояние путем применения вентиля Адамара (переходим к суперпозиции: от к и CNOT (создаем зависимость второго кубита от первого: . За счет вентиля Z переходим от к .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | Частота |00⟩ | Частота |01⟩ | Частота |10⟩ | Частота |11⟩ |
| 1000 | 458 | 10 | 15 | 517 |

*2. Соберите схему для получения запутанного состояния квантовой системы из двух кубитов . Выполните симуляцию работы схемы. Получите математическое обоснование результата.*

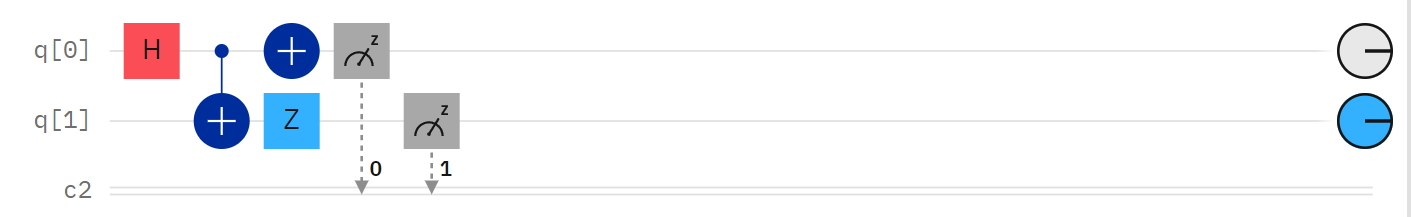
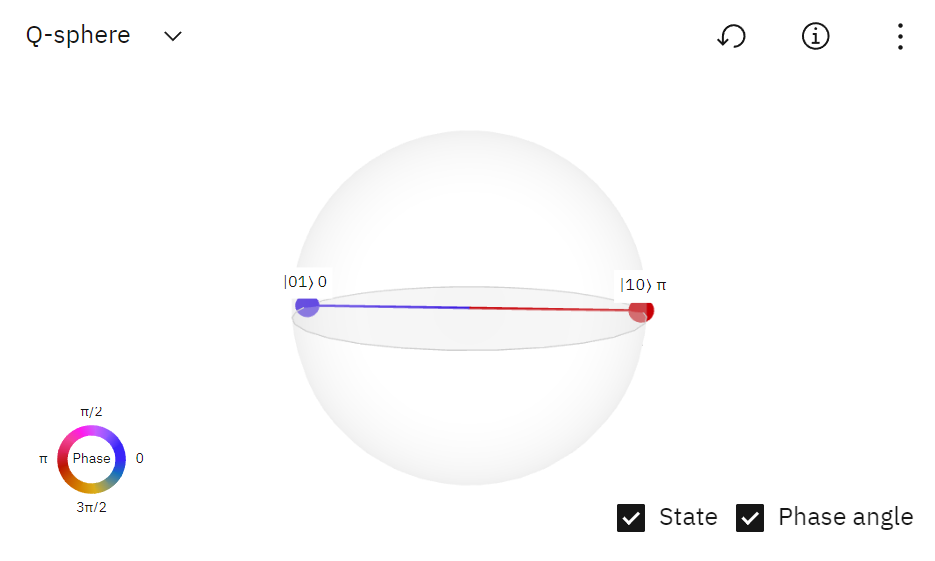




Получаем запутанное состояние путем применения вентиля Адамара (переходим к суперпозиции: от к и CNOT (создаем зависимость второго кубита от первого: .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | Частота |00⟩ | Частота |01⟩ | Частота |10⟩ | Частота |11⟩ |
| 1000 | 535 | 9 | 11 | 455 |

*3. Соберите схему для получения запутанного состояния квантовой системы из двух кубитов . Выполните симуляцию работы схемы. Получите математическое обоснование результата.*

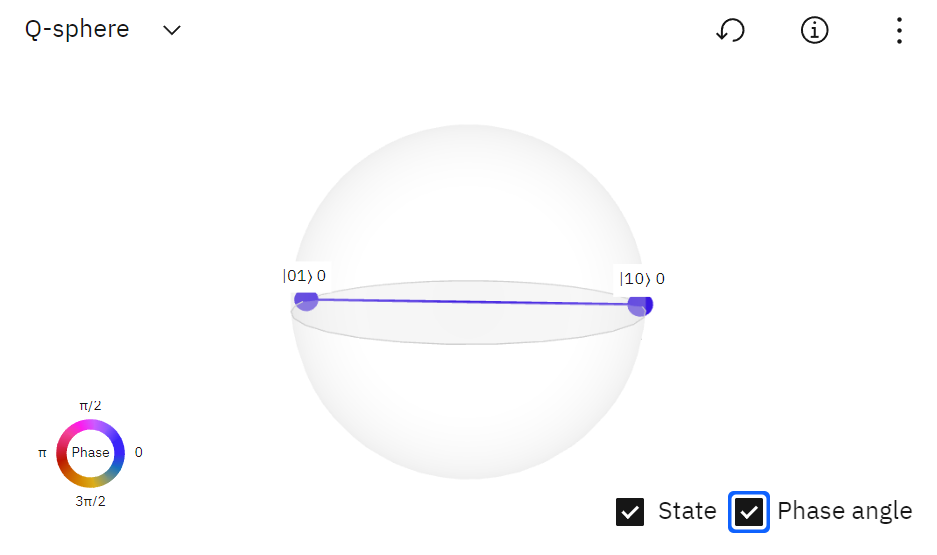
 

Получаем запутанное состояние путем применения вентиля Адамара (переходим к суперпозиции: от к и CNOT (создаем зависимость второго кубита от первого: . Затем с помощью Z переходим к знаку минус, и с помощью вентиля NOT переходим к .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | Частота |00⟩ | Частота |01⟩ | Частота |10⟩ | Частота |11⟩ |
| 1000 | 16 | 487 | 496 | 1 |

*4. Соберите схему для получения запутанного состояния квантовой системы из двух кубитов . Выполните симуляцию работы схемы. Получите математическое обоснование результата.*



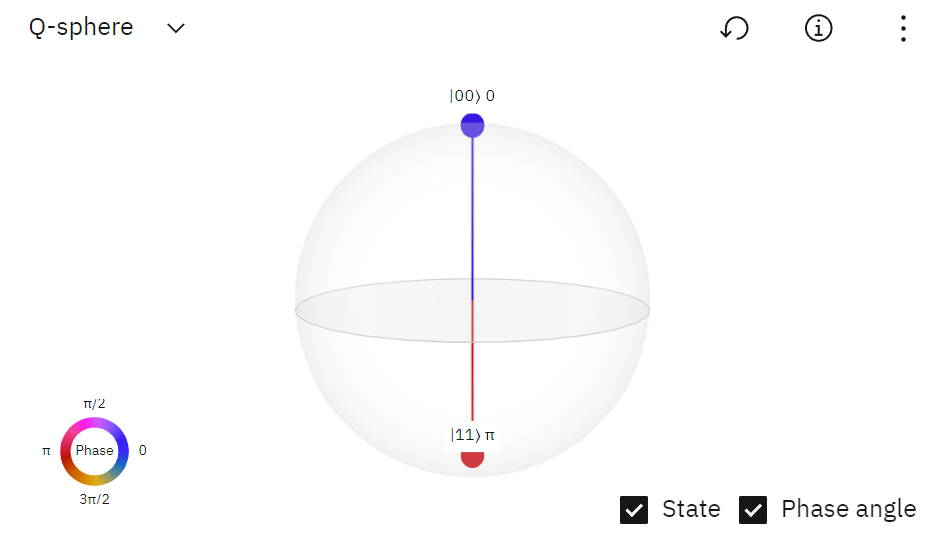


Получаем запутанное состояние путем применения вентиля Адамара (переходим к суперпозиции: от к и CNOT (создаем зависимость второго кубита от первого: . Затем с помощью вентиля NOT переходим к .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | Частота |00⟩ | Частота |01⟩ | Частота |10⟩ | Частота |11⟩ |
| 1000 | 4 | 486 | 490 | 20 |

*5. Соберите схему для получения запутанного состояния квантовой системы., где , . Выполните симуляцию работы схемы. Получите математическое обоснование результата.*





Аналогично упр.2 п.6 получаем угол

Фаза , т. к. второй коэффициент со знаком минус.

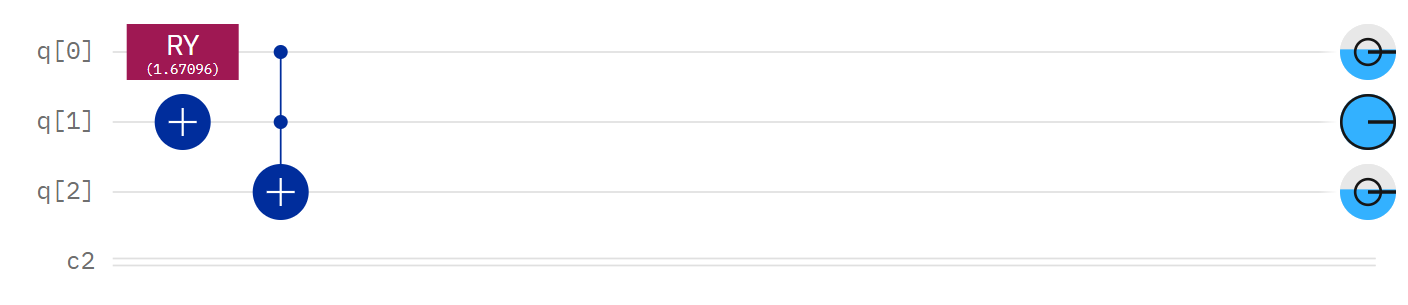
Итоговый вентиль

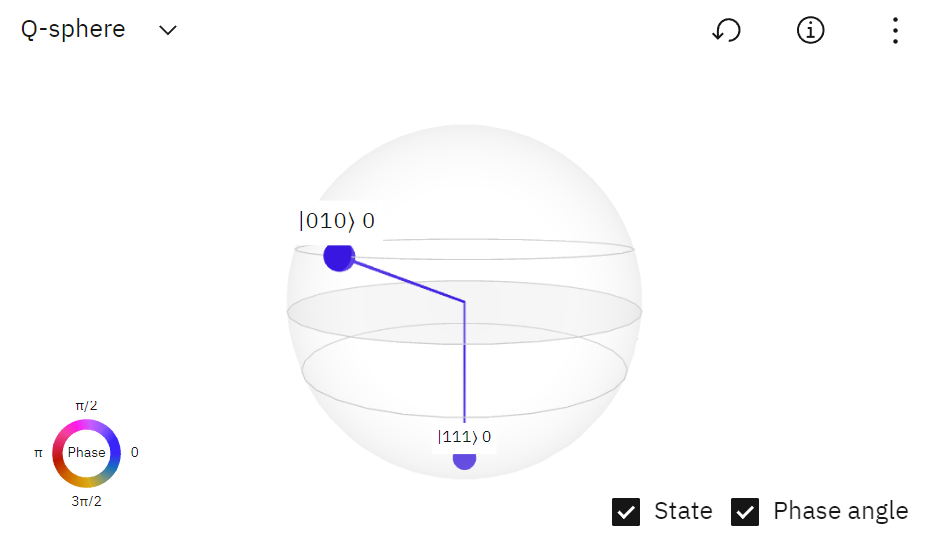
Добавляем CNOT для запутывания кубитов

Состояние после применения U и CNOT:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | Частота |00⟩ | Частота |01⟩ | Частота |10⟩ | Частота |11⟩ |
| 1000 | 335 | 66 | 63 | 536 |

*6. Соберите схему для получения запутанного состояния квантовой системы из трех кубитов*



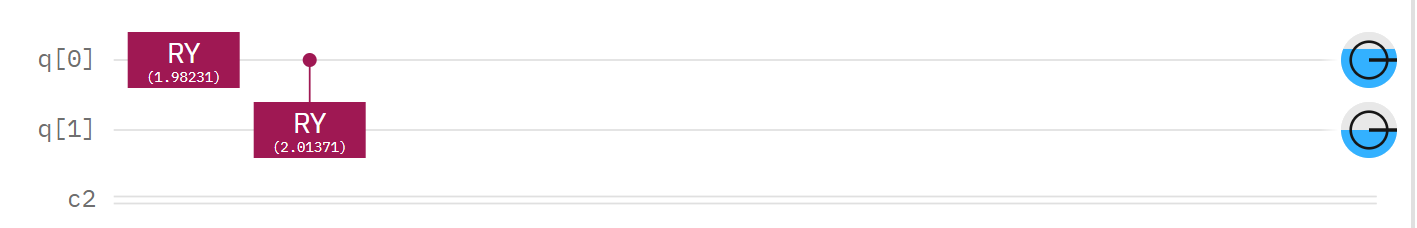


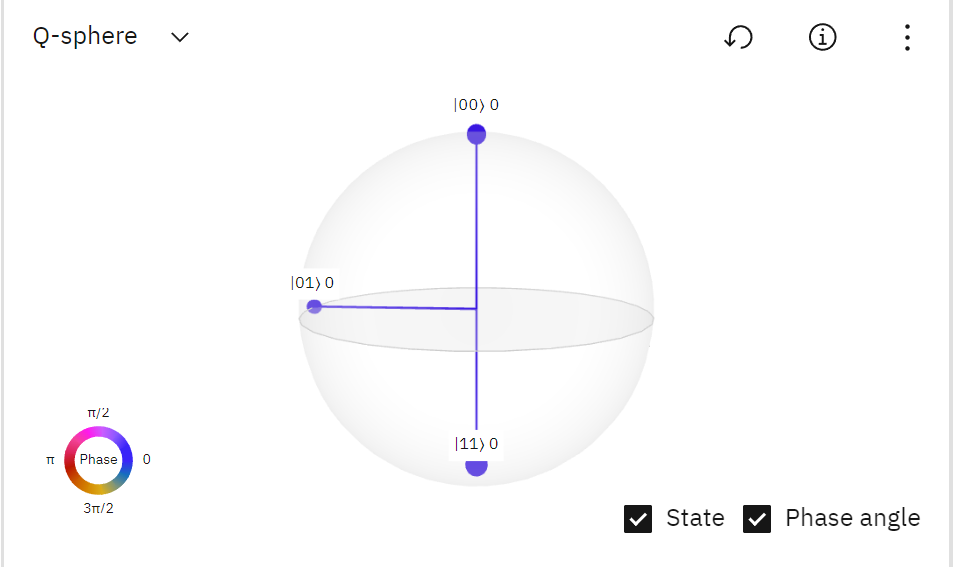
Добавляем NOT для инверсии второго кубита

Добавляем CNOT для запутывания кубитов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | |000⟩ | |001⟩ | |010⟩ | |011⟩ | |100⟩ | |101⟩ | |110⟩ | |111⟩ |
| 1000 | 38 | 14 | 377 | 37 | 2 | 34 | 23 | 475 |

*7. Соберите схему для получения запутанного состояния квантовой системы из двух кубитов*



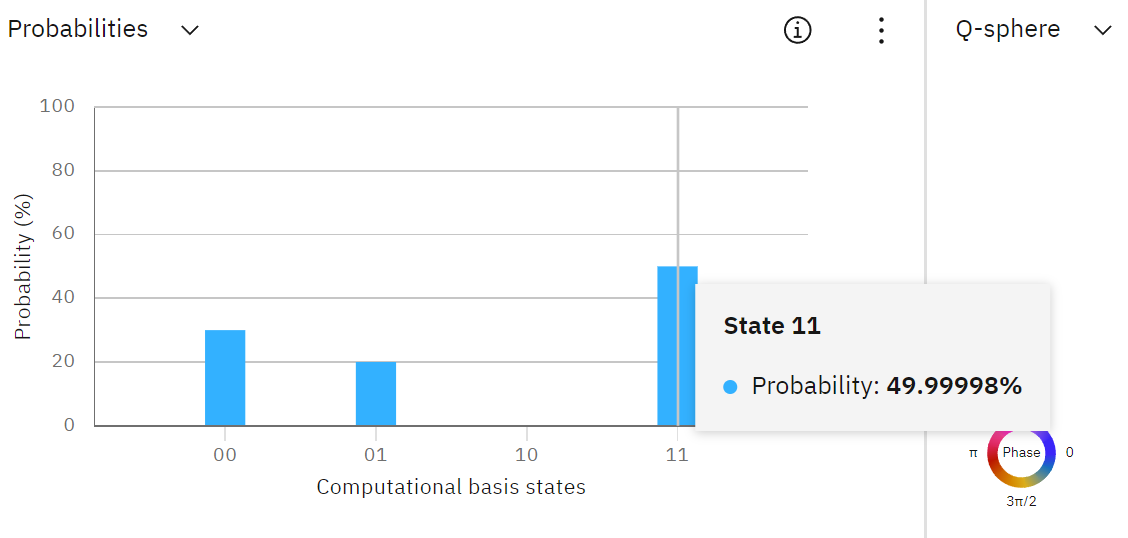


Применяем Ry для получения

Применяем CRy, который поворачивает кубит только при значении управляющего кубита = 1.

Отношение вероятности 01 к общей вероятности 01+11

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | Частота |00⟩ | Частота |01⟩ | Частота |10⟩ | Частота |11⟩ |
| 1000 | 238 | 231 | 31 | 500 |



6) Упражнение 4

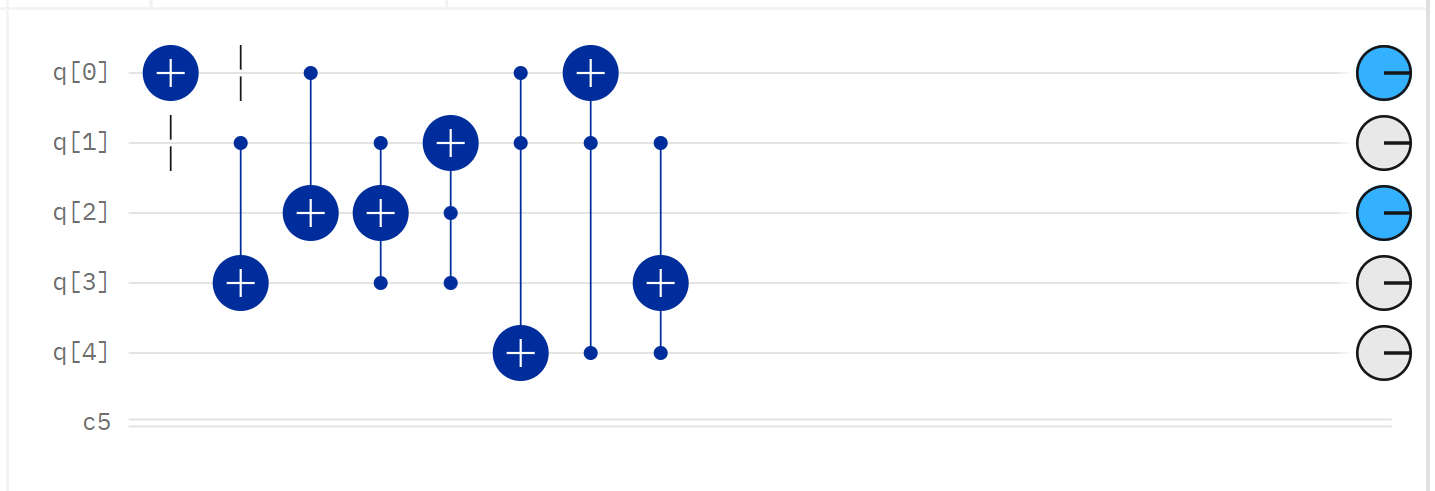
Реализуйте алгоритм умножения на 6. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

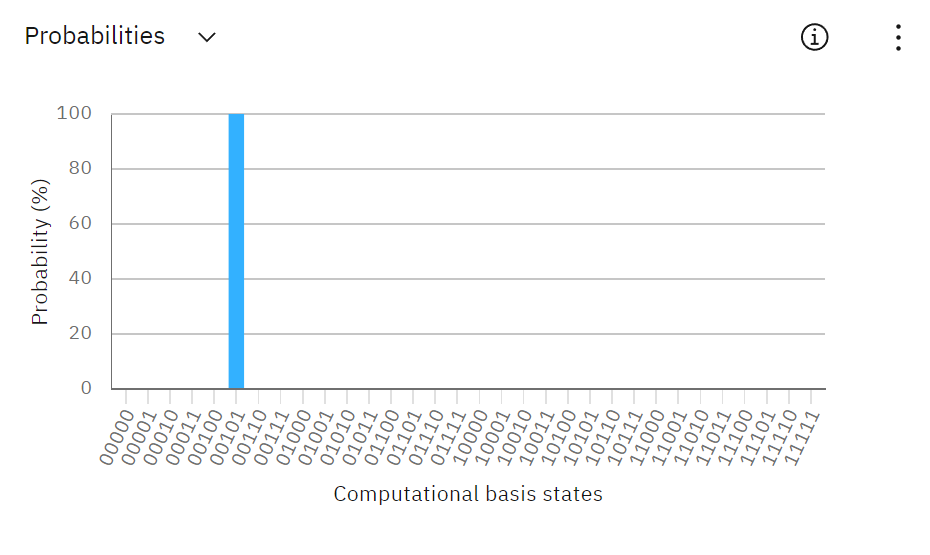
В схеме используются вентиль CNOT и Toffoli, которые позволяют производить сложение. Пример:

CNOT копирует состояние одного кубита на другой. С помощью него реализуются битовые сдвиги.

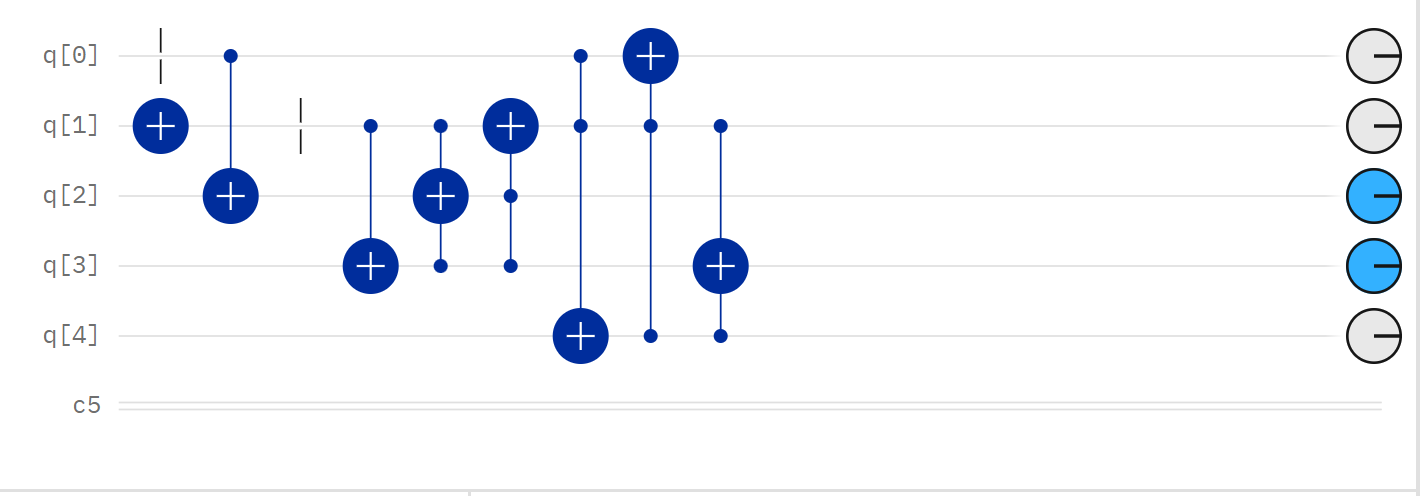
Toffoli-вентиль обеспечивает реализацию сложения с переносом.

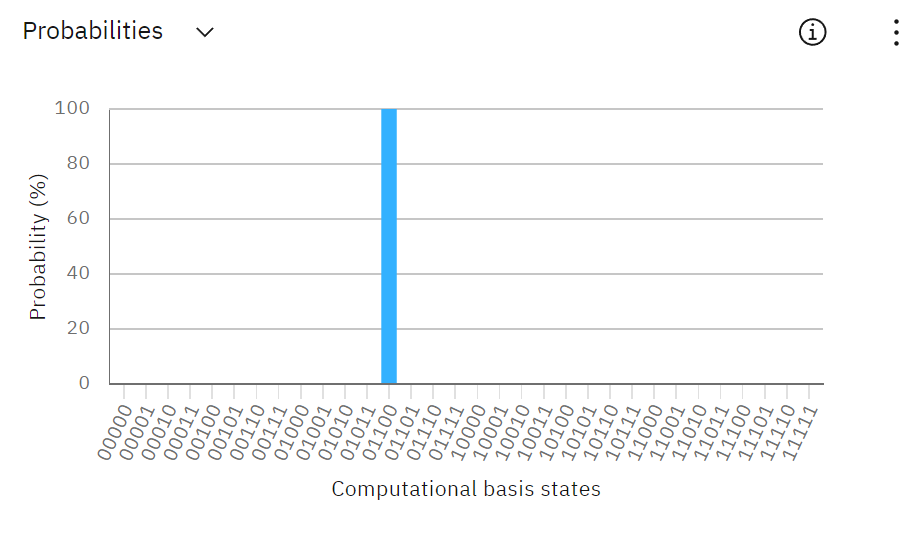
Пример умножения 1 на 6. Получаем 101=6



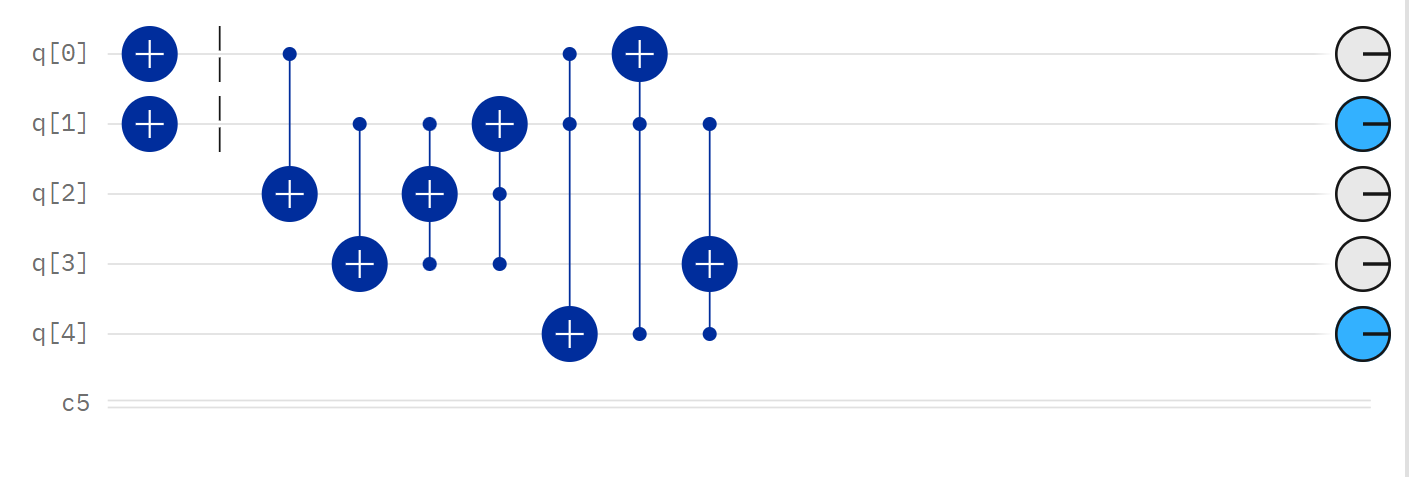


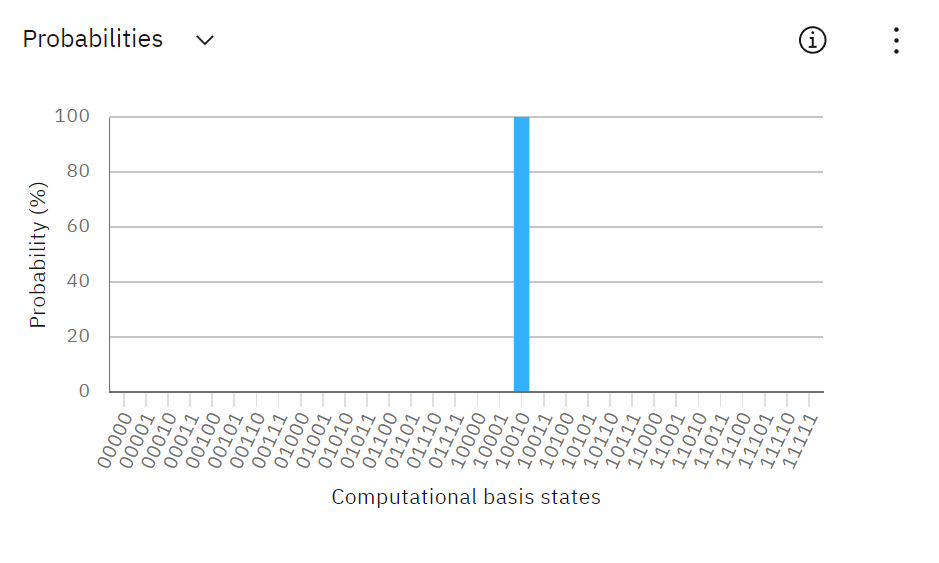
Пример умножения 2 на 6. Получаем 1100=12





Пример умножения 3 на 6. Получаем 10010=18





7) Выводы

В ходе работы были изучены управляемы гейты и рассмотрена реализация алгоритма умножения на число 6.