
KIT QUANTUM (Q)

Entrelaçamento:

Laboratório para Alunos do Ensino
Fundamental

Manual do Aluna/o



WOMEN SUPPORTING
WOMEN IN THE SCIENCES

Conhecer um Cientista



Linda Bih

Numfor

Aluna de doutoramento, Nelson Mandela African Institution of Science and Technology, Arusha e WS2 Lab Kit Design, Entanglement

Sobre mim:

Recentemente, defendi meu doutoramento em

Ciência e Engenharia de Materiais pelo Instituto Africano de Ciência e Tecnologia Nelson Mandela, em Arusha, Tanzânia, e minha pesquisa de doutoramento se concentrou em tratamento de águas residuais, biocarvão, cerâmica, geopolímeros e materiais de construção sustentáveis. Como cientista de materiais com formação em química, também sou apaixonado por ciência quântica devido ao seu potencial de inovação na área. Acredito que fomentar a compreensão da ciência quântica desde o início pode inspirar a próxima geração de cientistas a enfrentar desafios globais.

Qual é a minha filosofia? Ao longo da minha carreira, segui um princípio que me guiou: "Tenho meu próprio caminho e o seguirei com diligência e propósito". Essa filosofia me permitiu focar no meu próprio desenvolvimento, em vez de me comparar aos outros. Tem sido uma jornada de aprendizagem contínua, resiliência e dedicação, onde cada desafio foi enfrentado com determinação e cada sucesso foi reflexo de um esforço consistente.

Declaração de Missão

A missão deste laboratório é ensinar alunos do ensino fundamental (idades entre 5 e 11 anos) sobre entrelaçamento e medição de estados entrelaçados por meio de experimentos e actividades análogas.

Conteúdo

1. Introdução aos kits de laboratório WS2	5
1.1. Informações sobre o WS2	5
1.2. Vocabulário-chave.....	5
1.3. Pergunta-chave.....	6
1.4. Objectivo	6
2. Contexto dos Tópicos Principais	6
2.1. Entrelaçamento e Correlação.....	6
2.2. Lista de Suprimentos	7
2.3. Informações de segurança	8
3. Experimentos.....	8
3.1. Questões pré-laboratoriais	8
3.2. Parte I: “Medindo” pela visão.....	9
3.2.1. Perguntas pré-actividade	9
3.2.2. Materiais.....	10
3.2.3. Procedimento (trabalho em grupos de 3-4)	10
3.2.4. Perguntas pós-actividade.....	11
3.3. Parte II. “Medindo” pelo tacto.....	12
3.3.1. Questões pré-experimentais	12
3.3.2. Materiais.....	12
3.3.3. Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)	13
3.3.4. Resultados	13
3.3.5. Questões pós-experimento.....	16

4. Desafio de Design.....	17
4.1 Questões de Design	17
4.2 Esboço de Design.....	19
5. Fontes.....	20

1. Introdução aos kits de laboratório WS2

1.1. Informações sobre o 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 a fim de 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 por 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 APS sobre Educação, pelo Centro de Pesquisa em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Northwestern e pelo Departamento de Assuntos Estudantis Multiculturais da Universidade Northwestern. O WS2 é extremamente grato aos voluntários responsáveis pelo projecto do kit de laboratório por seu árduo trabalho 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. Vocabulário-chave

- Quântico – a menor unidade possível de algo
- Entrelaçamento – quando duas ou mais partículas se ligam de tal forma que partilham o mesmo destino, mesmo quando separadas por uma grande distância física
- Superposição – a ideia de que uma partícula pode existir em múltiplos estados ao mesmo tempo até ser medida ou observada
- Medição – o processo de observação de um sistema quântico que força o sistema a atingir um estado definido

1.3. Pergunta-chave

- Como o conhecimento de informações sobre uma partícula entrelaçada afecta o que você sabe sobre a outra?

1.4. Objectivo

O objectivo deste manual de laboratório é introduzir o entrelaçamento quântico por meio de actividades e experimentos. Os alunos refletirão sobre como partículas entrelaçadas em superposição podem ser medidas para compreender informações sobre ambas as partículas instantaneamente, independentemente da distância entre elas. Isso será demonstrado analogamente com balões e bolas, utilizando duas maneiras diferentes de "medição".

2. Contexto dos Tópicos Principais

2.1. Entrelaçamento e Correlação

Você já jogou uma moeda para o alto e esperou para ver se daria cara ou coroa? E se a moeda pudesse dar cara e coroa ao mesmo tempo até você olhar para ela? Essa ideia estranha é chamada de superposição e é um conceito-chave na mecânica quântica, que é basicamente o estudo da matéria em escalas muito pequenas. Na verdade, quântico significa a menor unidade de algo. Agora imagine que você tem dois balões de cores diferentes, um azul e um vermelho. Agora você dá um balão para um amigo do outro lado do mundo e fica com o segundo balão, mas ainda não sabe as cores dos balões. Se fossem balões quânticos, diríamos que os balões estão em estados de superposição, o que significa que são vermelhos e azuis. Os balões também têm outra propriedade interessante: estão interligados, também conhecidos como correlacionados. Assim que você verifica a cor de um balão, instantaneamente sabe a cor do outro, mesmo que eles estejam em lados opostos do mundo. Essa conexão misteriosa é conhecida como entrelaçamento e também ocorre em sistemas quânticos. O entrelaçamento fornece correlações instantâneas entre duas coisas após a medição,

que é o processo de observação que força o estado de algo a se tornar definido (e não em um estado de superposição).

Então, como funcionam esses efeitos quânticos? Quando uma partícula quântica, como um fóton, que é a menor unidade de luz, não está sendo observada, ela existe em uma mistura de múltiplas possibilidades. Mas, no momento em que é medida, ela "escolhe" um estado definido. Da mesma forma, partículas entrelaçadas permanecem misteriosamente ligadas, o que significa que a medição de uma determina instantaneamente o estado da outra (como demonstrado visualmente na Figura 1), independentemente da distância entre elas. Essa propriedade desafia nossa compreensão cotidiana de causa e efeito.

Compreender o entrelaçamento quântico é importante, pois constitui a base de algumas tecnologias modernas, incluindo comunicações seguras. Por exemplo, em algo chamado distribuição quântica de chaves (QKD), partículas entrelaçadas são usadas para gerar chaves secretas extremamente seguras. Qualquer tentativa de espionagem perturba o entrelaçamento, alertando imediatamente os usuários sobre uma violação de segurança.

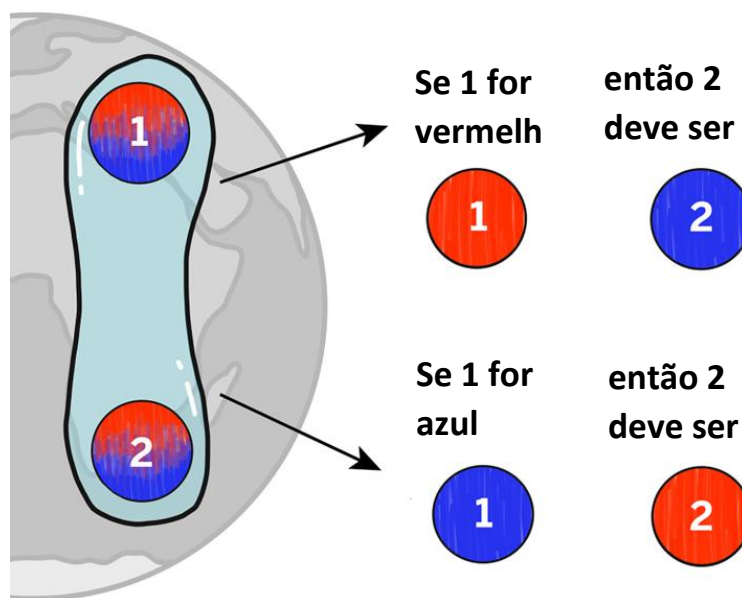


Figura 1. Uma demonstração da regra do entrelaçamento usando partículas entrelaçadas de duas cores, onde se a primeira partícula for vermelha, sabemos imediatamente que a segunda partícula é azul, e vice-versa. Fonte: <https://quantumatlas.umd.edu/entry/entanglement/>.

2.2. Lista de Suprimentos

- Duas cores de balões (como vermelho e azul)

- Sacos opacos (como sacos de lixo pretos)
- Barbante ou fita adesiva (para amarrar ou prender os balões)
- Copos idênticos
- Dois tipos de bolas com pesos bem diferentes (como metal e plástico)
- Marcador
- Tecido (como uma venda)
- Balança (opcional)

2.3. Informações de segurança

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

- Objectos pequenos, como bolas, podem representar risco de asfixia, portanto, evite colocá-los na boca.
- Os alunos devem manusear os balões com cuidado para evitar estourá-los, o que pode causar ferimentos leves.
- Ao se deslocarem para locais diferentes ou para trás de uma divisória, especialmente com os olhos vendados, prestem atenção aos obstáculos para evitar acidentes.
- Sempre realize as actividades sob a supervisão do professor.

3. Experimentos

3.1. Questões pré-laboratoriais

1. O que significa duas coisas estarem entrelaçadas (em um sentido mecânico quântico)?

2. O que significa algo estar em superposição (no sentido da mecânica quântica)?

3. O que significa medir algo (no sentido da mecânica quântica)?

4. Como você pode forçar algo a estar em um estado definido e não em superposição?

3.2. Parte I: “Medindo” pela visão

3.2.1. Perguntas pré-actividade

1. Se um item, como um balão (imagine que o balão não é um balão normal, mas um balão “quântico”), está em um estado de superposição onde é vermelho e azul, como você poderia forçá-lo a ter uma das duas cores?

2. Se dois balões "quânticos" são entrelaçados de tal forma que, se um for vermelho, o outro deve ser azul, e então os dois balões são colocados em estados de superposição, o que a medição de um dos balões como vermelho lhe diz instantaneamente sobre o outro balão?

3.2.2. Materiais

- Dois balões coloridos (como vermelho e azul)
- Barbante ou fita adesiva
- Sacos opacos
- Marcador

3.2.3. Procedimento (trabalho em grupos de 3-4)

1. Encha dois balões de tamanhos semelhantes e cores diferentes.
2. Dê nomes aos seus dois balões (você pode escrever os nomes nos balões). Podem ser nomes divertidos como Bluidz, Greenbird e Quantoon.
3. Amarre um barbante ou coloque fita adesiva nos balões para que sejam mais fáceis de pegar e segurar.
4. Todos os membros do grupo, excepto um, se viram e desviam o olhar dos balões.
5. O membro do grupo que ainda estiver olhando será o "preparador do estado" e colocará os dois balões, um de cada, em sacos opacos.
6. Os outros membros do grupo podem agora olhar novamente.
7. Um membro do grupo (não o "preparador do estado") deve pegar um saco (não olhe dentro do saco) e outro membro do grupo (não o "preparador do estado") deve pegar o segundo saco (não olhe dentro do saco).
8. Os dois membros do grupo com os sacos devem ir para extremidades opostas da sala (ou pelo menos a alguns metros de distância).

3.3. Parte II. “Medindo” pelo tacto

3.3.1. Questões pré-experimentais

1. Se um item, como uma bola (imagine que a bola não é uma bola normal, mas uma bola “quântica”), está em um estado de superposição onde é pesado e leve, como você poderia forçá-lo a ter um dos dois pesos?

2. Se duas bolas “quânticas” são entrelaçadas de tal forma que, se uma for pesada, a outra deve ser leve, e então as duas bolas são colocadas em estados de superposição, o que a medição do peso de uma das bolas lhe diz instantaneamente sobre a outra bola?

3.3.2. Materiais

- Copos
- Dois tipos de bolas com pesos bem diferentes (como metal e plástico)
- Tecido para venda
- Balança (opcional)

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

1. Dê ao seu grupo um nome divertido (como "Super-heróis" ou "Amigos Quânticos").
2. Se você tiver uma balança, prossiga para a próxima etapa. Se não tiver uma balança, pule para a etapa 6.
3. Permita que todos no grupo adivinhem os pesos das duas bolas diferentes e registem os palpites.
4. Pese as bolas uma de cada vez e registre os pesos.
5. Anuncie o membro do grupo que chegou mais perto dos pesos correctos.
6. Permita que todos no grupo sintam as duas bolas para entender suas diferenças de peso. Você pode numerar as bolas #1 e #2 ou dar nomes a elas para facilitar a identificação.
7. Atribua papéis aos membros do grupo:
 - a. Um aluno será o "preparador".
 - b. Um aluno será o "experimentador".
 - c. Um aluno será o "registador".
8. O registador coloca a venda sobre os olhos do experimentador.
9. O preparador coloca uma bola em cada copo.
10. O preparador entrega um copo ao experimentador com os olhos vendados.
11. O experimentador adivinha qual bola está no copo que está segurando, bem como no outro copo.
12. O registador regista o palpite.
13. Repita os passos 10 a 12 cinco vezes.
14. O experimentador remove a venda e observa os resultados.
15. Repita os passos 7 a 14 com papéis diferentes para os membros do grupo.

3.3.4. Resultados

Use esta tabela para registrar os palpites para os pesos das bolas. Os pesos correctos das bolas podem ser listados na primeira linha.

Nome	Bola #1 Palpite	Mais próximo?	Bola #2 Palpite	Mais próximo?
Peso Correcto				

Use estas tabelas para registrar os palpites do experimentador sobre qual bola está no copo que ele está segurando e qual bola está no outro copo que ele não está segurando. Há várias tabelas para quando os papéis no grupo são atribuídos.

Registador:

Experimentador:

Julgamento	Adivinhe qual bola está no copo que o experimentador está segurando	Adivinhe se o experimentador não está segurando a bola no copo	Correcto? (Sim ou Não)
#1			
#2			
#3			
#4			
#5			

Registador:

Experimentador:

Julgamento	Adivinhe qual bola está no copo que o experimentador está segurando	Adivinhe se o experimentador não está segurando a bola no copo	Correcto? (Sim ou Não)
#1			
#2			
#3			
#4			
#5			

Registador:

Experimentador:

Julgamento	Adivinhe qual bola está no copo que o experimentador está segurando	Adivinhe se o experimentador não está segurando a bola no copo	Correcto? (Sim ou Não)
#1			
#2			
#3			
#4			
#5			

3.3.5. Questões pós-experimento

1. Você consegue perceber facilmente a diferença entre os pesos das duas bolas ao segurá-las?
2. Se descrevermos as bolas nos copos mecanicamente, quais eram seus pesos antes de serem sentidas pelo experimentador?
3. Como o conhecimento do peso de uma bola impactou o conhecimento sobre a outra bola? A distância entre os dois copos/bolas importou?
4. Se descrevermos as bolas nos copos mecanicamente, diríamos que elas estão entrelaçadas ou não? Explique o porquê.
5. Com que frequência o experimentador acertou as bolas nos copos? Se ele não acertou todas as vezes, explique por que você acha que isso aconteceu.

6. Como o papel de “medir” foi diferente neste experimento em comparação à actividade anterior com os balões?

4. Desafio de Design

O Desafio: Projectar uma ferramenta ou máquina que utilize entrelaçamento!

Você aprendeu que o entrelaçamento cria um estado quântico partilhado entre duas partes ou partículas e que medir uma delas fornece informações sobre a outra (pense nas duas bolas ou nos dois balões de antes). Como discutimos anteriormente, a correlação, ou ligação, entre duas coisas também significa que, se alguém ou algo perturba o entrelaçamento, os estados das duas coisas se tornam definidos. Essa ideia é usada na criptografia quântica para identificar se alguém está espionando a comunicação através de um canal quântico. Agora, usaremos o que você aprendeu para projectar uma ferramenta ou máquina que possa usar o entrelaçamento para fazer algo útil ou divertido. Seja criativo e imagine que o comportamento da mecânica quântica, como o entrelaçamento, se estende a objectos grandes ao seu redor (como balões, xícaras, bolas, etc.).

4.1 Questões de Design

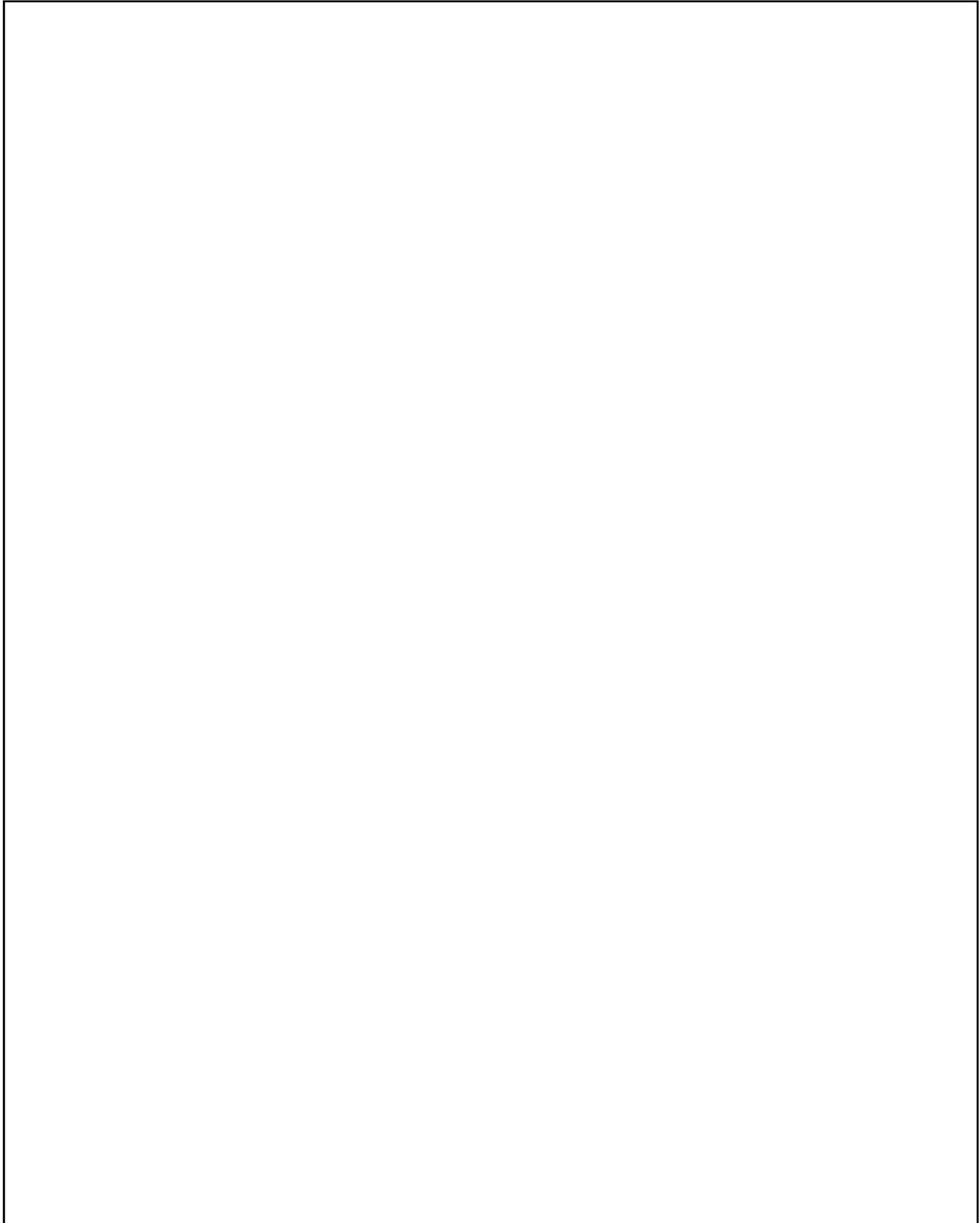
1. Para que o entrelaçamento e a superposição poderiam ser úteis no mundo real (você pode imaginar que o entrelaçamento e a superposição se estendem a objectos grandes ao seu redor)? Seja criativo e pense de forma ampla.

2. Para que você usará o entrelaçamento e a superposição em sua ferramenta ou máquina?

3. Que tipos de materiais você precisará para criar sua ferramenta ou máquina?

4.2 Esboço de Design

Esboce o design da sua ferramenta ou máquina abaixo.

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for a design sketch of a tool or machine.

5. Fontes

Entrelaçamento quântico, <https://quantumatlas.umd.edu/entry/entanglement/>.

O que é quântico em física e computação?, por Mary Shacklett e Gavin Wright, <https://www.techtarget.com/whatis/definition/quantum>