|  |  |
| --- | --- |
| Группа М3306 | К работе допущен 23.11.2025 |
| Студенты . | Работа выполнена 23.11.2025 |
| Преподаватель Кокурина | Отчет принят |

Рабочий протокол и отчет по  
лабораторной работе № 4

# НАЧАЛА КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ 1

Вариант 17

## 1. Цели работы

1. Освоение основных операций при составлении квантовых схем и их тестировании в симуляторе квантовых схем IBM Quantum (IBM Quantum Composer).
2. Разработка квантовых схем, состоящих из однокубитных вентилей, и реализация с их помощью кубитов в состояниях с заданными (произвольными) амплитудами вероятности состояний |0⟩ и |1⟩.

## 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Ознакомиться с интерфейсом квантовой среды разработки IBM Quantum Composer.
2. Научиться создавать, редактировать и сохранять квантовые схемы различной сложности для однокубитных систем.
3. Освоить применение базовых однокубитных квантовых вентилей (H, X, Y, Z и др.) и операций измерения.
4. Освоить запуск квантовых схем на симуляторах IBM Quantum, настройку числа запусков (shots) и получение статистики результатов измерений.
5. Научиться интерпретировать полученные гистограммы, Q-sphere и другие визуализации, связывая их с теоретическими представлениями о квантовых состояниях.
6. Подобрать последовательности однокубитных вентилей, обеспечивающих получение кубита с заданными амплитудами вероятности, и экспериментально проверить корректность таких схем.

## 3. Объект исследования.

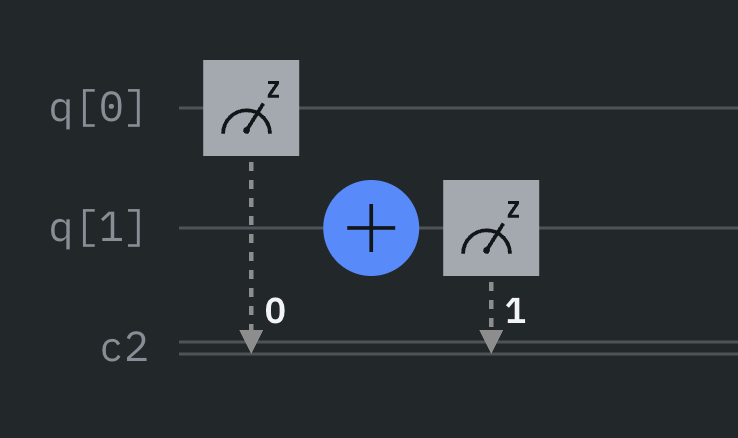
Квантовые состояния однокубитных систем и работа однокубитных квантовых вентилей, реализуемых в среде IBM Quantum (симулятор квантового компьютера).

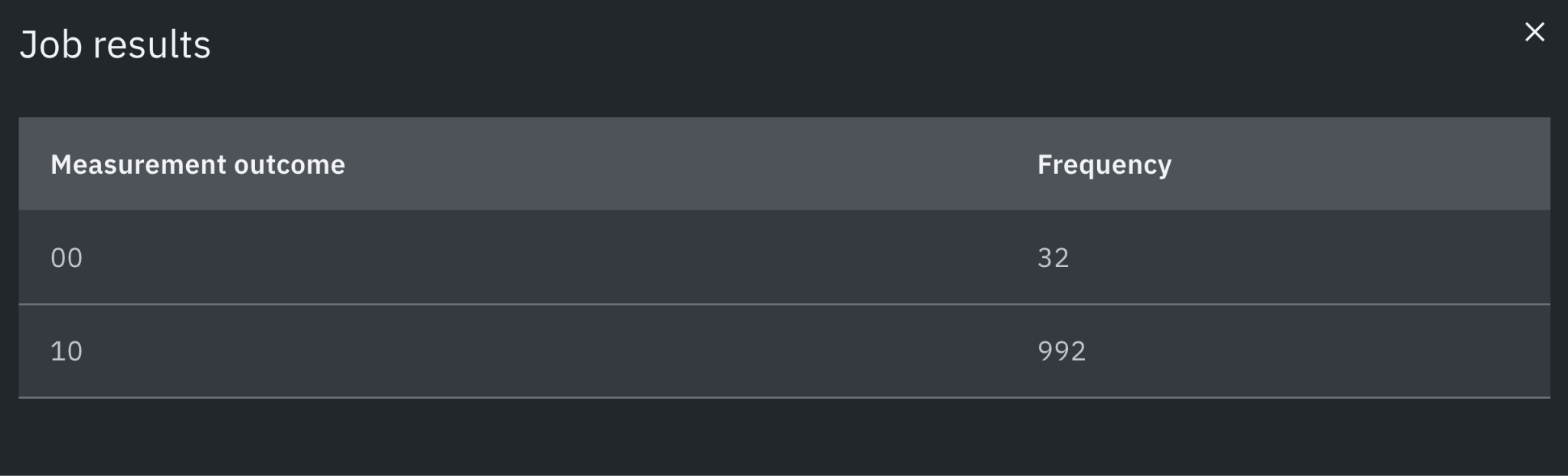
## 4. Метод экспериментального исследования.

1. Построение квантовых схем в IBM Quantum Composer.
2. Многократное выполнение (симуляция) квантовых схем с заданным числом запусков (shots).
3. Сбор и анализ статистики измерений (распределение результатов 0/1, гистограммы, Q-sphere и т.д.).
4. Сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими предсказаниями квантовой механики и расчётными значениями амплитуд вероятности.

## Упражнение 1

### п2

Создаем схему и выполняем в режиме симуляции с числом выполнений 1024

****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| P(X) | .03125 | .96875 |

### п3

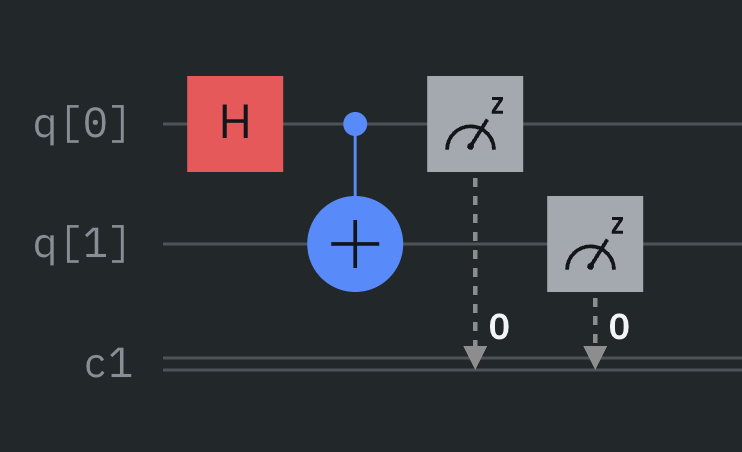
Построим квантовую схему, показанную ниже для перевода кубита в суперпозицию используем вентиль Адамара (H), и запустим её в режиме симуляции при разных числах запусков: 1, 2, 8, 32, 64, 128, 512, 1024, 8192.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица значений | | | | | | | | | |
| shorts | 1 | 2 | 8 | 32 | 64 | 128 | 512 | 1024 | 8192 |
| 0 | 1 | 1 | 6 | 16 | 27 | 59 | 264 | 508 | 4167 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | 16 | 37 | 69 | 248 | 516 | 4025 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица вероятностей | | | | | | | | | |
| shorts | 1 | 2 | 8 | 32 | 64 | 128 | 512 | 1024 | 8192 |
| 0 | 1 | .5 | .75 | .5 | .421875 | .460938 | .515625 | .493164 | .508667 |
| 1 | 0 | .5 | .25 | .5 | .578125 | .539063 | .484375 | .503906 | .491333 |

### п4

Схема 1:



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 528 | 496 |
| P(X) | .515625 | .484375 |

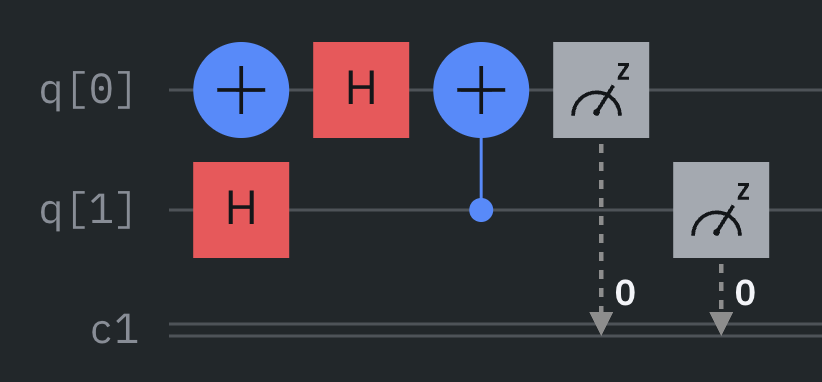
Схема 2:



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 962 | 62 |
| P(X) | .939453 | .060547 |

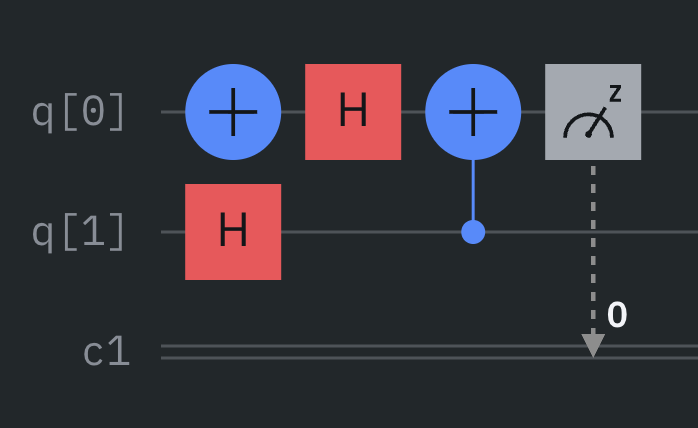
### п5

Схема 3:

****

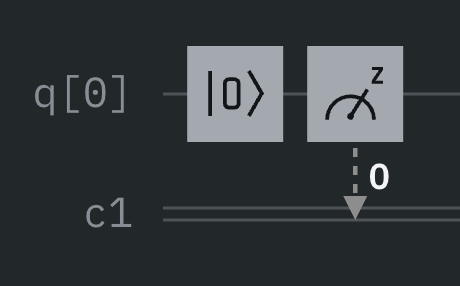
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 509 | 515 |
| P(X) | .497070 | .502930 |

Схема 4:

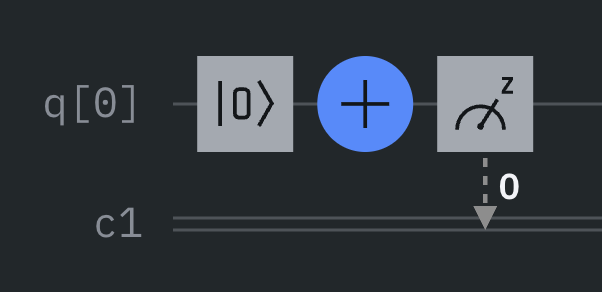
****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 516 | 508 |
| P(X) | .503906 | .496094 |

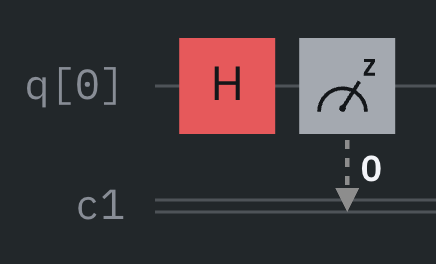
### п6

****

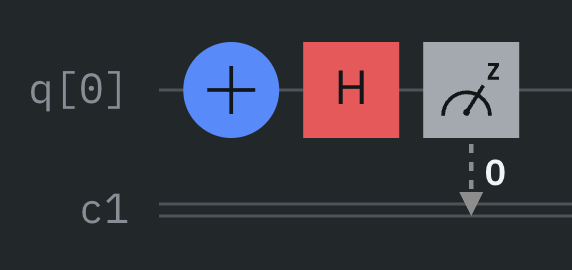
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 940 | 84 |
| P(X) | .917969 | .082031 |

****

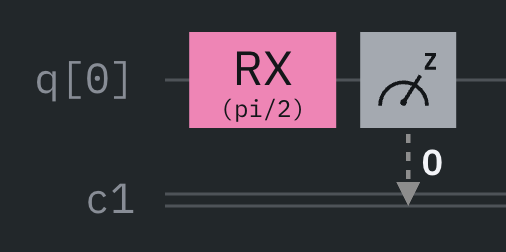
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 131 | 893 |
| P(X) | .127930 | .872070 |

****

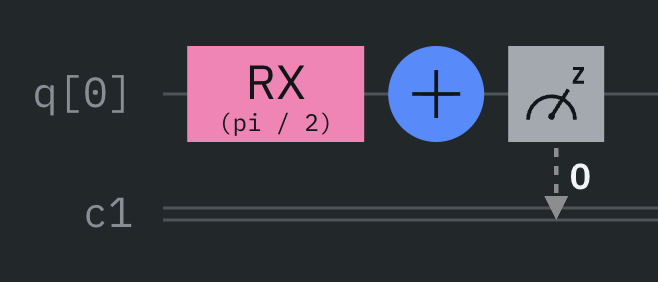
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 545 | 489 |
| P(X) | .522461 | .477539 |

****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 527 | 497 |
| P(X) | .514648 | .485352 |

****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 516 | 508 |
| P(X) | .503906 | .496094 |

****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| X | |0> | |1> |
| N | 531 | 493 |
| P(X) | .518555 | .481445 |

### п7

**Схема №1**

После применения вентиля Адамара к начальному состоянию кубит переходит в суперпозицию

Вероятности получить при измерении состояния и :

Таким образом, схема создаёт равновесную суперпозицию, и в эксперименте наблюдаются почти одинаковые частоты результатов 0 и 1. Небольшие отклонения от идеальных 50% связаны с конечным числом запусков (shots) и шумами симуляции/оборудования.

**Схема №2**

В данной конфигурации последовательность вентилей (Hadamard + CNOT и измерения выбранного кубита) приводит к тому, что измеряемый кубит оказывается почти всегда в состоянии :

Оператор CNOT переводит исходную суперпозицию в такое состояние двухкубитной системы, при котором выбранный для измерения кубит практически детерминированно даёт результат 0. Полученный в эксперименте результат согласуется с теоретическим анализом схемы.

**Схема №3**

Данная схема снова включает последовательность Hadamard + CNOT, но в такой конфигурации, что суперпозиция не уничтожается, а приводит к образованию запутанного (белловского) состояния:

Теоретически

В гистограмме результатов наблюдается распределение, близкое к равномерному между исходами 00 и 11, что подтверждает сохранение суперпозиции и появление квантовой запутанности. Экспериментальные данные хорошо согласуются с теорией.

**Схема №4**

Последовательность вентилей в этой схеме полностью уничтожает суперпозицию и возвращает кубит в базисное состояние

Из выражения для вероятностей:

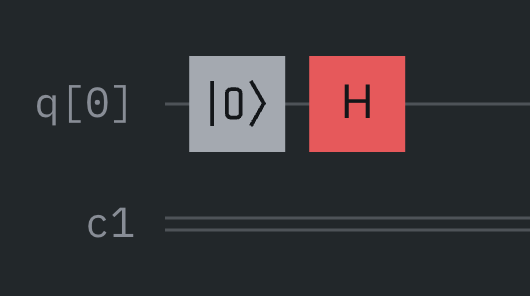
Схема является детерминированной: во всех запусках измерение даёт результат 0. Экспериментально наблюдается 100% попаданий в состояние , что полностью совпадает с теоретическим предсказанием.

## Упражнение 2

Вариант №17

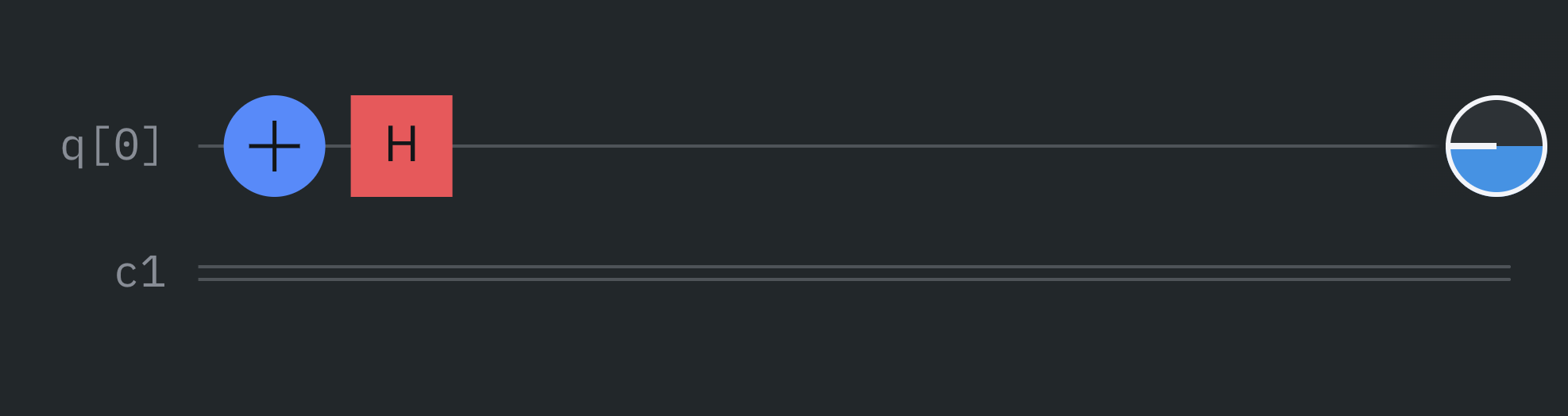
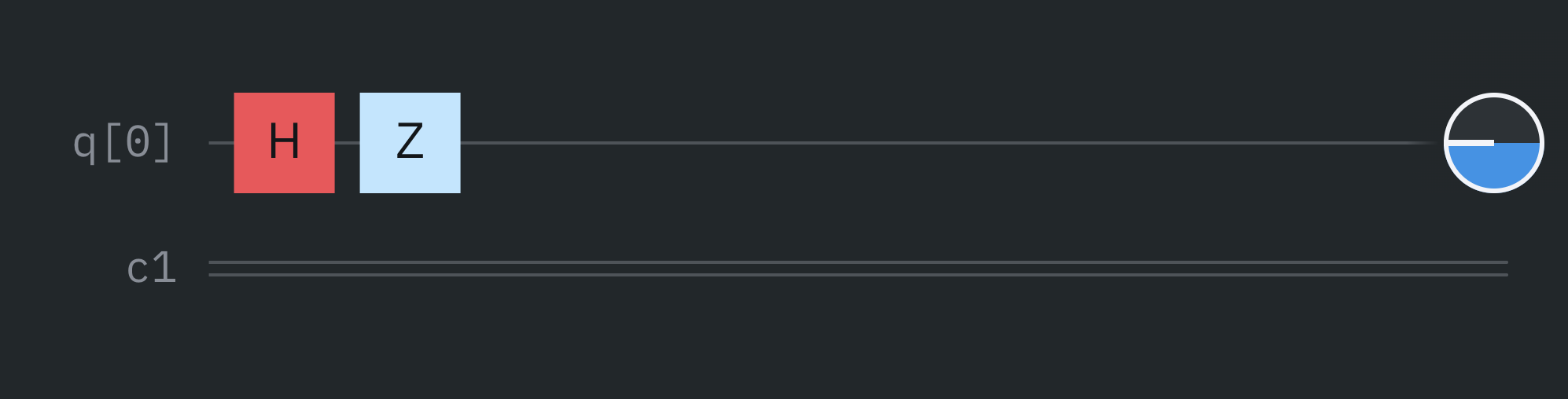
### п1

Для получения суперпозиции возьмём вентиль Адамара (H)



### п2

Получим кубит в состоянии суперпозиции двумя способами

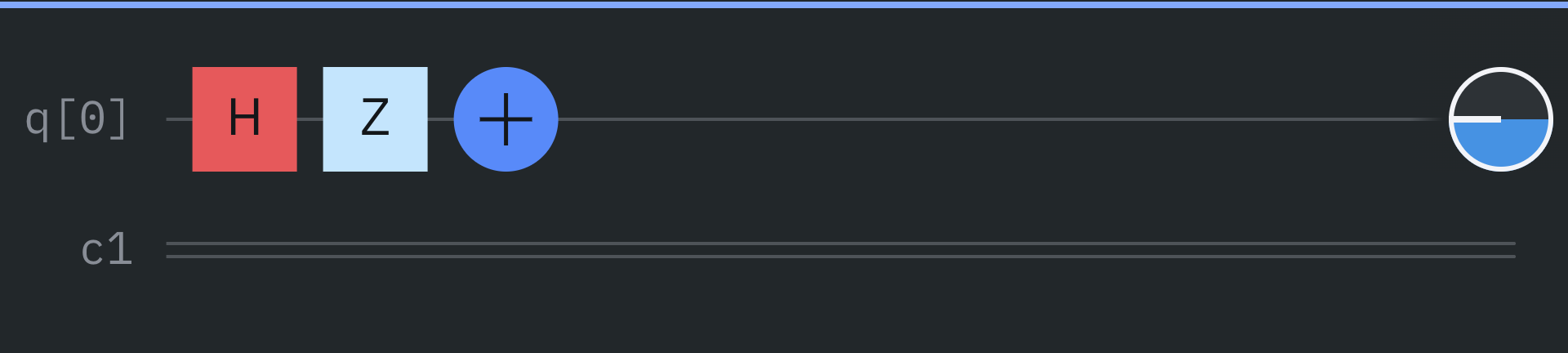
1. H после X
   1. Применяем X к → получаем
   2. Применяем H
2. H + Z
   1. Создадим суперпозицию
   2. Перевернём фазу используя Z

### п3

Получим кубит в состояние суперпозиции .

Для этого применяем

1. 𝑍 переворачивает знак у
2. X меняет и местами и даёт нужный результат



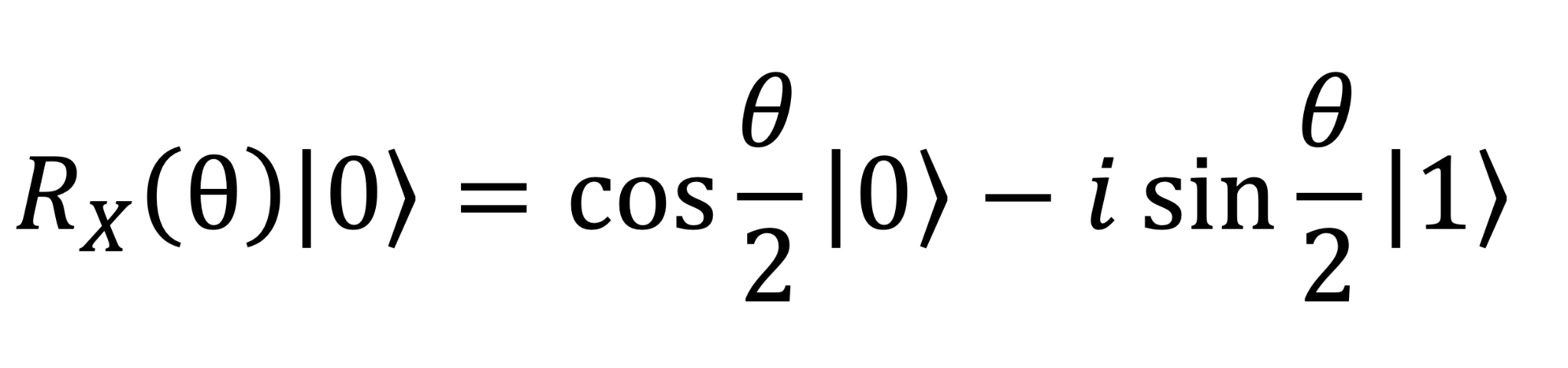
### п4

Необходимо получить c помощью :

Вентиль :



Действие на :



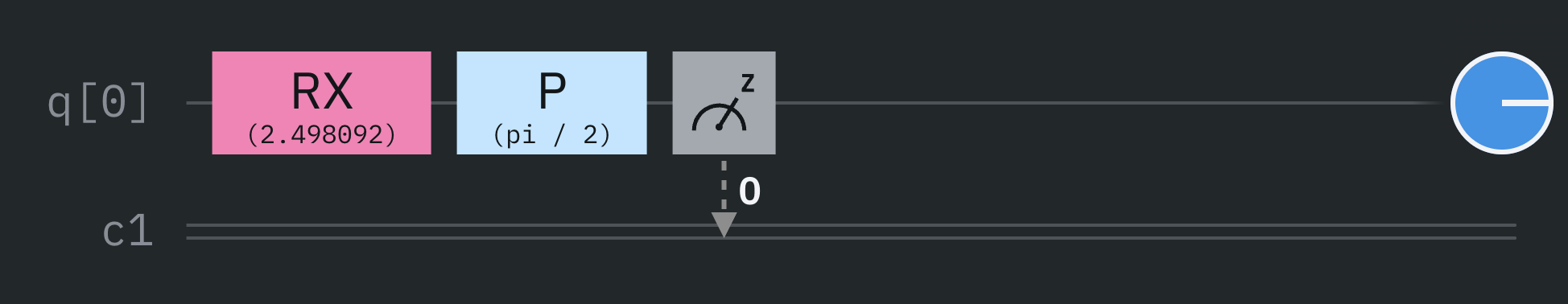
Сравниваем с нужным состоянием по модулям амплитуд:

Берём

После RX получаем

Фаза −𝑖 у нам мешает, поэтому добавляем фазовый вентиль : он умножает амплитуду на :

Итог:



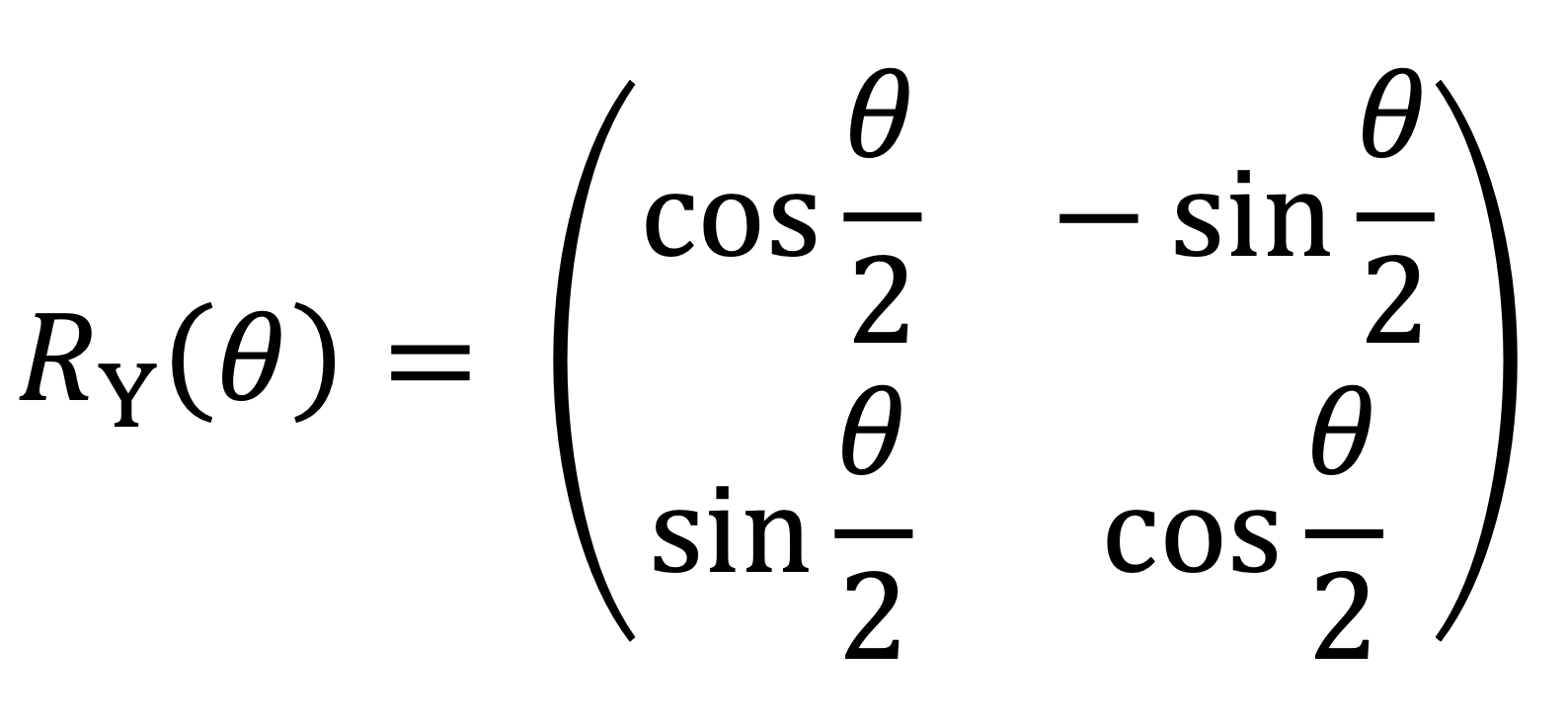
Симуляция

### 

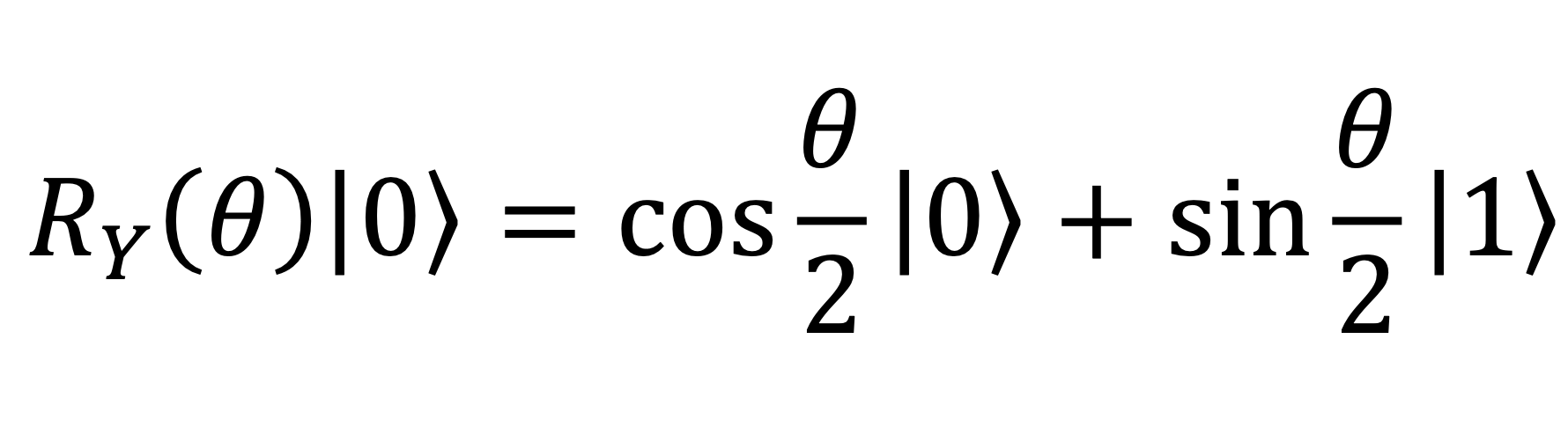
### п5

Необходимо получить c помощью :

Вентиль :



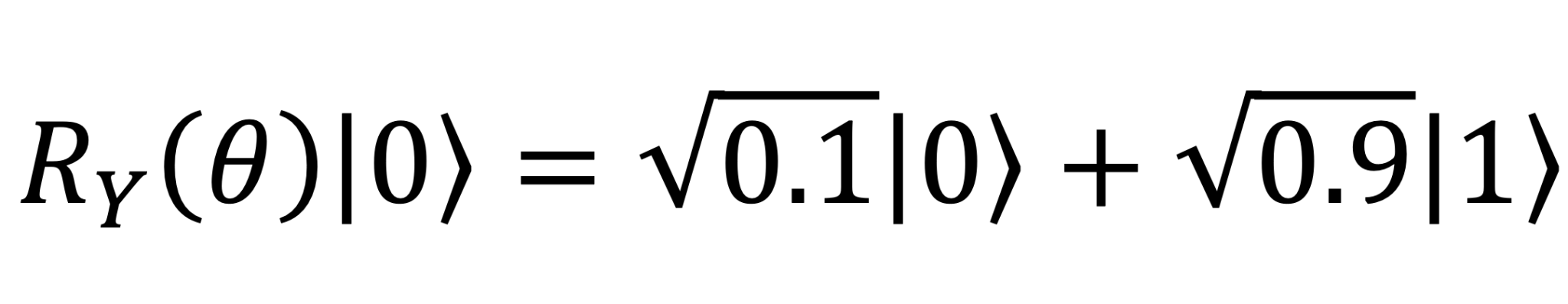
Действие на :

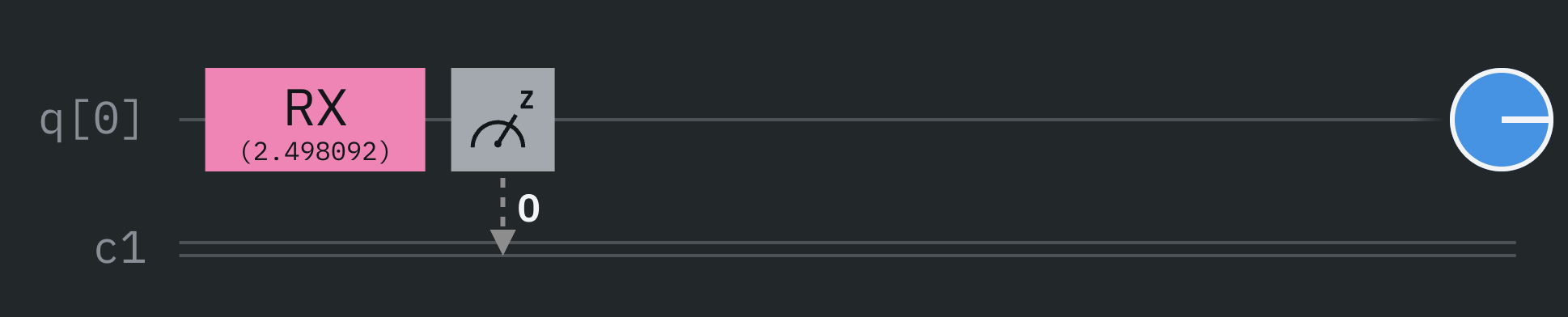


Сравним

Этот же угол:

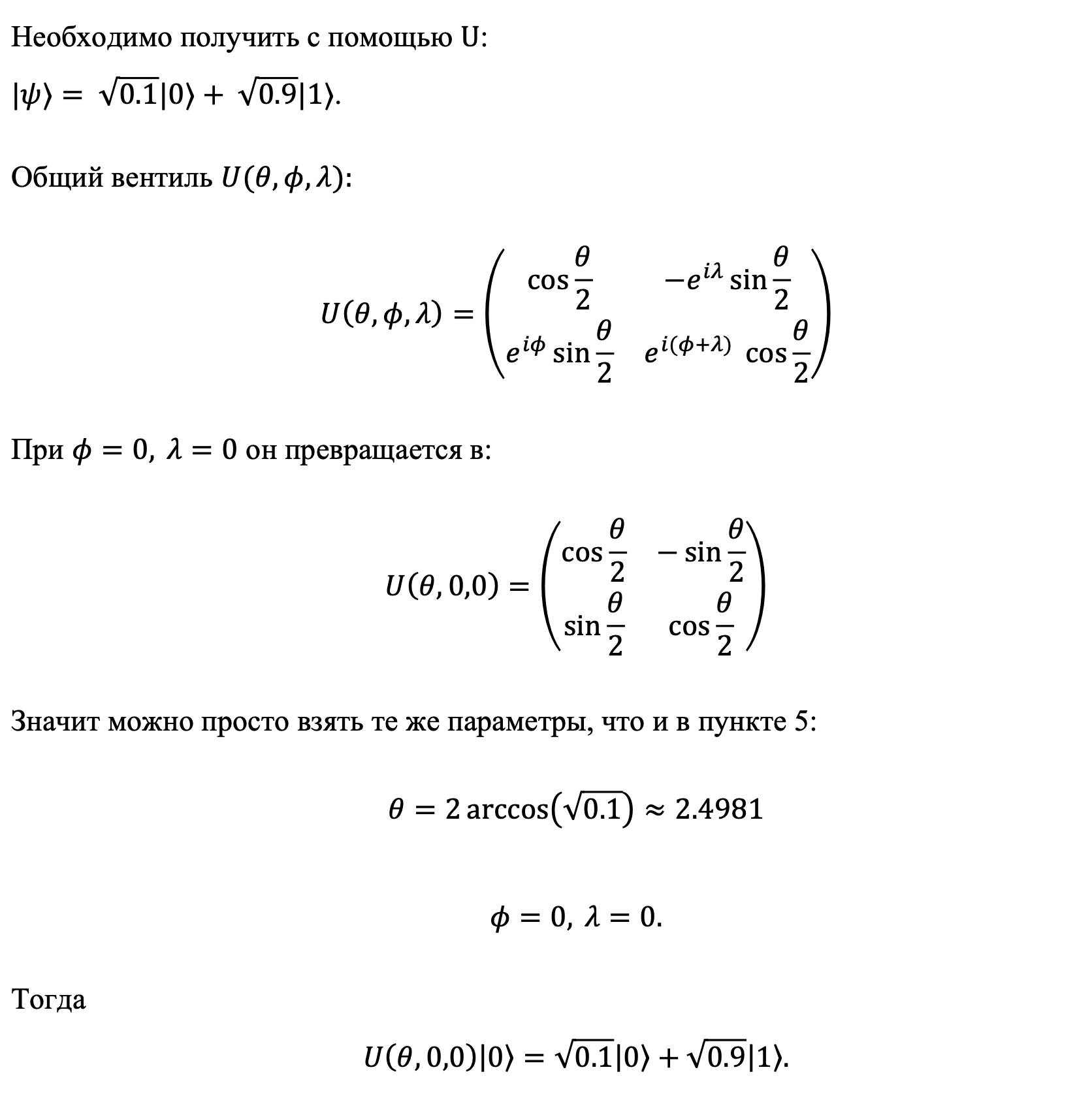
Тогда сразу:

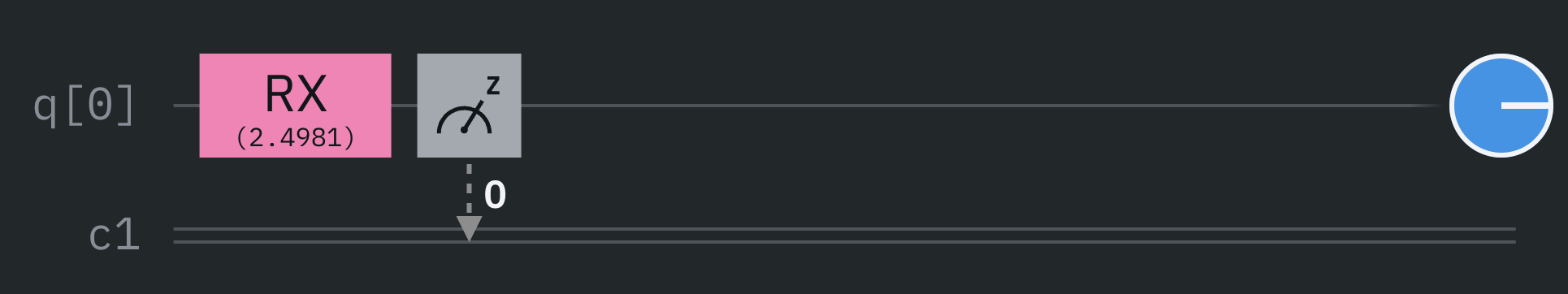




После симуляции:

### п6

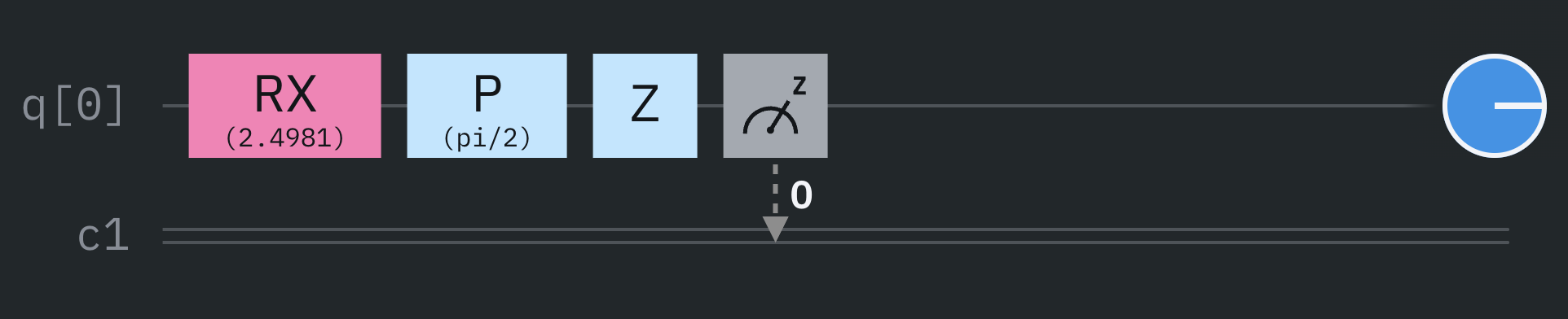




Полученные вероятности

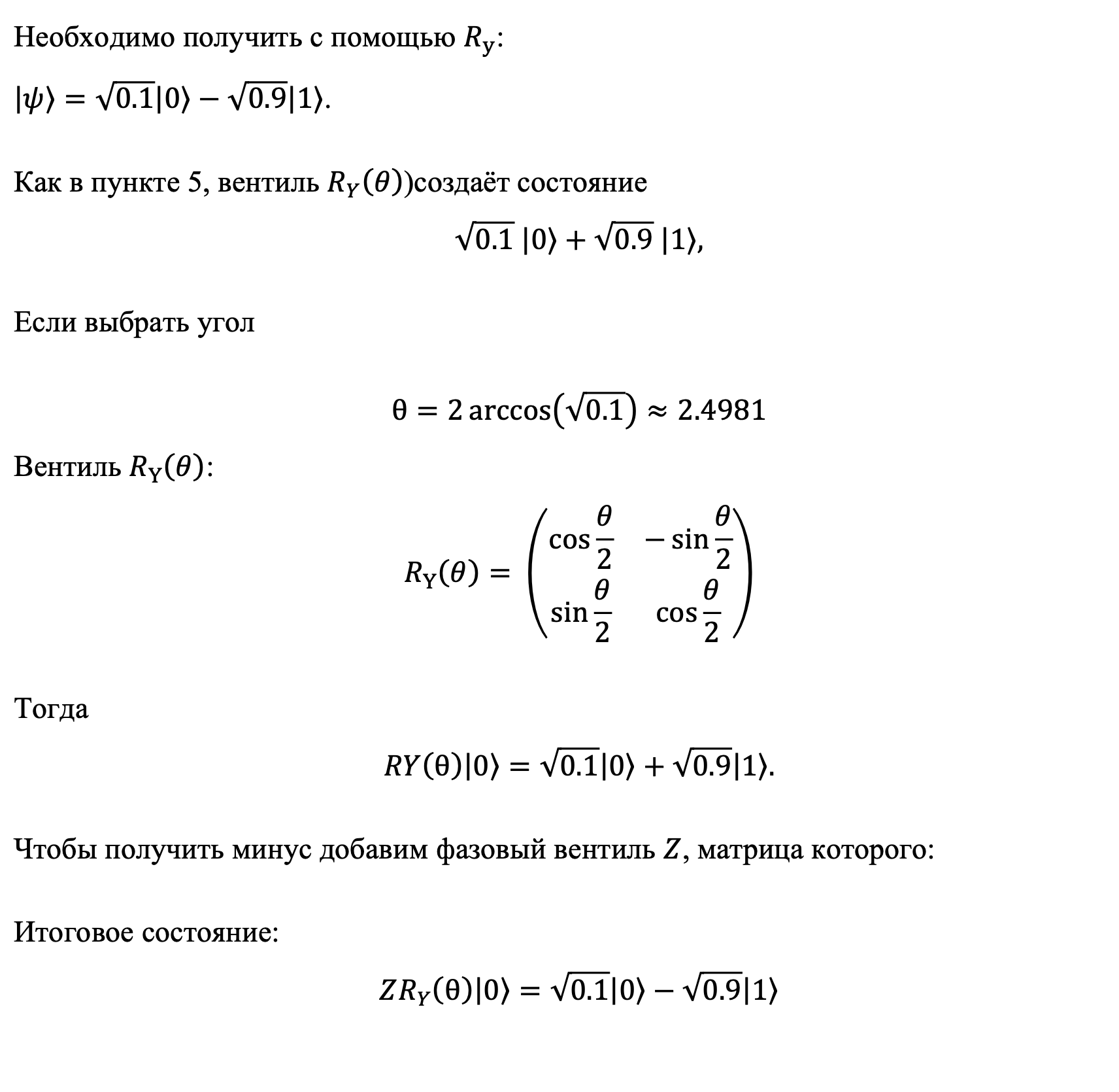
### п7

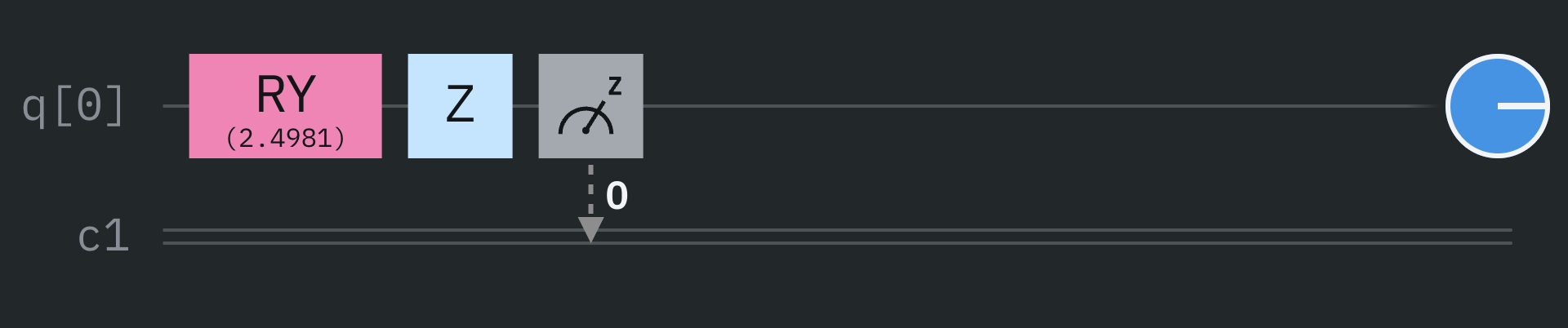




Полученные вероятности

### п8





Полученные вероятности

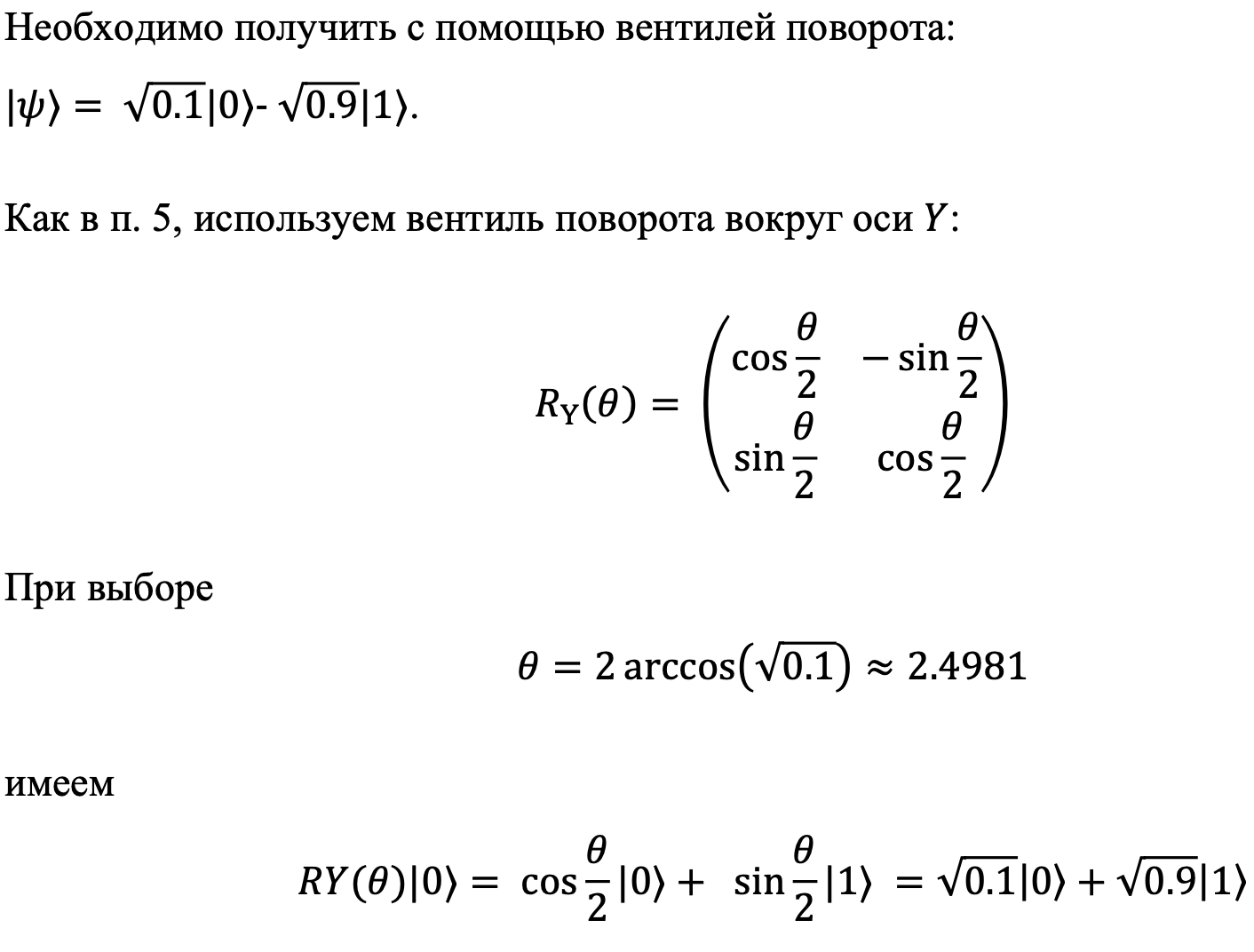
### п9

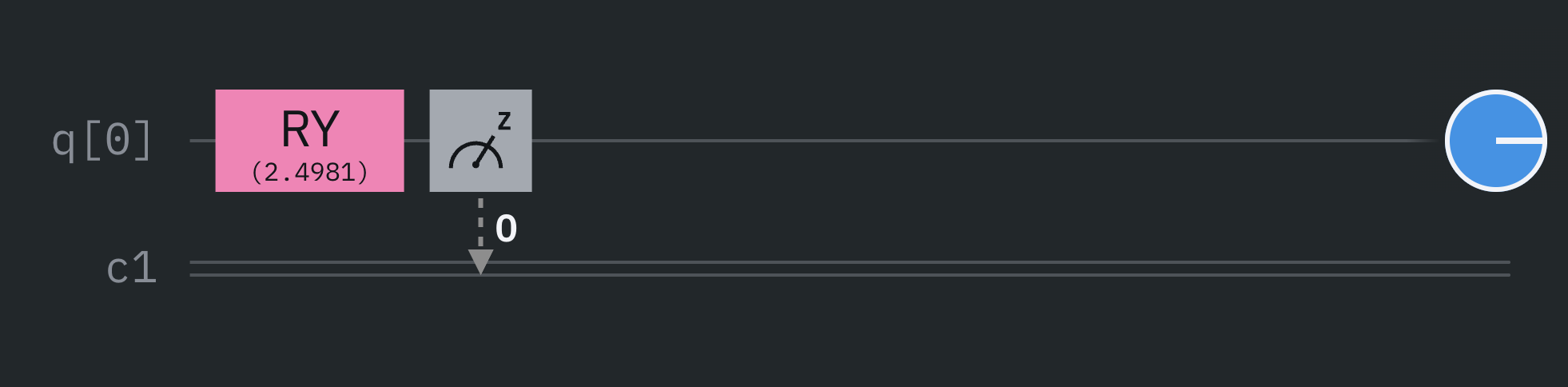
### 

### 

Полученные вероятности

### п10

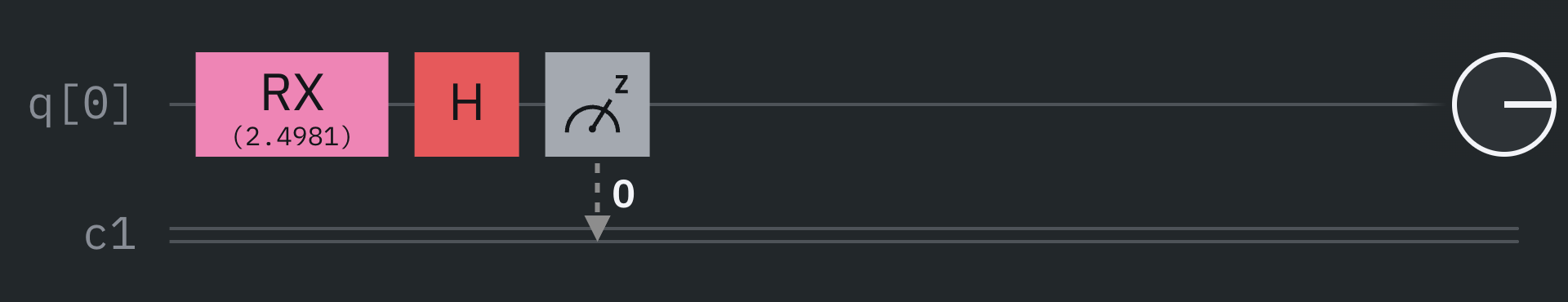


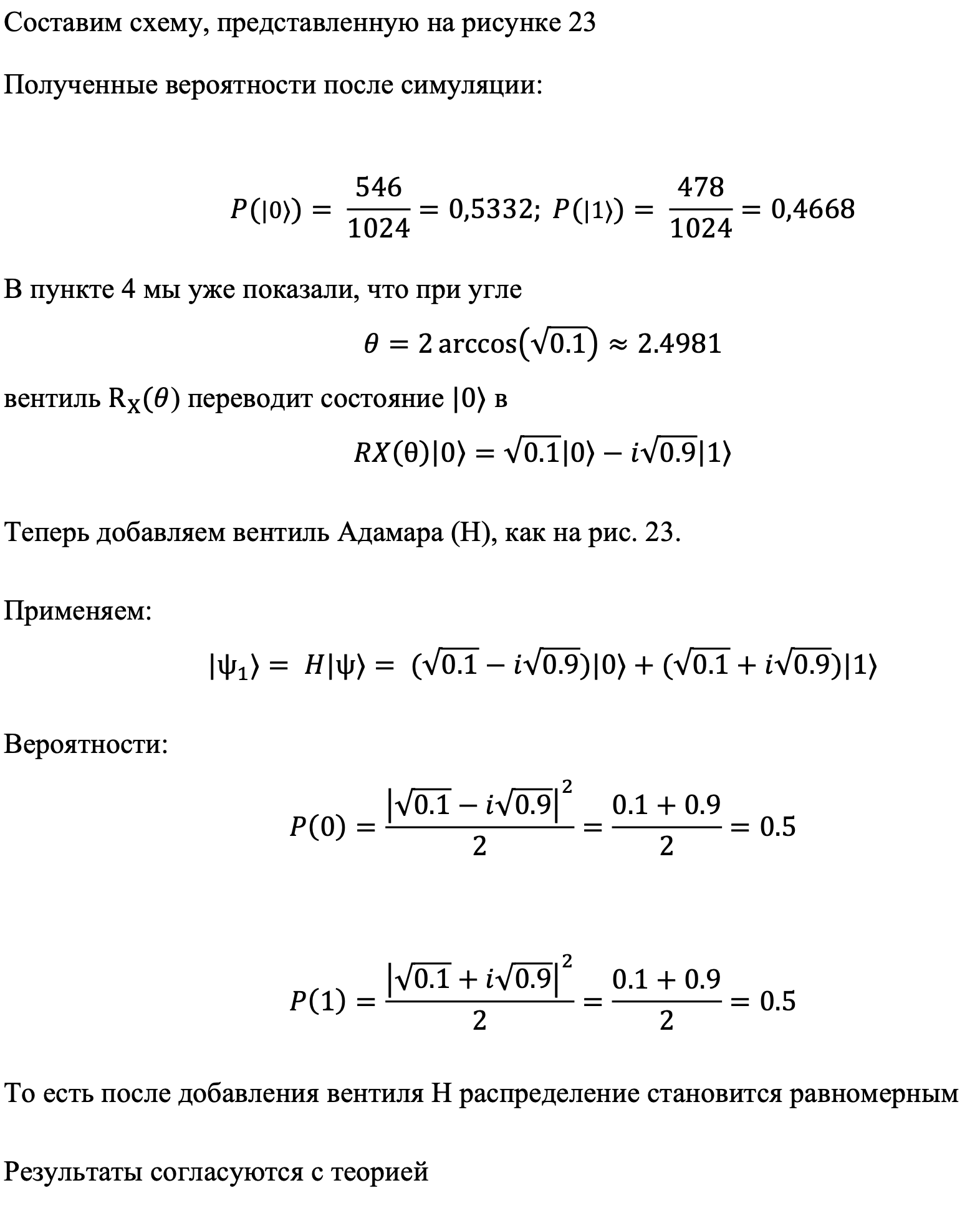


Полученные вероятности

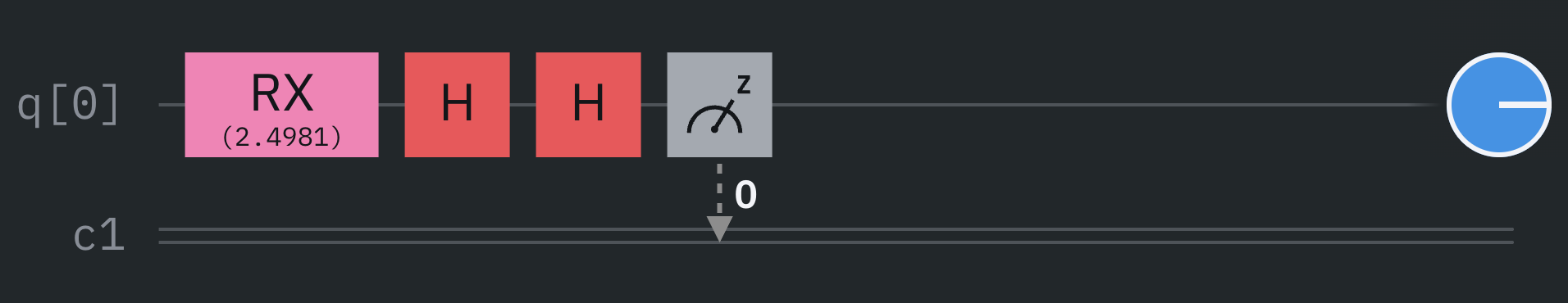
### п11

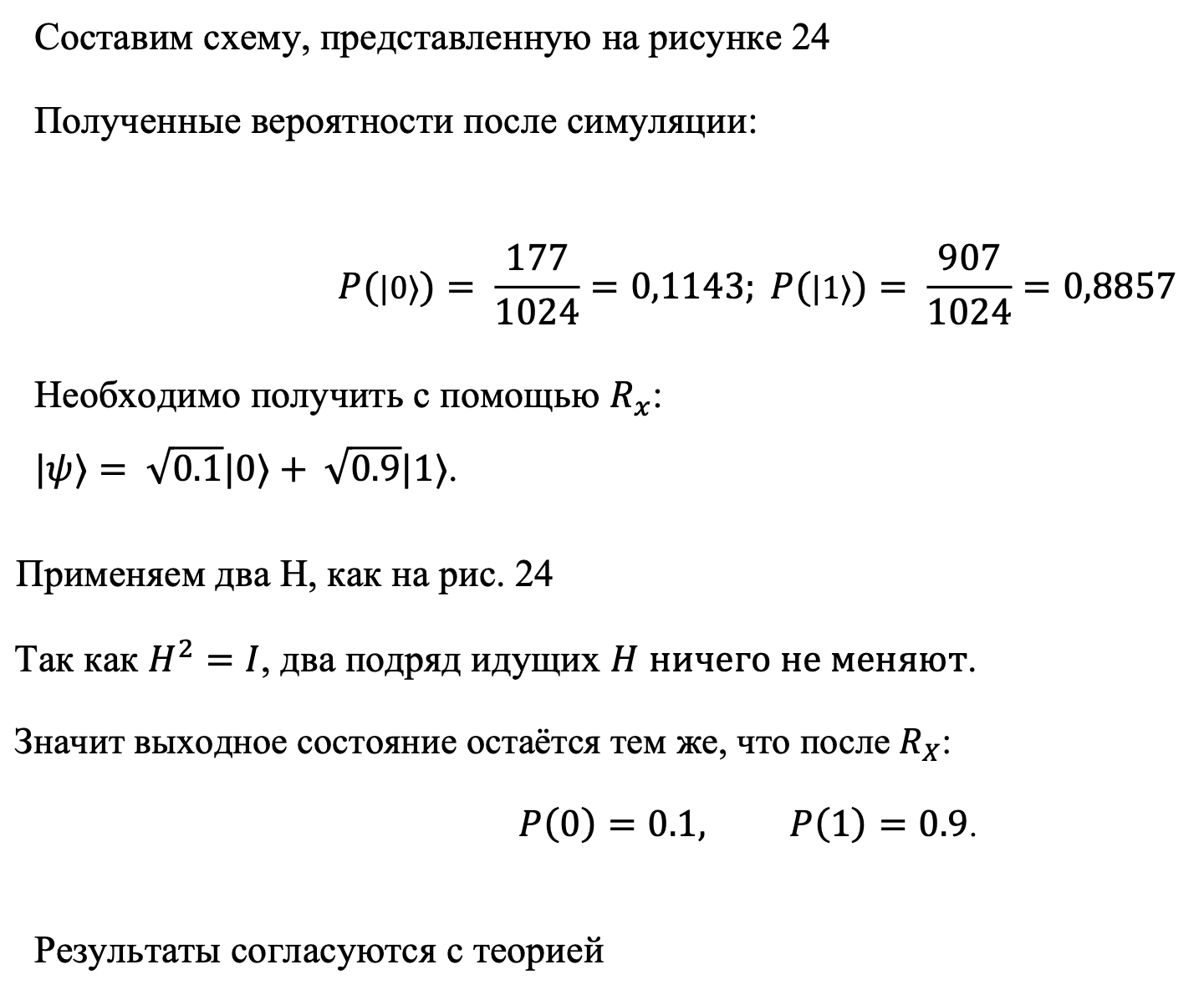
Необходимо получить c помощью :



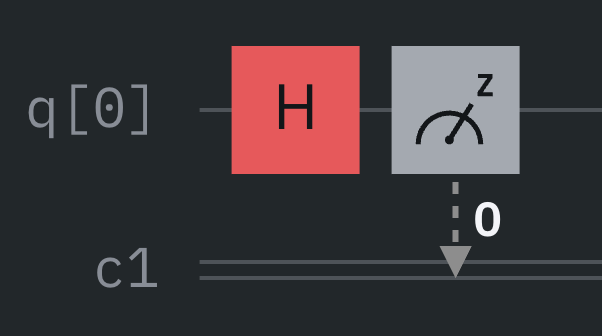
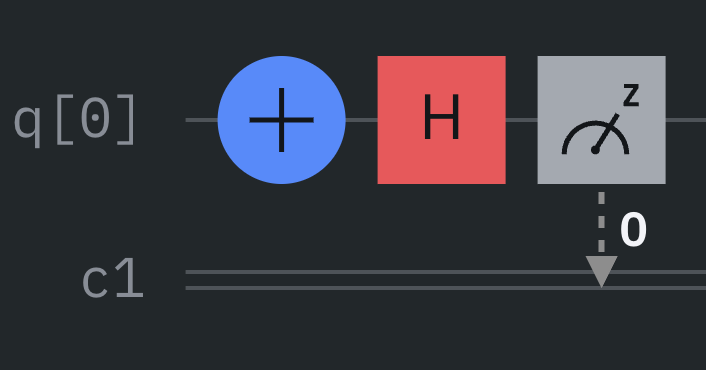
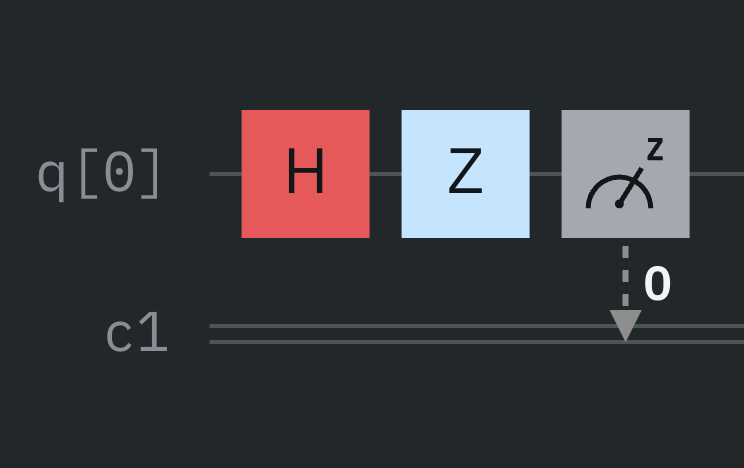


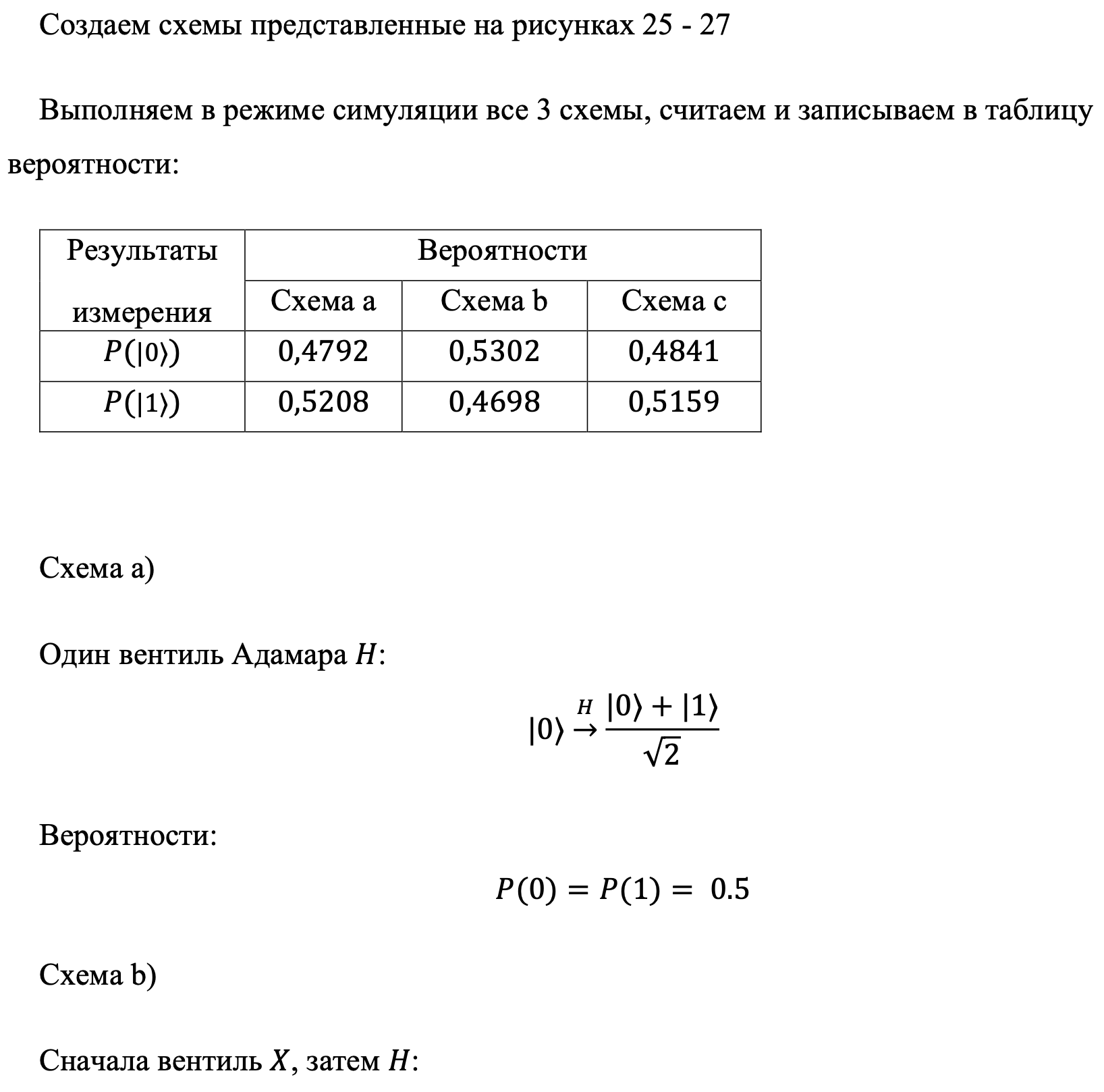
### п12





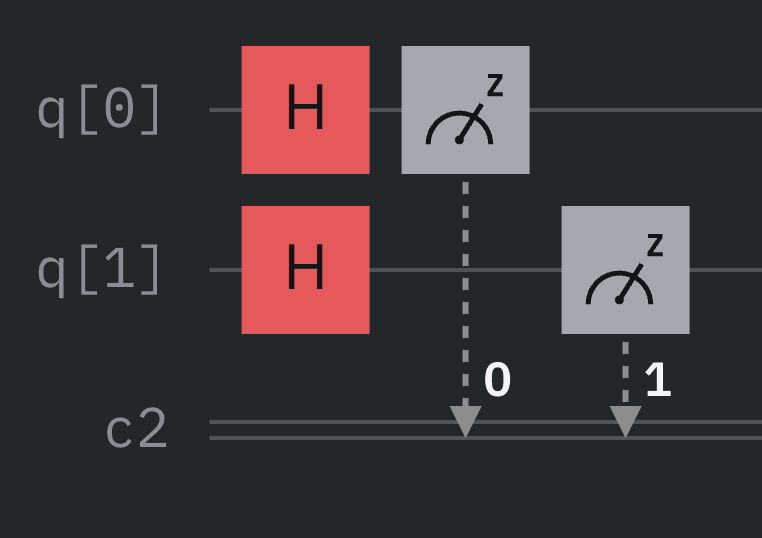
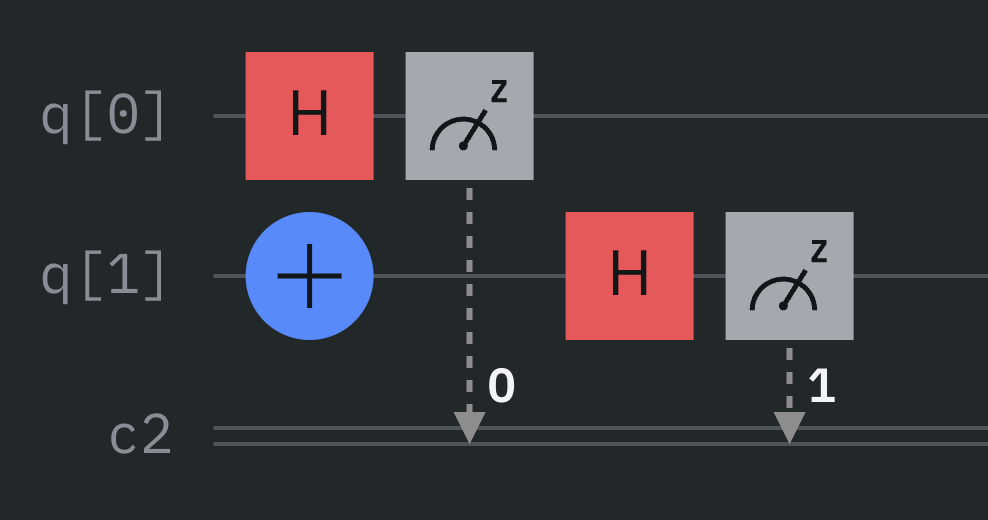
### п13

1. 
2. 
3. 





### п14

1. 
2. 

### 

