

## 10 Übungsblatt zur Experimentalphysik IV

### 36. Heisenberg Detektor

Die Bildebene entspricht der Welcher-Weg-Detektion, sie befindet sich im selben Abstand von der Linse wie der Doppelspalt, jedoch genau auf der gegenüberliegenden Seite, sie bildet in Koinzidenz mit einem Detektor hinter dem Doppelspalt zwei Punkte ab, wodurch man jeweils sagen kann, wenn in Koinzidenz ein Photon detektiert wird, durch welchen Spalt es gegangen ist, da man den Weg zurückverfolgen kann, indem man den Aufschlagsort auf der Bildebene betrachtet.

Positioniert man den Detektor in der Brennebene liegt keine Welcher-Weg-Information mehr vor, da der Impuls des Teilchens noch dafür sorgen könnte, dass das Teilchen entweder in den einen Detektionspunkt oder in den anderen trifft, die den jeweiligen Spalten zugeordnet sind. Es wird sogar möglich ein Interferenzmuster durch Koinzidenzmessung mit den Teilchen hinter dem Doppelspalt zu erhalten, da alle Teilchen, die den Doppelspalt nicht durchqueren nicht koinzident gemessen werden, somit kann man aus dem Ensemble der Teilchen die Teilchen durch die Koinzidenz filtern, die ein Gegenstück zu einem "Doppelspaltteilchen" waren, somit entsteht also Interferenz in der Brennebene.

### 37. Mach-Zehnder-Interferometer

Durch das Ausbalancieren erreichen man gerade dieses. Die "Wechselwirkungsfreie Messung" wird dadurch möglich, dass man einen Gegenstand in einen der Wege einbringt, dadurch wird es möglich im Dunkel-Detektor auf einmal Photonen zu messen, da die Antiinterferenz, die in diesem vorher vorherrschte nun nicht mehr da ist, da der zweite mögliche Weg durch den Gegenstand blockiert ist. Also gibt es nur noch den einen möglichen Weg, es kann also nicht zur Interferenz der zwischen den beiden Wegen kommen. Am ersten beamsplitter, an dem entschieden wird, welchen weg das Teilchen nimmt, besteht eine 50% Wahrscheinlichkeit für jeden der Wege, während am zweiten beamsplitter wiederum eine 50% Wahrscheinlichkeit für Transmission bzw. Reflektion herrscht. Die Wahrscheinlichkeit eine wechselwirkungsfreie Messung durchzuführen beträgt somit 25%, da man diese nur erhält, falls der Weg ohne Gegenstand eingeschlagen wurde (50% Wahrscheinlichkeit) und danach dann das Teilchen den Weg mit dem Dunkeldetektor nimmt, wofür wiederum eine 50%ige Wahrscheinlichkeit besteht, multipliziert man diese, so erhält man eine Gesamtwahrscheinlichkeit von 25%.

Die Wahrscheinlichkeit kann über das Einfügen eines anderen beamsplitters mit anderer Aufteilung beeinflusst werden, wobei die Wahrscheinlichkeit maximiert wird für den Fall, dass der Weg mit Gegenstand bei  $\rightarrow 0\%$  und der andere bei  $\rightarrow 100\%$  Wahrscheinlichkeit liegt. Somit folgt dann wenn wir 2 gleiche beamsplitter besitzen eine Wahrscheinlichkeit von fast  $\rightarrow 50\%$ , dass wir eine "wechselwirkungsfreie Messung" durchführen können, wobei 50% das Maximum darstellt, zumindest vom bisherigen Stand der Kenntnis.

### 38. “wechselwirkungsfreie Messung” und Quanten-Zeno-Effekt

(a)

Die “wechselwirkungsfreie Messung” ist, wenn man eine Messung über das Vorhandensein eines “Objektes” durchführt, ohne an diesem eine Messung durchzuführen. Dieses wird durch Quanteneigenschaften erreicht, indem man in einem ausbalancierten MZ-Interferometer dieses Objekt in einen der Wege bringt. Somit kann es nicht mehr zur Interferenz kommen, jedoch besteht die Wahrscheinlichkeit, ohne, dass ein Photon das Objekt berührt, Information zu erlangen, dass das Objekt existiert, da man im Falle eines Gegenstandes in einem der Wege beim MZ-Interferometer im Dunkel-Detektor Photonen zählen kann.

Die Bezeichnung des Wortes ist möglich, da man eine Messung an einem Messobjekt durchführt, ohne eine Wechselwirkung mit diesem zu haben. Dies ist durch die Quantenphysik möglich und speziell durch das mathematische Hilfskonstrukt der Wellenfunktion und der Superposition der Zustände, die Interferenz erlauben im Falle, dass beide Wege möglich sind, ist nur noch ein Weg möglich kommt es nicht mehr zu dieser und wir erhalten Information über das Messobjekt.

(b)

Der “Quanten-Zeno-Effekt (QZE)” beschreibt das vorgehen in kleinen Schritte. Speziell bei polarisiertem Licht die Möglichkeit in kleinen Schritten die Polarisation über mehrere Teilschritte von horizontal auf vertikal zu drehen und umgekehrt, wobei, wenn man dies in einem Schritt versuchen würde kein Photon den Polarisator durchqueren könnte. Skizze:

Die Effizienz der “Interaktionsfreien Messung (IFM)” wird durch  $\eta = \frac{P_{dunkel}}{P_{dunkel} + P_{bombe}}$  definiert. Die QZE ermöglicht es vertikal in horizontal polarisiertes Licht zu überführen ohne dabei alle Photonen zu verlieren.