

SaP2-B

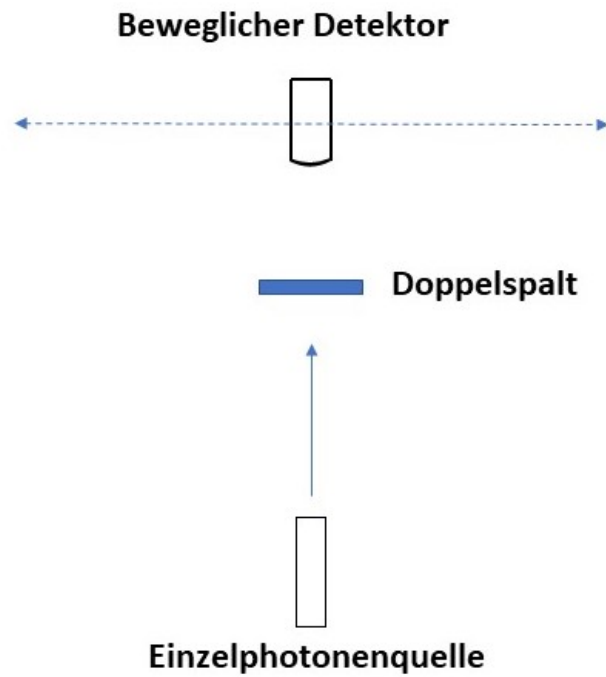
Ist die Überlagerung von Zuständen in der Quantenphysik vergleichbar mit der Überlagerung von Größen in der klassischen Physik?

1. Ja, denn auch in klassischen Mechanik ist die resultierende Bewegung eines Teilchens die Summe jeder Bewegung, wenn zwei oder mehr Kräfte auf ein System wirken. Genauso, wie sich in der Quantenphysik der Gesamtzustand aus mehreren Zuständen zusammensetzt.
2. Ja, bis wir eine Messung vornehmen, können die überlagerten Zustände miteinander interferieren. Genauso, wie in der klassischen Physik.
3. Nein, denn Quanten sind zugleich in allen Zuständen. Nach einer Messung wird es aber immer in nur einem Zustand gefunden. In der klassischen Physik geht dies nicht.

QBP1

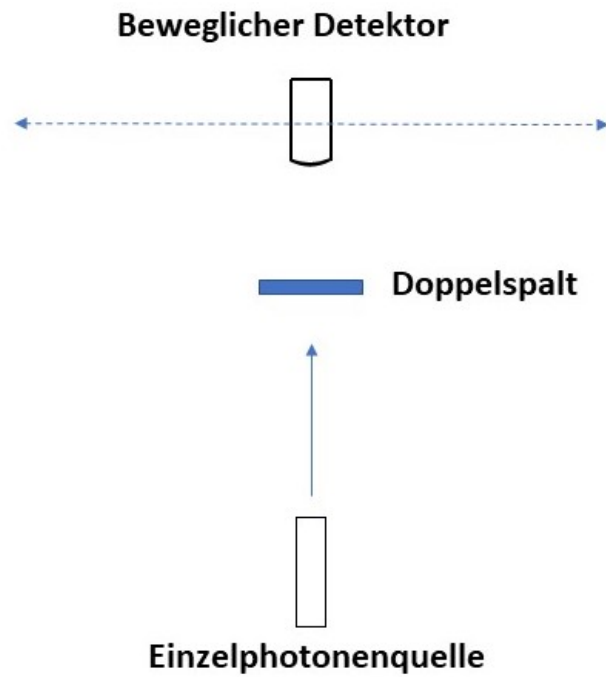
Ein Elektron eines Atoms befinde sich im Energiezustand $E_2 > E_1$ und gehe in den Zustand E_1 über. Dabei wird Licht ausgesendet. Je größer die Energiedifferenz $\Delta E = E_2 - E_1$ ist, desto...

- ... kleiner ist die Wellenlänge des ausgesendeten Lichts.
- ... mehr Licht wird ausgesendet.
- ... größer ist die Wellenlänge des ausgesendeten Lichts.



Führt man das Doppelspaltexperiment (siehe Abbildung) mit einzelnen Photonen durch, so ...

1. ... erhält man eine Wahrscheinlichkeitsverteilung mit Maxima und Minima, aussehend wie das Interferenzmuster von Wellen.
2. ... erhält man zwei klar definierte Detektionsorte auf einem Schirm hinter dem Doppelspalt.
3. ... erhält man zwei klar definierte Detektionsorte und ein Maximum nullter Ordnung auf einem Schirm hinter dem Doppelspalt.



Beurteile die nachfolgende Aussage:

Wenn man beim Doppelspaltversuch (siehe Abbildung) auch mit einzelnen Photonen ein Interferenzmuster erhält, so muss sich das Photon aufgeteilt haben.

1. Falsch, denn man erhält mit einzelnen Photonen keine Interferenzerscheinung.
2. Falsch, denn die Vorstellung des Photons als lokalisiertes Teilchen ist ungültig.
3. Wahr, denn z.B. Laserlicht wird am Doppelspalt auch in zwei Elementarwellen aufgeteilt.

QBP4

Photonen sind ...

1. ... unteilbare Energieportionen, weder Welle noch Teilchen.
2. ... kugelförmige Teilchen, die manchmal wellenartiges Verhalten zeigen.
3. ... Bestandteile des Lichts, die von einer Welle umgeben sind, welche für die Interferenz verantwortlich ist.

ME2

Ist die nachfolgende Aussage richtig oder falsch?

Die Unschärfe des Ortes eines Elektrons ist vergleichbar mit dem klassischen Messfehler.

1. Richtig. Im Gegensatz zur klassischen Physik gibt es in der Quantenphysik nur wenige, zuverlässige Messapparaturen, um den Ort eines Elektrons zu bestimmen.
2. Falsch. Die Messung des Ortes des Elektrons legt diesen erst fest. Die Unkenntnis des Ortes vor der Messung ist kein klassischer Messfehler.
3. Richtig. Sowohl in der klassischen Physik, als auch in der Quantenphysik gibt es Messunsicherheiten, die mit dem Messprozess zusammenhängen.

SaP1

Ein Elektron zeigt Wellencharakter, da...

1. ... das Elektron Interferenzmuster erzeugen kann.
2. ... das Elektron wellenartig einem sinusförmigen Weg folgt.
3. ... das Elektron eine verschmierte Ladungswolke ist, die sich mit der Geschwindigkeit elektromagnetischer Strahlung bewegt.

ME3-A

Markiere für jede der nachfolgenden Aussagen, ob sie richtig (R) oder falsch (F) ist.

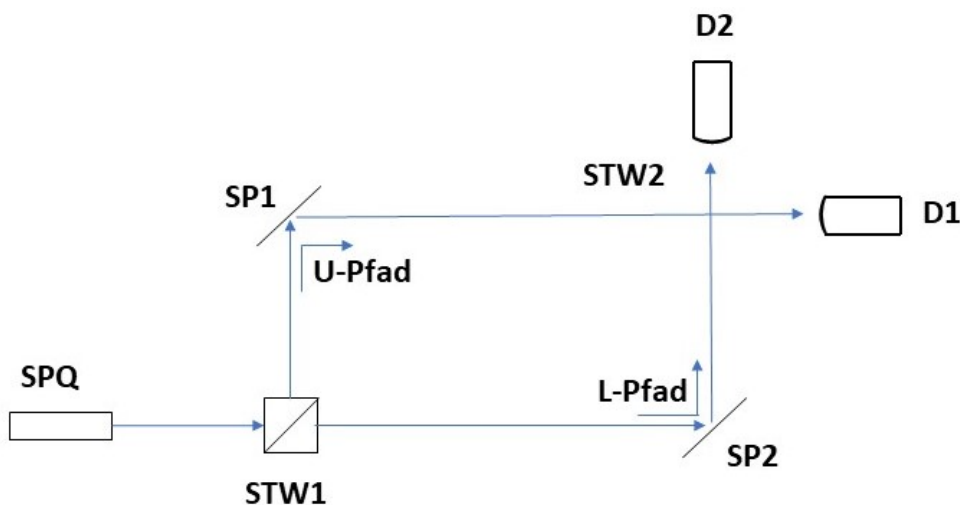
1. Wenn wir für das Elektron eine bestimmte Geschwindigkeit messen, dann hatte es diese bereits vor der Messung.
2. Da die kinetische Energie von der Geschwindigkeit abhängt ($E \sim v^2$), verbietet der Energieerhaltungssatz, dass die Messung die Geschwindigkeit verändert.
3. Wenn wir für das Elektron eine bestimmte Geschwindigkeit messen, dann legt erst die Messung die Geschwindigkeit fest.

ME7

Der Aufbau des unten gezeigten Mach-Zehnder Interferometers ist wie folgt:

- Das Interferometer ist perfekt justiert, sodass bei klassischem Licht und **vollständigem** Aufbau destruktive Interferenz auf dem Ausgang D2 liegt und konstruktive Interferenz auf dem Ausgang D1.
- Die Einzelphotonenquelle sendet einen Strahl von Photonen aus. Es befindet sich immer nur **ein Photon** im Aufbau.
- Die Detektoren sind ideale Detektoren (100 % Ansprechvermögen).

Der zweite Strahlteiler wurde aus dem Aufbau entfernt.



Markiere, welche der folgenden Aussagen für diesen Fall richtig (R) oder falsch (F) ist.

1. Wir haben eine „Welcher-Weg“-Information, wenn Detektor D1 oder D2 klickt.
2. Das Aufstellen eines Detektors irgendwo im U-Pfad liefert die gleichen Ergebnisse, wie das Aufstellen am Ende des Pfades.
3. Das Aufstellen eines Detektors irgendwo im L-Pfad liefert die gleichen Ergebnisse, wie das Aufstellen am Ende des Pfades.

ME3-B

Markiere für jede der nachfolgenden Aussagen, ob sie richtig (R) oder falsch (F) ist.

1. Wenn wir beobachten, dass das Elektron an einem bestimmten Ort ist, dann war es schon vor der Messung an diesem Ort.
2. Wenn wir für das Elektron eine bestimmte Geschwindigkeit messen, dann legt die Messung die Geschwindigkeit fest.
3. Wenn wir die kinetische Energie des Elektrons messen, dann wird es diese Energie beibehalten, insofern es sich gleichförmig bewegt.

ME4-A

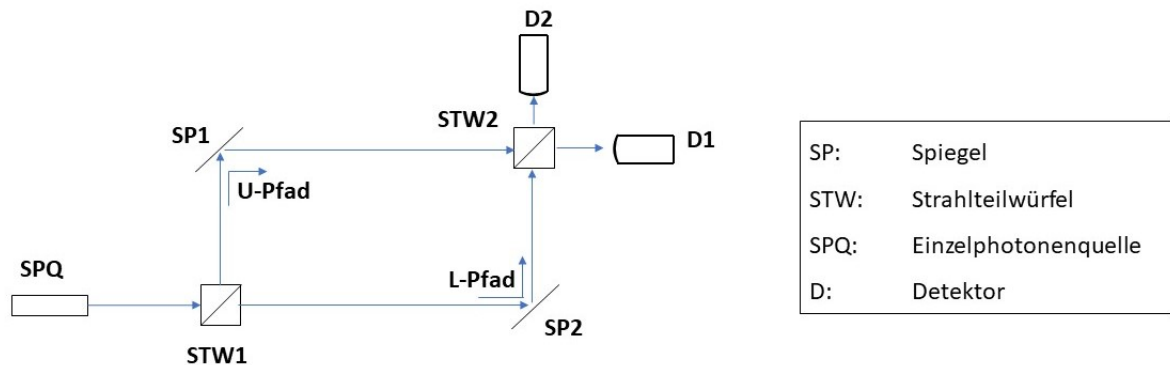
Wenn wir in der Quantenphysik eine Eigenschaft (z.B. die Geschwindigkeit von Elektronen) messen, was bewirkt die Messung?

1. Das Teilchen ist in einem Zustand, in welchem volle Übereinstimmung zwischen dem gemessenen und erwarteten Wert **jeder** messbaren Eigenschaft besteht.
2. Die Messung liefert, wie in der klassischen Physik die Geschwindigkeit. Alles Nachfolgende ist unbekannt.
3. Das Teilchen ist in einem neuen Zustand, in welchem jede nachfolgende **identische** Messung identische Werte liefert.

QBP5

Der Aufbau des unten gezeigten Mach-Zehnder Interferometers ist wie folgt:

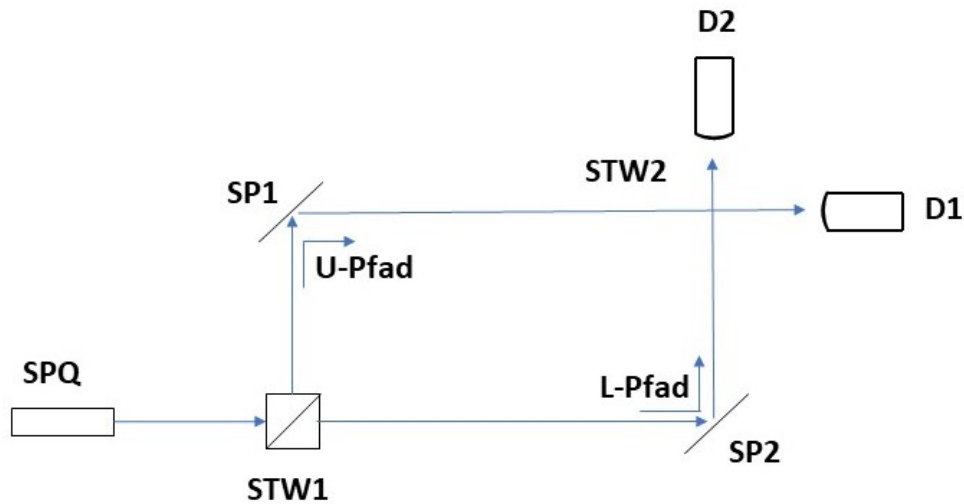
- Das Interferometer ist perfekt justiert, sodass bei klassischem Licht destruktive Interferenz auf dem Ausgang D2 liegt und konstruktive Interferenz auf dem Ausgang D1.
- Die Einzelphotonenquelle sendet einen Strahl von Photonen aus. Es befindet sich immer nur **ein Photon** im Aufbau.
- Die Detektoren sind ideale Detektoren (100 % Ansprechvermögen).



Ein einzelnes Photon wird von der Quelle ausgesendet. Ist es möglich, dass ein Photon zugleich den U-Pfad und den L-Pfad nimmt, nachdem es den ersten Strahlteiler STW1 passiert hat?

1. Ja. Ein einzelnes Photon kann den U-Pfad und den L-Pfad zugleich nehmen.
2. Nein. Ein einzelnes Photon, kann nur einen der beiden Pfade (U oder L) nehmen.
3. Nein. Ein einzelnes Photon, nimmt den U-Pfad, wenn es unpolarisiert ist und den L-Pfad, wenn es polarisiert ist.

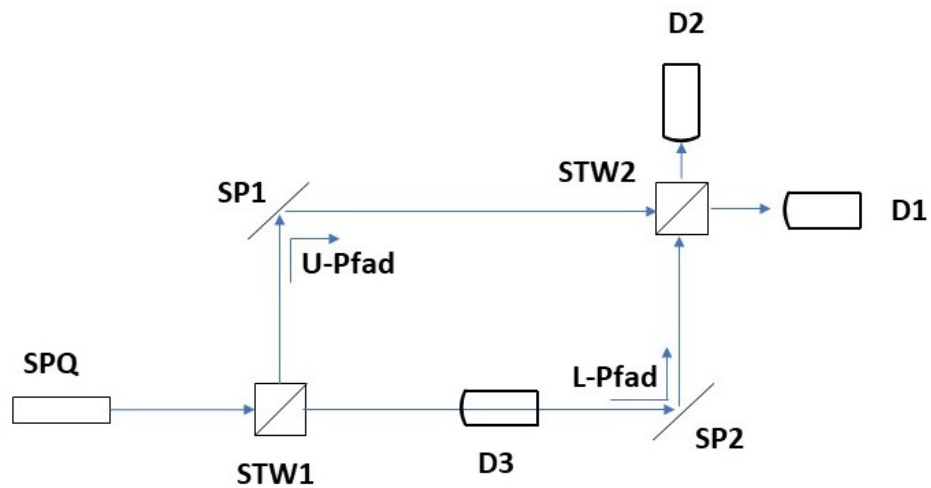
SaP8



Betrachte folgenden Fall: Ein Einzelphoton befinde sich im Mach-Zehnder Interferometer aus dem Strahlteiler STW2 ausgebaut wurde (siehe oben). Detektor D1 und D2 haben noch kein Photon registriert.

Markiere für jede der folgenden Aussage ob sie richtig (R) oder falsch (F) ist.

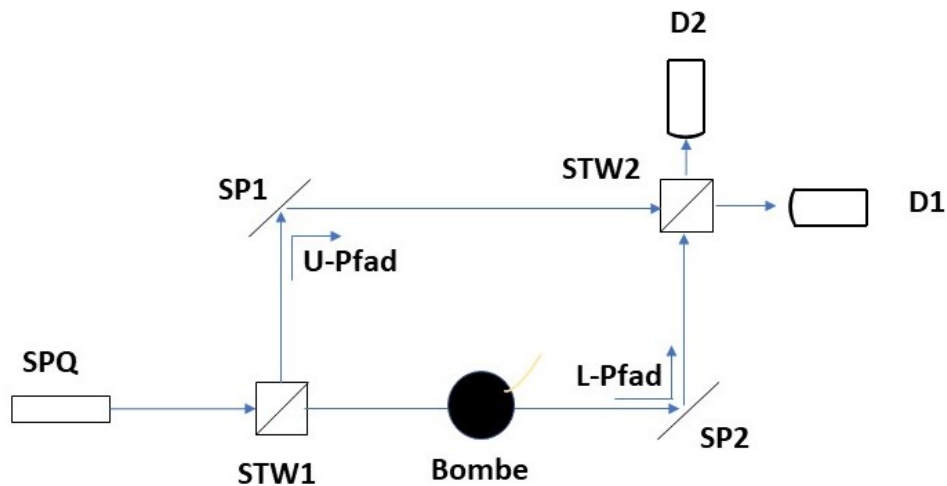
1. Es wird sich entweder entlang des U-Pfades oder des L-Pfades bewegen, aber nicht entlang beider Pfade zugleich.
2. Es muss entweder den U-Pfad oder den L-Pfad nehmen, aber die Wahrscheinlichkeit ist höher, dass es den L-Pfad nimmt.
3. Der Pfad ist nicht festgelegt, das bedeutet es befindet sich in einem überlagertem Zustand aus U-Pfad und L-Pfad.



Detektor D3 wird im L-Pfad eingebaut (Abb. oben) und die Einzelphotonenquelle wird eingeschaltet. Wie verändert sich das Interferenzmuster im Vergleich zum nicht-eingebauten Detektor?

1. Die Interferenz bleibt unverändert.
2. Die Interferenz verschwindet.
3. Die Interferenz wird besser detektierbar.
4. Die Interferenz wird schlechter detektierbar.

Item 1

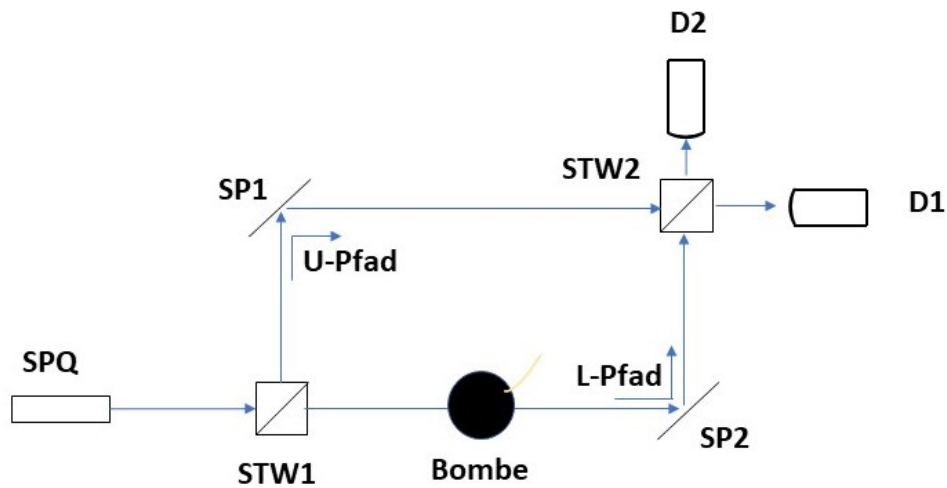


Betrachte folgende Situation, in der eine photosensible Bombe in den L-Pfad gelegt wurde (siehe Abb.). Wenn die Bombe ein Photon registriert, explodiert sie. Der restliche Aufbau des Mach-Zehnder Interferometers bleibt unverändert. Ohne Bombe liegt auf **D1** konstruktive Interferenz und auf **D2** destruktive Interferenz.

Ein einzelnes Photon wird in den oben gezeigten Aufbau gesendet. Welche der nachfolgenden Beobachtungen erwartest du?

- Wenn die Bombe nicht explodiert, muss Detektor **D1** klicken (=das Photon wird registriert).
- Wenn die Bombe nicht explodiert, klickt entweder Detektor **D1** oder Detektor **D2** (=das Photon wird registriert).
- Wenn die Bombe nicht explodiert, muss Detektor **D2** klicken (=das Photon wird registriert).

Item 2

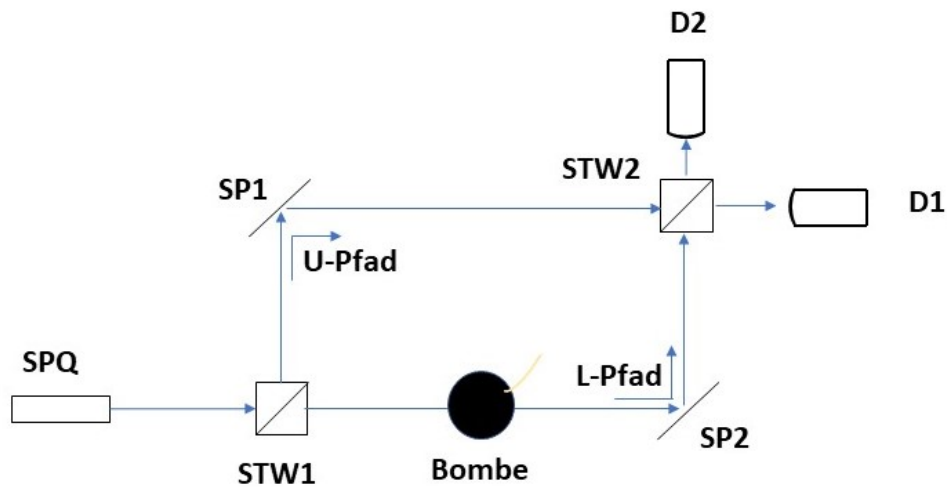


Betrachte folgende Situation, in der eine photosensible Bombe in den L-Pfad gelegt wurde (siehe Abb.). Wenn die Bombe ein Photon registriert, explodiert sie. Der restliche Aufbau des Mach-Zehnder Interferometers bleibt unverändert. Ohne Bombe liegt auf D1 konstruktive Interferenz und auf D2 destruktive Interferenz.

Stell dir vor der Aufbau ist verdeckt und du weißt nicht, ob die Bombe eingebaut ist oder nicht. Gibt es prinzipiell eine Möglichkeit experimentell zu prüfen, ob die Bombe eingebaut ist, ohne dass der Aufbau zerstört wird?

Begründe deine Antwort physikalisch.

Item 3



Betrachte folgende Situation, in der eine photosensible Bombe in den L-Pfad gelegt wurde (siehe Abb.). Wenn die Bombe ein Photon registriert, explodiert sie. Der restliche Aufbau des Mach-Zehnder Interferometers bleibt unverändert. Ohne Bombe liegt auf D1 konstruktive Interferenz und auf D2 destruktive Interferenz. Allein durch den Einbau der Bombe wird die Wahrscheinlichkeit dafür verändert, dass Detektor D1 und D2 ein Photon registrieren, verändert.

Erkläre wieso es dazu kommt.

Item 4

Bewerte die nachfolgende Aussage:

Photonen müssen Wellen sein, da auch ein einzelnes Photon Interferenz erzeugt.

- Die Aussage ist falsch. Photonen sind sowohl Wellen als auch Teilchen zugleich. Erst das Experiment entscheidet, ob das Photon eine Welle oder ein Teilchen ist.
- Die Aussage ist falsch. Photonen sind weder Wellen noch Teilchen. Die Interferenz im Michelson Interferometer wird durch die Überlagerung der Wahrscheinlichkeitsamplituden erzeugt.
- Die Aussage ist falsch. Die Photonen sind winzige Teilchen, die von der Lichtwelle umhüllt sind und sich mit ihr mitbewegen. Im Interferometer sieht man die Interferenz nur, weil die umhüllenden Wellen interferieren.

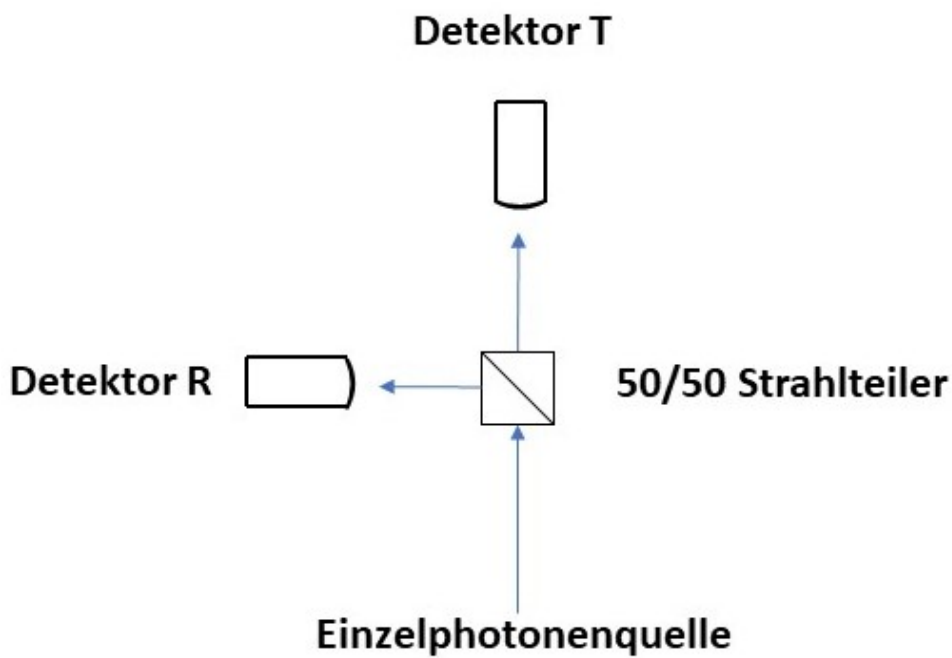
Item 5

Ist die nachfolgende Aussage richtig oder falsch?

Photonen müssen Teilchen sein, da sie am Strahlteiler entweder reflektiert oder transmittiert werden.

- Die Aussage ist richtig. Die Photonen sind winzige Teilchen, die von der Lichtwelle umhüllt sind und sich mit ihr mitbewegen. Der Strahlteiler verteilt diese Teilchen dann gleichmäßig.
- Die Aussage ist falsch. Photonen sind sowohl Wellen als auch Teilchen zugleich. Erst das Experiment entscheidet, ob das Photon eine Welle oder ein Teilchen ist.
- Die Aussage ist falsch. Photonen sind weder Wellen noch Teilchen. Der Strahlteiler reflektiert und transmittiert das Photon quasi zugleich. Bis es gemessen wird, ist der Ort des Photons unbestimmt.

Item 6



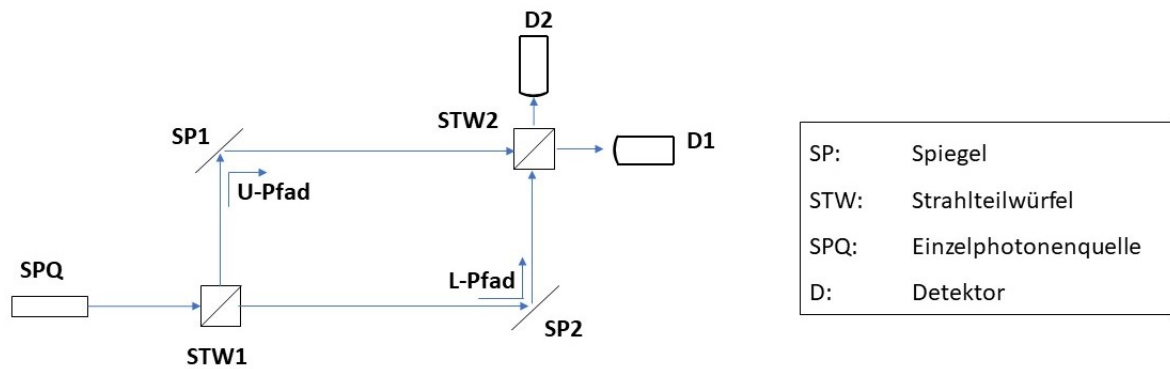
Im folgenden soll der oben gezeigte Aufbau betrachtet werden:

Zwei einzelne Photonen werden nacheinander auf einen 50/50 Strahlteiler geschickt. An den beiden Ausgängen befindet sich jeweils ein Detektor.

Welche Beobachtungen wirst du im Versuch machen?

1. Jeweils einer der Detektoren registriert ein Photon. Wir können nur für das zweite Photon genau vorhersagen welcher Detektor das Photon registriert.
2. Beide Detektoren registrieren zweimal ein Photon.
3. Immer nur einer der Detektoren registriert ein Photon. Wir können lediglich Wahrscheinlichkeitsaussagen darüber treffen, welcher Detektor das Photon registriert.

Item 7



Ein einzelnes Photon befindet sich im in der Abbildung gezeigten Mach-Zehnder Interferometer. Können wir dem Photon einen Ort zuordnen?

1. Nein. Das Photon ist delokalisiert. Erst bei der Absorption im Detektor wird der Ort bestimmt und das Photon vernichtet.
2. Nein. Photonen sind delokalisiert. Somit können wir den Ort nie exakt angeben sondern nur einen kleinen Ortsbereich.
3. Ja. Allerdings mit bisherigen Messapparaturen nur sehr ungenau. Aber irgendwo im Mach-Zehnder Interferometer muss es sein.

Item 8

Kennst du das Superpositionsprinzip?

1. Ja
2. Nein

Erkläre, was du darunter verstehst.

Item 9

Ist es möglich mit einzelnen Photonen Interferenz zu beobachten?

1. Ja das ist möglich. Photonen sind weder kleine Lichtteilchen noch Wellen und zeigen trotzdem die Fähigkeit zur Interferenz.
2. Ja das ist möglich. Photonen sind kleine Lichtteilchen, die von einer elektromagnetischen Welle umgeben sind.
3. Nein das ist unmöglich. Photonen sind kleine Lichtteilchen, ähnlich wie winzige Billard-Kugeln.
4. Ja das ist möglich. Photonen sind Wellen und Teilchen zugleich, erst das Experiment entscheidet über die sichtbare Eigenschaft.

Item 10

Was versteht man in der klassischen Physik unter dem Begriff Messen?

1. Das Aufnehmen von Messwerten, wobei positive und negative Werte entstehen.
2. Die Festlegung einer Eigenschaft (z.B. die Geschwindigkeit) durch das Experiment.
3. Das Feststellen von Eigenschaften (z.B. Geschwindigkeit) eines Objektes oder Phänomens.

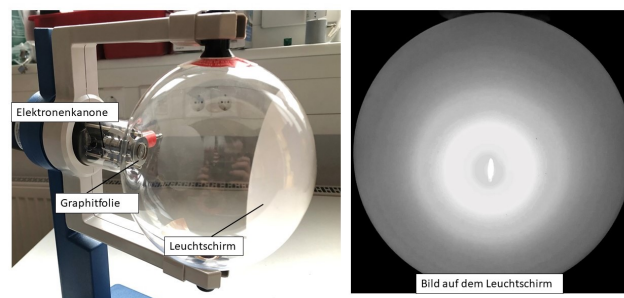
Item 11

Bewerte folgende Aussage:

Die Interferenzfähigkeit eines einzelnen Photons kann klassisch nicht erklärt werden.

1. Die Aussage ist richtig, da das Photon z.B. am Strahlteiler unteilbar ist und doch zur Interferenz gebracht werden kann.
2. Die Aussage ist richtig, da das Photon als quantenmechanisches Objekt nicht das elektrische Feld der Lichtwellen repräsentieren kann.
3. Die Aussage ist falsch, da das Photon je nach Experiment als klassisches Teilchen oder klassische Welle beschrieben werden kann.

Item 12



Beim Experiment mit der Elektronenbeugungsröhre (Abb. oben links) erhält man ein Ringmuster auf dem Leuchtschirm (Abb. oben rechts). Wie lassen sich diese Ringe erklären?

1. Die Elektronen werden an den Atomen im Graphit-Kristall gestreut. Die Wahrscheinlichkeitsamplituden der Austrittsmöglichkeiten interferieren und das erzeugt das Ringmuster.
2. Die Elektronen regen im Graphit-Kristall die Kohlenstoffatome zum Leuchten an. Die von den Atomen ausgesendeten Lichtwellen interferieren und das erzeugt das Ringmuster.
3. Die Elektronen strahlen beim Durchfliegen des Graphit-Kristalls Licht aus. Diese im Kristall ausgesendeten Lichtwellen interferieren und das erzeugt das Ringmuster.

Item 13

Bewerte die folgende Aussage:

In der Quantenphysik wird Licht als Teilchen angesehen.

1. Die Aussage ist richtig. Experimente, wie das Strahlteilerexperiment mit Einzelphotonen oder der Photoeffekt demonstrieren das Teilchenverhalten des Lichts.
2. Die Aussage ist falsch. Experimente wie der Doppelspaltversuch mit Einzelphotonen oder Interferometerversuche, demonstrieren weiterhin das Wellenverhalten des Lichts.
3. Die Aussage ist falsch. Experimente wie das Strahlteilerexperiment mit Einzelphotonen oder Interferometerversuche können weder durch Wellen noch Teilchen zusammenhängend erklärt werden.

Item 14

Bewerte die nachfolgende Aussage:

Elektronen sind Wellen, da sie am Doppelspalt interferieren.

1. Die Aussage ist falsch, denn die Wahrscheinlichkeitsamplituden interferieren im Doppelspaltexperiment.
2. Die Aussage ist richtig, denn Elektronen sind Teilchen, die in bestimmten Versuchen Welleneigenschaften haben.
3. Die Aussage ist falsch, denn Elektronen sind Teilchen, die nicht interferieren können.

VW1

Unter Interferenz von Wellen versteht man...

... im Allgemeinen die Überlagerung von mindestens zwei elektromagnetischen Wellen.

... im Allgemeinen die Überlagerung von mindestens zwei Wellen.

... im Allgemeinen die Überlagerung von genau zwei Wellen.

VW3

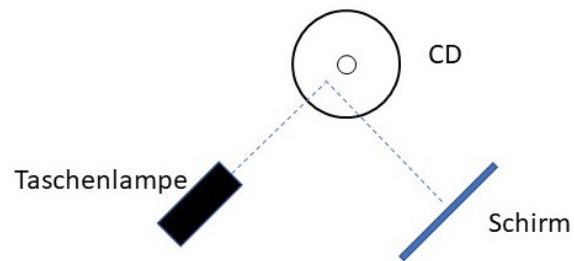
Warum kann Licht als Welle beschrieben werden?

1. Licht kann als Welle beschrieben werden, da Licht zum Beispiel am Doppelspalt oder dem Gitter zur Interferenz gebracht werden kann.
2. Licht kann als Welle beschrieben werden, da die Intensität entlang der Ausbreitungsrichtung in winzigen Abständen messbar stärker und schwächer wird.
3. Licht kann als Welle beschrieben werden, da man beim Doppelspaltversuch mit Einzelphotonen ein Interferenzmuster erhält, woraus man die Wellenlänge bestimmen kann.

VW4

Ein 50 / 50 Strahlteiler wird mit Laserlicht beleuchtet. Was ist zu beobachten und welche Größe wird, bzw. welche Größen werden halbiert?

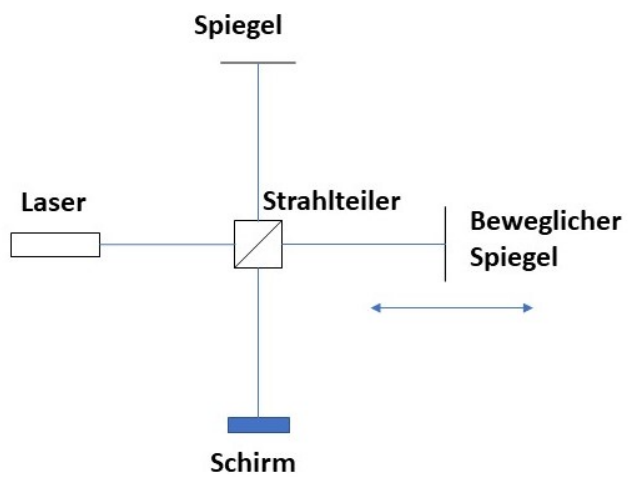
1. Das Licht wird sowohl transmittiert, als auch reflektiert. Die Wellenlänge des Lichts wird dabei halbiert.
2. Das Licht wird sowohl transmittiert, als auch reflektiert. Die Intensität des Lichts wird dabei halbiert.
3. Das Licht wird sowohl transmittiert, als auch reflektiert. Die Lichtwelle wird dabei in der Länge halbiert.



Eine CD wird mit weißem Licht einer Taschenlampe beleuchtet (siehe Abb.). Dabei wird auf dem Schirm ein Regenbogenmuster sichtbar.
 Diese Phänomene können physikalisch durch...

1. ... Beugung ...
2. ... Interferenz ...
3. ... Brechung ...

... beschrieben werden.



Wodurch wird im Michelson Interferometer (siehe oben) ein Wechsel von Hell nach Dunkel im Interferenzmuster erreicht?

Wright-Map Quantenfragebogen

Person
Parameter
Distribution

