Университет ИТМО

Физико-технический мегафакультет

Физический факультет

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Группа М3304 К работе допущен

Студент Васильков Д.А, Лавренов Д.А. Работа выполнена

Преподаватель Шоев В.И. Отчет принят

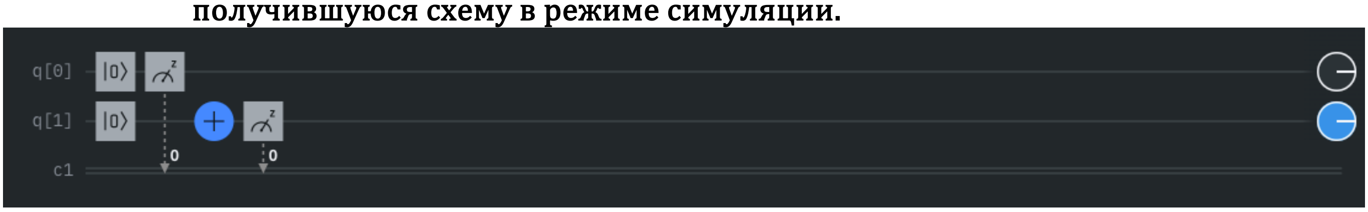
Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №5.IBM1

1) **Цель работы**
   1. Изучить функционал квантового компьютера IBM
2) **Задачи, решаемые при выполнении работы**
   1. Построить однокубитные квантовые цепи;
   2. Зарегистрировать результаты моделирования цепочек;
   3. Сравнить данные моделирований 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:

5.1. Зарегистрироваться в системе IBM Quantum

5.2. Установить для одного кубита состояние $|0\rangle$, а для второго – состояние $|1\rangle$. Добавьте операцию измерения для обоих кубитов и выполните получившуюся схему в режиме симуляции.



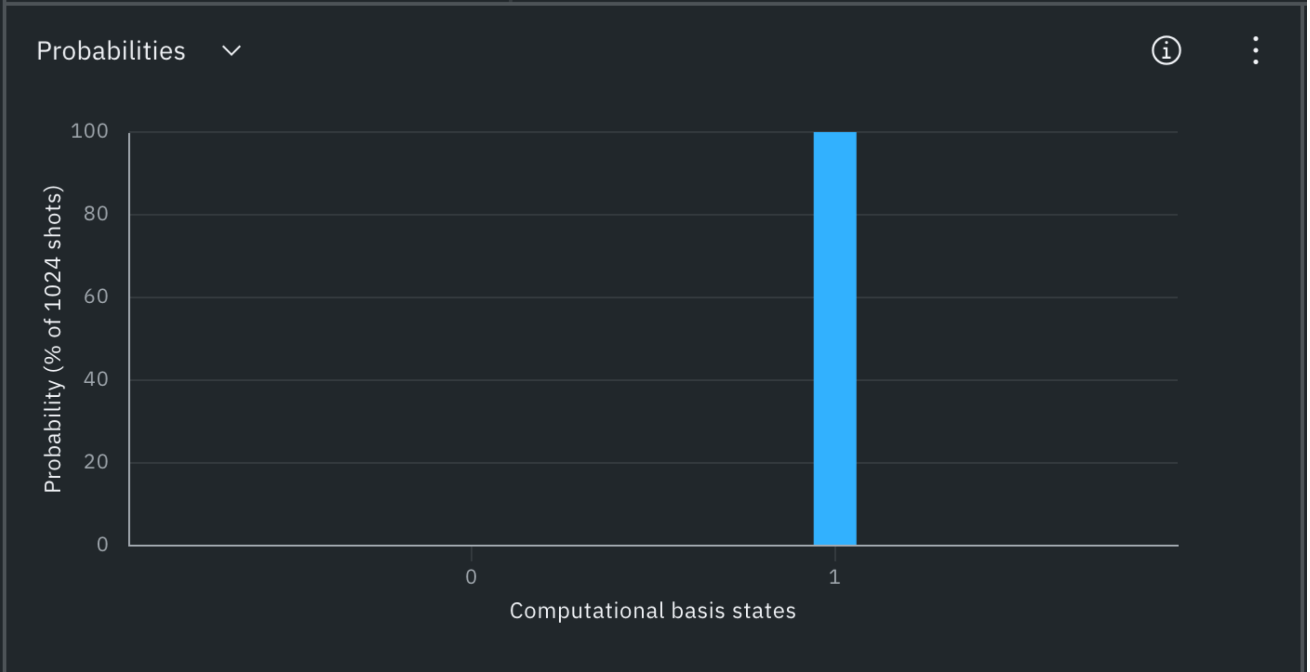
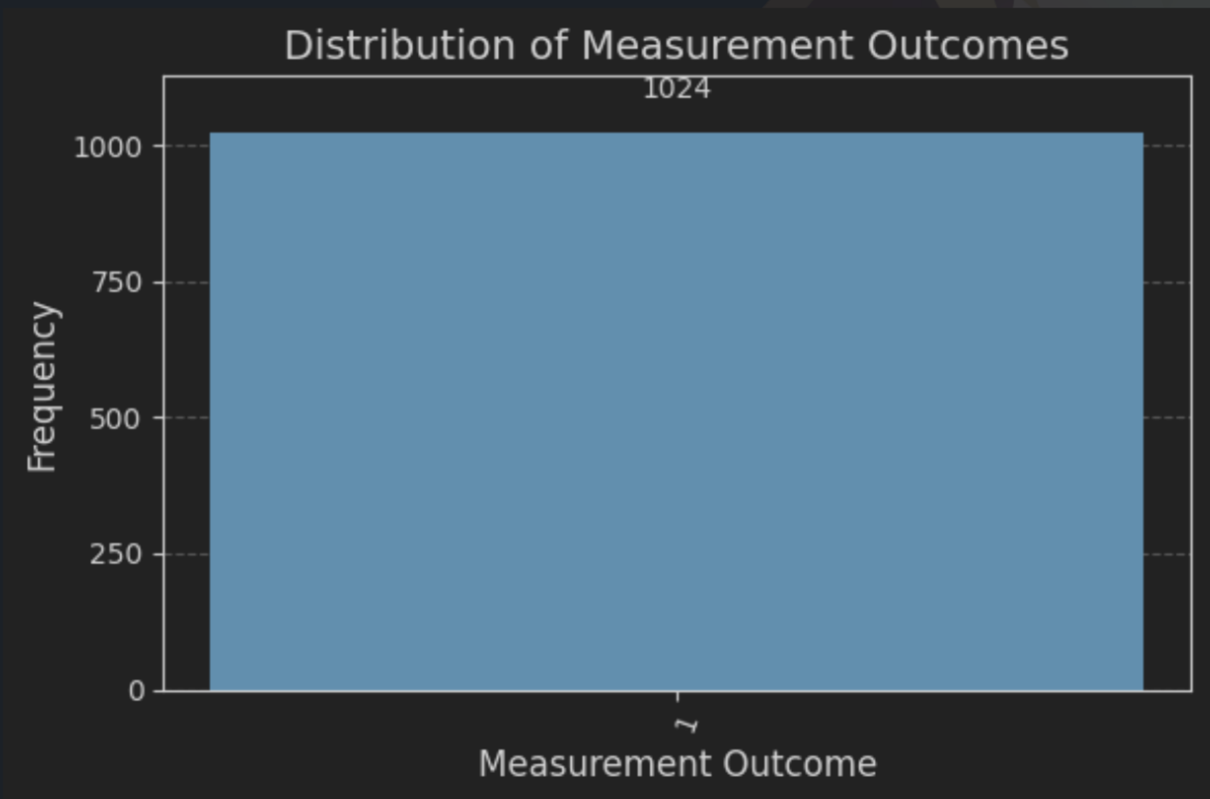
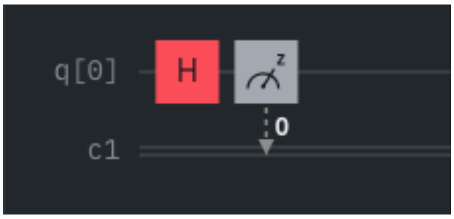


Таблица результатов измерений:

	Outcome	Frequency
0	1	1024



5.3. **Приведите кубит в состояние суперпозиции $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle+|1\rangle)$. Применение измерителя к кубиту. Для полученной схемы запустите симуляцию с числом выполнений 1, 2, 8, 32, 64, 128, 512, 1024, 8192. Формулирование выводов на основе получившихся результатов.**



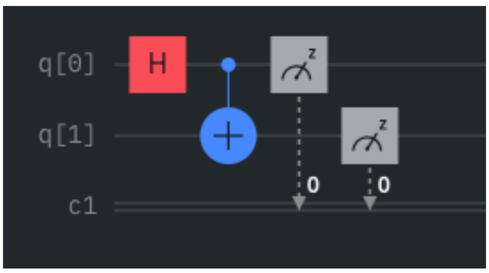
9 rows 9 rows × 6 columns

	Shots	$|1\rangle$	$|0\rangle$	Frequency ($|1\rangle$)	Frequency ($|0\rangle$)
0	1	1	0	1.00	1.00
1	2	2	0	1.00	1.00
2	8	4	4	0.50	0.50
3	32	19	13	0.59	0.41
4	64	33	31	0.52	0.48
5	128	64	64	0.50	0.50
6	512	277	235	0.54	0.46
7	1024	521	503	0.51	0.49
8	8192	4066	4126	0.50	0.50

Можно заключить, что теоретическая модель находит подтверждение, а оператор Адамара может быть использован как однокубитный аналог системы из двух кубитов, находящихся в противоположных состояниях, где состояния $|0\rangle$ и $|1\rangle$ имеют равную вероятность.

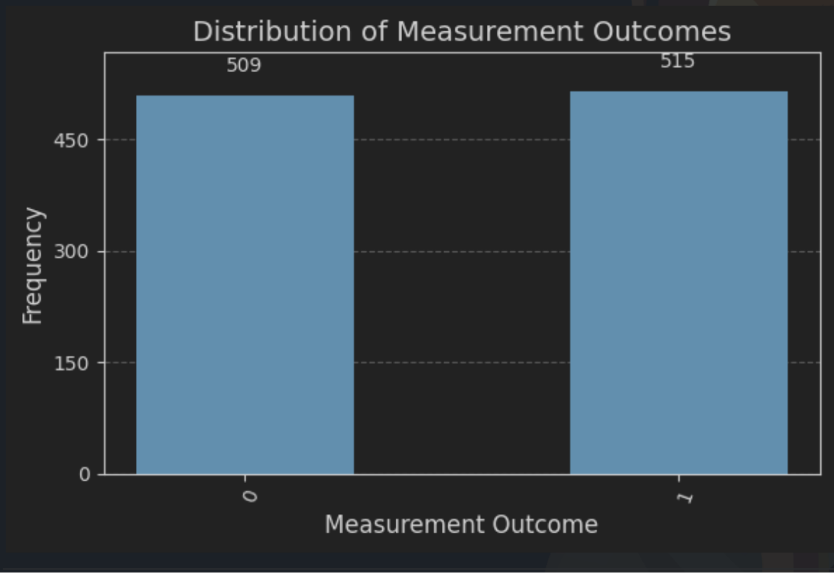
5.4. **Сбор квантовых схем с рисунка 17 и их сравнение**

а)

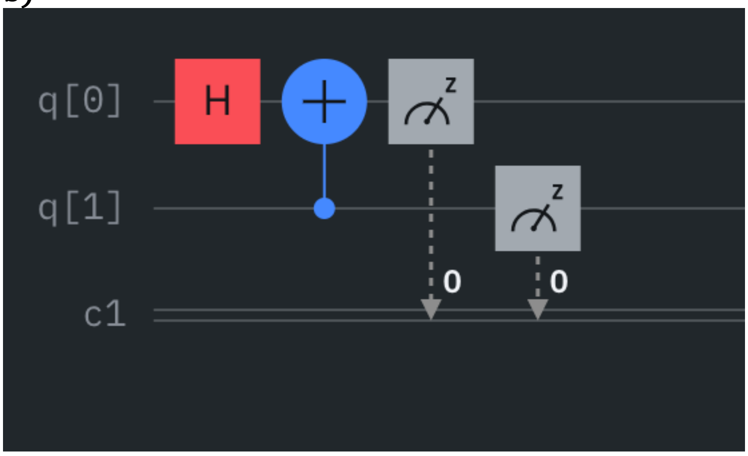


```
Results: {'1': 515, '0': 509}

Таблица результатов измерений:
+---+---------+-----------+
|   | Outcome | Frequency |
+---+---------+-----------+
| 0 |    0    |    509    |
| 1 |    1    |    515    |
+---+---------+-----------+
```



b)

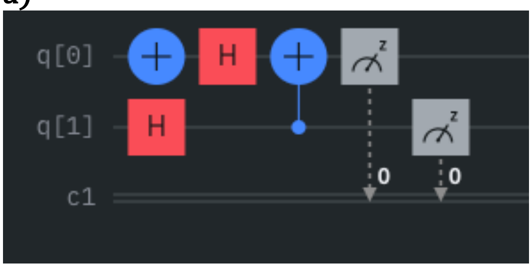


```
Таблица результатов измерений:
+---+---------+-----------+
|   | Outcome | Frequency |
+---+---------+-----------+
| 0 |    0    |   1024    |
+---+---------+-----------+
```

Полученные результаты соответствуют ожиданиям, поскольку схемы различаются лишь в выборе управляющих кубитов для вентиля CNOT. Кубит q[0] может находиться в состояниях |0⟩ и |1⟩ с одинаковой вероятностью. Когда q[0] используется как управляющий, состояние управляемого кубита становится равновероятным для |0⟩ и |1⟩. Если же управляющим кубитом является q[1], то в q[0] инверсия не происходит. Когда q[1] — это управляемый кубит, его состояние становится равновероятным, а когда q[1] — управляющий, его состояние остаётся постоянным.

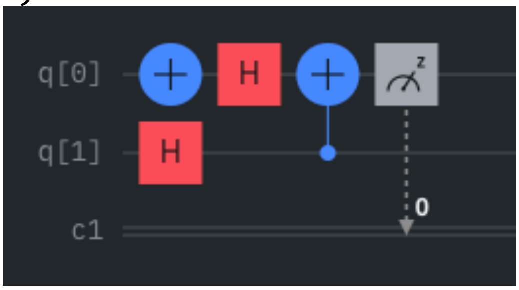
5.5. Сборка квантовых схем с рисунка 18 и их сравнение

а)



	Shots	|1⟩	|0⟩	Frequency (|1⟩)	Frequency (|0⟩)
0	512	255	257	0.50	0.50

b)

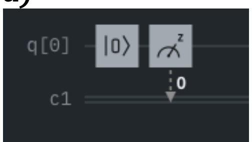


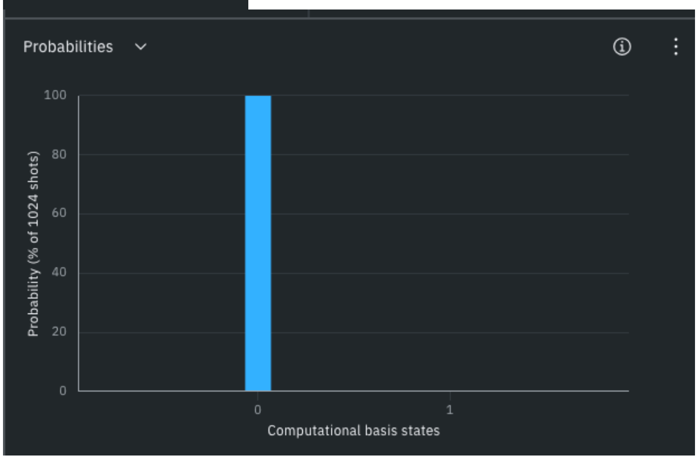
	Shots	|1⟩	|0⟩	Frequency (|1⟩)	Frequency (|0⟩)
0	512	260	252	0.51	0.49

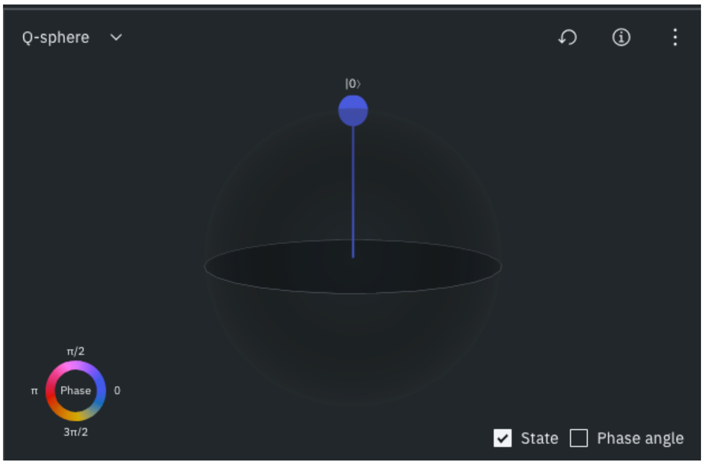
Из представленных выше таблиц видно, что каждый из кубитов может находиться как в состоянии $|0\rangle$, так и в состоянии $|1\rangle$.

5.6. Создание и запуск схем с рисунком 19

a)



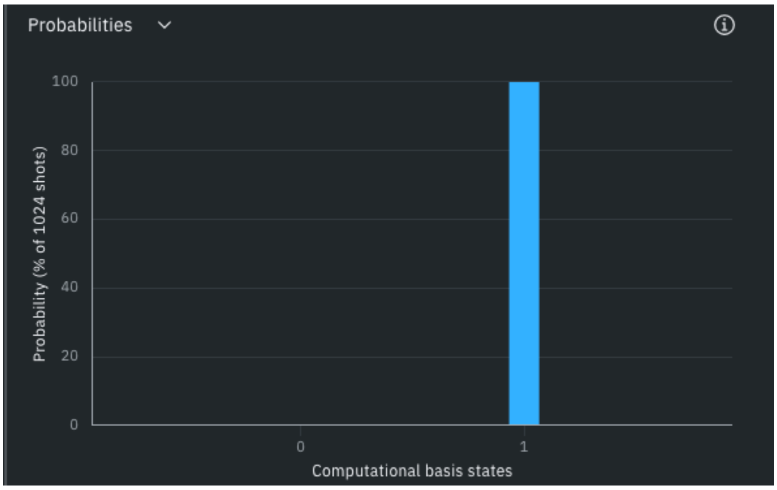


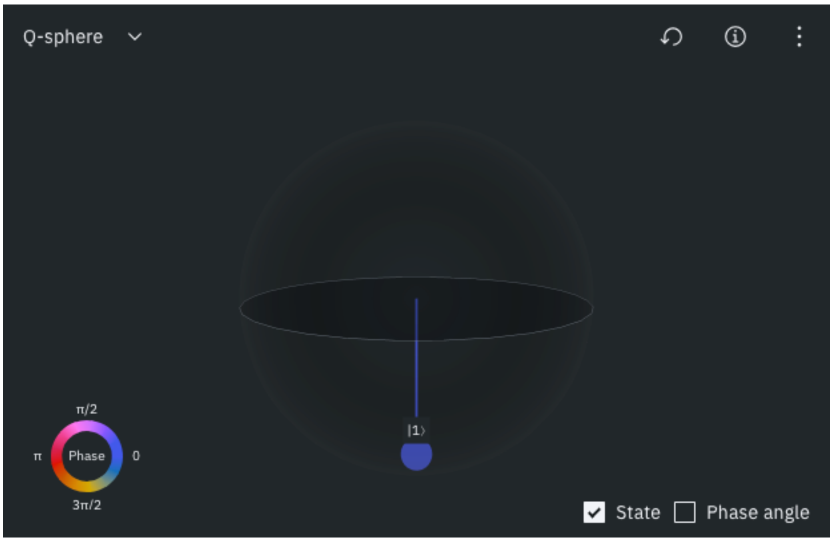


	Shots	|1⟩	|0⟩	Frequency (|1⟩)	Frequency (|0⟩)
0	1024	0	1024	0.00	1.00

В данной схеме кубит находится только в одном состоянии — |0⟩.

b)



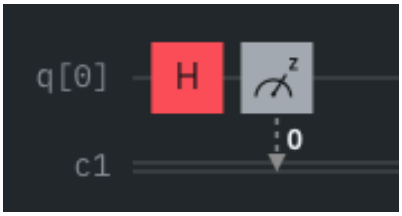


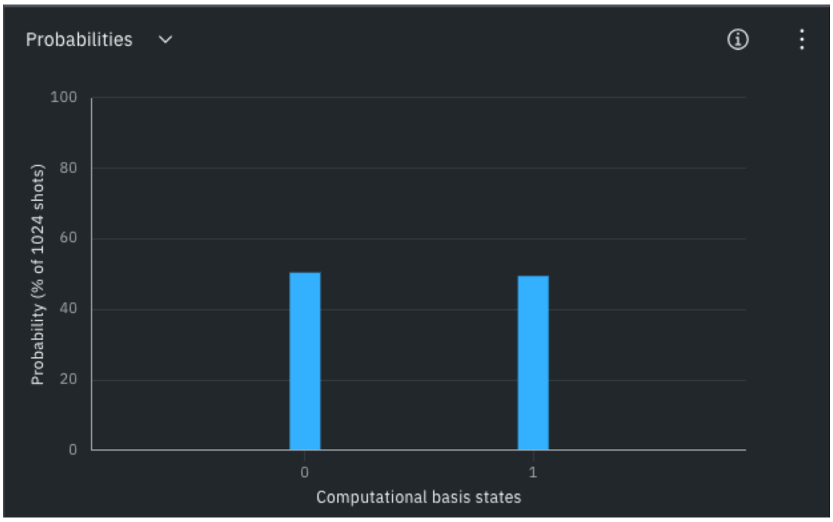
1 row
1 rows × 6 columns

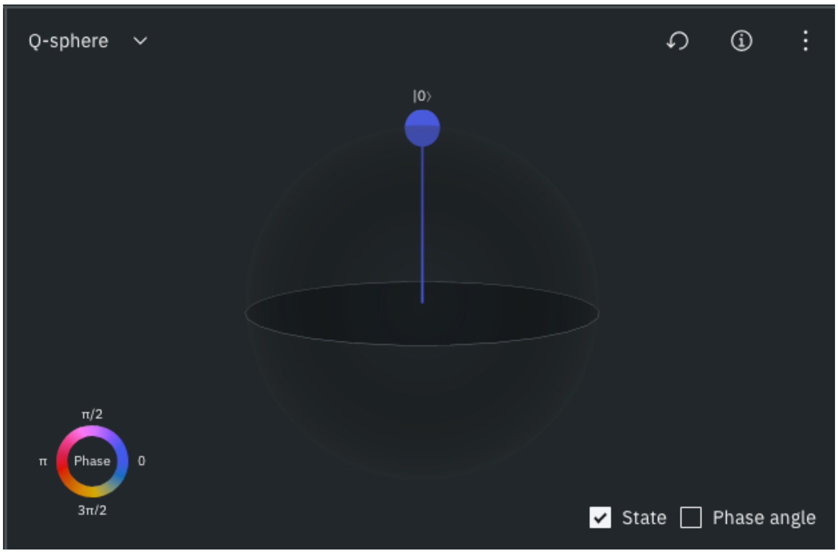
	Shots	|1⟩	|0⟩	Frequency (|1⟩)	Frequency (|0⟩)
0	1024	1024	0	1.00	0.00

В этой схеме кубит также имеет только одно состояние - |1⟩. Это произошло из-за применения оператора X вентиль.

c)







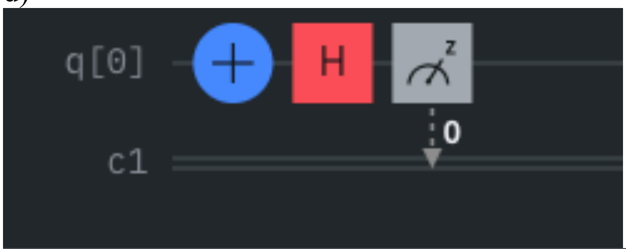
Executed at 2024.12.08 23:00:06 in 11ms

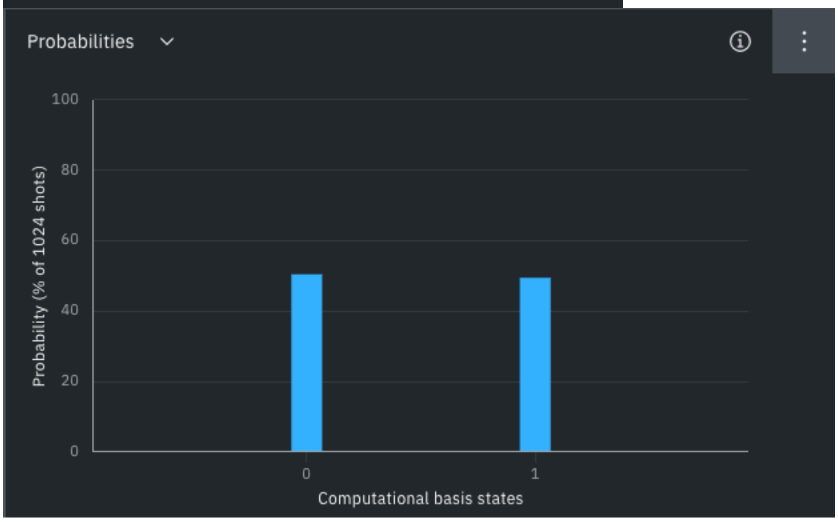
1 row · 1 rows × 6 columns

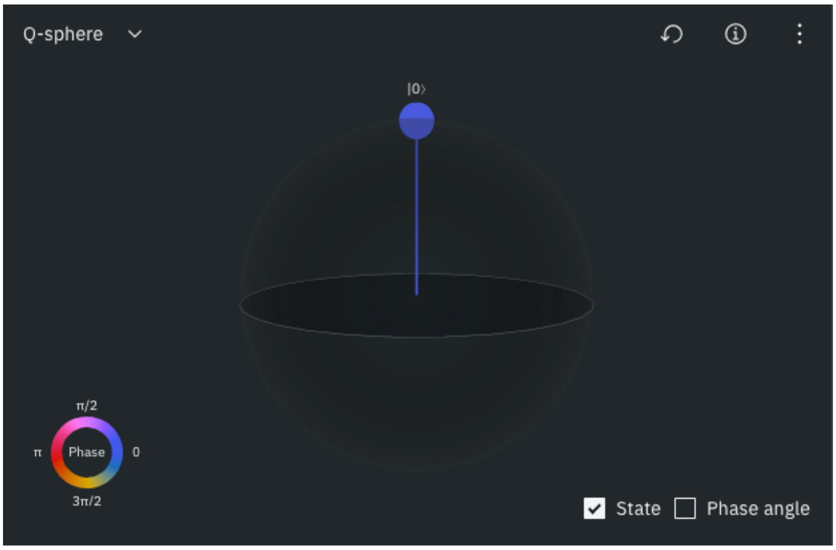
	Shots	|1⟩	|0⟩	Frequency (|1⟩)	Frequency (|0⟩)
0	1024	501	523	0.49	0.51

Сейчас наблюдается почти равномерное распределение вероятности между состояниями |0⟩ и |1⟩, что подтверждается симуляцией. Однако, из-за присутствия в схеме детерминированного наблюдения (Measurement), на Q-сфере отображается только одно состояние.

d)



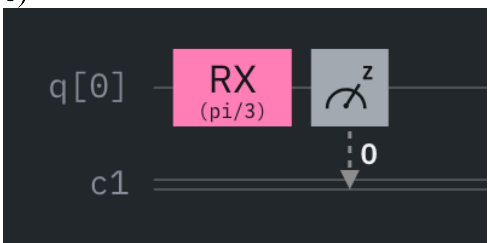


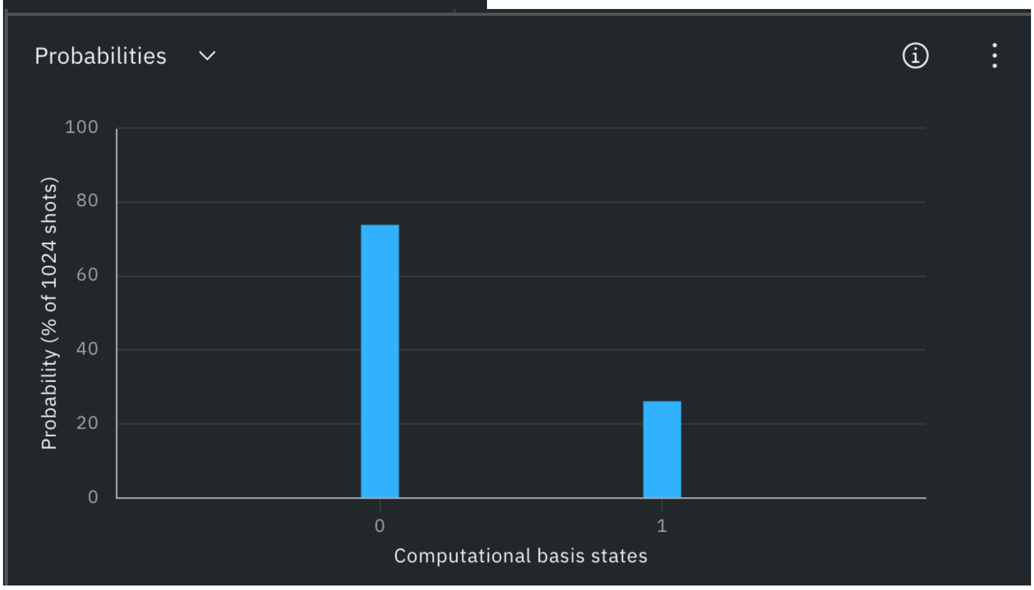


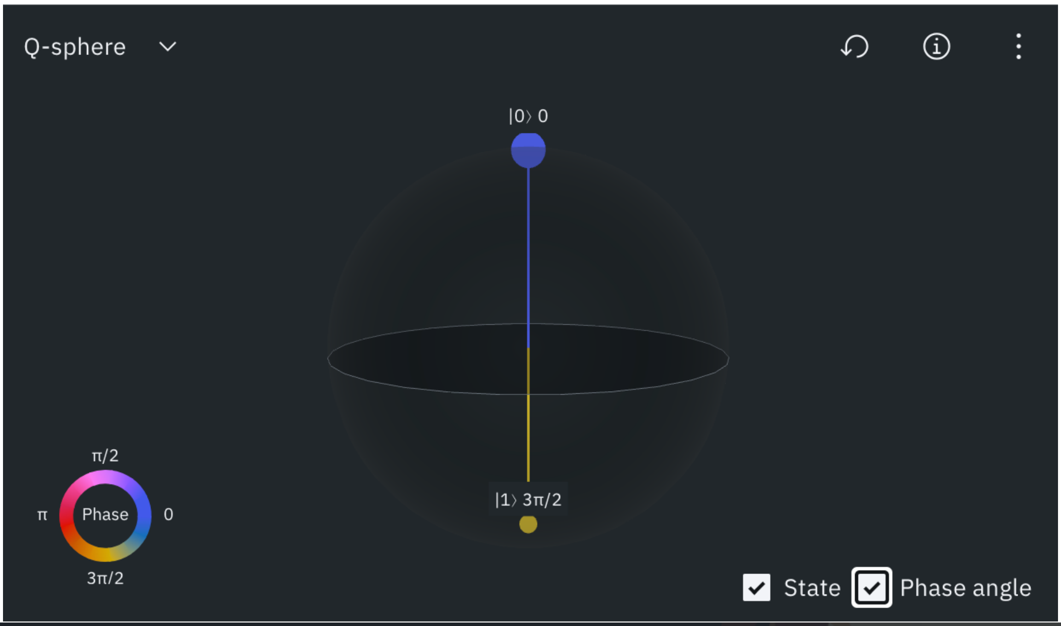
	Shots	|1⟩	|0⟩	Frequency (|1⟩)	Frequency (|0⟩)
0	1024	493	531	0.48	0.52

Сейчас наблюдается почти равномерное распределение вероятности между состояниями |0⟩ и |1⟩, что подтверждается симуляцией. Однако, из-за присутствия в схеме детерминированного наблюдения (Measurement), на Q-сфере отображается только одно состояние.

e)





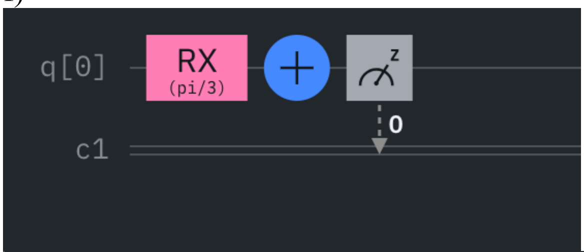


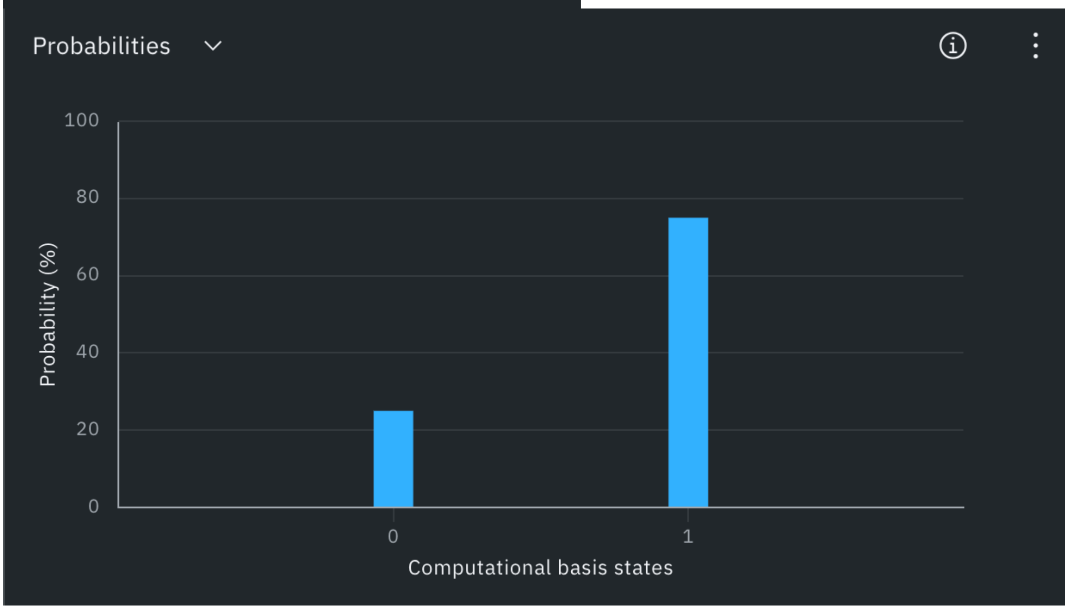
1 row
1 rows × 6 columns

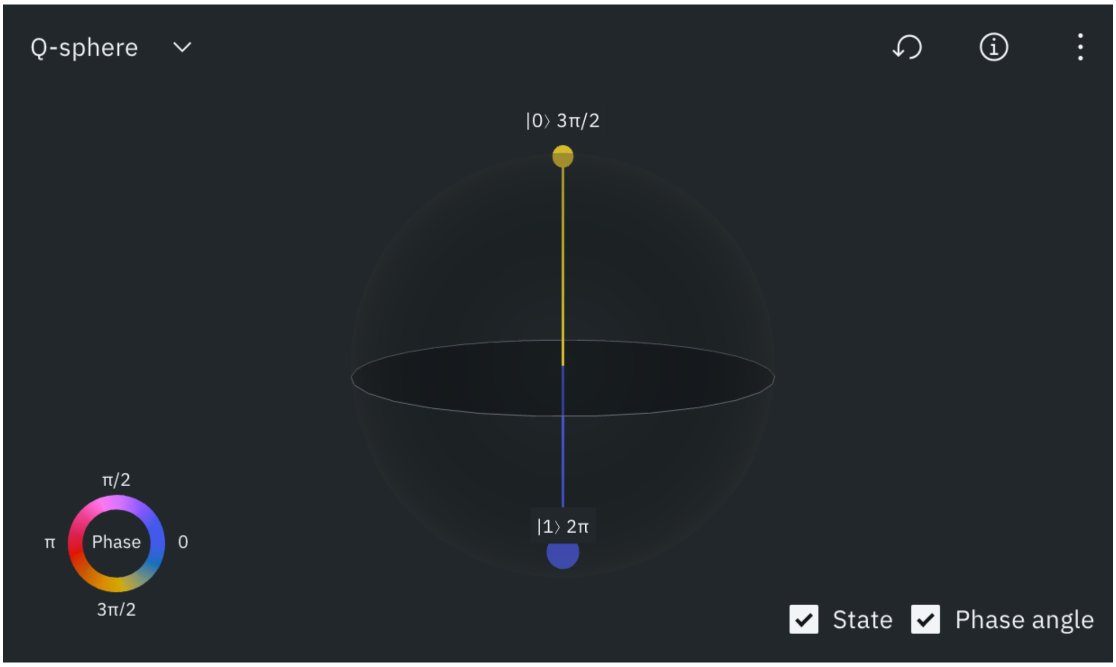
	Shots	$\|1\rangle$	$\|0\rangle$	Frequency ($\|1\rangle$)	Frequency ($\|0\rangle$)
0	1024	266	758	0.26	0.74

Полученные результаты можно интерпретировать через присутствие в схеме вентиля RX, который вызывает вращение относительно оси X на Q-сфере.

f)







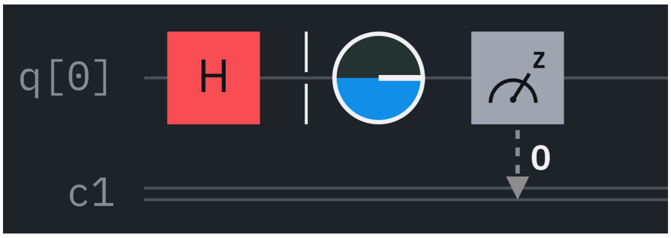
1 row · 1 rows × 6 columns

	Shots	|1⟩	|0⟩	Frequency (|1⟩)	Frequency (|0⟩)
0	1024	760	264	0.74	0.26

Полученные результаты можно интерпретировать через присутствие в схеме вентиля RX, который вызывает вращение относительно оси X на Q-сфере плюс в данной схеме присутствует оператор X, который переводит состояние $|0\rangle$ в состояние $|1\rangle$ и наоборот.

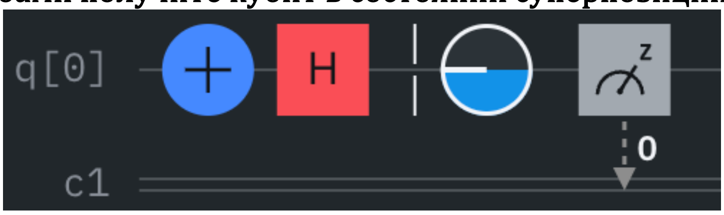
6) Выполнение упражнения №2:

6.1. Получить кубит в состоянии суперпозиции $\frac{1}{\sqrt{2}}(\mid 0\rangle + \mid 1\rangle)$

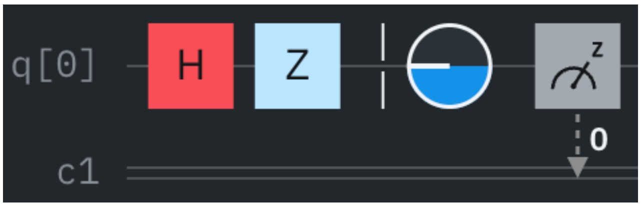


Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
1024.0	511.0	513.0	0.4990234375	0.5009765625

6.2. Двумя способами получите кубит в состоянии суперпозиции $\frac{1}{\sqrt{2}}(\mid 0\rangle - \mid 1\rangle)$

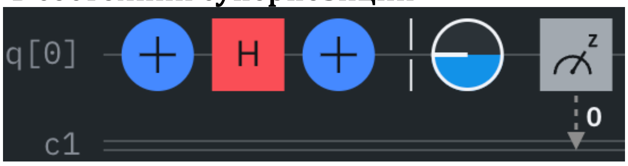


Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
1024.0	507.0	517.0	0.4951171875	0.5048828125



Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
1024.0	513.0	511.0	0.5009765625	0.4990234375

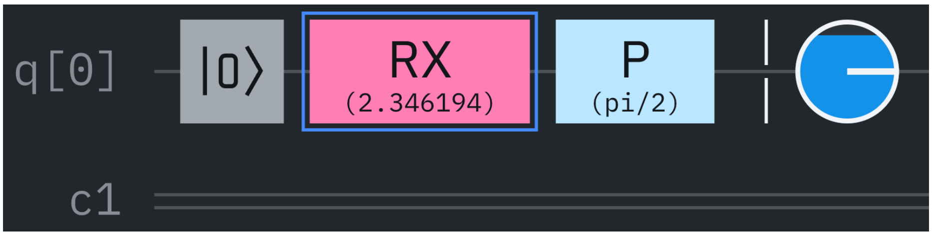
6.3. Получите кубит в состоянии суперпозиции $\frac{1}{\sqrt{2}}(-\mid 0\rangle + \mid 1\rangle)$



Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
1024.0	512.0	512.0	0.5	0.5

6.4. С помощью вентиля RX создайте кубит в состоянии $(a|\mathbf{0} > +\mathbf{b}\ |\mathbf{1} >)$

Вариант задания	Вероятность |1>	Вероятность |0>
16	85	15



Вентиль RX отвечает за вращение на угол θ относительно состояния оси X.
В общем случае:

$$\widehat{RX} = exp\left(-i\frac{\theta}{2}\hat{X}\right) = cos\frac{\theta}{2}\hat{I} - i\,sin\frac{\theta}{2}\hat{X}$$

$$\widehat{RX} = \left(\left(cos\frac{\theta}{2}; -i\,sin\frac{\theta}{2}\right)^T; \left(-i\,sin\frac{\theta}{2}; cos\frac{\theta}{2}\right)^T\right)$$

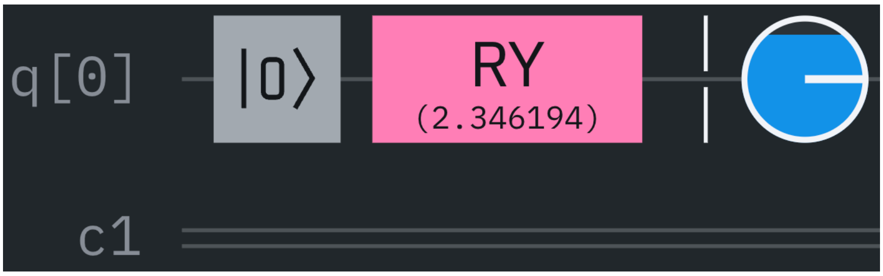
Тогда:

$$\theta = 2\,arccos\sqrt{0.15} \approx 2.346194$$

Необходимо применить квантиль $P\left(\frac{\pi}{2}\right)$ для компенсации по фазе ϕ .

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1752.0	296.0	0.85546875	0.14453125

6.5 С помощью однокубитного вентиля RY получите кубит в состоянии суперпозиции ($\boldsymbol{a}|\mathbf{0}> +\mathbf{b}\ |\mathbf{1}>$)



Вентиль RYотвечает за вращение на угол θ относительно состояния оси Y.
В общем случае:

$$\widehat{RY} = exp\left(-i\frac{\theta}{2}\hat{Y}\right) = cos\frac{\theta}{2}\hat{I} - i\,sin\frac{\theta}{2}\hat{Y}$$

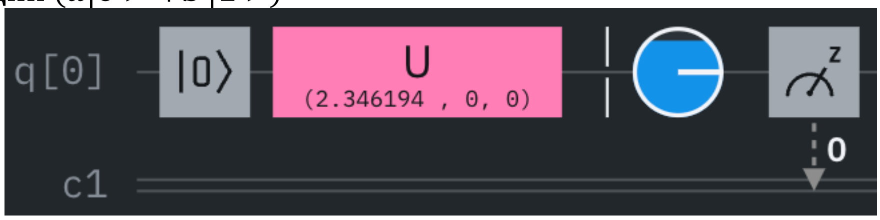
$$\widehat{RY} = \left(\left(cos\frac{\theta}{2}; i\,sin\frac{\theta}{2}\right)^T; \left(-i\,sin\frac{\theta}{2}; cos\frac{\theta}{2}\right)^T\right)$$

Тогда:

$$\theta = 2\,arccos\,\sqrt{0.85} \approx \quad 2.346194$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1709.0	339.0	0.83447265625	0.16552734375

6.6. С помощью однокубитного вентиля U получите кубит в состоянии суперпозиции ($\boldsymbol{a}|\mathbf{0}> +\mathbf{b}\ |\mathbf{1}>$)



Вентиль Uотвечает за вращение на углы (θ, ϕ, λ) относительно любого состояния.
В общем случае:

$$\hat{U}\left(\theta, -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) = \widehat{RX}(\theta)$$

$$\hat{U}(\theta, 0{,}0) = \widehat{RX}(\theta)$$

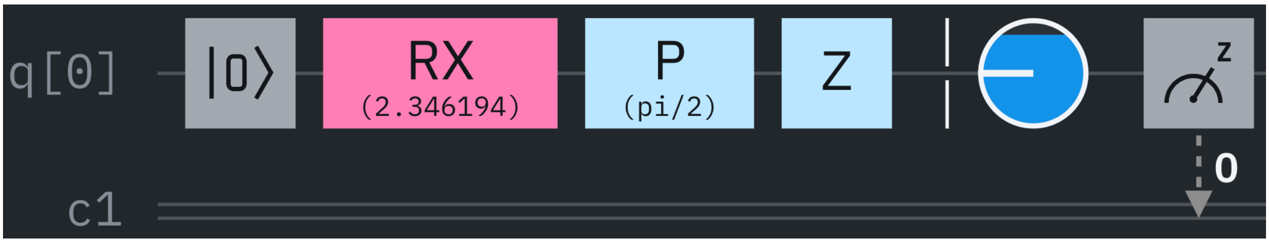
$$\hat{U} = ((\cos\tfrac{\theta}{2}; \exp{(i\phi)}\sin\tfrac{\theta}{2})^T; (-\exp{i\lambda}\sin\tfrac{\theta}{2}; \exp{i(\phi+\lambda)}\cos\tfrac{\theta}{2}))^T)$$

Тогда:

$$\theta = 2\,arccos\,\sqrt{015} \approx \quad 2.346194$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1732.0	316.0	0.845703125	0.154296875

6.7. С помощью однокубитного вентиля RX получите кубит в состоянии суперпозиции $(a|\mathbf{0}> - \mathbf{b}\ |\mathbf{1}>)$



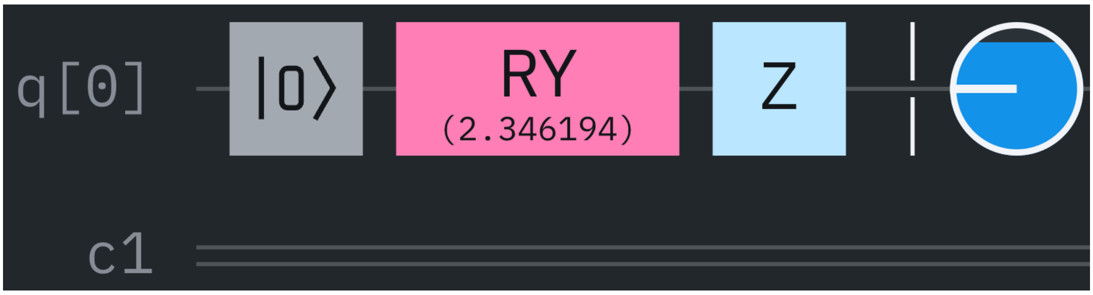
Применяем оператор Паули - $|0> \rightarrow\ |0>$ и $|1> \rightarrow\ -|1>$

$$\boldsymbol{Z} = ((\mathbf{1}; \mathbf{0})^{\boldsymbol{T}}; (\mathbf{0}; -\mathbf{1})^{\boldsymbol{T}})$$

Необходимо применить квантиль $P\left(\frac{\pi}{2}\right)$ для компенсации по фазе ϕ.

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1745.0	303.0	0.85205078125	0.14794921875

6.8 С помощью однокубитного вентиля RY получите кубит в состоянии суперпозиции $(a|\mathbf{0}> - \mathbf{b}\ |\mathbf{1}>)$

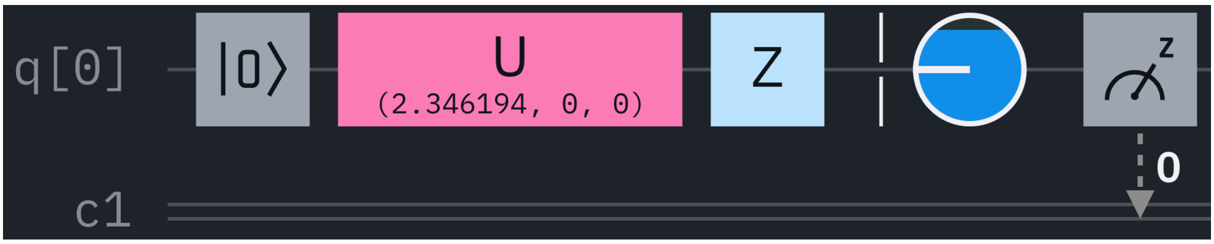


Применяем оператор Паули - $|0> \rightarrow\ |0>$ и $|1> \rightarrow\ -|1>$

$$\boldsymbol{Z} = ((\mathbf{1}; \mathbf{0})^{\boldsymbol{T}}; (\mathbf{0}; -\mathbf{1})^{\boldsymbol{T}})$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) …	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1750.0	298.0	0.8544921875	0.1455078125

6.9. С помощью однокубитного вентиля U получите кубит в состоянии суперпозиции $a|\mathbf{0}> - \mathbf{b}\ |\mathbf{1}>)$



$$\widehat{U}\left(\theta, -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) = \widehat{RX}(\theta)$$

$$\widehat{U}(\theta, 0{,}0) = \widehat{RX}(\theta)$$

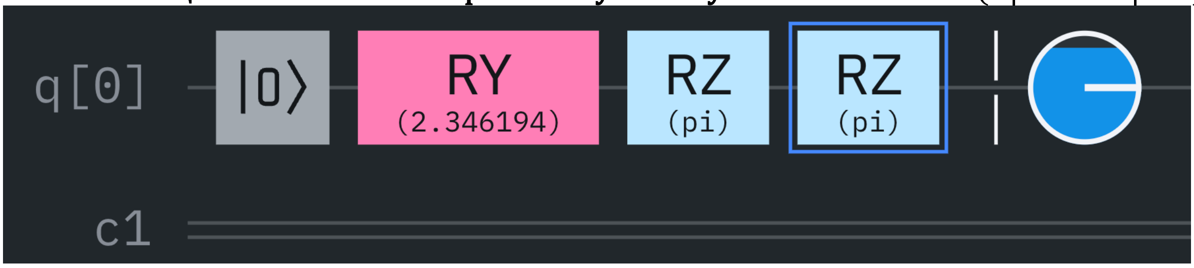
$$\hat{U} = ((\cos\tfrac{\theta}{2}; \exp{(i\phi)}\sin\tfrac{\theta}{2})^T; (-\exp{i\lambda}\sin\tfrac{\theta}{2}; \exp{i(\phi+\lambda)}\cos\tfrac{\theta}{2}))^T)$$

Применяем оператор Паули - $|0> \rightarrow\ |0>$ и $|1> \rightarrow\ -|1>$

$$\boldsymbol{Z} = ((\mathbf{1}; \mathbf{0})^{\boldsymbol{T}}; (\mathbf{0}; -\mathbf{1})^{\boldsymbol{T}})$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1735.0	313.0	0.84716796875	0.15283203125

6.10. С помощью вентилей поворота получите кубит в состоянии ($a|0>+\mathbf{b}\ |1>$)



Вентиль RY отвечает за вращение на угол θ относительно состояния оси Y. В общем случае:

$$\widehat{RY} = exp\left(-i\frac{\theta}{2}\hat{Y}\right) = cos\frac{\theta}{2}\hat{I} - i\,sin\frac{\theta}{2}\hat{Y}$$

$$\widehat{RY} = \left(\left(cos\frac{\theta}{2}; i\,sin\frac{\theta}{2}\right)^T; \left(-i\,sin\frac{\theta}{2}; cos\frac{\theta}{2}\right)^T\right)$$

Вентиль RZ отвечает за вращение на угол θ относительно состояния оси Z.

$$\widehat{RZ} = exp\left(-i\frac{\theta}{2}\hat{Z}\right) = cos\frac{\theta}{2}\hat{I} - i\,sin\frac{\theta}{2}\hat{Z}$$

$$\widehat{RZ} = \left(\left(exp\left(-i\frac{\phi}{2}\right); 0\right)^T; \left(0; exp\left(i\frac{\phi}{2}\right)\right)^T\right)$$

Два последовательных RZ(π) дадут RZ(2π), что эквивалентно RZ(0) то есть фазовый сдвиг обнуляется).

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1750.0	298.0	0.8544921875	0.1455078125

6.11. С помощью вентиля RX получите кубит в состоянии суперпозиции ($a|0>+\mathbf{b}\ |1>$). Далее составьте схему, представленную на рис.20.

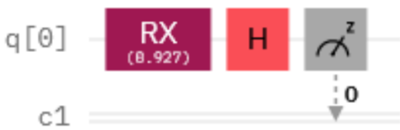
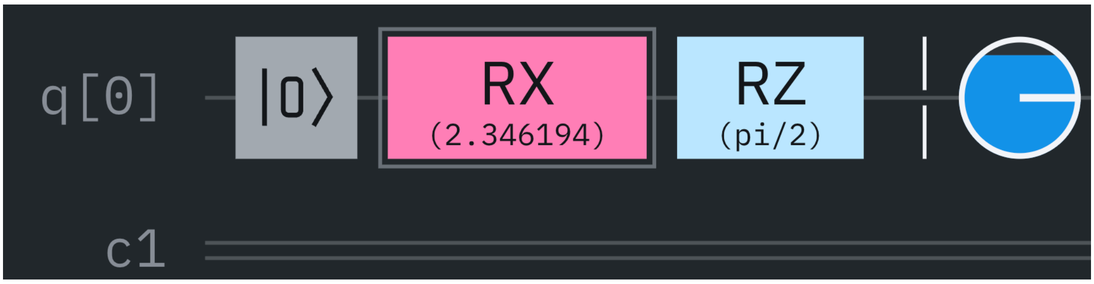


Рис. 20. Квантовая схема к заданию №11



После применения вентиля RX(θ), кубит будет в состоянии:

$$RX(\theta)|0> = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0> - i\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)|1>$$

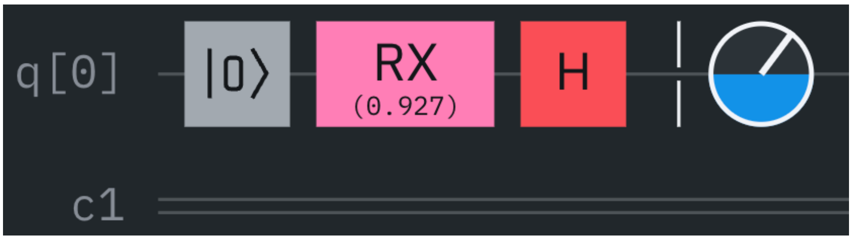
Когда мы применяем вентиль $RZ\left(\frac{\pi}{2}\right)$

$$RZ\left(\frac{\pi}{2}\right)|0>= 0$$

$$RZ\left(\frac{\pi}{2}\right)|1>= \exp\left(i\frac{\pi}{2}\right)|1>= i|1>$$

Это преобразование действует только на компоненту $|1\rangle$ и умножает её на i
Чтобы получить ($\boldsymbol{a}|\mathbf{0}> +\mathbf{b}\,|\mathbf{1}>$) (где b — вещественное), нужно убрать мнимую фазу −i у второго коэффициента. Это можно сделать с помощью фазового вращения RZ(π/2)

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1725.0	323.0	0.84228515625	0.15771484375



Оператор Хадамара (H) — квантовый оператор, который применяет квантовое состояние и переводит его в равную суперпозицию обоих базисных состояний.
Если мы применим оператор H к состоянию |0>, мы получим:

$$H|0> = \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(|0> + |1>)$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1029.0	1019.0	0.50244140625	0.49755859375

6.12. С помощью вентиля Rx получите кубит в состоянии суперпозиции ($\boldsymbol{a}|\mathbf{0}> +\mathbf{b}\,|\mathbf{1}>$). Далее составьте схему, представленную на рис. 21.

Рис. 21. Квантовая схема к заданию №12

После применения вентиля RX(θ), кубит будет в состоянии:

$$RX(\theta)|0> = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0> - i\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)|1>$$

Оператор Хадамара унитарен:

$$\hat{H}\hat{H} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 ((1;1)^T;(1;-1)^T)\cdot((1;1)^T;(1;-1)^T) = ((1;0)^T;(0;1)^T) = \hat{I}$$

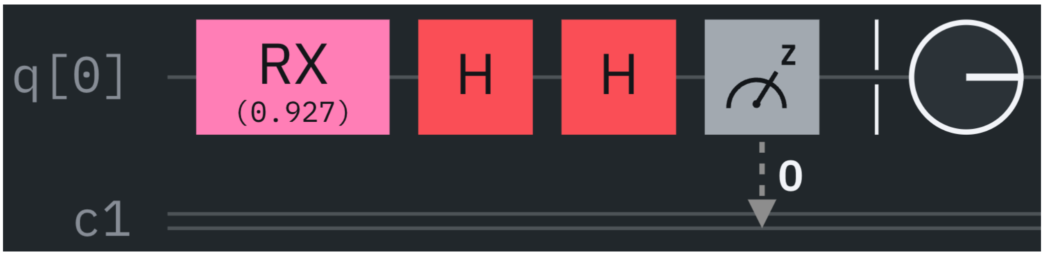
Когда мы применяем вентиль $RZ\left(\frac{\pi}{2}\right)$

$$RZ(\tfrac{\pi}{2})|0>=0$$

$$RZ(\tfrac{\pi}{2})|1>=\exp(i\tfrac{\pi}{2})|1>=i|1>$$

Это преобразование действует только на компоненту $|1\rangle$ и умножает её на i
Чтобы получить $(\boldsymbol{a}|\mathbf{0}>+\mathbf{b}\,|\mathbf{1}>)$ (где b — вещественное), нужно убрать мнимую фазу −i у второго коэффициента. Это можно сделать с помощью фазового вращения RZ(π/2)

Shots ÷	Frequency (quantity) |1⟩ ÷	Frequency (quantity) |0⟩ ÷	Frequency (out of 1) |1⟩ ÷	Frequency (out of 1) |0⟩ ÷
2048.0	1754.0	294.0	0.8564453125	0.1435546875



После применения вентиля RX(θ), кубит будет в состоянии:

$$RX(\theta)|0> = \cos(\tfrac{\theta}{2})|0> - i\sin(\tfrac{\theta}{2})|1>$$

Оператор Хадамара унитарен:

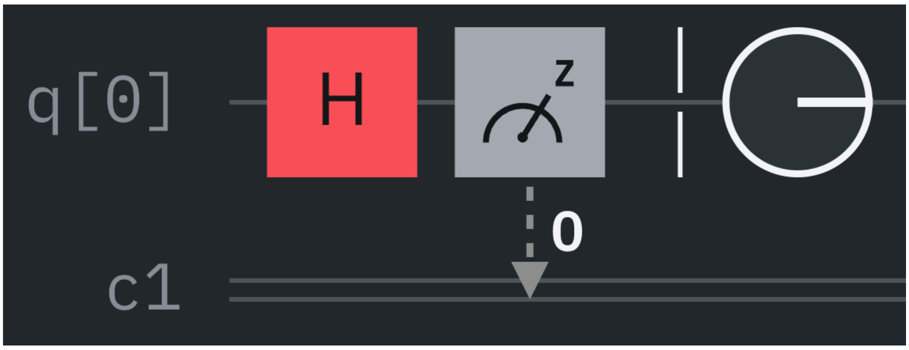
$$\hat{H}\hat{H} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 ((1;1)^T;(1;-1)^T)\cdot((1;1)^T;(1;-1)^T) = ((1;0)^T;(0;1)^T) = \hat{I}$$

Shots ÷	Frequency (quantity) |1⟩ ÷	Frequency (quantity) |0⟩ ÷	Frequency (out of 1) |1⟩ ÷	Frequency (out of 1) |0⟩ ÷
2048.0	428.0	1620.0	0.208984375	0.791015625

6.13. Соберите квантовые схемы показанные на рис. 22.

a) b) c)

Рис. 22. Квантовые схемы для задания №13 a)

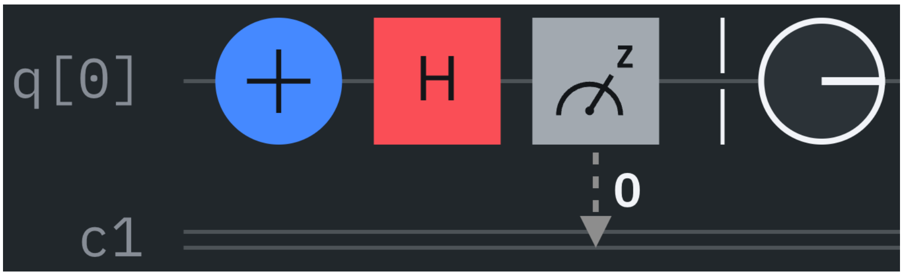


Оператор Хадамара (H) — квантовый оператор, который применяет квантовое состояние и переводит его в равную суперпозицию обоих базисных состояний. Если мы применим оператор H к состоянию |0>, мы получим:

$$H|0> = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|0> + |1>)$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1061.0	987.0	0.51806640625	0.48193359375

b)



Оператор Хадамара (H) — квантовый оператор, который применяет квантовое состояние и переводит его в равную суперпозицию обоих базисных состояний. Если мы применим оператор H к состоянию |0>, мы получим:

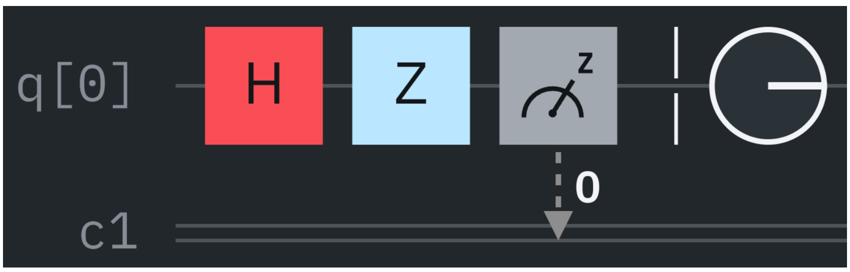
$$H|0> = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|0> + |1>)$$

Вентиль NOT (также известный как вентиль Паули-X. Этот вентиль переворачивает состояния |0> и |1>:

$$X(a|0> + b|1>) = a|1> + b|0>$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1045.0	1003.0	0.51025390625	0.48974609375

c)



Оператор Хадамара (H) — квантовый оператор, который применяет квантовое состояние и переводит его в равную суперпозицию обоих базисных состояний.

Если мы применим оператор H к состоянию |0>, мы получим:

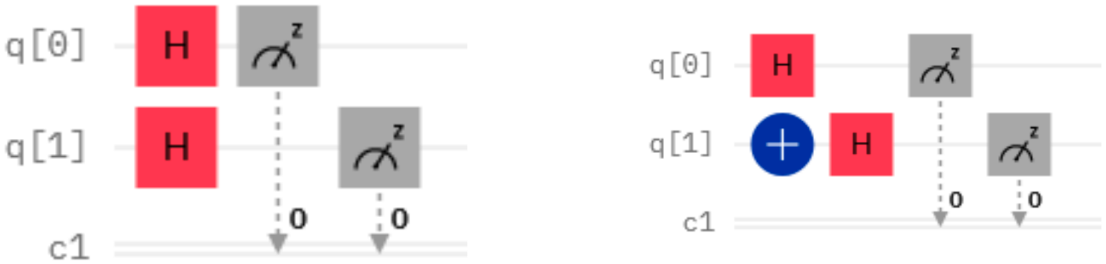
$$H|0> = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|0> + |1>)$$

Применяем оператор Паули - $|0> \rightarrow |0>$ и $|1> \rightarrow -|1>$

$$\boldsymbol{Z} = ((\mathbf{1};\mathbf{0})^{\boldsymbol{T}};(\mathbf{0};-\mathbf{1})^{\boldsymbol{T}})$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1025.0	1023.0	0.50048828125	0.49951171875

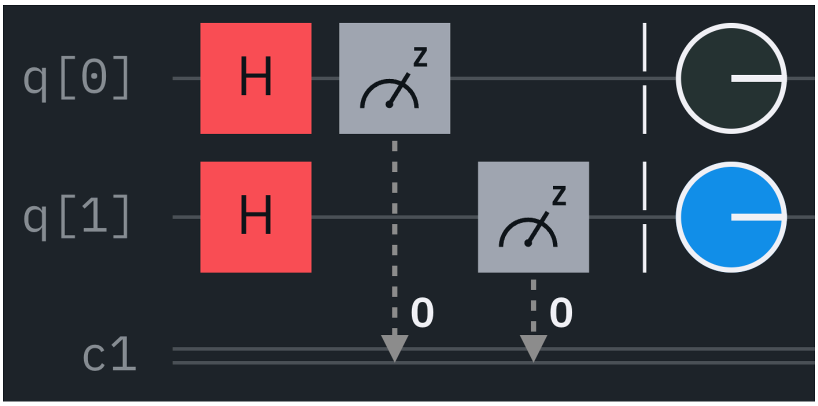
6.14. Соберите квантовые схемы показанные на рис. 23



а) б)

Рис. 23. Квантовые схемы для задания №14

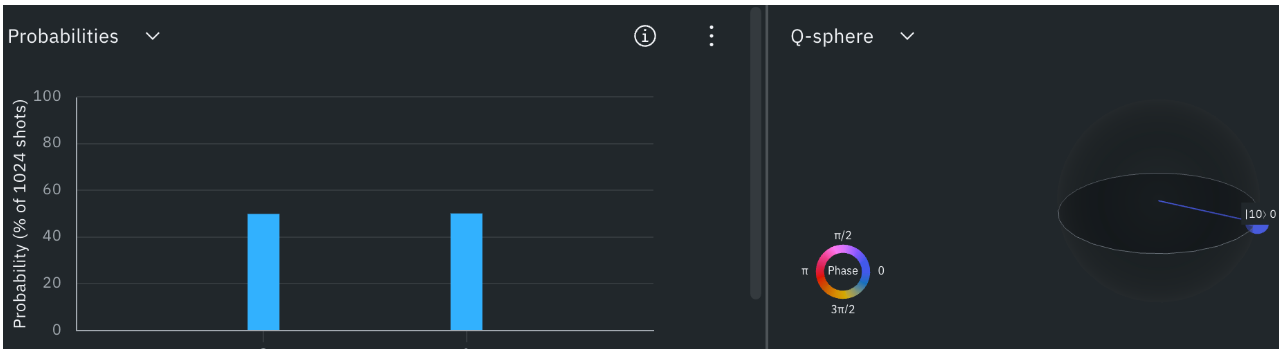
а)



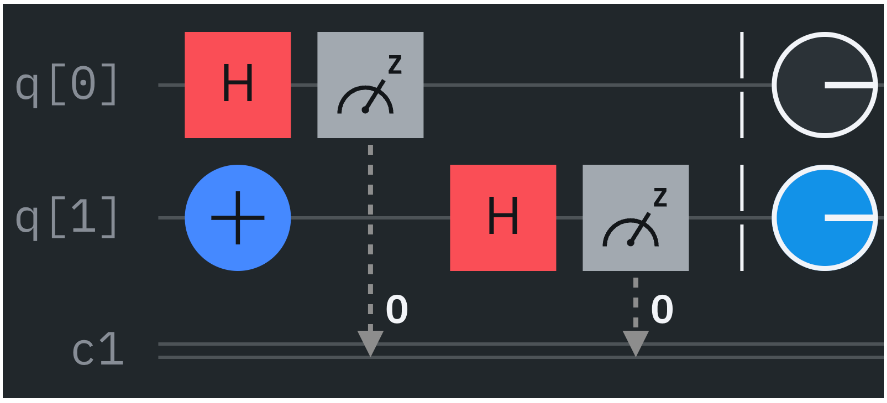
Оба кубита находятся в начальном состоянии |0>.
К обоим кубитам применяется Оператор Хадамара, которая создает суперпозицию состояний |0> и |1> с равной вероятностью:

$$H|0> = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|0> + |1>)$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1028.0	1020.0	0.501953125	0.498046875



b)



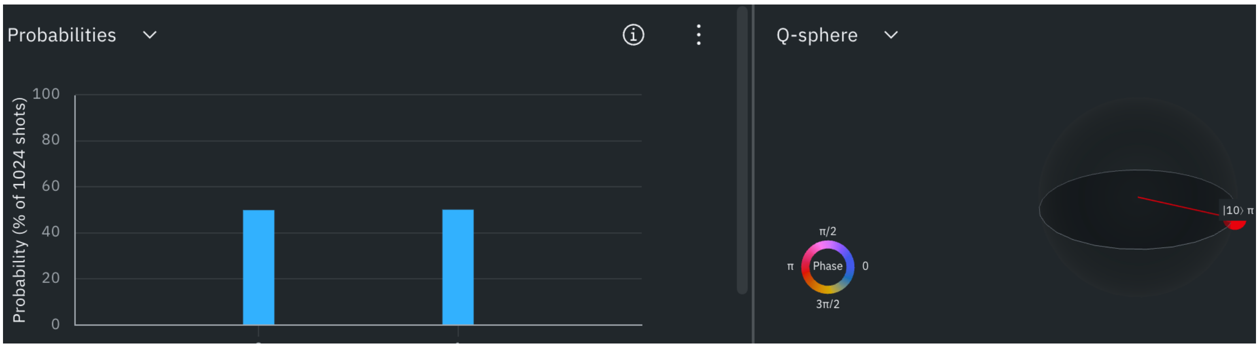
Оба кубита находятся в начальном состоянии |0>.
 К обоим кубитам применяется Оператор Хадамара, которая создает суперпозицию состояний |0> и |1> с равной вероятностью:

$$H|0> = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (|0> + |1>)$$

Вентиль NOT (также известный как вентиль Паули-X. Этот вентиль переворачивает состояния |0> и |1>:

$$X(a|0> + b|1>) = a|1> + b|0>$$

Shots	Frequency (quantity) |1⟩	Frequency (quantity) |0⟩	Frequency (out of 1) |1⟩	Frequency (out of 1) |0⟩
2048.0	1021.0	1027.0	0.49853515625	0.50146484375



7. Выводы:

В ходе работы были изучены основные принципы функционирования однокубитных квантовых цепей на платформе IBM Quantum. Успешно выполнены задачи по построению и моделированию квантовых схем, что подтвердило теоретические ожидания. Применение оператора Адамара продемонстрировало возможность перевода кубитов в состояние суперпозиции. Результаты экспериментов показали, как выбор управляющих кубитов влияет на состояние системы. Лабораторная работа углубила понимание квантовых вычислений и их практического применения.