

Группа М32051

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Пантелеев, Артамонов

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Ефремова Е.А.

Отчет принят \_\_\_\_\_

## **Рабочий протокол и отчет по задаче от лектора №2**

## Задание

Пользователь задает начальное положение на кубита на сфере Блоха (углы  $\theta$  и  $\phi$ ), ось вокруг которой будет происходить вращение единичным вектором направления  $\vec{n}$  и угол поворота вокруг этой оси  $\alpha$ . Программа должна визуализировать начальное положение, заданное пользователем, ось и движение конца вектора состояния по поверхности сферы Блоха и его конечное состояние на сфере Блоха, с указанием вектора состояния.

## Решение

Пользователь либо оставляет по умолчанию, либо вводит в консоли следующие параметры:

- 1) углы  $\theta$  и  $\varphi$  (начальное положение на сфере)
- 2) ось, вокруг которой будет происходить поворот (x, y или z)
- 3) угол поворота  $\alpha$

Получаем оператор поворота кубита на угол относительно оси вектора  
Действуем оператором на начальное состояние для получения конечного состояния, отображаем их на сфере Блоха

$$U(\alpha, n) = \exp(-i \frac{\alpha}{2} (n_x \sigma_x + n_y \sigma_y + n_z \sigma_z))$$

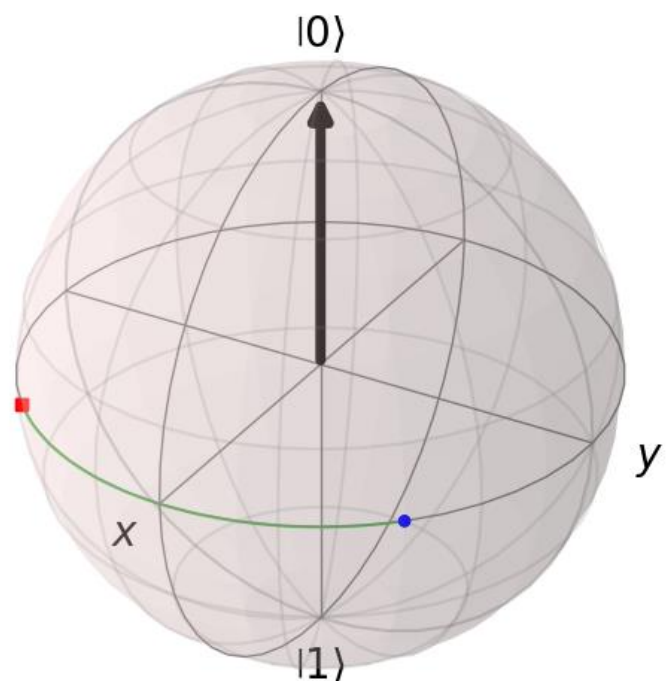
$$|\varphi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0\rangle + e^{i\varphi}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)|1\rangle$$

## Результат работы программы

```
Числитель для  $\theta$ : 1
Знаменатель для  $\theta$ : 2
Числитель для  $\varphi$ : 1
Знаменатель для  $\varphi$ : 4
Координатная ось: z
Числитель для  $\alpha$ : -1
Знаменатель для  $\alpha$ : 2

Начало вектора
 $\theta$ :  $0.5\pi i$ 
 $\varphi$ :  $0.25\pi i$ 
Точка:  $[(0.707+0j), (0.5+0.5j)]$ 
Координаты:  $(0.707, 0.707, 0.0)$ 

Конец вектора
 $\theta$ :  $0.5\pi i$ 
 $\varphi$ :  $-0.25\pi i$ 
Точка:  $[(0.5+0.5j), (0.707+0j)]$ 
Координаты:  $(0.707, -0.707, 0.0)$ 
```



## Исходный код

```
import numpy as np
import qutip
from cmath import phase
from math import cos, sin, acos, e, pi
from scipy.linalg import expm

def pauli_x():
    return np.array([[0, 1], [1, 0]])

def pauli_y():
    return np.array([[0, -1j], [1j, 0]])

def pauli_z():
    return np.array([[1, 0], [0, -1]])

def round_complex(x, precision=10):
    """
    Округляет комплексное число.

    :param x: комплексное число
    :param precision: точность округления
    :return: округленное комплексное число
    """
    return round(x.real, precision) + 1j * round(x.imag,
precision)

def vector_point_to_bloch_angles(vector_points):
    """
    Преобразует точки вектора в углы Эйлера на сфере Блоха.

    :param vector_points: точки вектора
    :return: углы theta и phi на сфере Блоха
    """
    return 2 * acos(round(abs(vector_points[0]), 12)),
phase(vector_points[1]) - phase(vector_points[0])

def bloch_angles_to_vector_point(theta, phi):
    """
    Преобразует углы Эйлера на сфере Блоха в точки вектора.

    :param theta: угол theta
```

```

        :param phi: угол phi
        :return: точки вектора
        """
        return np.array([cos(theta / 2), sin(theta / 2) * e ** (1j
* phi)])

def point_coords_by_angles(theta, phi):
    """
        Вычисляет координаты (x, y, z) на сфере Блоха из углов
        theta и phi.

        :param theta: угол theta
        :param phi: угол phi
        :return: массив координат (x, y, z)
        """
        x = cos(phi) * sin(theta)
        y = sin(phi) * sin(theta)
        z = cos(theta)
        return np.array([x, y, z])

def point_on_sphere(i, j, r0, R, phi):
    """
        Вычисляет координаты точки на сфере с центром в r0 и
        радиусом R.

        :param i: координата i
        :param j: координата j
        :param r0: центр сферы
        :param R: радиус сферы
        :param phi: угол phi
        :return: координаты точки на сфере
        """
        return r0 + R * cos(phi) * i + R * sin(phi) * j

def normalize_vector(v):
    """
        Нормализует вектор.

        :param v: вектор
        :return: нормализованный вектор
        """
        return v / np.linalg.norm(v)

def rotation_trace_points(n, A, B, alpha, total_points=50):
    """

```

Вычисляет точки вращения вокруг оси  $n$  между точками  $A$  и  $B$ .

```
:param n: ось вращения
:param A: начальная точка
:param B: конечная точка
:param alpha: угол вращения
:param total_points: общее количество точек
:return: список точек вращения
"""
R = np.linalg.norm((B - A)) / (2 * sin(abs(alpha) / 2))
j = normalize_vector(np.array(B) - np.array(A))
if alpha > 0:
    i = np.cross(j, n)
    r0 = B - R * (cos(alpha / 2) * i + sin(alpha / 2) * j)
else:
    i = np.cross(n, j)
    r0 = A - R * (cos(alpha / 2) * i + sin(alpha / 2) * j)

angles = np.linspace(-alpha / 2, alpha / 2, total_points)
points = [point_on_sphere(i, j, r0, R, phi) for phi in
angles]

return points

def format_angle_for_view(x):
    """
    Форматирует угол для отображения.

    :param x: угол
    :return: отформатированное значение угла
    """
    x = round(x / pi, 10)
    angle = ""
    if x != 1:
        angle += str(x)
    if x != 0:
        angle += "pi"
    return angle

def format_vector_point(vector_state):
    """
    Форматирует состояние вектора для отображения.

    :param vector_state: состояние вектора
    :return: отформатированное состояние вектора
    """
    x1 = round_complex(vector_state[0], 3)
```

```

x2 = round_complex(vector_state[1], 3)
return f'[{x1}, {x2}]'

def format_sphere_coords(x, y, z):
    """
    Форматирует координаты (x, y, z) для отображения.

    :param x: координата x
    :param y: координата y
    :param z: координата z
    :return: отформатированные координаты (x, y, z)
    """
    return f'({round(x, 3)}, {round(y, 3)}, {round(z, 3)})'

def get_start_values(input_mode=False):
    if not input_mode:
        print("Числитель для  $\theta$ : \t1")
        print("Знаменатель для  $\theta$ : \t2")
        print("Числитель для  $\phi$ : \t1")
        print("Знаменатель для  $\phi$ : \t4")
        print("Координатная ось: \tZ")
        print("Числитель для  $\alpha$ : \t-1")
        print("Знаменатель для  $\alpha$ : \t2")
        return pi / 2, pi / 4, np.array([0, 0, 1]), -1 * pi / 2

    numerator_theta = int(input("Введите числитель для  $\theta$ : \t"))
    denominator_theta = int(input("Введите знаменатель для
 $\theta$ : \t"))
    start_theta = pi * numerator_theta / denominator_theta

    numerator_phi = int(input("Введите числитель для  $\phi$ : \t"))
    denominator_phi = int(input("Введите знаменатель для
 $\phi$ : \t"))
    start_phi = pi * numerator_phi / denominator_phi

    chosen_axis = int(input("Выберите координатную ось: 0 - x,
1 - y, 2 - z: \t")) % 3
    array = [0, 0, 0]
    array[chosen_axis] = 1
    axis = np.array(array)

    numerator_alpha = int(input("Введите числитель для  $\alpha$ : \t"))
    denominator_alpha = int(input("Введите знаменатель для
 $\alpha$ : \t"))
    alpha = normalize_vector(pi * numerator_alpha /
denominator_alpha)

```

```

    return start_theta, start_phi, axis, alpha

start_theta, start_phi, axis, alpha =
get_start_values(input_mode=False)
nx, ny, nz = axis[0], axis[1], axis[2]
U = expm(-1j * alpha / 2 * (nx * pauli_x() + ny * pauli_y() +
nz * pauli_z()))

start_vector_point = bloch_angles_to_vector_point(start_theta,
start_phi)
end_vector_point = np.dot(U, start_vector_point)

theta, phi = vector_point_to_bloch_angles(start_vector_point)
start_point = point_coords_by_angles(theta, phi)

print()
print('Начало вектора')
print(f'θ: {format_angle_for_view(theta)}')
print(f'φ: {format_angle_for_view(phi)}')
print(f'Точка: {format_vector_point(start_vector_point)}')
print(f'Координаты: {format_sphere_coords(*start_point)}')

theta, phi = vector_point_to_bloch_angles(end_vector_point)
end_point = point_coords_by_angles(theta, phi)

print()
print('Конец вектора')
print(f'θ: {format_angle_for_view(theta)}')
print(f'φ: {format_angle_for_view(phi)}')
print(f'Точка: {format_vector_point(end_vector_point)}')
print(f'Координаты: {format_sphere_coords(*end_point)}')

b = qutip.Bloch()
b.vector_color = ['#000000']
b.vector_width = 5
b.point_color = ['b', 'r', '#00FF00']
b.add_points(start_point)
b.add_points(end_point)
b.add_vectors(axis)
if not np.array_equal(start_point, end_point):
    rotation_points = rotation_trace_points(axis, start_point,
end_point, alpha)
    b.add_points(list(zip(*rotation_points)), meth='l')
b.show()

```

Исходный код опубликован на GitHub и может быть скачан и запущен:  
<https://github.com/SmartOven/Python/blob/master/Physics/LecTask2/main.py>