|  |  |
| --- | --- |
| Группа M3304 | К работе допущен |
| Студент Гаджиев Саид | Работа выполнена 1.12.2024 |
| Преподаватель Шоев В.И. | Отчет принят |

**Рабочий протокол и отчет по  
лабораторной работе №4 (IBM.1)**

Основы работы в системе IBM Quantum

1. Цель работы.

Освоение основных операций при составлении квантовых схем и их тестировании в симуляторе квантовых схем IBM Quantum. Разработка квантовых схем, состоящих из однокубитных вентилей и реализация с их помощью кубитов в состояниях с произвольными амплитудами вероятности каждого состояния.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Построить однокубитные квантовые цепи.
2. Зарегистрировать результаты моделирования цепей.
3. Сравнить данные моделей с теоретическими распределениями.

3. Объект исследования.

Квантовый компьютер, распределение вероятности однокубитных и многокубитных цепей.

4. Метод экспериментального исследования.

Внедрение вентилей в построение схем, проведение моделирований.

5. Выполнение упражнения №1:

1. Зарегистрируйтесь на сайте по адресу <https://quantum-computing.ibm.com/>
2. Перейдите в «IBM Quantum Composer» и соберите схему, состоящую из двух кубитов. Установите для одного кубита состояние |0>, а для второго - состояние |1>. Добавьте операцию измерения для обоих кубитов и выполните получившуюся схему в режиме симуляции:

Изображение выглядит как снимок экрана, текст, программное обеспечение, Мультимедийное программное обеспечение

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, программное обеспечение, Мультимедийное программное обеспечение

Автоматически созданное описание

Кубит – это физический носителем квантовой информации. Это квантовая версия бита, и его квантовое состояние может быть записано в терминах двух уровней, помеченных |0⟩ и |1⟩, которые могут быть представлены в “вычислительном базисе” двумерными векторами

|0⟩ = |1⟩ =

Однокубитный квантовый вентиль — это унитарная матрица 2x2 матрица (матрицы унитарные, потому что квантовые вентили должны быть обратимыми и сохранять амплитуды вероятности). Квантовый вентиль – удобный способ описать эволюцию квантового состояния. Действие вентиля заключается в преобразовании начального состояния |𝜓⟩ в конечное |𝜓 ′ ⟩ = 𝑈|𝜓⟩, где 𝑈 представляют собой вентиль. Это просто матрично-векторное умножение.

Изображение выглядит как снимок экрана, текст, программное обеспечение, Мультимедийное программное обеспечение

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

3. В «IBM Quantum Composer» создайте схему, состоящую из одного кубита. Приведите кубит в состояние суперпозиции (| 0⟩+ | 1⟩). Примените измеритель к кубиту. Для полученной схемы запустите симуляцию с числом выполнений 1, 2, 8, 32, 64, 128, 512, 1024, 8192. Сделайте выводы на основе получившихся результатов.

Суперпозиция — это взвешенная сумма или разность двух или более состояний; другими словами, это линейная комбинация.

Изображение выглядит как снимок экрана, текст, часы, Шрифт

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт

Автоматически созданное описание

Из результатов симуляции видно, что теоретическая модель подтверждается. Оператор Адамара можно рассматривать как однокубитный аналог системы из двух кубитов в противоположных состояниях, где вероятность обоих состояний — |0> и |1> — равна. Результаты моделирования наглядно подтверждают этот факт.

4. Сравнить две схемы по вентилю CNOT.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency | |
| Shots | |01> | |00> |
| 1024 | 497 | 503 |

Изображение выглядит как снимок экрана, диаграмма, часы, текст

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency | |
| Shots | |01> | |00> |
| 1024 | 0 | 1024 |

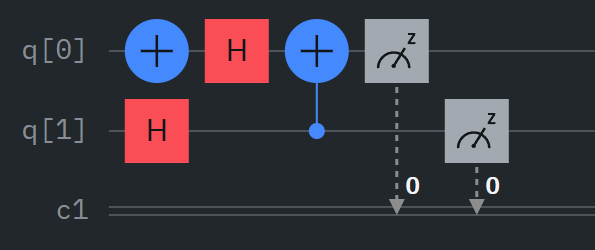
Изображение выглядит как снимок экрана, диаграмма, часы, число

Автоматически созданное описание

При использовании первого кубита q[0] в качестве управляющего, он может быть с равной вероятностью в состояниях ∣0⟩или ∣1⟩. В этом случае состояние управляемого кубита q[1] также будет с равной вероятностью находиться в ∣0⟩ или ∣1⟩. Если управляющим является q[1], то это не оказывает влияния на состояние q[0]. Измерения для q[0] уже проводились, и в данном случае нас интересует состояние второго кубита q[1]. Как упоминалось ранее, q[1] может принимать как равновероятные (при выборе его в качестве управляемого), так и фиксированные (при выборе его в качестве управляющего) состояния.

5. Сравнить схемы на двух кубитах по оператору Адамара.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency | |
| Shots | |0> | |1> |
| 1024 | 492 | 508 |



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency | |
| Shots | |0> | |1> |
| 1024 | 490 | 510 |

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, часы

Автоматически созданное описание

Возможно, стоило изменить схемы так, чтобы увеличить количество считывающих битов. Это позволило бы рассмотреть состояния каждого из кубитов в рамках одной схемы:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Параллельный, линия

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как круг, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

Уже теперь очевидно, что оба кубита с равной вероятностью могут находиться в состояниях ∣0⟩ и ∣1⟩. Это подтверждают первые две таблицы, в которых представлены результаты измерений кубитов q[0] и q[1] соответственно. При желании, в схеме можно было бы обойтись без использования CNOT-вентиля: в этом случае состояния кубитов оказались бы ортогональными.

Изображение выглядит как снимок экрана, диаграмма, текст, Шрифт

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как снимок экрана, Мультимедийное программное обеспечение, Графическое программное обеспечение, 3D-моделирование

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как снимок экрана, диаграмма, число, Шрифт

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как снимок экрана, Графическое программное обеспечение, диаграмма, 3D-моделирование

Автоматически созданное описание

6. Создать схемы и проанализировать в Q-сфере

1. Кубит RESET + MEASUREMENT:

Не наблюдается ничего: кубит стабильно находится в состоянии ∣0⟩.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Мультимедийное программное обеспечение, программное обеспечение

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0 | 1 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0 | 1024 |

1. Кубит RESET + NOT + MEASUREMENT:

Не наблюдается ничего: кубит остается в состоянии ∣1⟩ из-за действия X-вентиля.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Мультимедийное программное обеспечение, программное обеспечение

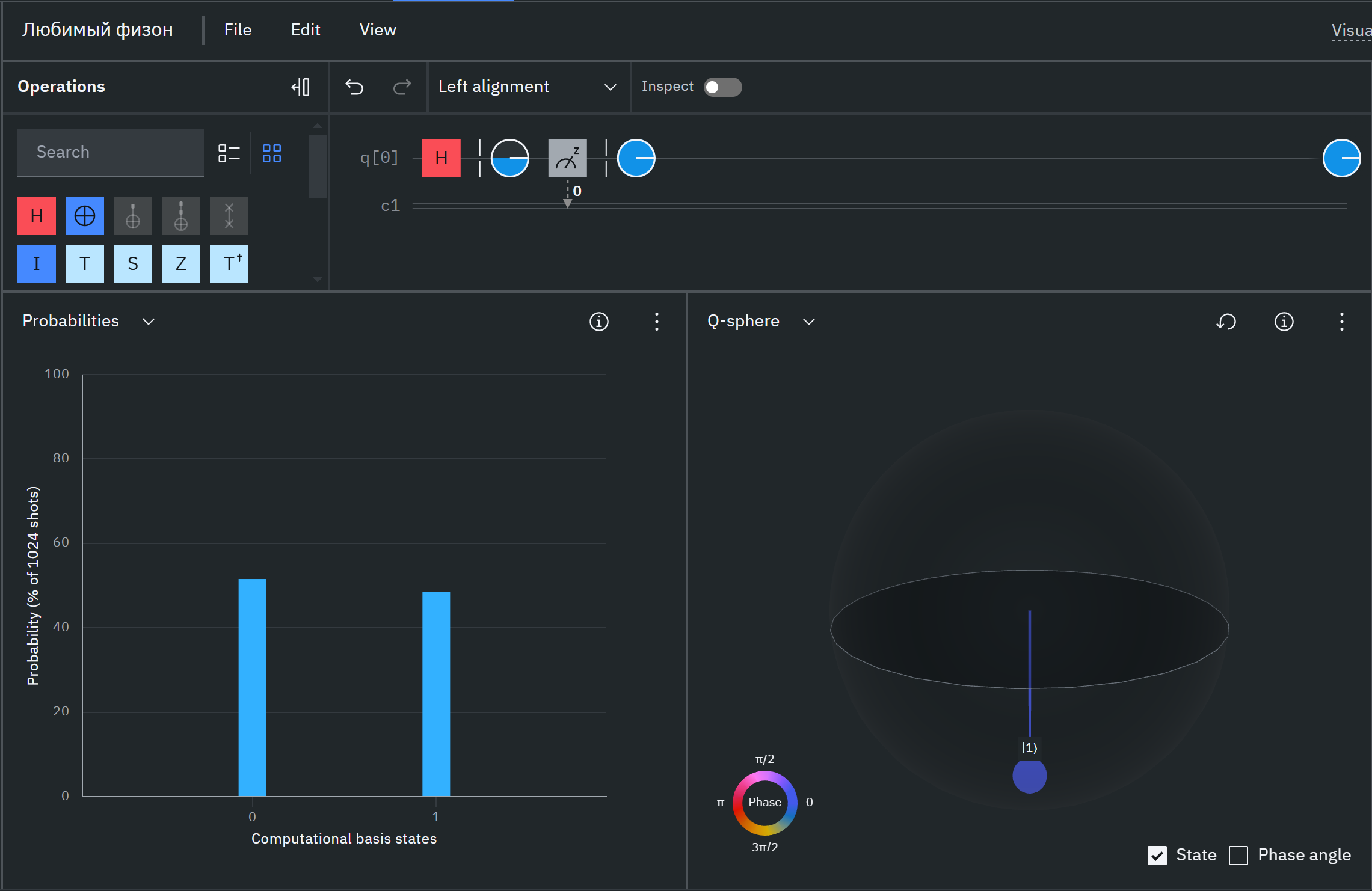
Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 1 | 0 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 1024 | 0 |

1. Кубит + оператор Адамара + MEASUREMENT:

Фиксируем почти равномерное распределение вероятностей между состояниями ∣0⟩ и ∣1⟩. При этом на Q-сфере отображается только одно состояние, что связано с детерминированностью результата из-за операции измерения (MEASUREMENT).



Результаты симуляции подтверждают равновероятное распределение между двумя состояниями:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 525 | 475 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0.53 | 0.48 |

1. Кубит + NOT + оператор Адамара + MEASUREMENT

Наблюдается почти равное распределение вероятностей между состояниями ∣0⟩ и ∣1⟩. На Q-сфере видно только одно состояние с противоположной фазой, что связано с проведением измерения (MEASUREMENT), которое фиксирует результат.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Мультимедийное программное обеспечение, Графическое программное обеспечение

Автоматически созданное описание

Результаты симуляции подтверждают равновероятное распределение между двумя состояниями:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0.49 | 0.50 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 497 | 503 |

1. Кубит + RX + MEASUREMENT

Вентиль RX используется для поворота состояния на Q-сфере вокруг оси X.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, программное обеспечение, Мультимедийное программное обеспечение

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 259 | 765 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0.26 | 0.76 |

1. Кубит + RX + NOT + MEASUREMENT

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 776 | 225 |

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, программное обеспечение, Мультимедийное программное обеспечение

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0.78 | 0.23 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |

6. Выполнение упражнения №2:

1. Получите кубит в состоянии суперпозиции

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 506 | 518 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0.4941 | 0.5058 |

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, Графика

Автоматически созданное описание

2. Двумя способами получите кубит в состоянии суперпозиции

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана, текст, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 499 | 525 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0.4873 | 0.5127 |

3. Получите кубит в состоянии суперпозиции

Изображение выглядит как снимок экрана, Шрифт, диаграмма, текст

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 509 | 515 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 1024 | 0.4970 | 0.5029 |

**Вариант №7 (из таблицы 1)**. Вероятность . Вероятность

4. С помощью вентиля RX создайте кубит в состоянии (𝑎 | 0⟩ + 𝑏 | 1⟩). Вероятности реализации каждого состояния приведены в таблице 1. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

Вентиль RX выполняет вращение кубита на угол вокруг оси X, начиная из состояния .

Для понимания работы вентиля важно изучить матрицу поворота, чтобы учесть её действие в общем случае:

Таким образом, становится ясно, что для выполнения условий варианта следует выбрать угол:

Также следует использовать квантиль 𝑃() ≡ 𝑆, чтобы скорректировать фазу φ.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 696 | 1352 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.3398 | 0.6602 |

5. С помощью однокубитного вентиля RY получите кубит в состоянии суперпозиции (𝑎 | 0⟩ + 𝑏 | 1⟩). Вероятности реализации каждого состояния приведены в таблице 1. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

Вентиль RY выполняет вращение кубита на угол относительно оси Y.

Для понимания работы вентиля важно изучить матрицу поворота, чтобы учесть её действие в общем случае:

Таким образом, становится ясно, что для выполнения условий варианта следует выбрать угол:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 715 | 1333 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.3491 | 0.6508 |

6. С помощью однокубитного вентиля U получите кубит в состоянии суперпозиции (𝑎 | 0⟩ + 𝑏 | 1⟩). Вероятности реализации каждого состояния приведены в таблице 1. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

Вентиль U выполняет вращение кубита на заданные углы (θ, φ, λ), начиная с произвольного исходного состояния.

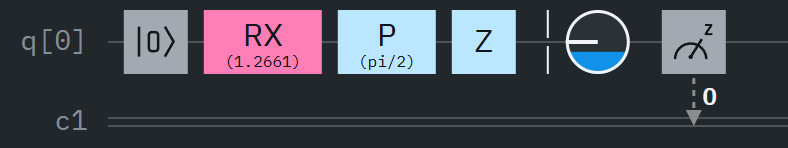
Для понимания работы вентиля важно изучить матрицу поворота, чтобы учесть её действие в общем случае:

Таким образом, становится ясно, что для выполнения условий варианта следует выбрать угол:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 731 | 1317 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.3569 | 0.6431 |

7. С помощью однокубитного вентиля RX получите кубит в состоянии суперпозиции (𝑎 | 0⟩ −𝑏 | 1⟩). Вероятности реализации каждого состояния приведены в таблице 1. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.



Чтобы получить состояние в зависимости от указанных значений, нужно применить оператор Паули, который преобразует состояние ∣0⟩ в ∣0⟩, а ∣1⟩ в −∣1⟩.

P-gate используется для компенсации фазы состояния .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 727 | 1321 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.3550 | 0.6450 |

8. С помощью однокубитного вентиля RY получите кубит в состоянии суперпозиции (𝑎 | 0⟩ −𝑏 | 1⟩). Вероятности реализации каждого состояния приведены в таблице 1. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, часы

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 710 | 1338 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.3467 | 0. 6533 |

9. С помощью однокубитного вентиля U получите кубит в состоянии суперпозиции (𝑎 | 0⟩ −𝑏 | 1⟩). Вероятности реализации каждого состояния приведены в таблице 1. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

Подробно разберем математический принцип построения. Ранее получили состояние 0.65∣0⟩+0.35∣1⟩. В текущем задании нужно определить последовательность квантовых гейтов, которая преобразует это состояние в суперпозицию −0.65∣0⟩+0.35∣1⟩.

К сожалению, обратного гейта , описываемого как не существует в стандартной библиотеке.

Но мы можем составить такой вентиль самостоятельно, поскольку он эквивалентен комбинации XZX:

Разберём то, как этот вентиль влияет на состояния ∣0⟩ и ∣1⟩:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, часы

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 687 | 1361 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.3354 | 0. 6645 |

10. С помощью вентилей поворота получите кубит в состоянии (𝑎 | 0⟩+𝑏 | 1⟩). Вероятности реализации каждого состояния, приведены в таблице 1. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 1104 | 944 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.5391 | 0.4609 |

11. С помощью вентиля RX получите кубит в состоянии суперпозиции (𝑎 | 0⟩+𝑏 | 1⟩) в соответствии с вариантом, представленном в таблице 1. Далее составьте 46 схему, представленную на рис. 20. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, программное обеспечение, Мультимедийное программное обеспечение

Автоматически созданное описание

Результаты напоминают вероятностное распределение суперпозиции, создаваемой оператором Адамара, где состояния ∣0⟩ и ∣1⟩ равновероятны.

Но следует учитывать, что после поворота ​ остаётся фазовый сдвиг ϕ в зависимости от 1.2661.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 1029 | 1019 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.5024 | 0.4976 |

12. С помощью вентиля Rx получите кубит в состоянии суперпозиции a|0> + b|1>. Вероятности реализации каждого состояния, приведены в таблице 1. Далее составьте схему, представленную на рис. 21. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, Графика

Автоматически созданное описание

Последовательное двукратное применение оператора Адамара в схеме не изменяет результаты симуляции, поскольку оператор H является унитарным.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 756 | 1292 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.3691 | 0.6308 |

13. Соберите квантовые схемы, показанные на рис. 22. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

a)

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

Поскольку вентиль H создаёт равномерную суперпозицию состояний ∣0⟩ и ∣1⟩, мы ожидаем, что частоты для ∣0⟩ и ∣1⟩ будут примерно одинаковыми, что будет отражать 50% вероятность для каждого состояния.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 1008 | 1040 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.4922 | 0.5078 |

b)

Изображение выглядит как снимок экрана, текст, Шрифт, линия

Автоматически созданное описание

Ожидаемое состояние после выполнения схемы:

После применения X: Кубит будет находиться в состоянии ∣1⟩.

После применения H: Кубит будет находиться в состоянии суперпозиции , т.е. вероятности для состояний ∣0⟩ и ∣1⟩ будут равны ​.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 1005 | 1043 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.4907 | 0.5092 |

c)

Изображение выглядит как снимок экрана, Шрифт, текст, Графика

Автоматически созданное описание

Вентиль H: применяется к кубиту, что переводит его в состояние суперпозиции ​. Это означает, что вероятности для состояний ∣0⟩ и ∣1⟩ будут равны 50% после применения этого вентиля.

Вентиль Z: Этот вентиль изменяет фазу состояния ∣1⟩ на −1, но не влияет на состояние ∣0⟩. Таким образом, состояние кубита остается суперпозицией но с фазой, добавленной к состоянию∣1⟩. В результате измерение все равно будет давать равные вероятности для состояний ∣0⟩ и ∣1⟩, так как фазовый сдвиг не изменяет вероятность измерений.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 1017 | 1031 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.4966 | 0.5034 |

14. Соберите квантовые схемы, показанные на рис. 23. Выполните симуляцию. Получите математическое обоснование результата.

a)

Изображение выглядит как снимок экрана, Шрифт, текст, число

Автоматически созданное описание

Применение вентилей H:

* Первый кубит после применения вентиля H будет в состоянии
* Второй кубит также после применения вентиля H будет в состоянии
* Это приводит к тому, что система из двух кубитов находится в состоянии равномерной суперпозиции всех четырех возможных состояний: |00>, |01>, |10>, |11>

Измерение:

* Когда мы выполняем измерение на первом и втором кубите, мы получаем результат, который может быть любым из этих состояний с равными вероятностями.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | | | |
| Shots | |00> | |01> | |10> | |11> |
| 2048 | 507 | 487 | 505 | 549 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | | | |
| Shots | |00> | |01> | |10> | |11> |
| 2048 | 0.2475 | 0.2378 | 0.2466 | 0.2681 |

b)

Изображение выглядит как снимок экрана, Шрифт, круг, диаграмма

Автоматически созданное описание

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (quantity) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 1016 | 1036 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Frequency (out of 1) | |
| Shots | |1> | |0> |
| 2048 | 0.4961 | 0.5039 |

7. Вывод:

В ходе выполнения работы были освоены основные операции при составлении квантовых схем и проведении их моделирования в симуляторе квантовых схем IBM Quantum. Были разработаны квантовые схемы, состоящие из однокубитных вентилей, что позволило реализовать состояния кубитов с различными амплитудами вероятностей. Результаты моделирования однокубитных квантовых цепей были зарегистрированы и сопоставлены с теоретическими распределениями вероятностей. Сравнение показало соответствие экспериментальных данных теоретическим предположениям, что подтверждает правильность построения квантовых цепей и применения вентилей.

Таким образом, работа позволила приобрести практические навыки в создании и тестировании квантовых схем, а также углубить понимание распределения вероятностей в квантовых системах.