

< 2.1 Hello World!: Virtuelles Labor />

Willkommen!


Im vorherigen Kurs hast Du das virtuelle Labor kennengelernt und mit dem Laser, der Zuckerlösung, dem Strahlteiler sowie dem Detektor gearbeitet. Mit diesen Bauteilen hast Du einen Quantenmünzwurf nachgebaut und mehr über Superposition gelernt. Im Video wurde Dir gerade erklärt was Quantenverschränkung ist. Nun sollst Du in einem Experiment Verschränkung erzeugen. Da dieses Experiment die Realisierung des „Hello World!“ aus dem Quantencomputerkurs (Ziad2) ist, kann man dieses ebenfalls als „Hello World!“ bezeichnen. Ein „Hello World!“ ist die erste Aufgabe, wenn man eine neue Programmiersprache erlernt. Normalerweise ist es das Ziel, einen Text mit ebendiesen Worten auszugeben. Bei Quantencomputern beschränkt sich das „Hello World!“ jedoch auf eine Demonstration der Phänomene Superposition und Verschränkung. Im unteren Bereich einer jeden Folie findest Du stets eine neue Aufgabe und im oberen Bereich, anstelle von „Willkommen!“ die Lösung und Erklärung der vorherigen Aufgabe. Viel Spaß!

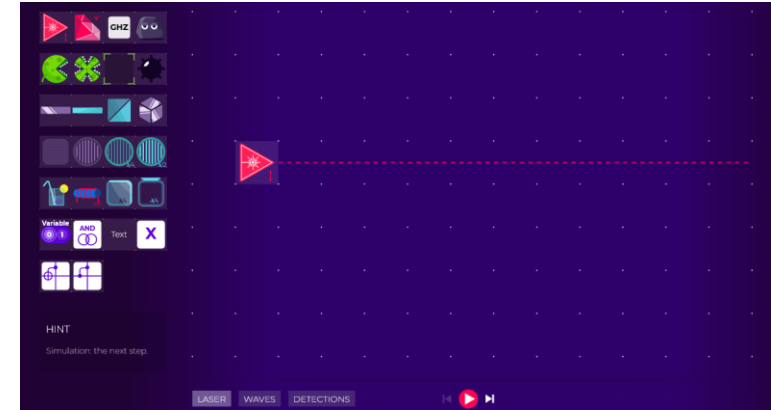
Aufgabe:

1. Gehe in Deinem Browser auf die Webseite <https://lab.quantumflytrap.com/lab>.
2. Achtung: Im Safari-Browser funktioniert die Seite manchmal nicht korrekt.
3. Du solltest nun ein virtuelles Labor vor Dir sehen, in welchem Du experimentieren kannst.
4. Mache Dich nochmal mit den Bauteilen vertraut, welche Du bereits aus dem vorherigen Kurs kennst.


< 2.2 Hello World!: Das CNOT-Gatter />

Lösung:

Die Seite die Du nun vor Dir siehst sollte so aussehen. Die große Fläche in der Mitte ist der Labortisch auf dem Du experimentieren kannst. Das Menü auf der linken Seite enthält die Objekte, die Du für Deine Experimente verwenden kannst. Ganz unten finden sich ein paar Knöpfe mit denen Du Einstellungen verändern sowie dein Experiment mit einem Klick auf  beginnen kannst.



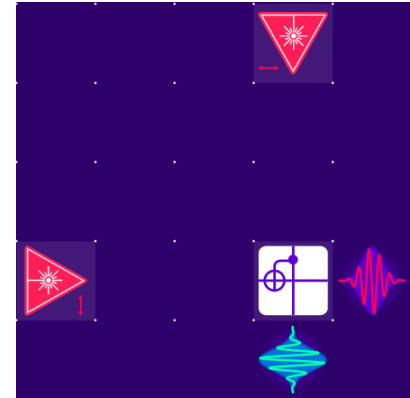
Aufgabe:

1. Platziere das neue Bauteil CNOT-Gatter auf dem Labortisch, sodass der Laser von links auf es raufstrahlt. 
2. Füge auf dem Labortisch einen zweiten Laser hinzu und drehe ihn so, dass er von oben auf das CNOT-Gatter strahlt. Klicke dafür entsprechend oft auf den Laser, um ihn jeweils um 90 Grad zu drehen.
3. Stelle sicher, dass beide Laser gleich weit weg vom CNOT-Gatter sind.
4. Klicke unten bei den Einstellungen auf „Waves“ und starte das Experiment. Was beobachtest Du?

< 2.3 Hello World!: Test des CNOT-Gatters />

Lösung:

Wenn Du das Experiment so aufbaust wie im Bild dargestellt, wirst Du feststellen, dass beide horizontal polarisierten Lichtpakete einfach durch das CNOT-Gatter fliegen, ohne dass etwas passiert. Das Paket, welches von links kommt nennt man Zielpaket und das von oben kommende ist das Kontrollpaket. Was es damit auf sich hat wirst Du gleich sehen.



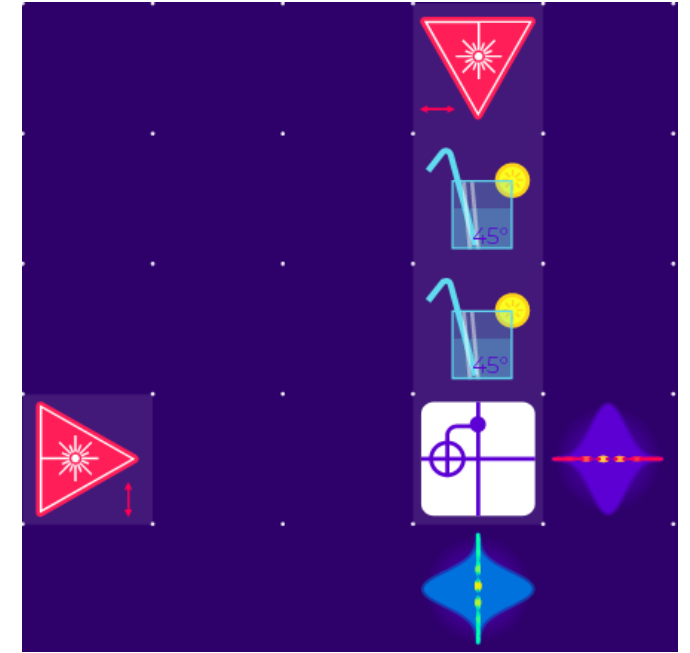
Aufgabe:

1. Setze zwei Zuckerlösungen zwischen den Laser, welcher das Kontrollpaket ausschickt, und das CNOT-Gatter. Starte das Experiment. Was beobachtest Du?
2. Schiebe den Laser, welcher das Zielpaket ausschickt, näher an das CNOT-Gatter. Beide Laser sind nun unterschiedlich weit weg vom CNOT-Gatter. Starte das Experiment erneut. Was beobachtest Du nun?

< 2.4 Hello World!: Funktion des CNOT-Gatters />

Lösung:

Solange beide Laser gleich weit weg vom CNOT-Gatter sind, solltest Du das im Bild dargestellte Szenario beobachten. Die beiden Zuckerlösungen drehen die Polarisation des Kontrollpakets um insgesamt 90 Grad, sodass nun eine vertikale Polarisation vorliegt. Nach dem CNOT-Gatter befinden sich beide Pakete in vertikaler Polarisation. D.h., dass das CNOT-Gatter die Polarisation des Zielpakets von horizontal zu vertikal gedreht und die des Kontrollpakets unverändert gelassen hat. Schiebst Du den Laser des Zielpaketes näher an das CNOT-Gatter heran, ändert sich keine der beiden Polarisationen, da nun beide Laser unterschiedlich weit vom CNOT-Gatter entfernt sind. Das CNOT-Gatter muss erst wissen, in welcher Polarisation das Kontrollpaket ist, bevor es weiß, ob es die Polarisation des Zielpaketes ändern muss.



Aufgabe:

1. Fasse die Ergebnisse der letzten beiden Aufgaben zusammen, um festzustellen, was das CNOT-Gatter mit den Polarisationen von Kontroll- und Zielpaket macht.

< 2.5 Hello World!: Superposition />

Lösung:

Aus Deiner Zusammenfassung solltest Du Folgendes schlussfolgern können: Das CNOT-Gatter dreht die Polarisation des Zielpakets in Abhängigkeit von der Polarisation des Kontrollpakets. Ist das Kontrollpaket horizontal polarisiert, ändert sich die Polarisation des Zielpakets nicht. Wenn das Kontrollpaket jedoch vertikal polarisiert ist, dreht das CNOT-Gatter die Polarisation des Zielpakets um 90 Grad. Die Polarisation des Kontrollpakets wird vom CNOT-Gatter nie verändert.

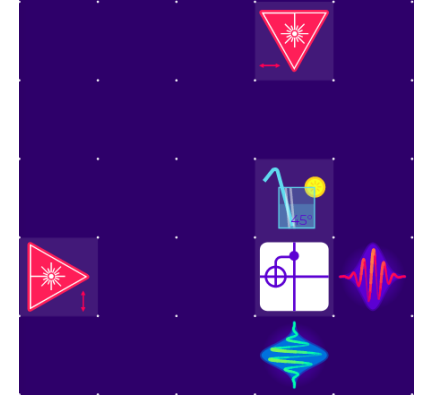
Aufgabe:

1. Entferne nun eine der beiden Zuckerlösungen, sodass die Polarisation des Kontrollpakets nur noch um 45 Grad gedreht wird und sich somit in einer Superposition befindet.
2. Starte das Experiment. Was beobachtest Du für Kontroll- und Zielpaket nach dem Durchqueren des CNOT-Gatters?

< 2.6 Hello World!: Der fertige Aufbau />

Lösung:

Du solltest beobachten, dass sich beide Pakete nach dem CNOT-Gatter jeweils in einer Superposition befinden. Da sich das Kontrollpaket bereits in einer Superposition befindet, wenn es auf das CNOT-Gatter trifft, weiß das CNOT-Gatter nicht, ob es die Polarisation des Zielpakets ändern muss. Darum muss sich das Zielpaket nach dem Durchqueren des CNOT-Gatters selbst in einer Superposition aus beiden Möglichkeiten befinden.



Aufgabe:

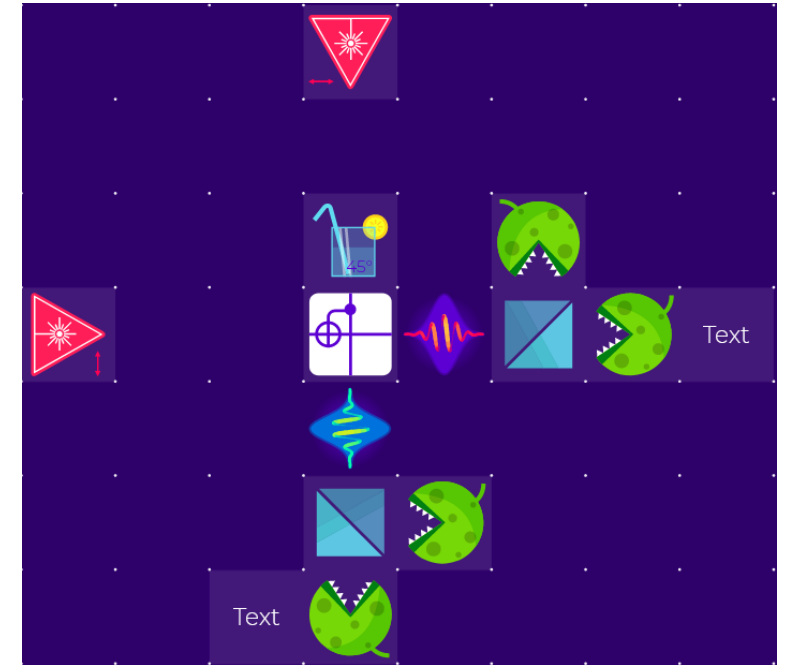
1. Füge nun hinter dem CNOT-Gatter zwei Strahlteiler hinzu, sodass die Superpositionen der beiden Pakete jeweils in zwei einzelne Pakete aufgeteilt werden. Drehe einen der Strahlteiler in eine sinnvolle Richtung, falls nötig.
2. Platziere insgesamt 4 Detektoren um die Strahlteiler herum, sodass für Kontroll- und Zielpaket jeweils vertikale und horizontale Polarisationen gemessen werden können.
3. Markiere die beiden Detektoren für die horizontalen Polarisationen mit dem Textbauteil.
4. Starte das Experiment und wiederhole es ein paar Mal. Was stellst Du fest?

Text

< 2.7 Hello World!: Verschränkung />

Lösung:

Das fertige Experiment sollte in etwa so aussehen wie in der Abbildung. Die Markierungen mit Text zeigen Dir an, welche der Detektoren die horizontalen Polarisationen messen. Wenn Du das Experiment mehrfach wiederholst, stellst Du fest, dass für beide Pakete immer das gleiche Ergebnis gemessen wird. D.h. obwohl beide Pakete für sich genommen in einer Superposition sind, beobachtest Du für das eine jeweils immer die gleiche Polarisation wie für das andere. Dies liegt daran, dass die Polarisationen der beiden Lichtpakete miteinander verschränkt sind!



Aufgabe:

1. Überlege Dir wie hier eine Verschränkung entstanden ist und an welcher Stelle im Experiment.

< 2.8 Hello World!: Ende />

Lösung:

Die Verschränkung entstand am CNOT-Gatter. Befindet sich das Kontrollpaket in einer horizontalen Polarisation, ändert das CNOT-Gatter die Polarisation des Zielpakets nicht. Folglich muss für beide Pakete eine jeweils horizontale Polarisation gemessen werden. Befindet sich das Kontrollpaket hingegen in einer vertikalen Polarisation, ändert das CNOT-Gatter die Polarisation des Zielpakets um 90 Grad. Folglich müssen für beide Pakete jeweils vertikale Polarisationen gemessen werden. Andere Möglichkeiten außer diesen beiden gibt es bei Deinem Experimentalaufbau nicht. Darum sind beide Lichtpakete letztendlich miteinander verschränkt.

Auf Wiedersehen!

Hoffentlich hattest Du Spaß mit diesem Kurs und hast einiges gelernt. Probiere doch Deine eigenen Experimente im virtuellen Labor aus oder besuche den nächsten Kurs in dieser Reihe.