
KIT QUANTUM (Q)

Entrelaçamento:

Laboratório para Alunos do Ensino
Fundamental

Manual do Professor



WOMEN SUPPORTING
WOMEN IN THE SCIENCES

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	4
1.1. Informações sobre o WS2	4
1.2. Usando este Guia	4
1.3. Vocabulário-chave.....	5
1.4. Pergunta-chave.....	6
1.5. Objectivo	6
1.6. Conceitos científicos fundamentais abordados	6
1.7. Habilidades práticas.....	6
2. Contexto dos Tópicos Principais	7
2.1. Entrelaçamento e Correlação.....	7
3. Resumo dos Experimentos.....	8
3.1. Lista de Suprimentos	8
3.2. Informações de segurança	9
3.3. Pré-laboratório do professor.....	9
4. Experimentos.....	9
4.1. Questões pré-laboratoriais	10
4.2. Parte I: “Medindo” pela visão.....	10
4.2.1. Perguntas pré-actividade	10
4.2.2. Materiais.....	11
4.2.3. Procedimento (trabalho em grupos de 3-4)	11
4.2.4. Perguntas pós-actividade.....	11

4.3.	Parte II. "Medindo" pelo tacto.....	12
4.3.1.	Questões pré-experimentais	12
4.3.2.	Materiais.....	13
4.3.3.	Procedimento (trabalho em grupos de 2 a 4)	13
4.3.4.	Resultados	14
4.3.5.	Questões pós-experimento.....	16
5.	Desafio de Design.....	17
5.1	Questões de Design	17
5.2	Esboço de Design.....	18
6.	Fontes.....	19

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 projeto 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. Usando este Guia

Este manual deve ser utilizado pelo professor ou facilitador do kit de laboratório e possui conteúdo semelhante ao manual do aluno, mas pode conter material adicional, a saber: Conceitos Fundamentais de Ciências Abordados, Habilidades Práticas, Resumo de Experimentos, Pré-Laboratório do Professor e Solução de Problemas. Essas seções adicionais visam fornecer ao professor o conhecimento e a base essenciais para a implementação bem-sucedida deste kit de laboratório em sala de aula. Recomenda-se que os professores deste kit de laboratório leiam o guia do início ao fim para se familiarizarem com o conteúdo antes de ensiná-lo aos alunos. Dúvidas sobre o conteúdo podem ser direcionadas a qualquer momento para

ws2global.org@gmail.com, usando o assunto "Dúvidas sobre o Conteúdo do Kit de Laboratório".

NOTAS IMPORTANTES:

- Este kit de laboratório destina-se ao uso com alunos do ensino fundamental (idades entre 5 e 11 anos), mas, dependendo da formação educacional específica dos alunos, o conteúdo pode precisar ser modificado pelo professor para torná-lo mais simples ou mais complexo. O professor também é incentivado a abordar o conteúdo no ritmo que melhor se adapte aos alunos; alguns alunos mais jovens podem precisar de mais tempo e atenção do professor e/ou facilitador para analisar as questões e os experimentos, enquanto alunos mais velhos podem ser mais independentes e exigir menos atenção do professor e/ou facilitador. Portanto, o conteúdo abordado, a profundidade da abordagem e o ritmo ficam a critério do professor e/ou facilitador.
- O conteúdo deste manual de kit de laboratório pode não se adequar ao currículo específico da escola em que é ensinado. Fica a critério do(s) facilitador(es) e do(s) professor(es) introduzir novos conteúdos ou pular determinadas seções que não se aplicam às suas salas de aula.
- Em certas áreas, podem ser necessárias modificações na lista de materiais, dependendo da disponibilidade de materiais na área específica em que o laboratório está sendo ministrado. Tentamos listar algumas alternativas na lista de materiais, mas entendemos que esta lista de alternativas não é exaustiva.
- Nos experimentos, os alunos são divididos em grupos de três a quatro. Se os materiais permitirem, os alunos podem ser divididos em grupos de dois.

1.3. 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

1.4. Pergunta-chave

- Como o conhecimento de informações sobre uma partícula entrelaçada afecta o que você sabe sobre a outra?
 - *Resposta: Em sistemas entrelaçados, as partículas estão ligadas ou correlacionadas, então saber informações sobre uma delas instantaneamente fornece informações sobre a outra.*

1.5. 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".

1.6. Conceitos científicos fundamentais abordados

Este kit de laboratório introduz o tópico de entrelaçamento, relevante para diversas áreas, incluindo Física, Química e Computação, para alunos do ensino fundamental e médio. Especificamente, o kit de laboratório incentiva os alunos a refletir sobre como partículas entrelaçadas em estados de superposição podem ser medidas. Os alunos obterão as seguintes conclusões principais: (1) superposição significa que um objecto pode existir em múltiplos estados simultaneamente; (2) objectos entrelaçados estão ligados de tal forma que saber algo sobre um deles fornece informações sobre o outro instantaneamente, mesmo que o objecto esteja do outro lado do mundo; e (3) a medição de um sistema força os objectos a estarem em estados definidos.

1.7. Habilidades práticas

- Os alunos compreenderão entrelaçamento e superposição, relevantes para criptografia quântica e comunicações.
- Os alunos trabalharão juntos em equipes e desempenharão papéis rotineiros nessas equipes.

- Os alunos ganharão experiência pesando objectos e registrando resultados em tabelas.

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.

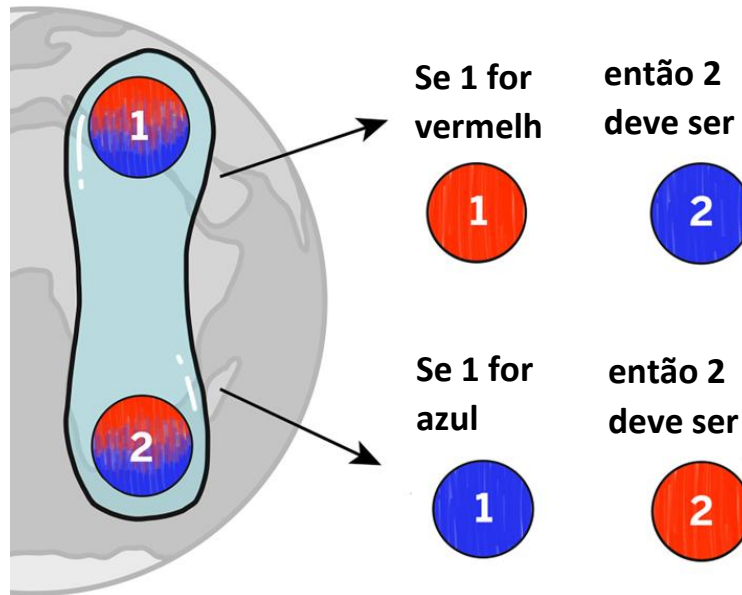


Figura 1. Uma demonstração da regra do entrelaçamento usando partículas entrelaçadas de duas cores, onde se a primeira partícula for vermelha, sabemos imediatamente que a segunda partícula é azul, e vice-versa. Fonte: <https://quantumatlas.umd.edu/entry/entanglement/>.

3. Resumo dos Experimentos

Este kit de laboratório consiste em uma actividade, um experimento e um desafio de design para compreender os conceitos de entrelaçamento. Esta investigação começará fornecendo informações básicas sobre entrelaçamento, correlação e superposição, antes de introduzir os alunos a esses fenômenos por meio de analogias. Os objectivos dos experimentos e do desafio de design são os seguintes:

Parte I: Demonstrar a superposição e o entrelaçamento com balões e a medição pela visão

Parte II: Demonstrar a superposição e o entrelaçamento com bolas e a medição pelo tacto

Desafio de Design: Projectar um dispositivo que utilize entrelaçamento e superposição para realizar algo divertido ou útil

3.1. 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)

3.2. 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.

3.3. Pré-laboratório do professor

Os professores podem organizar os materiais para os experimentos com antecedência. Para cada aluno ou grupo de 2 a 4 alunos, os materiais necessários são: 2 balões de cores diferentes, 2 sacos opacos, 2 pedaços de barbante ou fita adesiva, 2 copos idênticos, 2 bolas de pesos bem diferentes, tecido para usar como venda e uma caneta ou lápis. Deve haver marcadores e uma balança opcional que a turma possa partilhar.

4. Experimentos

Nota para professores:

Incentive a discussão aberta e as perguntas da turma ao apresentar os experimentos.

4.1. Questões pré-laboratoriais

1. O que significa duas coisas estarem entrelaçadas (em um sentido mecânico quântico)?
 - a. Resposta: O entrelaçamento se refere ao fenômeno em que dois objectos estão ligados de tal forma que partilham o mesmo destino, mesmo quando separados por uma grande distância física.
2. O que significa algo estar em superposição (no sentido da mecânica quântica)?
 - a. Resposta: Superposição significa que algo pode existir em vários estados ao mesmo tempo até ser medido ou observado.
3. O que significa medir algo (no sentido da mecânica quântica)?
 - a. Resposta: Medir algo é o processo de observar um sistema mecânico quântico que o força a se tornar definido.
4. Como você pode forçar algo a estar em um estado definido e não em superposição?
 - a. Resposta: Você deve observá-lo ou medi-lo. Isso "colapsará" o estado de superposição.

4.2. Parte I: “Medindo” pela visão

4.2.1. 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?
 - a. Resposta: Você pode forçar o balão a ter uma de duas cores medindo-o. Neste caso, medir significa vê-lo como uma de 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?
 - a. Resposta: Medir um balão e ver se ele é vermelho nos diz instantaneamente que o outro balão é azul.

4.2.2. Materiais

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

4.2.3. 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).
9. Ao contar até cinco, um dos membros do grupo com uma sacola deve retirar seu balão da sacola.
10. Os outros membros do grupo (além do "preparador do estado") correrão para dizer o nome do outro balão que ainda está na outra sacola.
11. O membro do grupo com a outra sacola pode então remover seu balão da sacola.
12. Repita os passos 4 a 11 com alunos diferentes sendo o "preparador do estado".

4.2.4. Perguntas pós-actividade

1. Se descrevermos os balões nos sacos mecanicamente, quais eram as cores deles antes de serem removidos dos sacos?

- a. *Resposta:* Os balões estavam em um estado de superposição e tinham as duas cores ao mesmo tempo.
2. Como saber a cor de um balão impactou o que se sabia sobre o outro balão? A distância entre os dois balões importou?
 - a. *Resposta:* Saber uma cor significava que sabíamos instantaneamente a cor do outro balão. A distância entre os dois balões não importava – eles poderiam estar em lados opostos do mundo.
3. Se descrevêssemos os balões dentro dos sacos mecanicamente, diríamos que eles estavam entrelaçados ou não? Explique o porquê.
 - a. *Resposta:* Descreveríamos os dois balões como entrelaçados. Isso ocorre porque suas propriedades (cores) estavam interligadas e, assim que sabíamos a cor de um balão, sabíamos a do outro.
4. Qual era o papel do membro do grupo que era o “preparador do estado”?
 - a. *Resposta:* O “preparador do estado” foi a pessoa que criou o estado de superposição de balões.

4.3. Parte II. “Medindo” pelo tacto

4.3.1. 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?
 - a. *Resposta:* Você pode forçar a bola a ter um de dois pesos medindo-a. Neste caso, medir significa senti-la ou pesá-la.
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?
 - a. *Resposta:* Medir o peso de uma bola nos diz instantaneamente que a outra bola é leve.

4.3.2. Materiais

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

4.3.3. 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.

4.3.4. Resultados

Use esta tabela para registar 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 registar 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			
----	--	--	--

4.3.5. Questões pós-experimento

1. Você consegue perceber facilmente a diferença entre os pesos das duas bolas ao segurá-las?
 - a. Resposta: *Isso irá variar dependendo das bolas específicas usadas e dos alunos.*

2. Se descrevermos as bolas nos copos mecanicamente, quais eram seus pesos antes de serem sentidas pelo experimentador?
 - a. Resposta: *As bolas estavam em um estado de superposição e ambos eram pesos ao mesmo tempo.*

3. Como o conhecimento do peso de uma bola impactou o conhecimento sobre a outra bola? A distância entre os dois copos/bolas importou?
 - a. Resposta: *Saber o peso de uma bola (relativamente) significava que sabíamos instantaneamente o peso da outra. A distância entre as duas bolas não importava – elas poderiam estar em lados opostos do mundo.*

4. Se descrevermos as bolas nos copos mecanicamente, diríamos que elas estão entrelaçadas ou não? Explique o porquê.
 - a. Resposta: *Descreveríamos as duas bolas como entrelaçadas. Isso ocorre porque suas propriedades (pesos) estavam interligadas e, assim que soubemos o peso relativo de uma bola, soubemos o da outra.*

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.
 - a. Resposta: *Isso varia de acordo com o aluno. Possíveis razões para o erro podem ser o fato de as bolas terem pesos muito semelhantes ou o aluno ter cometido um erro. Incentive o pensamento criativo.*

6. Como o papel de “medir” foi diferente neste experimento em comparação à atividade anterior com os balões?
 - a. Resposta: *Aqui, a medição era feita sentindo o peso relativo, enquanto a medição anterior era feita observando a cor. Embora as medições fossem diferentes, ambas levaram ao colapso do estado de superposição.*

5. 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.).

5.1 Questões de Design

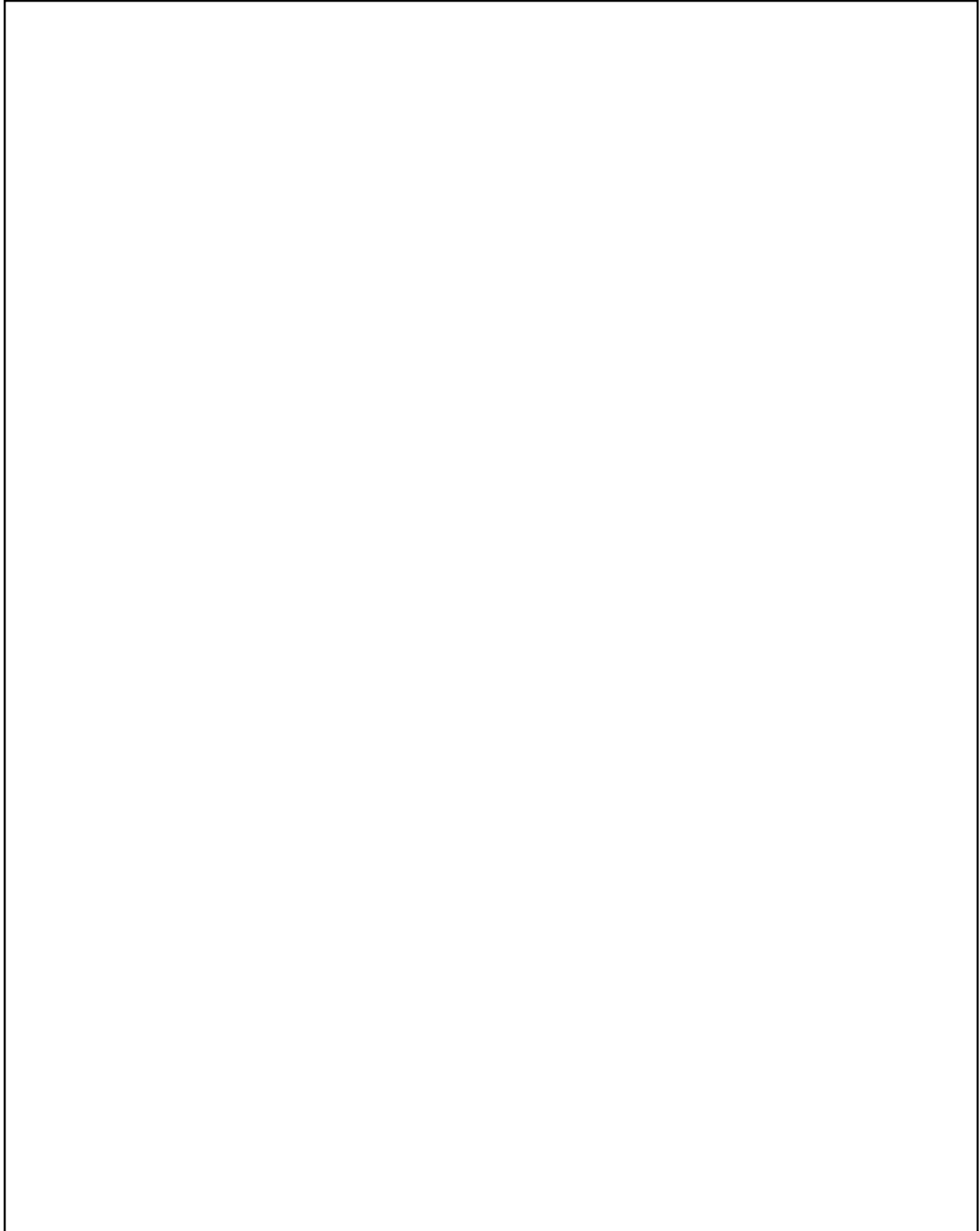
1. Para que o entrelaçamento e a superposição poderiam ser úteis no mundo real (você pode imaginar que o entrelaçamento e a superposição se estendem a objectos grandes ao seu redor)? Seja criativo e pense de forma ampla.
2. Para que você usará o entrelaçamento e a superposição em sua ferramenta ou máquina?
3. Que tipos de materiais você precisará para criar sua ferramenta ou máquina?

Possíveis respostas às perguntas (incentive a discussão em sala de aula):

Existem muitos usos e aplicações possíveis para entrelaçamento e superposição, incluindo teletransporte, criptografia, sensores e computadores. O objectivo é estimular a criatividade dos alunos e incentivar a partilha de ideias. Por fim, os alunos devem apresentar uma ideia e esboçá-la abaixo.

5.2 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.

6. 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>