

# Quanteneffekte und Quantenparadoxa

## Übungsblatt 5

Vorlesung: Prof. O. Gühne, Dr. M. Kleinmann  
Übungen: T. Kraft

Ausgabe: Montag, 12.11.2018  
Abgabe: Montag, 19.11.2018

---

### 1. Wechselwirkungsfreie Messungen

Betrachten Sie den in Abb. 1 dargestellten Aufbau. Ein Interferometer mit Eingängen  $E_1$  und  $E_2$  besteht aus zwei Strahlteilern  $B_{1/2}$  mit Reflektivitäten  $R_{1/2}$ , zwei Spiegeln und zwei Detektoren  $D_{1/2}$ . Wenn ein Photon am Eingang  $E_1$  des Interferometers eingestrahlt wird entspreche das dem Zustand  $|0\rangle$ ,  $E_2$  entspricht  $|1\rangle$ . Der obere (untere) Pfad im Interferometer sei  $|2\rangle$  ( $|3\rangle$ ) und der Pfad zum Detektor  $D_1$  ( $D_2$ ) entspreche  $|4\rangle$  ( $|5\rangle$ ).

- Bestimmen Sie die unitäre Transformationen für  $B_{1/2}$  wobei bei der Reflexion eine Phase  $i$  aufgesammelt wird.
- Gegeben  $R_1$ , bestimmen Sie  $R_2$  so, dass (ohne Objekt im Strahlgang) nur der Detektor  $D_1$  klickt, aber niemals  $D_2$ .
- Dann wird ein Objekt (die Bombe) im unteren Strahlgang platziert. Berechnen Sie die Effizienz

$$\eta = \frac{P_{\text{det}}}{P_{\text{det}} + P_{\text{abs}}}$$

als Funktion von  $R_1$ .  $P_{\text{det}}$  ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine wechselwirkungsfreie Messung stattgefunden hat und  $P_{\text{abs}}$  die Wahrscheinlichkeit, dass das Photon von der Bombe absorbiert wird.

- Das Experiment wird wiederholt falls  $D_1$  klickt. Welche Effizienz erreichen Sie nun asymptotisch?

### 2. Wechselwirkungsfreie Messungen II

In Abb. 2 ist ein anderer Aufbau gezeigt. Hier befindet sich nur ein Photon im Interferometer, falls der Detektor  $T$  klickt. Rechnen Sie nun in der Besetzungszahldarstellung, d.h., jeder mögliche Weg für das Photon wird durch einen zweidimensionalen Hilbertraum dargestellt, wobei  $|0\rangle$  keinem Photon im Strahlgang entspricht.

- Zeigen Sie, dass wenn sich der bewegliche Spiegel nicht im Strahlgang befindet, das Photon das Interferometer auch am Eingang wieder verlässt, also der Detektor  $Dark$  nie klickt.
- Berechnen Sie dann wieder die Effizienz und überlegen Sie sich, wie man im Experiment diese Größe aus der Anzahl der Klicks bei  $T$ ,  $Dark$ , und  $Obj$  erhält.
- Die drei Detektoren haben nun verschiedene Effektivitäten  $\epsilon_T$ ,  $\epsilon_{Dark}$  und  $\epsilon_{Obj}$ . Wie ändert sich die Rechnung aus Teil (b)?

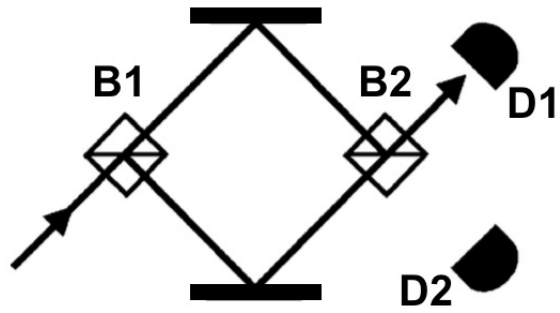


Abbildung 1: Mach-Zehnder Interferometer

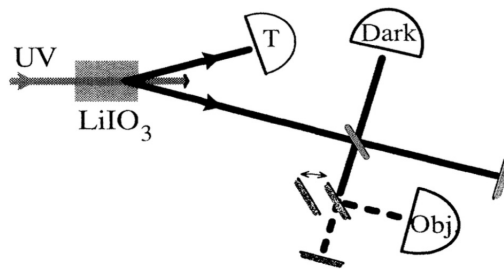


Abbildung 2: Versuchsaufbau von Kwiat u. a, Phys. Rev. Lett. **74**, 4763 (1995).