
KIT QUANTUM (Q)

Computação Quântica:

Laboratório para Alunos do Ensino Médio

Manual do aluno



WOMEN SUPPORTING
WOMEN IN THE SCIENCES

Conhecer um cientista

Celline Awino Omondi

*Conferencista, Masinde Muliro
University of Science and Technology and
Parceiro WS2 e co-líder de design de kit de
laboratório, computação quântica*



Sobre mim: Sou uma cientista e educadora queniana apaixonada por energia renovável, ciência quântica e mentoria. Nasci e cresci na aldeia de Mauna, na

zona rural do oeste do Quênia. Passei a primeira infância com minha avó, frequentando a escola primária descalça em salas de aula com teto de palha, que nós mesmos ajudamos a manter. Essas origens humildes incutiram em mim um forte senso de resiliência, disciplina e determinação. Sou Mestre em Física pela Universidade de Pune (Índia) e Doutor em Energia Renovável (Energia Solar) pela Universidade Técnica de Berlim. Meus interesses científicos estão nonexo entre energia renovável, física dos materiais e ciência quântica. Minha carreira reflete uma profunda paixão por compreender a matéria tanto na escala macroscópica quanto na quântica — e por utilizar esse conhecimento para projectar tecnologias sustentáveis, como a energia fotovoltaica, para impacto no mundo real.

Meu conselho para alunos interessados em ciências: mantenham-se curiosos e persistentes. Ciência não se trata apenas de obter as respostas certas – trata-se também de fazer as perguntas certas. Acreditem que sua voz e suas ideias importam. A ciência prospera com diversidade, criatividade e coragem.

Declaração de missão

A missão deste laboratório é ensinar alunos do ensino médio (idades entre 12 e 18 anos) sobre conceitos de computação quântica por meio de experimentos relacionados à mecânica quântica.

Índice

1. Introdução aos kits de laboratório WS2	5
1.1. Informações sobre WS2	5
1.2. Informações sobre este Kit.....	5
1.3. Vocabulário-chave.....	6
1.4. Perguntas-chave	7
1.5. Objectivo	7
2. Contexto dos Tópicos Principais	8
2.1. Bits quânticos (Qubits) e computadores quânticos.....	8
2.2. Lista de suprimentos.....	9
2.3. Informações de segurança	10
3. Experimentos.....	10
3.1. Parte I. Cara ou coroa quântica	10
3.1.1. Questões pré-experimento	10
3.1.2. Materiais.....	11
3.1.3. Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)	11
3.1.4. Resultados	11
3.1.5. Perguntas pós-experimento	12
3.2. Parte II. Criptografia Quântica.....	13
3.2.1. Contexto adicional.....	13
3.2.2. Perguntas pré-actividade	14
3.2.3. Materiais.....	14
3.2.4. Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)	15

3.2.5.	Resultados	15
3.2.6.	Perguntas pós-atividade.....	16
3.3.	Parte III. Portas de Computador Quântico	17
3.3.1.	Contexto adicional.....	17
3.3.2.	Materiais (para cada grupo)	18
3.3.3.	Procedimento e Análise (trabalho em grupos de 2 a 4)	19
3.3.4.	Resultados	22
3.3.5.	Perguntas pós-atividade.....	22
4.	Desafio de Design.....	24
4.1	Questões de Design	24
4.2	Esboço de Design.....	25
5.	Actividade suplementar: Computação quântica com Python e Qiskit	26
5.1	Informações Adicionais.....	26
5.2	Procedimento	26
6.	Fontes.....	28

1. Introdução aos kits de laboratório WS2

1.1. Informações sobre WS2

A Women Supporting Women in the Sciences (WS2), uma organização internacional que une e apoia mulheres de nível de pós-graduação e profissional e aliadas em ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM), recebeu um Fundo de Inovação da Sociedade Americana de Física (APS) em 2020 para formar equipes internacionais para projectar e distribuir kits de laboratório de física e ciência dos materiais de baixo custo para alunos do ensino fundamental e médio, predominantemente na África Oriental. Os kits de laboratório utilizaram recursos locais e incluíram tópicos especialmente relevantes para meninas, a fim de estimular seu interesse em disciplinas STEM. De 2020 a 2023, mais de 5.100 alunos da África Oriental em mais de 40 escolas se envolveram com nossos kits de laboratório, sendo 62% meninas.

A WS2 recebeu seu segundo Fundo de Inovação da APS em 2025 para apoiar outra Iniciativa de Kits de Laboratório, desta vez com foco em tópicos quânticos. Para mais informações sobre a WS2, visite nosso site em ws2global.org.

O WS2 é patrocinado pelo Fundo de Inovação da APS, pelo Fórum de Educação da APS, pelo Centro de Pesquisa em Ciência e Engenharia de Materiais da Northwestern University e pelo Departamento de Assuntos Estudantis Multiculturais da Northwestern University. O WS2 é extremamente grato aos voluntários responsáveis pelo projecto do kit de laboratório (John Bakayana, Celline Omondi, Alice Flarend, Elvira Khwatenge, Babra Mwimali e Sserugo Enock) e aos consultores externos (SciBridge e Projekt Inspire) por sua orientação. O WS2 também agradece e reconhece o PhysicsQuest (<https://www.aps.org/initiatives/physics-education/physicsquest>) e o Quantum Explorations Student Toolbox (QuEST) pelos experimentos que serviram de base para o conteúdo do kit de laboratório.

1.2. Informações sobre este Kit

Bem-vindo ao emocionante mundo da ciência quântica — um reino onde partículas podem estar em vários lugares ao mesmo tempo, a luz se comporta tanto como onda quanto como partícula e objectos distantes podem influenciar uns aos outros instantaneamente. Parece ficção científica, mas não é!

Este manual foi elaborado para guiá-lo por experimentos práticos simples que dão vida a alguns dos conceitos mais fascinantes da física quântica. Usando materiais do dia a

dia, você explorará grandes ideias como superposição, interferência e entrelaçamento — conceitos que desafiam nossa compreensão clássica de como o universo funciona.

Não se preocupe se esses termos forem novos ou complicados. Cada experimento inclui:

- Declaração clara do propósito para indicar o que você está aprendendo
- Perguntas pré-laboratoriais para fazer você pensar
- Procedimentos passo a passo que você pode seguir com facilidade
- Ferramentas simples que você provavelmente já tem em casa ou na sala de aula
- Tabelas de observação para registrar seus resultados
- Perguntas pós-experimento bem pensadas para ajudar a conectar o que você viu aos mistérios da ciência quântica

Esses experimentos têm como objectivo despertar a curiosidade, a criatividade e o pensamento mais profundo. Você não precisa ser físico (ainda!) para apreciá-los — basta ter a mente aberta, um senso de admiração e a disposição para explorar ideias que expandam os limites do que consideramos possível. Ao realizar essas actividades, lembre-se: até os cientistas mais famosos começaram fazendo perguntas simples e realizando pequenos experimentos. Quem sabe a que descobertas sua curiosidade pode levar?

1.3. Vocabulário-chave

- Bit (clássico): os 0s e 1s que os computadores clássicos tradicionais usam
- Qubit (bit quântico): unidade fundamental de informação quântica na computação quântica que pode existir como 0 ou 1 simultaneamente
- Medição: o processo de colapso do estado de superposição de um qubit em um estado definido (0/1)
- Superposição: um sistema (como um qubit) que existe em múltiplos estados simultaneamente até ser medido
- Entrelaçamento: a ligação de estados em objectos, independentemente da distância entre eles
- Porta quântica: um dispositivo que altera o estado quântico de um qubit
- Criptografia quântica: um método de comunicação segura que codifica mensagens em qubits

2. Contexto dos Tópicos Principais

2.1. Bits quânticos (Qubits) e computadores quânticos

A computação quântica, que utiliza propriedades da mecânica quântica, é procurada porque pode realizar cálculos impossíveis para computadores clássicos. Como funciona um computador tradicional? Computadores tradicionais processam informações usando unidades fundamentais de dados chamadas bits clássicos (0s ou 1s). Esses bits são manipulados por meio de operações lógicas que permitem ao computador concluir tarefas simples e complexas. Como um computador quântico é diferente? Ao contrário dos bits clássicos que representam 0 ou 1, os bits quânticos, ou qubits, em computadores quânticos podem existir em superposição, que é um estado em que o bit existe como 0 e 1 simultaneamente (veja a Figura 1). Para colapsar um estado de superposição, o qubit é medido, o que significa que o qubit não é mais 0 e 1 simultaneamente, mas sim um 0 ou 1 definido.

Qual é outra maneira de pensar sobre superposição? Imagine um interruptor de luz. Ele pode estar LIGADO (1) ou DESLIGADO (0). É como um bit de computador tradicional. Agora, imagine um interruptor de luz especial que pode estar LIGADO, DESLIGADO ou ambos ao mesmo tempo! Isso seria como um qubit. Essa capacidade de superposição "dos dois ao mesmo tempo" é o que dá poder aos computadores

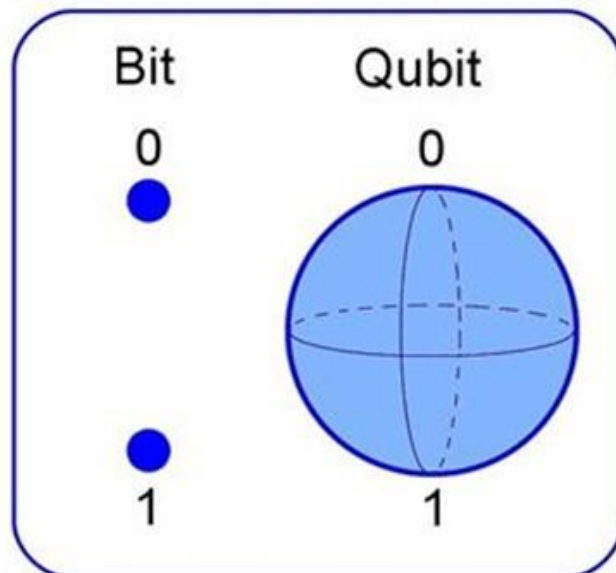


Figura 1. Ilustração do bit clássico (esquerda) e do qubit (direita). O bit clássico pode ser 0 ou 1, e o qubit pode existir em superposição como 0 e 1 simultaneamente. Esta foto de autor desconhecido está licenciada sob CC BY.

quânticos. Enquanto os computadores tradicionais só conseguem processar bits tradicionais (0 ou 1), os computadores quânticos podem processar 0, 1 ou ambos, o que significa que podem explorar múltiplas possibilidades simultaneamente.

Assim como os computadores tradicionais, os computadores quânticos seguem conjuntos de instruções chamados algoritmos que empregam portas lógicas para manipular bits em uma ordem específica. Em vez de usar portas clássicas (como "E", "OU"), os computadores quânticos usam portas lógicas quânticas, que são dispositivos que manipulam qubits usando a mecânica quântica. Por exemplo, uma porta de Hadamard coloca um qubit em um estado de superposição (0 e 1).

Quais são outros fenômenos da mecânica quântica que os computadores quânticos utilizam? O entrelaçamento, que é a ligação de estados (como qubits), independentemente da distância entre eles, é usado em computadores quânticos para criar algoritmos quânticos e métodos de comunicação poderosos. Se você se lembrar da analogia do interruptor de luz da superposição, imagine dois interruptores de luz entrelaçados. Se você acionar um, o outro também aciona instantaneamente, mesmo que estejam distantes! Essa é uma conexão assustadora!

Como os computadores quânticos podem ser úteis em nossas vidas? Como os computadores quânticos podem explorar múltiplas possibilidades simultaneamente com qubits, eles podem trabalhar de forma mais rápida e eficiente do que os computadores tradicionais. Isso pode ser extremamente útil em diversos campos, incluindo descoberta de medicamentos, ciência dos materiais e inteligência artificial. Os computadores quânticos também podem ser usados em criptografia, que é a forma como as informações são protegidas contra acesso não autorizado. A criptografia clássica usa matemática para embaralhar mensagens. A criptografia quântica usa qubits e mecânica quântica para criar códigos inquebráveis. Se alguém tentar espionar uma mensagem quântica, o espião perturbará os qubits e o remetente saberá que alguém está ouvindo!

2.2. Lista de suprimentos

- Moedas (de metal com dois lados distintos)
- Copos opacos
- Papel
- Doces embrulhados (ou pequenos pedaços de papel)
- Baldes ou potes
- Marcadores

- Fita adesiva colorida (vermelha e verde) (outras duas cores também podem ser usadas)
- Guarde as peças do jogo do Gato de Schrödinger para cada grupo:
 - 8 fichas de gato azul/gato vermelho para actuarem como qubits
 - 8 fichas de gato amarelo/gato verde para actuarem como qubits
 - 2 portas X
 - 2 portas Y
 - 2 portas X
 - 2 portas S
 - 2 portas H
 - 1 porta CNOT
 - 1 tabela de mudança de fase da porta de qubit
 - 1 tabela de interferência de qubit
- Tesoura
- Fita adesiva transparente

2.3. Informações de segurança

Antes de os alunos iniciarem o laboratório, levem em consideração as seguintes questões de segurança:

- Este kit de laboratório não apresenta grandes preocupações de segurança associadas a ele.

3. Experimentos

3.1. Parte I. Cara ou coroa quântica

3.1.1. Questões pré-experimento

1. O que significa um sistema quântico estar em estado de superposição? Como isso difere dos sistemas clássicos?

2. É possível saber o estado exato de um sistema quântico sem medi-lo? Por quê?

3.1.2. Materiais

- Moedas (de metal com dois lados distintos)
- Copos opacos

3.1.3. Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)

1. Jogue uma moeda sobre uma mesa ou outra superfície dura e coloque o copo sobre ela, sem revelar se é cara ou coroa.
2. Preveja se a moeda é cara ou coroa.
3. Meça a moeda levantando o copo e registre os resultados.
4. Repita 20 vezes.

3.1.4. Resultados

<u>Jogada de moeda</u>	<u>Cara ou coroa?</u>
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

15	
16	
17	
18	
19	
20	

3.1.5. Perguntas pós-experimento

1. Qual foi a porcentagem de vezes que você mediu cara? Coroa? Como isso variou na sua sala de aula?
2. Como essas porcentagens se relacionam com a probabilidade esperada de cara ou coroa?
3. O que você poderia fazer para que suas porcentagens medidas se aproximassem da probabilidade esperada de cara ou coroa?
4. Se considerarmos que a moeda representa um qubit, em que estado o qubit está quando está sob o copo antes da medição? E depois da medição?
5. Como colapsamos o estado de superposição da moeda?

3.2. Parte II. Criptografia Quântica

3.2.1. Contexto adicional

A distribuição quântica de chaves (QKD) é uma forma de trocar códigos criptográficos (chaves) com segurança usando a física quântica. Aqui, a luz é usada para transmitir informações entre duas partes. Imagine que Alice quer enviar uma mensagem para Bob, mas não quer que ninguém mais a leia. Alice envia a Bob um código secreto (uma chave) usando minúsculas partículas de luz chamadas fótons. Aqui está a reviravolta quântica: se alguém tentar escutar (como Eva), a pessoa perturbará os fótons, e Alice e Bob saberão. É como ter um sistema de alarme secreto para sua mensagem. Pense nas informações que você deseja manter seguras – mensagens telefônicas, senhas de contas bancárias e PINs. Todas essas são áreas em que a criptografia quântica pode ser útil!

Existem muitas maneiras pelas quais a criptografia quântica pode proteger nossas informações, mas e quanto às situações em que computadores quânticos estão sendo usados para tentar roubar nossas informações? Neste caso, usamos a física quântica para combater esses ataques. Especificamente, a criptografia pós-quântica (PQC) é um subcampo da criptografia quântica que desenvolve algoritmos para proteção contra computadores quânticos. À medida que os computadores quânticos se tornam mais poderosos, as formas como protegemos nossos dados actualmente podem não ser suficientes. A criptografia PQC foi projectada para ser super resistente a ataques, mesmo de computadores quânticos.

Nesta actividade, simularemos um protocolo de criptografia quântica – o protocolo BB84 – para enviar uma mensagem entre duas pessoas (Alice e Bob) que criará uma chave secreta que poderá ser usada no futuro para decodificar mensagens. No protocolo BB84 da vida real, fótons com polarizações diferentes são enviados através de um canal de comunicação usando filtros. Pense nisso como desenvolver um aperto de mão secreto com a luz! Polarização se refere à orientação das oscilações do fóton – pense nisso como a direção para a qual um fóton aponta seu campo eléctrico. Filtros são como pequenas portas que permitem a passagem apenas de fótons que oscilam em uma determinada direção. O receptor da mensagem usa filtros de polarização semelhantes para adivinhar em qual direção o remetente enviou os fótons. Após enviar uma longa sequência de fótons, Alice e Bob podem partilhar publicamente seus filtros para decidir quais bits manter (quando os filtros correspondem) e quais descartar (quando os filtros não correspondem) para sua chave secreta. Uma característica interessante desse protocolo é que ele possui detecção de escuta clandestina, pois qualquer tentativa de espionar os fótons os altera. Então, se Alice e Bob medirem uma taxa de erro (a taxa na qual seus filtros não correspondem) maior que a aleatória, eles

podem supor que sua comunicação está sendo interceptada e não usam sua comunicação para formar sua chave secreta compartilhada.

Como podemos simular o protocolo BB84? Precisaremos de algo para representar os fótons e como os filtramos. Aqui, usaremos dois tipos de balas embaladas: um tipo terá 0s ou 1s escritos e o outro tipo terá marcações vermelhas ou verdes. Alice selecionará uma de cada aleatoriamente para atribuir seu bit e cor de fóton e registrar essas informações. Pense nesses dois descritores (bit e cor) juntos como uma analogia para a polarização do fóton. Alice então passará a bala de bit para Bob, e Bob selecionará aleatoriamente uma bala de cor para "visualizar" o bit. Bob registrará as informações de bit e cor. Esse processo será repetido várias vezes para representar uma sequência de fótons passando pelo canal quântico. Então, Alice e Bob compararão publicamente suas informações de cor para os fótons. Se as cores corresponderem, eles mantêm os bits; caso contrário, eles descartam os bits.

3.2.2. Perguntas pré-actividade

1. O que é um filtro de polarização? Como ele é usado no protocolo BB84 para codificar e decodificar fótons?

2. Que informações você registrará sobre seus "fótons" nesta actividade? Por que essas informações são escolhidas aleatoriamente?

3.2.3. Materiais

- Doces embalados (ou pequenos pedaços de papel) (40 unidades no total por grupo)
- Baldes ou potes (2 por grupo)
- Canetas hidrográficas
- Fita adesiva colorida (vermelha e verde) (outras duas cores também podem ser usadas)

3.2.4. Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)

1. Selecione uma pessoa do seu grupo para ser Alice e outra para ser Bob. Os outros membros do grupo podem actuar como assistentes de Alice e Bob e registar as informações sobre os "fótons" que são passados durante esta actividade.
2. Escreva 0 em 10 doces (ou pedaços de papel) e 1 em 10 doces (ou pedaços de papel) e coloque-os em um pote. Agite-os para garantir que estejam bem misturados.
3. Coloque fita vermelha em 10 doces (ou pedaços de papel) e fita verde em 10 doces (ou pedaços de papel) e coloque-os em um segundo pote. Agite-os para garantir que estejam bem misturados.
4. Alice seleciona um doce de cada pote aleatoriamente e regista as informações sobre o bit e a cor.
5. Alice passa o doce bit apenas para Bob.
6. Bob seleciona um doce do pote com cores diferentes e regista as informações sobre o bit (de Alice) e a cor (do pote).
7. Repita os passos 4 a 6 pelo menos 5 vezes e até 10 vezes.
8. Alice e Bob partilham publicamente as informações de cor dos "fótons". Se as cores coincidirem, eles mantêm as informações; caso contrário, descartam as informações.
9. Troquem de papéis no grupo e repitam os passos 4 a 8.

3.2.5. Resultados

Resultados de Alice

Fóton	Bit	Cor	Manter ou descartar?
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Resultados de Bob

Fóton	Bit	Cor	Manter ou descartar?
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

3.2.6. Perguntas pós-atividade

1. Descreva seus papéis como Alice e Bob.
2. O que os doces e as informações contidas nos doces representam nesta atividade?
3. Qual foi a sua taxa de erro (qual a porcentagem de tempo que você teve para descartar seus fótons)? Como isso se relaciona com a chance aleatória que você teria de descartar seus fótons?

4. Como a taxa de erro pode ser usada para determinar se alguém está espionando sua comunicação no protocolo BB84?

3.3. Parte III. Portas de Computador Quântico

Este jogo nesta seção é baseado na actividade Salvar o Gato de Schrödinger do PhysicsQuest (American Physical Society).

3.3.1. Contexto adicional

As instruções que os computadores usam para realizar tarefas são chamadas de circuitos lógicos, e os blocos de construção desses circuitos são chamados de portas. O resultado da execução de qualquer circuito desse tipo em um computador clássico sempre terá apenas um de dois estados: Falso ou Verdadeiro. Podemos chamar esses estados do que quisermos, como Suspensão ou Acordado. O trabalho de um programador de computador é construir circuitos que façam com que os estados mudem de forma a resolver um problema.

O jogo "Salve o Gato de Schrödinger" ensinará como a lógica dos sistemas mecânicos quânticos é fundamentalmente diferente da mecânica clássica. A primeira diferença fundamental é o uso da fase de um qubit, que é uma propriedade ondulatória que descreve o tempo da onda em relação a uma posição de referência. As portas dos computadores clássicos não afectam a fase do bit, mas muitas portas quânticas afectam. Isso significa que existem ferramentas adicionais para resolver problemas usando computadores quânticos.

A segunda diferença fundamental vem da interferência de bits, que se considerarmos os qubits como um objecto ondulatório é basicamente interferência de onda. A interferência de onda é a adição de duas ou mais ondas. A interferência é afectada pela fase da onda que representa o qubit. Uma onda pode começar na altura zero ou pode começar na sua altura máxima, ou pode começar em algum lugar entre os dois. Pode até ser negativa! Isso significa que quando duas ondas são adicionadas, o resultado pode variar. Por exemplo, as alturas máximas das ondas podem se alinhar,

de modo que a adição resulta em uma altura maior. Isso é chamado de interferência construtiva. Ou a altura resultante pode ser zero se as ondas tiverem a mesma altura, mas uma começa no positivo e a outra no negativo. Isso é chamado de interferência destrutiva. A Figura 2 mostra exemplos de interferência de onda.

A interferência de ondas desempenha um papel importante na porta quântica chamada porta de Hadamard. Como discutido anteriormente, essa porta coloca o qubit em um estado de superposição, o que significa que o bit está em dois ou mais estados ao mesmo tempo. Isso pode ser considerado como a capacidade de executar portas lógicas nos dois estados ao mesmo tempo, em vez de uma de cada vez em computadores clássicos. A superposição é uma propriedade que existe apenas em um estado quântico e, portanto, não pode ser usada em computadores clássicos. Para o propósito deste jogo, o estado zero (0) é o gato dormindo e o estado um (1) é o gato acordado. As fases do qubit são representadas por cores.

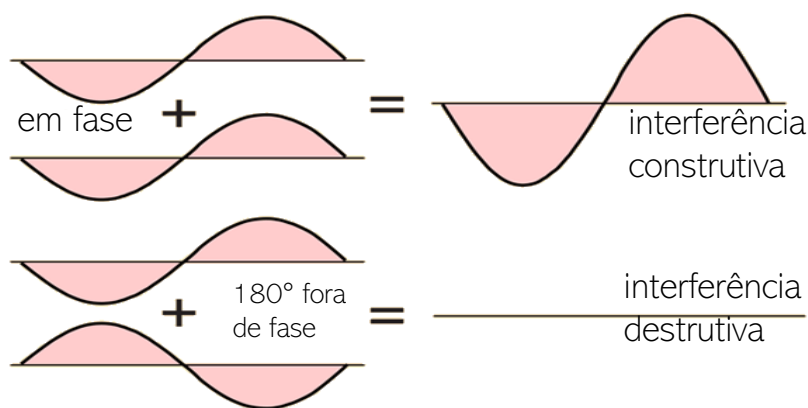


Figura 2. Interferência construtiva ocorre quando duas ondas se somam para gerar uma altura total maior (acima). Interferência destrutiva ocorre quando duas ondas fora de fase se somam para gerar uma onda com altura zero (abaixo). Na computação quântica, portas quânticas podem impactar a fase do qubit. Isso é exclusivo da computação quântica, pois portas clássicas não impactam a fase do bit. Esta foto, de autor desconhecido, está licenciada sob CC BY-NC.

3.3.2. Materiais (para cada grupo)

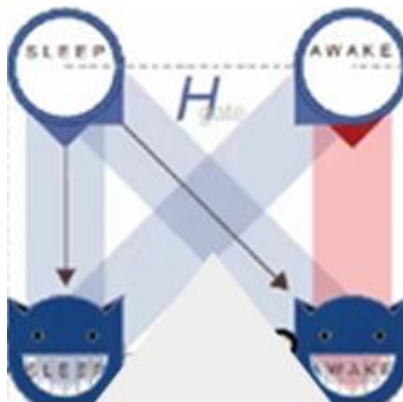
- 8 tokens gato azul/gato vermelho para actuar como qubits
- 8 tokens gato amarelo/gato verde para actuar como qubits
- 2 portas X
- 2 portas Y
- 2 portas X
- 2 portas S
- 2 portas H
- 1 porta CNOT

- 1 tabela de mudança de fase de porta de qubit
- 1 tabela de interferência de qubit

3.3.3. Procedimento e Análise (trabalho em grupos de 2 a 4)

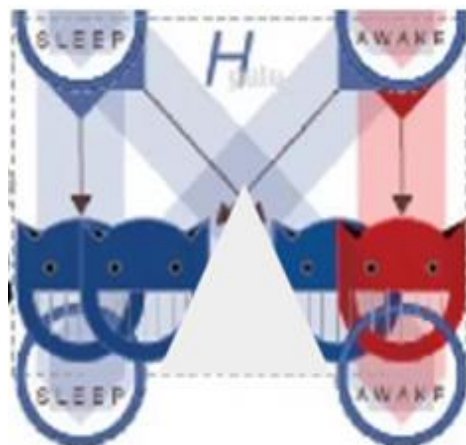
1. Organize seus QubitCats de acordo com a cor.
2. Coloque um portão X onde todos possam vê-lo. Seu primeiro desafio é acordar um gato azul. Coloque uma ficha de gato azul no círculo do Sono.
3. Observe que o caminho azul cruza para o lado Acordo do portão. Use sua tabela de mudança de fase do QubitCat para determinar se um gato azul viajando em um caminho azul muda de cor. Se a cor não mudar, coloque um gato azul no círculo Acordo. Se mudar, coloque a cor correcta do gato no círculo. Registre este resultado em sua tabela.
4. Repita com os gatos vermelho, verde e amarelo no estado inicial de Sono. Registre os resultados para as outras cores.
 - a. Você pode usar um portão X para acordar qualquer gato colorido?
5. Seu próximo desafio é transformar um gato vermelho acordado em um gato azul acordado.
 - a. Você pode usar uma porta X para fazer isso?
6. Tentaremos outras portas. Desenhe a porta Z e coloque uma ficha de gato vermelho no círculo Acordo. Use sua tabela de mudança de fase do QubitCat para determinar o efeito do caminho vermelho em um gato vermelho acordo.
 - a. Você mudou a fase do gato vermelho acordado para um gato azul? Anote isso na sua tabela de resultados.

- b. Você consegue transformar um gato verde acordado em um gato amarelo acordado usando a porta Z? Anote isso na sua tabela de resultados.
7. Há mais duas portas para trabalhar, chamadas de porta Y e porta S. Experimente-as para ver qual delas transforma um gato vermelho adormecido em um gato amarelo acordado. Anote os resultados na sua tabela.
8. Há mais nas portas quânticas do que apenas essas quatro que você testou. Computadores quânticos também podem colocar qubits em superposição. Isso é chamado de preparação do estado. Computadores quânticos usam portas Hadamard (H) para isso. Desenhe sua porta H e trace os dois caminhos do Sono e os dois caminhos da Vigília. Procure por mudanças de fase em qualquer um dos caminhos. Comece um novo desafio colocando um único gato azul no círculo do Sono em uma porta H. Isso resultará em um gato em dois estados diferentes (Sono e Vigília), como mostrado na imagem abaixo. Observe que ainda há apenas um único gato, mas ele está em um estado de superposição (Sono e Vigília), que você aprendeu em seu experimento anterior com as moedas.



9. Agora, quando aplicamos outra porta, temos ambos os estados para trabalhar. Use a superposição gato azul (dois tokens) como entrada para uma porta Z. Isso significa que você "aplica" uma porta Z e move o gato azul adormecido da porta H para o círculo de sono da porta Z, e também o gato azul acordado da porta H para o círculo de vigília da porta Z. Certifique-se de verificar as mudanças de fase ao aplicar a porta Z.

10. Para obter um resultado final, precisamos fazer uma medição aplicando uma segunda porta Hadamard (H). Ao contrário da primeira vez que usamos a porta H, agora há marcadores nos estados de vigília e sono. Isso resultará em quatro marcadores de gato na parte inferior da segunda porta Hadamard (H), sendo dois no círculo do Sono e dois no círculo da Vigília. Há um exemplo disso abaixo (embora não seja para este desafio).



11. Quando dois marcadores de gato ocupam o mesmo espaço, eles interferem um no outro e podem se anular. Quando usados corretamente, restará apenas um gato, pois o outro se anulará e se anulará. Use sua tabela de interferência do QubitCat para determinar o resultado final do seu gato.
- Você acordou seu gato azul? Registre o resultado na tabela.
12. Aqui vai outro desafio: comece com um gato vermelho dormindo. Aplique uma porta H e depois uma porta Y. Finalize fazendo uma medição aplicando a segunda porta H.
- Você tem um gato acordado?
13. Existe mais uma porta muito especial, exclusiva da computação quântica, chamada de porta CNOT. O "C" significa controlado, e são necessários dois qubits. O qubit na parte superior da porta é o bit de controle e o qubit de destino está na parte inferior da porta. Se o qubit de controle estiver no estado de suspensão, o qubit de destino segue o caminho à esquerda, começando no mesmo estado do qubit de controle (aqui, suspensão). Examine o caminho para ver se o qubit de destino sofreu uma mudança de estado. Se, em vez disso, o qubit de controle estiver no estado Acordado, o caminho à direita é seguido

(novamente, o qubit alvo segue o caminho à direita no mesmo estado que o qubit de controle (aqui, Dormindo). Examine esse caminho e observe se o estado ou a fase do qubit alvo é alterado. Como você pode ver, o estado do qubit alvo depende do estado do qubit de controle. Este é um exemplo de entrelaçamento. O entrelaçamento é uma propriedade do sistema de dois qubits e é um fenômeno quântico único.

14. Preencha sua tabela de resultados para mostrar o estado de um gato azul acordado com um gato de controle acordado na porta CNOT. Repita com um gato azul adormecido e um gato de controle adormecido.

3.3.4. Resultados

Portão	Começando		Final	
	Cor (fase)	Estado (bit)	Cor (fase)	Estado (bit)
X	Azul	Sono		
X	Vermelho	Sono		
X	Verde	Sono		
X	Amarelo	Sono		
Z	Vermelho	Acordado		
Z	Verde	Acordado		
Y	Vermelho	Sono		
S	Vermelho	Sono		
HZH	Azul	Sono		
HYH	Vermelho	Sono		
CNOT (controle acordado)	Azul	Acordado		
CNOT (controle do sono)	Azul	Sono		

3.3.5. Perguntas pós-atividade

1. O que os gatos e suas cores representam neste jogo?

2. O que é interferência de ondas? Como isso se manifestou analogamente neste jogo?

3. O que é superposição? Como isso se manifestou analogamente neste jogo?

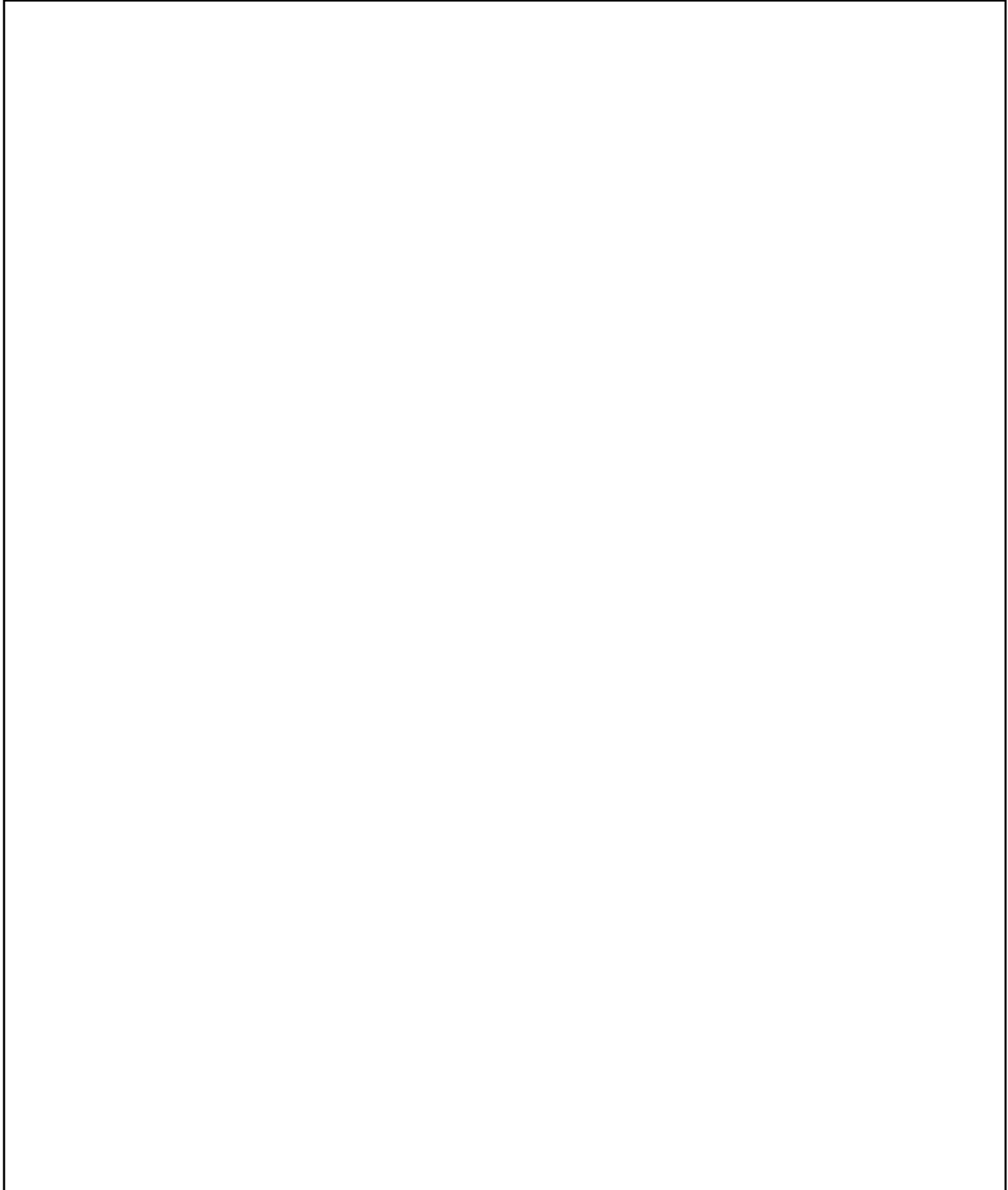
4. O que é entrelaçamento? Como isso se manifestou analogamente neste jogo?

5. O que você gostou neste jogo?

6. O que você achou desafiador neste jogo?

4.2 Esboço de Design

Esboce os designs da mudança do qubit do seu gato abaixo. Escreva o desafio da mudança usando: Pegue um gato (insira a cor) que está (dormindo/acordado) e transforme-o em um gato que está (insira a cor) (insira o estado).



5. Actividade suplementar: Computação quântica com Python e Qiskit

5.1 Informações Adicionais

A computação quântica é um novo paradigma da computação que utiliza os princípios da mecânica quântica para resolver problemas complexos intratáveis para computadores clássicos. Ao contrário dos computadores clássicos, que usam bits para representar informações como 0 ou 1, os computadores quânticos usam qubits, que podem existir em uma superposição de ambos os estados simultaneamente. Isso, juntamente com outros fenômenos quânticos, como entrelaçamento e interferência, permite que os computadores quânticos realizem certos cálculos muito mais rapidamente do que os computadores clássicos.

Em resumo, dois bits de um computador clássico podem estar em quatro estados possíveis (00, 01, 10 ou 11), mas apenas em um deles por vez. Isso limita o computador a processar uma entrada por vez (como tentar um corredor no labirinto). Em um computador quântico, dois qubits também podem representar exatamente os mesmos quatro estados (00, 01, 10 ou 11) ao mesmo tempo. A computação quântica é a ideia de que podemos usar essa quebra de regra quântica para processar informações de uma nova maneira — totalmente diferente de como os computadores comuns funcionam.

Para começar a programar computadores quânticos, você usará Python e Qiskit, uma estrutura de computação quântica de código aberto desenvolvida pela IBM. O Qiskit fornece ferramentas para criar, manipular e simular circuitos quânticos.

5.2 Procedimento

1. Antes de começar, você precisa instalar o Python, o Qiskit e o Jupyter Lab. Siga estes passos para configurar seu ambiente:
 - a. Baixe o Python do site oficial (<https://www.python.org/downloads/>) e instale-o. Certifique-se de adicionar o Python ao PATH do seu sistema durante a instalação.
 - b. Abra seu terminal ou prompt de comando.
 - c. Use o pip, o instalador de pacotes do Python, para instalar o Qiskit ('pip install qiskit').
 - d. Use o pip para instalar uma ferramenta de visualização do Qiskit ('pip install pylatexenc')

- e. Use o pip (ou outro método: <https://jupyter.org/install>) para instalar o Jupyter Lab ('pip install jupyterlab')
 - f. Abra um interpretador Python digitando python no seu terminal. Importe os módulos do Qiskit para verificar a instalação ('import qiskit' e depois 'print(qiskit.__version__)').
2. Crie circuitos quânticos simples para gerar um estado de superposição e um estado de entrelaçamento, que é um conceito fundamental na computação quântica. Veja como fazer isso em um notebook Jupyter:
- a. Importe os pacotes Python necessários.
 - i. `import qiskit as q`
 - ii. `from qiskit import quantum_info as qi`
 - iii. `from qiskit import QuantumCircuit`
 - b. Instanciar a classe de circuito quântico.
 - i. `qc = QuantumCircuit(2) # o argumento (2) representa 2 qubits com os quais vamos trabalhar`
 - ii. `qc.draw(output = 'mpl')`
 - iii. `state_0 = qi.Statevector(qc)`
 - iv. `state_0.draw('bloch')`
 - c. Aplique diferentes portas nesses qubits usando métodos diferentes, como x, h, etc.
 - i. `qc.x(0) # x gate é aplicado no primeiro qubit`
 - ii. `qc.h(1) # Portão Hadamard no segundo qubit`
 - iii. `qc.draw(output = 'mpl')`
 - d. Visualize a saída desses circuitos. (#para descobrir o vetor de saída na saída do circuito. Vamos nomear o vetor de estado state_1)
 - i. `state_1 = qi.Statevector(qc)`
 - ii. `state_1.draw(output='bloch')`
 - e. Aplique uma porta CNOT no primeiro qubit.
 - i. `qc2 = QuantumCircuit(2)`
 - ii. `qc2.x(0) # x gate no primeiro qubit ...`
 - iii. `qc2.cx(0, 1) # Porta CNOT no primeiro qubit ...`
 - iv. `qc2.draw(output = 'mpl')`
 - v. `state_3 = qi.Statevector(qc2)`
 - vi. `state_3.draw('bloch')`

6. Fontes

Histórico de computação quântica

- <https://www.ibm.com/think/topics/quantum-cryptography>
- <https://risingwave.com/blog/beginners-guide-to-quantum-computing-for-dummies/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=tsbCSkvHhMo>

Protocolo BB84

- <https://arxiv.org/pdf/2110.01402>

“Save Schrodinger’s Cat” jogo

- https://www.youtube.com/watch?v=1OEjGWOUhM&ab_channel=PhysicsCentral
- <https://www.aps.org/learning-resources/save-schroedingers-cat>