**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**

Пестриков М.

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:

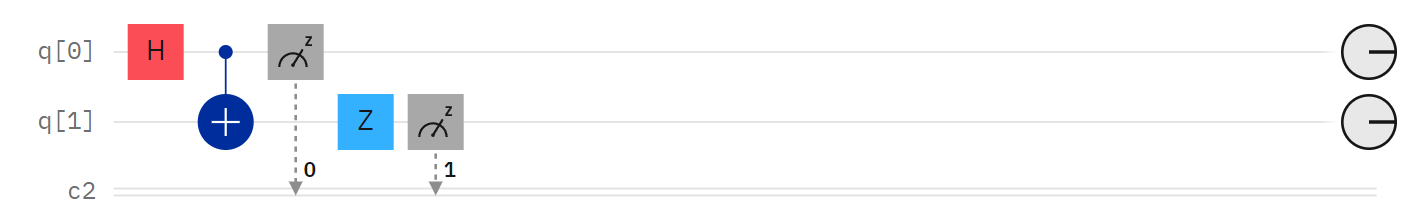
Квантовый компьютер и вероятностные распределения, связанные с работой однокубитных и многокубитных квантовых цепей.

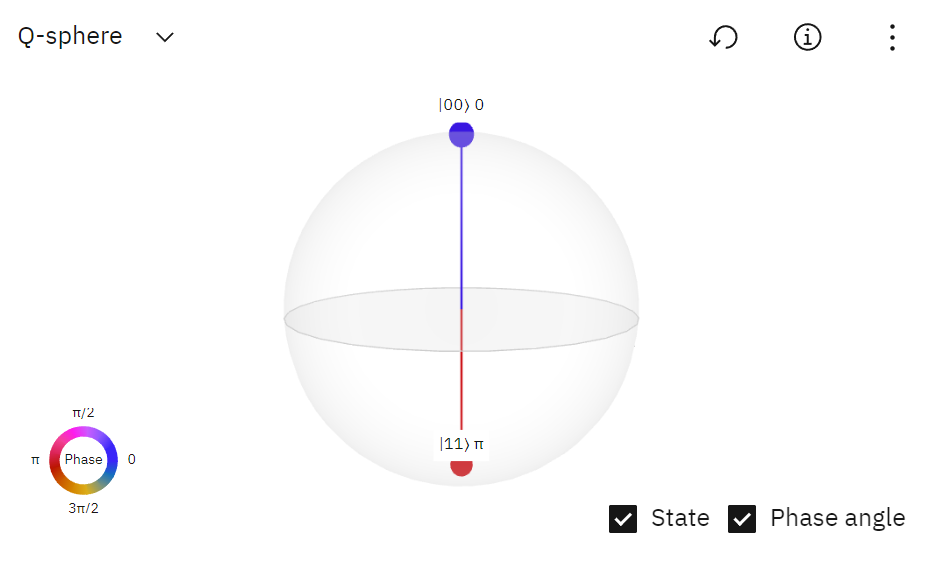
4) Метод исследования:

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.*



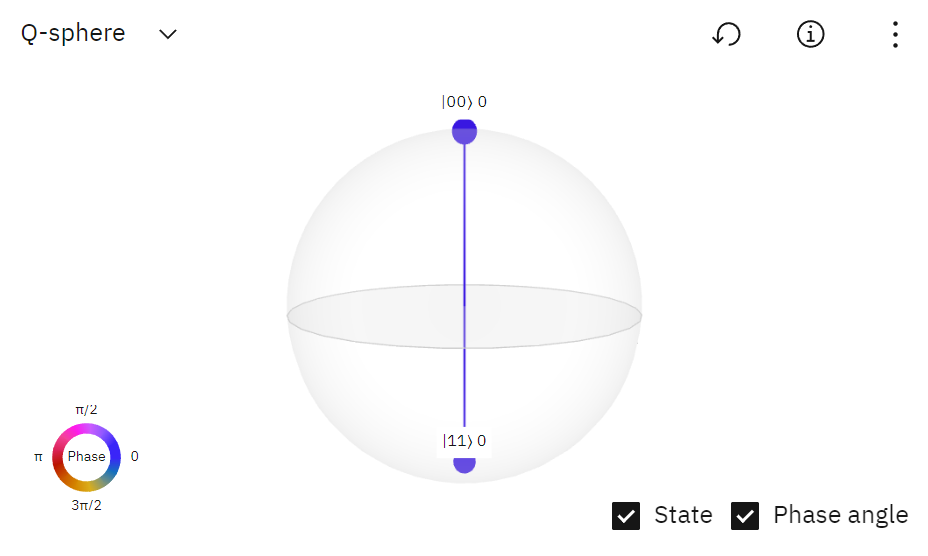


Получаем запутанное состояние путем применения вентиля Адамара (переходим к суперпозиции: от к и CNOT (создаем зависимость второго кубита от первого: . За счет вентиля Z переходим от к .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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.*

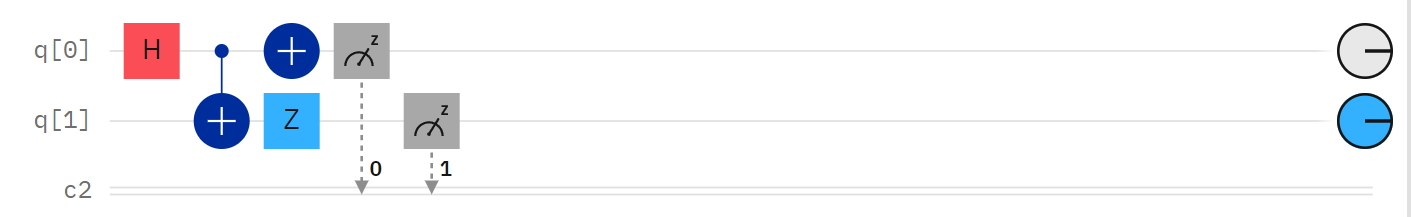
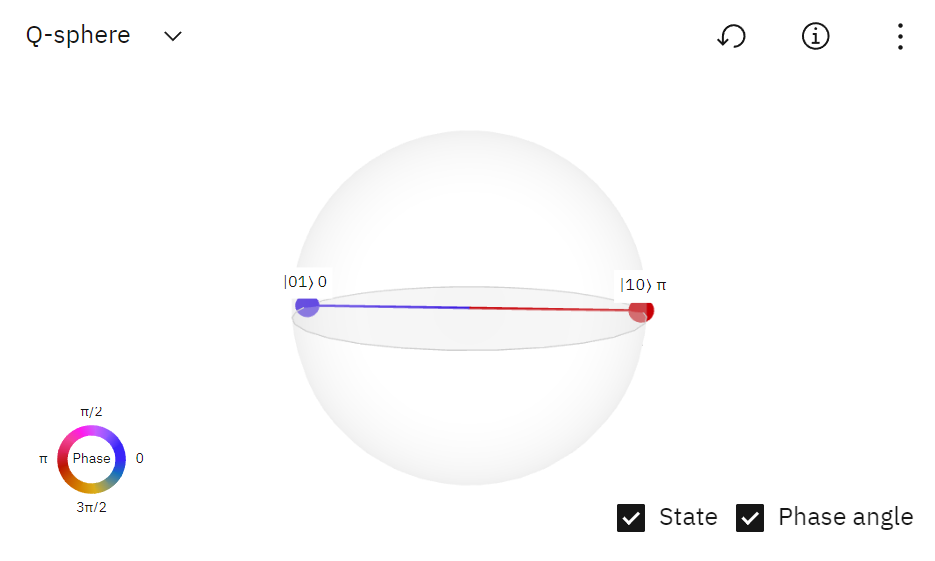




Получаем запутанное состояние путем применения вентиля Адамара (переходим к суперпозиции: от к и CNOT (создаем зависимость второго кубита от первого: .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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.*

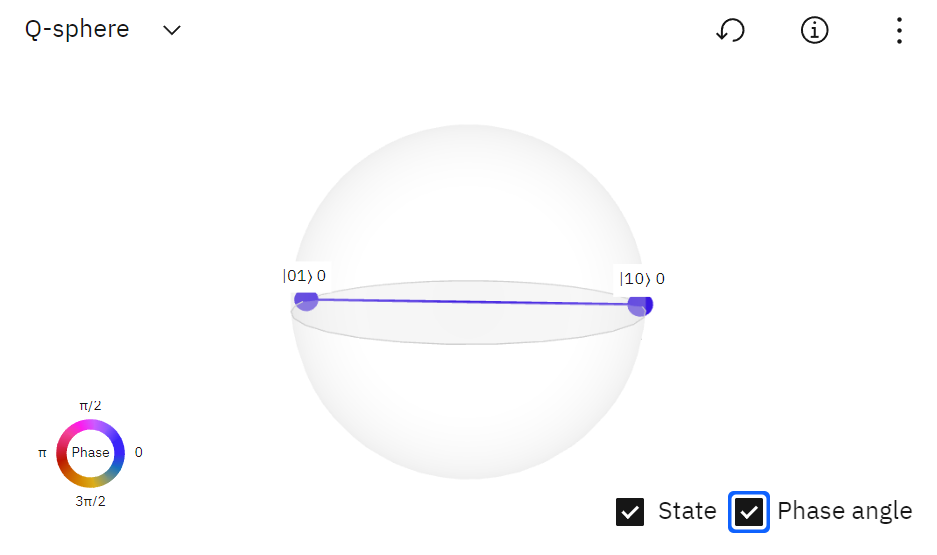
 

Получаем запутанное состояние путем применения вентиля Адамара (переходим к суперпозиции: от к и CNOT (создаем зависимость второго кубита от первого: . Затем с помощью Z переходим к знаку минус, и с помощью вентиля NOT переходим к .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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.*

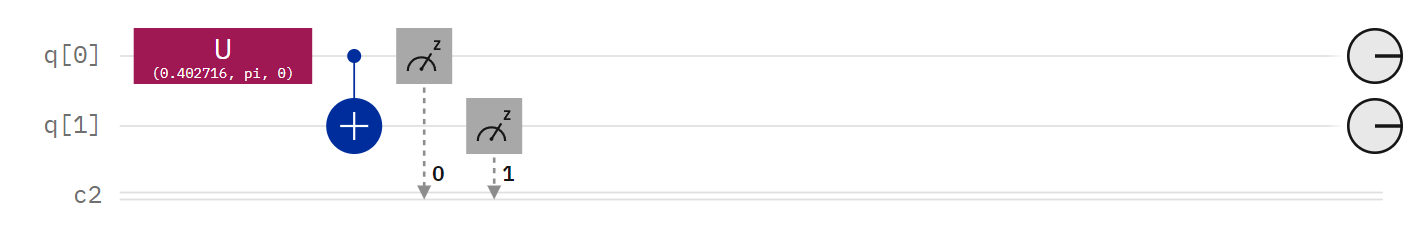


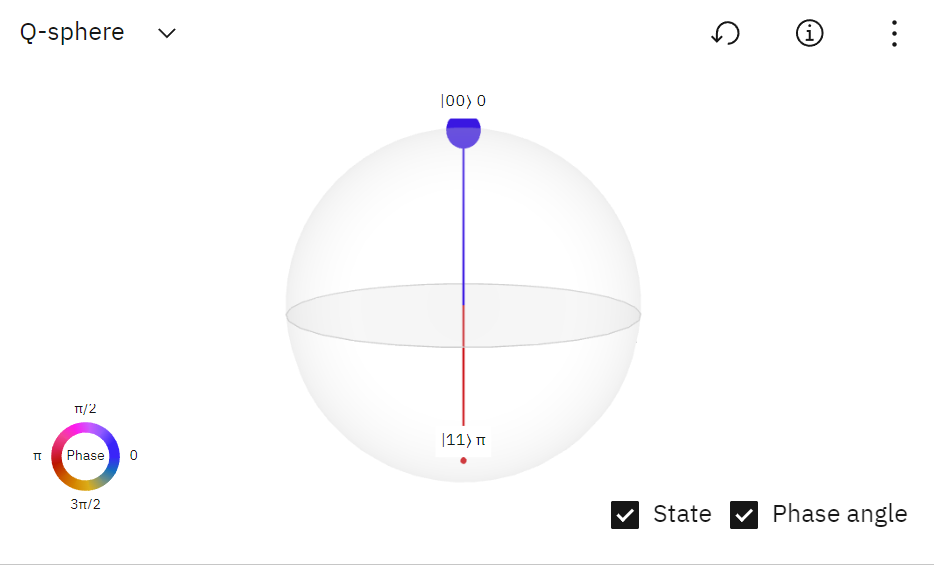


Получаем запутанное состояние путем применения вентиля Адамара (переходим к суперпозиции: от к и CNOT (создаем зависимость второго кубита от первого: . Затем с помощью вентиля NOT переходим к .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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.

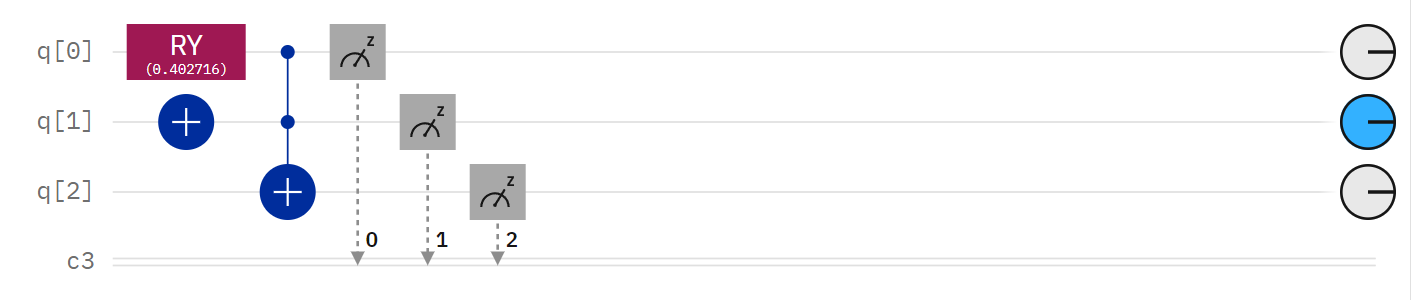
Итоговый вентиль

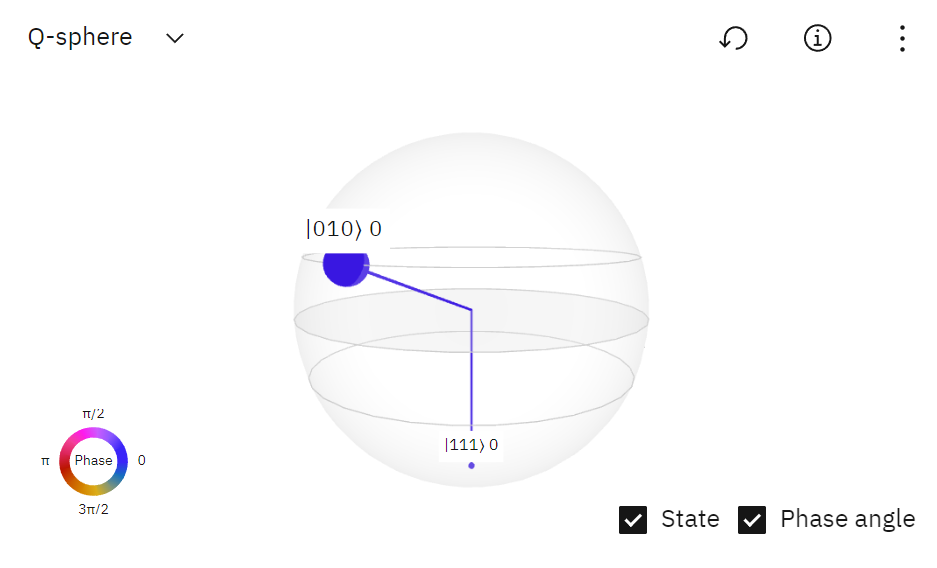
Добавляем CNOT для запутывания кубитов

Состояние после применения U и CNOT:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | Частота |00⟩ | Частота |01⟩ | Частота |10⟩ | Частота |11⟩ |
| 1000 | 946 | 6 | 7 | 41 |

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





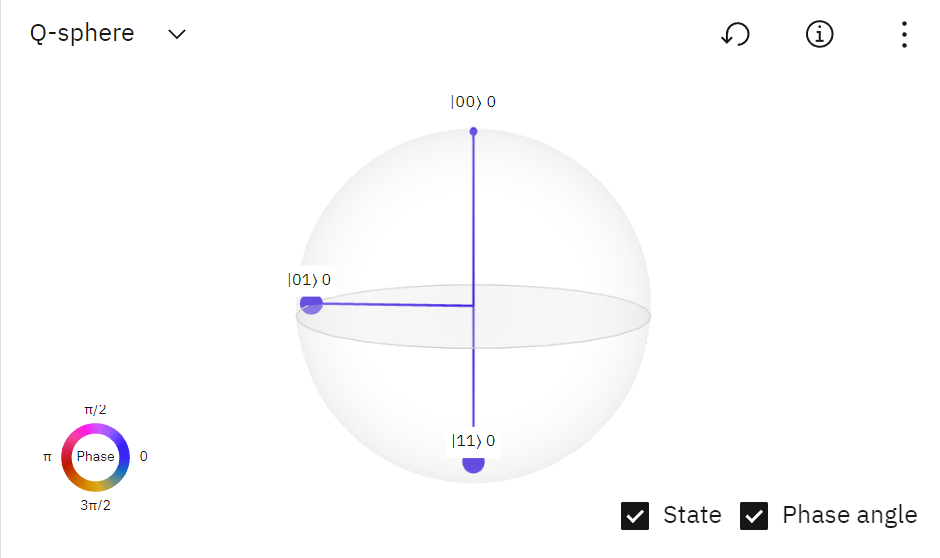
Добавляем NOT для инверсии второго кубита

Добавляем CNOT для запутывания кубитов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число выполнений | |000⟩ | |001⟩ | |010⟩ | |011⟩ | |100⟩ | |101⟩ | |110⟩ | |111⟩ |
| 1000 | 47 | 1 | 836 | 9 | 23 | 1 | 47 | 36 |

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



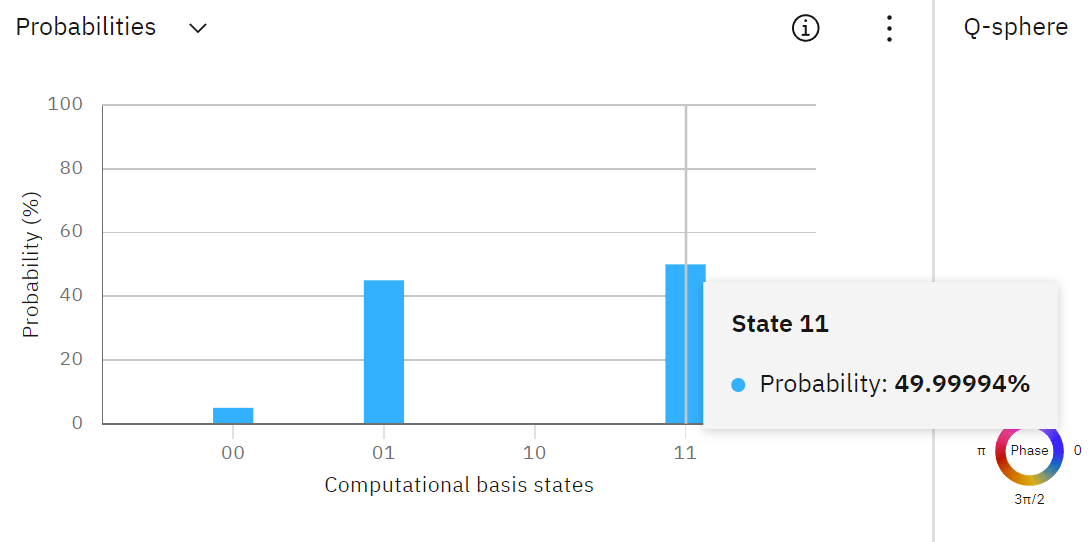


Применяем Ry для получения

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 | 51 | 414 | 10 | 525 |



6) Упражнение 4

*Реализуйте алгоритм Гровера для поиска числа 4. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.*

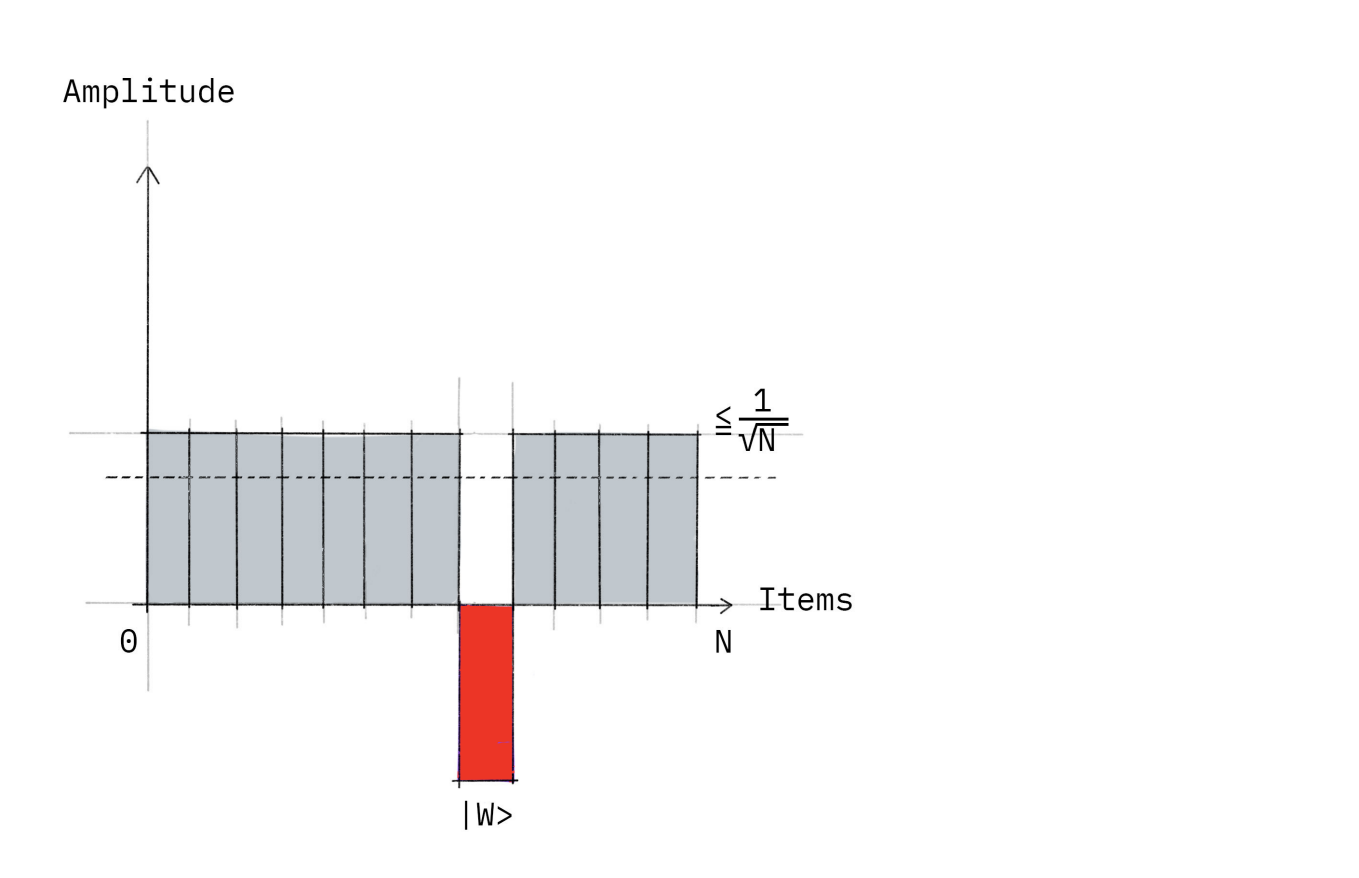
Создаем запутанные состояния для каждого кубита с помощью H

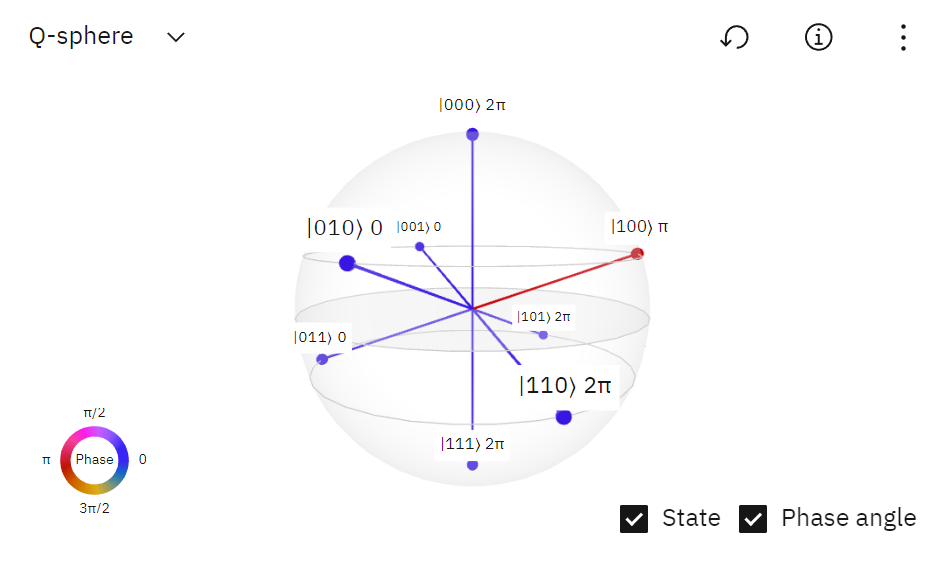
Применяем отражение оракула к искомому состоянию ∣100⟩, получаем отрицательную амплитуду искомого состояния.

CCZ гейт - выполняет фазовую инверсию состояния только в случае, если два управляющих кубита находятся в состоянии ∣1⟩. Получаем инверсию ∣111⟩

Добавляем X первому и второму кубиту, чтобы получить инверсию ∣100⟩







Применяем оператор диффузии для усиления амплитуды целевого состояния после работы оракула. Он состоит из нескольких шагов:

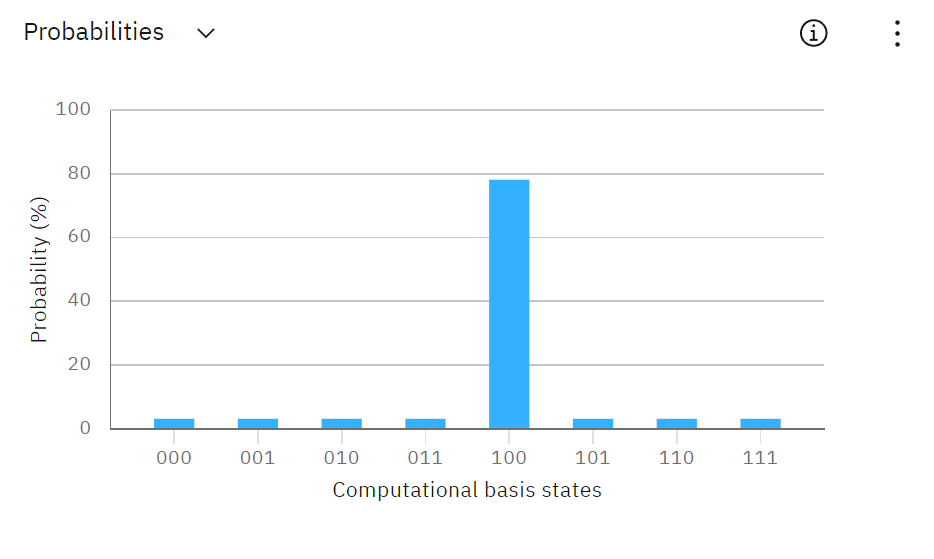
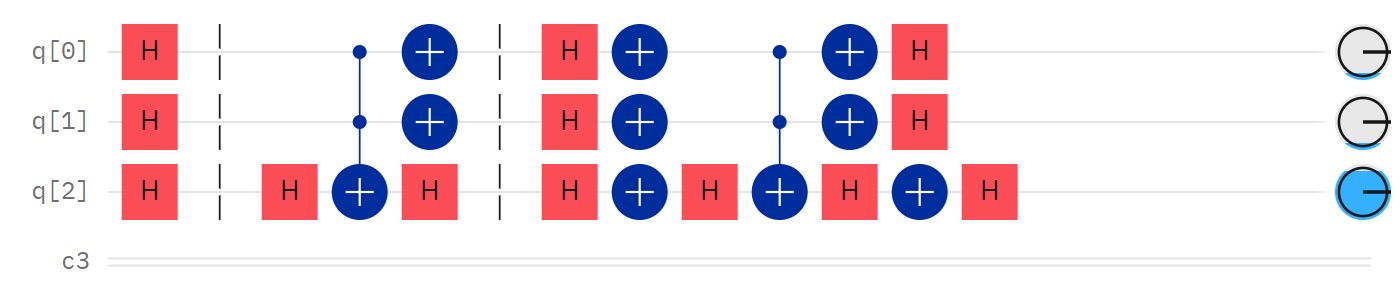
Применяются H гейты ко всем кубитам, переводя их в суперпозицию.

Затем применяется NOT ко всем кубитам, инвертируя их состояния.

Выполняется фазовая инверсия с использованием CCZ гейта, что инвертирует фазу состояния ∣000⟩ в изменённом базисе.

После этого снова применяются NOT и H гейты, возвращающие систему в исходное состояние.

Этот процесс отражает амплитуды всех состояний относительно их среднего значения, что приводит к усилению амплитуды целевого состояния и снижению амплитуд остальных состояний.



7) Выводы

В ходе работы были изучены управляемы гейты и рассмотрена реализация алгоритма Гровера.