

Quantenphysikalische Experimente

Doppelspaltversuch (von Klaus Muthsan)

Ein Laser mit sehr geringer Intensität schießt Licht durch einen Doppelspalt. Durch Fotopapier wird das Licht auf dem Schirm nachgewiesen.

Beobachtung 1: Auf dem Schirm erkennen wir, das Licht eine „körnige Struktur“ hat: → Photonen

Beobachtung 2: Das Auftreffen der Photonen scheint zufällig verteilt zu sein.

Beobachtung 3: Bei sehr vielen Photonen ergibt sich eine Häufigkeitsverteilung analog zum Interferenzmuster im Wellenmodell → Wahrscheinlichkeitsverteilung $P(x)$

Mit dem Begriff der „Präparation“ lässt sich dies veranschaulichen:

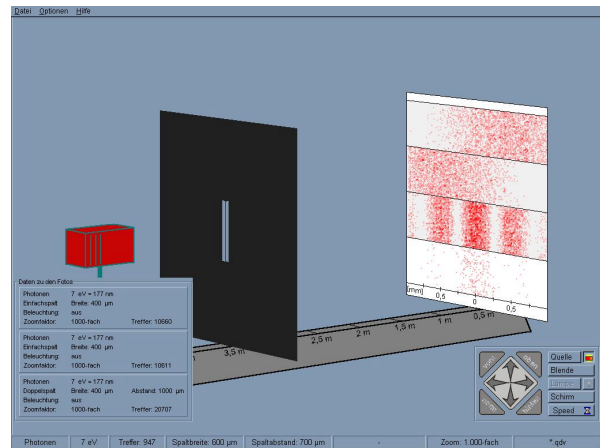
- Wenn in der klassischen Physik Objekte auf dieselben Eigenschaften präpariert werden (z. B. ein Ball mit gleichem Startort und Startgeschwindigkeit), dann ergibt sich auch dasselbe, vorhersagbare Ergebnis.
- Im Doppelspaltexperiment werden die Photonen durch die Lichtquelle auf die selben Eigenschaften präpariert (Wellenlänge ...). Trotzdem ist der Auftreffpunkt eines einzelnen Photons auf dem Schirm nicht vorhersagbar. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung bzw. relative Häufigkeit bei sehr vielen Photonen ist vorhersagbar.

Beobachtung 4: Oberes Bild: 10.000 Photonen nur durch den linken Spalt → $P_1(x)$

Zweites Bild: 10.000 Photonen durch den rechten Spalt → $P_2(x)$

Drittes Bild: 20.000 Photonen durch den Doppelspalt → $P(x)$

Es gilt: $P_1(x) + P_2(x) \neq P(x)$



Interferometer (von Albert Huber)

Das Programm simuliert die Interferenz von Einzelphotonen im Mach-Zehnder Interferometer.

Licht vom Laser mit sehr niedriger Intensität wird durch einen ersten Strahlteiler geschickt. Dadurch ergeben sich 2 mögliche Lichtwege, die durch einen zweiten Strahlteiler wieder zusammengeführt werden. Zwei Polfilter stehen jeweils in diesen möglichen Lichtwegen – und präparieren die Photonen auf Polarisation.

Beobachtung 1 – 3 von oben können in diesem Experiment ebenso getroffen werden.

Beobachtung 4 ergibt sich analog:

Ohne Polfilter bzw. mit Polfilter in gleicher Stellung ergibt sich auf dem Schirm ein Interferenzbild.

Mit Polfilter in verschiedenen Stellungen – wodurch die Photonen auf die Eigenschaft „waagrecht“ bzw. „senkrecht polarisiert“ präpariert werden, so dass die Photonen, die den „hinteren Lichtweg“ gewählt von den Photonen, die den „vorderen Lichtweg“ gewählt haben unterschieden werden könnten - ergibt sich kein Interferenzbild mehr: Die Polarisatoren „markieren“ die Photonen und zerstören die Interferenz. Wenn wir nach dem zweiten Strahlteiler einen dritten Polarisator – z. B. um 45° geneigt - einbringen, der diese Markierung nachträglich auslöscht (**Quantenradierer**), erscheint die Interferenz wieder.

Folgerung

Die Beobachtungen 4 hängen mit der Frage zusammen, ob es erlaubt, den Photonen im Doppelspaltexperiment bzw. im Interferometer (ohne Polarisatoren) einen Weg zuzuschreiben.

- Wenn wir den Weg kennen (durch rechten oder linken Spalt bzw. vorderen oder hinteren Weg im Interferometer) bricht das Interferenzbild zusammen: Hier besitzen die Photonen die Eigenschaft „Weg A“ oder „Weg B“
- Wenn wir den Weg nicht kennen, ergibt sich das Interferenzbild: **Hier besitzen die Photonen Eigenschaft „Weg“ nicht: Es ist nicht erlaubt sich vorzustellen, dass das Photon einen der beiden Wege genommen hat.**

○ Wenn wir sagen würden, dass das Photon, das zum Interferenzbild beiträgt, „Weg A“ nimmt, müsste es „wissen“, wie die Situation bei „Weg B“ aussieht – ob dort der Spalt offen bzw. der Polarisationsfilter verdreht ist.

○ Die Annahme, dass das Photon sich aufteilt und gleichzeitig beide Weg nimmt, lässt sich widerlegen: Wenn wir im Strahlengang „nachschaun“ – z. B. mit einem Detektor, finden wir nur ganze Photonen:

Bei einer Messung besitzt das Photon die Eigenschaft „Weg A“ bzw. „Weg B“

Analoge Beobachtungen ergeben sich für Elektronen, Protonen, He-Atome, Na-Moleküle.

Quellen: Rainer Müller, Hartmut Wiesner: Das Münchner Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik

