

Analogieversuche zur Quantenphysik – Quantenradierer und Quantenkryptographie

Aufgaben zur Versuchsdurchführung



Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum für Lehramtskandidaten

Versuche zum Quantenradierer

1. Aufbau des Mach-Zehnder Interferometers mit Quantenradierer

In Abb. 1 ist der Aufbau des Mach-Zehnder-Interferometers gezeigt.

Versuch 1: Bauen Sie das Interferometer auf, wie in der Abbildung gezeigt. Verwenden Sie dazu die zur Verfügung stehende Justieranleitung. Sie sollten dann Interferenzringe auf den Schirmen sehen.

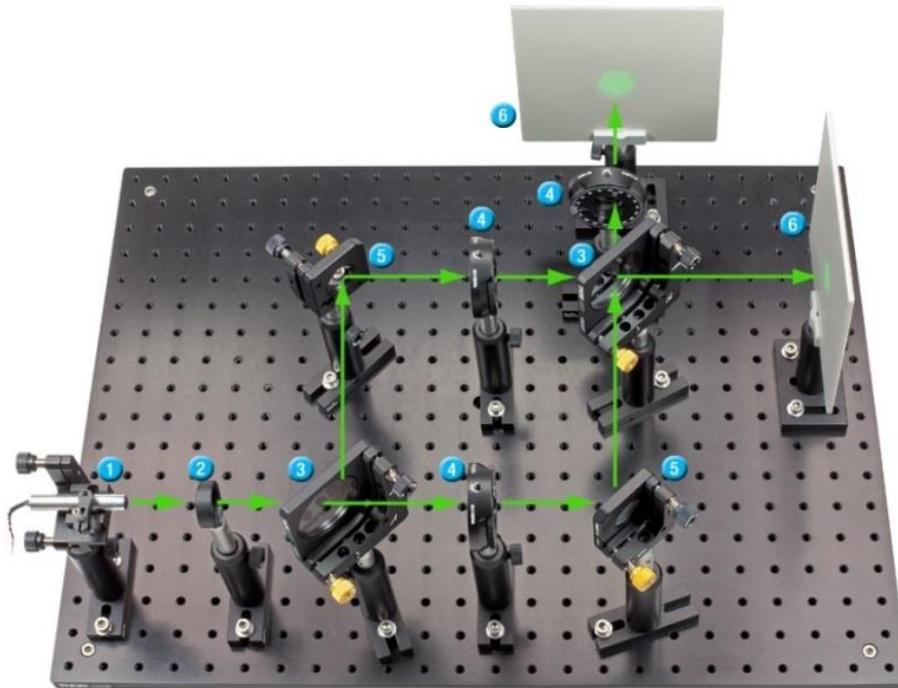


Abb. 1: Mach-Zehnder Interferometer Aufbau mit (1) Laser, (2) Linse, (3) Strahlteiler, (4) Polarisator, (5) Spiegel und (6) Beobachtungsschirm

- Setzen Sie einen Polarisator in jeden Arm des Interferometers und stellen Sie die Polarisationssebene bei beiden in gleicher Orientierung ein. Erklären und diskutieren Sie die Beobachtung.
- Verdrehen Sie nun einen der Polarisatoren um 90° . Was beobachten Sie am Schirm und warum?
- Wählen Sie nun noch beliebige andere Winkeleinstellungen der Polarisatoren zueinander (z.B. 20° oder 80°). Was beobachten Sie und wie würden Sie die Beobachtung quantenmechanisch interpretieren?

Versuch 2: Verdrehen Sie die beiden Polarisatoren im Aufbau zunächst um 90° , setzen Sie dann einen um 45° zu beiden orientierten Polarisator zwischen den letzten Strahlteiler und den Schirm.

Erklären und diskutieren Sie wieder die Ergebnisse mit Ihrem Betreuer.

Versuche zur Quantenkryptographie

Der Versuchsablauf im Praktikum gliedert sich in drei Teile:

- Generierung eines mindestens 20bit langen Schlüssels
- Verschlüsseln und Übertragen eines 4-Buchstaben Wortes
- Einbau von Eve und Lauscher identifizieren

Die Messprotokolle finden sich als Vorlage im Dokument „Justieranleitungen und Messprotokolle“.

Teil 1: Schlüsselgenerierung

Versuch 1: Bauen Sie Alice und Bob so auf, dass sich beide in größerem Abstand gegenüberstehen (sodass also noch Platz für Eve ist). Justieren Sie beide so ein, dass bei allen acht $\lambda/2$ -Kombinationen (zwei Einstellungen bei Bob, vier bei Alice) reproduzierbar die richtigen LEDs leuchten. Stellen Sie dafür sicher, dass die Sensorelektronik im Justiermodus ist (gelbe LED). Eine Anleitung zum Aufbau finden Sie im Dokument „Justieranleitungen und Messprotokolle“.

Versuch 2: In der nächsten Aufgabe soll der Schlüssel generiert werden. Als Vorbereitung müssen Alice und Bob zufällig ihre Basen wählen und Alice zusätzlich ihre Bits. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, das vorab zu tun – füllen Sie also die Messprotokolle für Alice und Bob aus (Bob nur die Basis).

Hinweis: Um echte Zufallszahlen zu erhalten, können Sie die beiliegende Würfelbox verwenden. Definieren Sie z.B. „gerade Zahl = +“, „ungerade Zahl = x“ „gerade Zahl = 0“, „ungerade Zahl = 1“ und würfeln Sie so Ihre Basen bzw. Zufallsbits aus!

Versuch 3: Alice und Bob sollen nun einen mindestens 20 Bit langen Schlüssel generieren. Führen Sie dafür 52 Messungen durch – dies ist ein empirischer Wert, bei dem fast immer 20 Mal die Basen übereinstimmen (und damit 20 Schlüsselbits erzeugt werden). Sollten 52 Messungen nicht ausreichen, müssen weitere erfolgen, bis 20 Schlüsselbits generiert sind.

Noch einmal zur Orientierung: Wenn Alice

- „0°“ einstellt, dann sendet sie in der „+“ Basis eine 0.
- „90°“ einstellt, dann sendet sie in der „+“ Basis eine 1.
- „-45°“ einstellt, dann sendet sie in der „x“ Basis eine 0
- „45°“ einstellt, dann sendet sie in der „x“ Basis eine 1

Alice und Bob übertragen die Bits anhand der in Versuch 2 erstellten Tabelle. Dafür sendet Alice ihr Bit und Bob notiert seine Messung (reflektiert = 1, transmittiert = 0). Am Ende tauschen sich beide über ihre Basen aus und streichen die Messungen, bei denen die Basen nicht übereinstimmen. Die restlichen Messungen stellen dann den Schlüssel dar.

Teil 2: Verschlüsseln und Übertragen des 4-Buchstaben Wortes

Versuch 4: Alice, verschlüsseln Sie ihre Nachricht (4 Buchstaben) mit dem generierten Schlüssel.

Versuch 5: Übertragen Sie die Nachricht von Alice zu Bob.

Versuch 6: Bob, entschlüsseln Sie die Nachricht.

Teil 3: Einbau von Eve und Detektion des Abhörens

Versuch 7: Setzen Sie Eve zwischen Alice und Bob und schalten Sie beide Sensorelektroniken auf den Justiermodus (LED leuchtet gelb). Justieren Sie den Empfangsteil von Eve so ein, dass alle 8 Fälle mit Alice funktionieren. Justieren Sie nun den Sender von Eve so, dass alle 8 Fälle mit Bob funktionieren.

Versuch 8: Füllen Sie die Tabelle für Eve aus, in der sie sich für die + oder die x Basis entscheidet. Sie brauchen außerdem wieder zufällige Basen für Alice und Bob, sowie zufällige Bits für Alice.

Versuch 9: Generieren sie mit Alice und Bob wieder einen Schlüssel mit mindestens 20 Schlüsselbits wie in Versuch 3. Vergleichen Sie dann den gefundenen Schlüssel.

Hinweis: Unser Versuch arbeitet mit einem Laserpuls und damit mit Milliarden von Photonen. Die echte Quantenkryptografie arbeitet mit einzelnen Photonen. Trotzdem sind der Versuchsaufbau und die Messmethode vom Prinzip her gleich. Die Abhörsicherheit ist allerdings nur bei einzelnen Photonen gewährleistet, da bei vielen Photonen EVE nicht alle Photonen zum Lauschen benötigt, sondern prinzipiell nur ein einziges von den Milliarden. ALICE und BOB würden einen solchen Lauscher dann nicht finden.