

SEMINARARBEIT

Rahmenthema des Wissenschaftspropädeutischen Seminars:

Physik des Lichts

Leitfach: Physik

Thema der Arbeit:

Licht als Quantenobjekt: Wechselwirkungsfreie Quantenmessung

Verfasserin:
Anna Tsulukidze

Kursleiterin:

StDin Ellen May

Abgabetermin:

08.11.2022

Bewertung	Note	Notenstufe in Worten	Punkte		Punkte
schriftliche Arbeit				x 3	
Abschlusspräsentation				x 1	
Summe:					
Gesamtleistung nach § 61 (7) GSO = Summe:2 (gerundet)					

Datum und Unterschrift der Kursleiter

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung Licht als Quantenobjekt	3
2. Grundlagen der Quantenphysik.....	4
2.1. Wenn Dr. Jekyll und Mr. Hyde Photonen wären.....	4
2.2. Ein Photon kommt selten allein...durch nur einen Spalt	5
3. Experiment „Bomb-Tester“	7
3.1 Der Bomb-Tester	7
3.2 Der Michelson-Interferometer	8
3.3 Der Versuchsaufbau	9
3.4 Bombe oder Blindgänger?	10
3.5 Messungen.....	13
4. Fazit.....	15
5. Literaturverzeichnis	16
6. Eidesstaatliche Erklärung.....	17

1.Einführung Licht als Quantenobjekt

Licht hatte schon immer in vielen Bereichen eine spirituelle Bedeutung. In der Religion war es die Diskrepanz zwischen Licht und Dunkelheit, die das Gute und Böse widerspiegeln. Jedem bekannt ist auch der metaphorische Gedanke über das Licht am Ende des Tunnels, welches man im Sterben sieht oder als ein Zeichen der Hoffnung fungiert. Für die Romantiker hatte das helle Licht, welches beim Sonnenaufgang am Horizont oder durch die dunklen Wolken am Himmelsfeld scheint, auch etwas Göttliches an sich. Ebenso stand Licht für Erleuchtung im Sinne der Aufklärung im 18. Jahrhundert. Der reinwissenschaftliche Aspekt von Licht blieb jedoch lange im Dunkeln. Obwohl die Überlegung, dass Licht sich wie Wellen ausbreite, die Wellentheorie von Christiaan Huygens,¹ schon bis ins 17. Jahrhundert zurückgeht, war vor allem ab dem 19. Jahrhundert durch die Erfindung der Glühbirne der Konkurrenzkampf für die Nutzbarkeit des Lichts sehr groß, also dauerte es nicht lange, bis einem die ein oder andere Frage über das Phänomen des Lichts aufkam. Man begann also zu forschen, tiefer zu tauchen in das scheinbar selbstverständlichste auf der Welt: das Licht.

Aber „Was ist das Licht? [...] Wir kennen ihre Länge, wir wissen, dass es Transversalwellen sind; [...] An diesen Dingen ist ein Zweifel nicht mehr möglich, eine Widerlegung dieser Anschauung ist für den Physiker undenkbar. Die Wellentheorie des Lichtes ist, menschlich gesprochen, Gewissheit.“ Dies ist ein Zitat des deutschen Physikers Heinrich Hertz bei der Heidelberger Tagung der Naturforschergesellschaft im Jahre 1889.² Aber ist das Licht nur eine Welle? Die Quantenphysik bietet eine andere Perspektive auf das Licht. Sie bietet eine, dessen Verständnis viel Vorstellungsvermögen und sogar auch Kreativität vermag, da es stets eine Perspektive ist, die fast jenseits menschlichen Begreifens liegt. Oder etwa doch nicht? In dieser Seminararbeit wird in die Welt der Quanten eingetaucht, die Funktion des Lichts als Quantenobjekt wird ebenso erläutert, um durch diese Grundlagen ein besseres Verständnis ihrer Doppelnatur zu erlangen. Zur Veranschaulichung des quantenmechanischen Aspektes des Lichts wird der Schwerpunkt auf das Experiment Bomb-Tester gelegt, bei dem gezeigt wird, dass eine Quantenmessung selbst ohne Wechselwirkung mit Licht möglich ist.

¹ Vgl. (Joachim Hertz Stiftung, kein Datum)

² Vgl. (Wünschmann, 2008) S.9

2. Grundlagen der Quantenphysik

2.1. Wenn Dr. Jekyll und Mr. Hyde Photonen wären

Die Doppelnatur des Menschen wurde schon in literarischen Werken aufgegriffen, so auch bei Robert Louis Stevensons Dr. Jekyll und Mr. Hyde: ein und dieselbe Person, zwei verschiedene Charaktere³. Es stellt sich heraus, dass es bei Lichtteilchen, also Photonen, nicht anders ist, denn der sogenannte Welle-Teilchen Dualismus beschreibt das Phänomen der Doppelnatur von Photonen. Die in der Einleitung erwähnte Wellentheorie von Huygens war nur ein Bruchteil von den vielen, und auch späteren, Auffassungen der Eigenschaften von Photonen. Wo das Photon einst als Welle wahrgenommen wurde, so bewies z.B. Einstein stets das Gegenteil mit dem Photoeffekt, wofür er 1921 den Nobelpreis erhielt⁴. Auch gelang es Arthur Holly Compton mit seinem Compton-Effekt, für den er 1927 den Nobelpreis erhielt, die Wellentheorie als obsolet darzustellen, indem er mit seinem Experiment beobachtete, dass die Wellenlänge des Photons mit dem Aufprall mit einem Elektron vergrößert wird.⁵ Es gibt also einen Impuls, was in der klassischen Physik typisch für Teilchen ist. Aber welche von den Auffassungen stimmen nun? Die Antwort ist: eigentlich sowohl die eine als auch die andere. Auch wenn es bei Dr. Jekyll und Mr. Hyde gespaltene Persönlichkeiten waren, die sich je nach Gegebenheit anders verhielten, waren sie dennoch ein und derselbe Mensch. Ebenso sind Photonen tatsächlich weder nur Welle noch nur Teilchen, sie sind sogenannte Quantenobjekte, die sich je nach Gegebenheit anders verhalten. Einfach gesagt: es kommt darauf an, was man mit ihnen macht. Wie sich also aus den vielen Experimenten ergeben hat, kann man Photonen weder die Teilchen- noch die Wellentheorie zuschreiben, denn zu ihnen passt nur das Quantenmodell. Licht besteht aus Photonen, und diese sind wiederum Quanten. Darunter versteht man kleinste Energiepakete, welche jedoch keine Masse besitzen.⁶

³ Vgl. (Stevenson, 1886)

⁴ Vgl. (Krause, Metzler Physik 12, 2010) S.12

⁵ Vgl. (Foundation, 2022)

⁶ Vgl. (Wünschmann, 2008) S.15

2.2. Ein Photon kommt selten allein...durch nur einen Spalt

Jeder kennt das Sprichwort „Ein Unglück kommt selten allein“. Es bedeutet, dass unerwünschte Ereignisse häufig gleichzeitig oder gefolgt von mehr Unglücken eintreten. Der Durchbruch, den man mit Hilfe eines Experiments namens Doppelspalt-Experiment erlangt hat, war jedoch genau das Gegenteil eines unerwünschten Ereignisses. Denn anstatt von gleichzeitig auftretenden Unglücken, waren es Photonen, die scheinbar zur gleichen Zeit an zwei verschiedenen Orten waren! Dieses sogenannte Doppelspalt-Experiment wurde erstmals 1802 von Thomas Young⁷ durchgeführt und bedeutete später einen äußerst wichtigen Schritt zum besseren Verständnis von der Doppelnatur von Photonen. Ein Photon wird in Richtung einer Platte geschossen, welche zwei identische, im geringen Abstand zueinander, schmale und parallele Spalten hat. Hinter der Platte befindet sich nochmals eine ganze Platte, auf der die Ergebnisse beobachtet werden sollen (s. Abb. 1).

Stellt man ein Hindernis, z.B. einen Doppelspalt, vor Lichtwellen, werden diese gebeugt, und überlagern sich. Trifft ein Wellental auf ein Wellental oder ein Wellenberg auf ein Wellenberg, so verstärken sie sich, und dies nennt man konstruktive Interferenz und es führt zu stärkerem Licht.

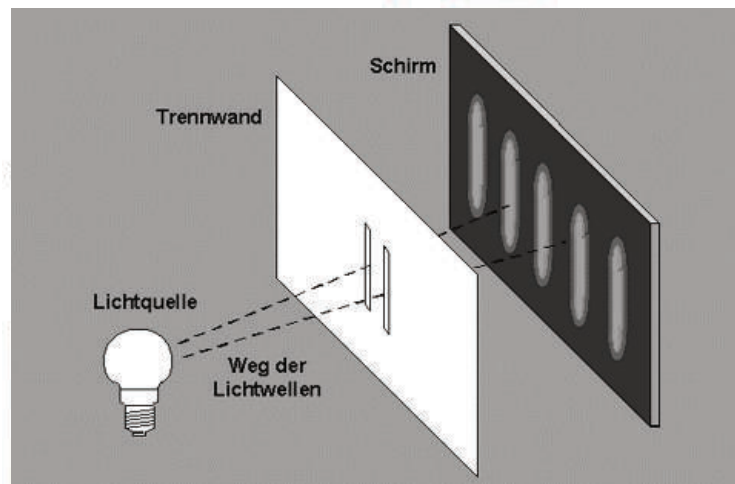


Abb.1: Doppelspalt-Experiment⁸

Das Gegenteil ist die destruktive Interferenz, die Wellen löschen sich aus, wenn ein Wellental auf ein Wellenberg trifft, was Dunkelheit bedeutet. Sendet man nur ein Lichtteilchen, also ein Photon, durch den Spalt, so kann man diesen auch an einer genauen Stelle als Lichtteilchen auf dem Schirm detektieren.

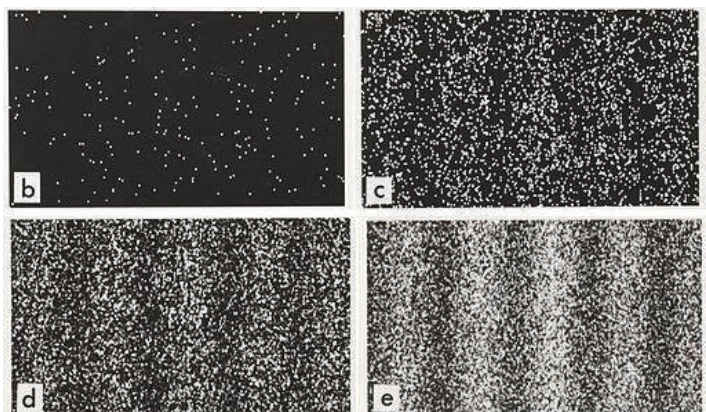


Abb.2: Ergebnisse Doppelspalt-Experiment⁹

⁷ Vgl. (Willig, kein Datum)

⁸ (Seilnacht)

⁹ (Tonomura, 2012)

Schickt man aber mehrere Photonen nacheinander in Richtung Platte, so ist am Beobachtungsschirm nach und nach ein Muster aus dunklen und hellen Streifen zu sehen, das sogenannte Interferenzmuster, welches sich bekanntlich aus Wellen ergibt (s.Abb.2). Dies ist mit einem Phänomen namens Superposition erklärbar. In der Quantenwelt können sich Quantenobjekte an verschiedenen Orten gleichwahrscheinlich aufhalten, sie befinden sich also in der Superposition. Das Photon kann also durch beide Spalten gegangen sein, und als Welle mit sich interferiert haben, bis es an einem Punkt am Beobachtungsschirm ankommt, und wieder als Teilchen detektiert wird. Den genauen Standort bzw. den Weg, den das Photon genommen hat, kann man aber nicht bestimmen. Beim Versuch, ein Photon zu messen, wird die Superposition zerstört, in dem Fall müsste sich das Photon also für eine Position „entscheiden“, und es tritt auch keine Interferenz mehr auf.¹⁰

Dieses Experiment ist eines der wichtigsten in der Quantenphysik und zweifellos eines der erstaunlichsten, mit dem man das Phänomen des Welle-Teilchen Dualismus und der Superposition von Quantenobjekten nachvollziehen kann. Später hat sich sogar herausgestellt, dass man dieses Experiment nicht nur mit Photonen, sondern auch Materieteilchen, wie Elektronen oder sogar Molekülen, durchführen kann.¹¹

¹⁰Vgl. (Perezogin, 2020)

¹¹Vgl. (Blech, kein Datum)

3. Experiment „Bomb-Tester“

3.1 Der Bomb-Tester

Ist es möglich, das Bestehen eines Objektes zu bestimmen, ohne dass mit ihr eine Wechselwirkung stattfindet? Auch wenn diese Frage anfangs grotesk scheinen mag, ist es in der Welt der kleinsten Teilchen, der Quantenphysik, jedoch nach dem Prinzip der wechselwirkungsfreien Quantenmessung möglich. Im Jahr 1993 wurde dazu ein Gedankenexperiment von den Physikern Avshalom Elitzur und Lev Vaidman namens „Bomb-Tester“ veröffentlicht.¹²

Man stelle sich eine bestimmte Menge an Bomben vor, die so beschaffen sind, dass sie bei einer Wechselwirkung mit auch nur einem Photon explodieren. Einige von diesen Knallern sind jedoch fehlerhaft, denn diese explodieren auch bei Wechselwirkung mit einem Photon nicht, sie sind Blindgänger, welche äußerlich ununterscheidbar sind. Wenn man die Bomben also mit Photonen beschießt, werden diejenigen, die funktionsfähig sind, explodieren. Nun kommt aber das Trickreiche: Gibt es eine Möglichkeit, mit der man feststellen kann, welche Bomben funktionsfähig sind und welche nicht, ohne sie mit Photonen interagieren zu lassen? Durch die Quantenphysik wird eine wechselwirkungsfreie Methode geboten, mit der man möglichst viele funktionierende Bomben retten kann. Bei diesem Versuch handelt es sich um ein Analogieexperiment, welches normalerweise mit einzelnen Photonen durchgeführt wird, das Ergebnis wäre jedoch wie bei diesem Aufbau das gleiche. Bei einem Laserstrahl lässt sich dieses Experiment klassisch erklären, wobei man bei Einzelphotonen auf die Quantenmechanik zurückgreifen muss.¹³

In Kapitel 2, in der die Grundlagen der Quantenphysik erläutert wurden, wurde bereits erwähnt, dass Licht sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaften hat. Sendet man Photonen in den Versuchsaufbau, lässt sich auf dem Schirm ein Interferenzmuster erkennen: Das Licht verhält sich also wie eine Welle.

Wenn das Experiment folgende Kriterien erfüllt, dann zeigt Licht Welleneigenschaften auf:

1. Es gibt mehr als einen möglichen Weg, den das Licht nehmen kann
2. Die Wege sind ununterscheidbar

Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, ist keine Interferenz zu beobachten.¹⁴

¹²Vgl. (Unbekannt, New Scientist, 2010)

¹³Vgl. (Thorlabs Discovery, 2014) S.4

¹⁴ Dies wurde beim Praktikum am MPQ von der Leiterin des Schülerlabors mündlich geäußert

3.2 Der Michelson-Interferometer

Im Michelson-Interferometer (s. Abb. 3) wird Licht bzw. ein Laserstrahl an einem 50:50-Strahlteiler (auch halbdurchlässiger Spiegel genannt) aufgeteilt. Durch ihn wird der Laserstrahl in zwei Strahlen aufgeteilt, indem 50% davon reflektiert, und die anderen 50% hindurchgelassen werden. Die Teilstrahlen werden über Spiegel zurückreflektiert und am Strahlteiler wieder zusammengeführt. Am Ausgang des Interferometers wird ein Schirm bzw. ein Detektor platziert, auf dem bei ununterscheidbaren Wegen ein Interferenzmuster zu sehen sein wird. Aufgrund der Linse, welche normalerweise vor dem Laser platziert ist, und mit der eine Auf- bzw. Ausweitung des Strahls erzielt wird, ist ein Ringmuster aus hellen und dunklen Ringen (konstruktive bzw. destruktive Interferenz) zu beobachten. Anzumerken ist auch, dass sich das deutlichste Interferenzbild dann ergibt, wenn die Arme des Interferometers gleich lang sind. Ist dies nicht der Fall, ergibt sich zwar trotzdem ein Interferenzmuster, dieses wäre aber sehr viel kleiner. Die beiden Interferometerarme sind jedoch nie gleich lang, da eine nanometergenaue Einstellung praktisch nicht möglich ist.¹⁵

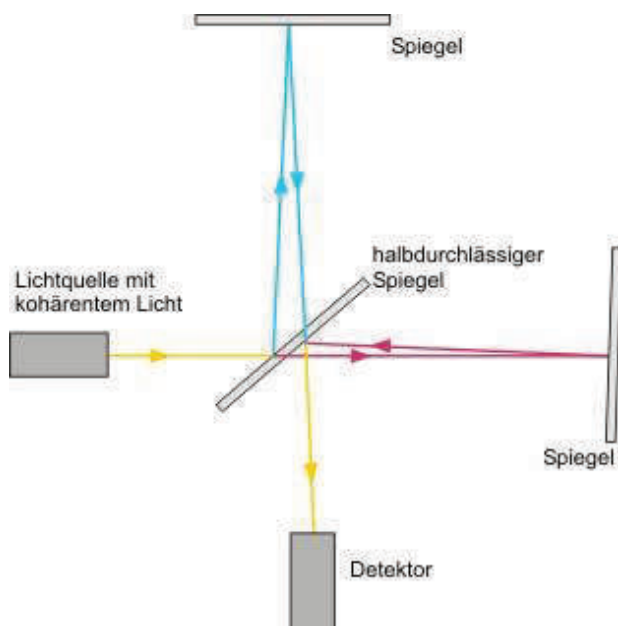


Abb. 3. : Michelson-Interferometer¹⁶

¹⁵ Vgl. (Blech, kein Datum)

¹⁶ (Pollmann, 2009)

3.3 Der Versuchsaufbau

Abbildung 4 zeigt den Versuchsaufbau des Bomb-Testers, welcher nahezu identisch mit dem des Michelson-Interferometers ist. Dieser Versuch wurde am 12. April 2022 im Schülerlabor PhotonLab des Max-Planck Institut für Quantenoptik durchgeführt. Der Aufbau enthält:

- 1 Laser
- 2 Spiegel
- 1 Linse (50 mm)
- 1 Strahlteiler
- 1 Schirm
- 1 Photodetektor
- 1 Voltmeter

Der Photodetektor ist an ein Voltmeter (Spannungsmessgerät) angeschlossen. Mit Hilfe der Anzeige des Voltmeters kann die gemessene Spannung abgelesen werden.

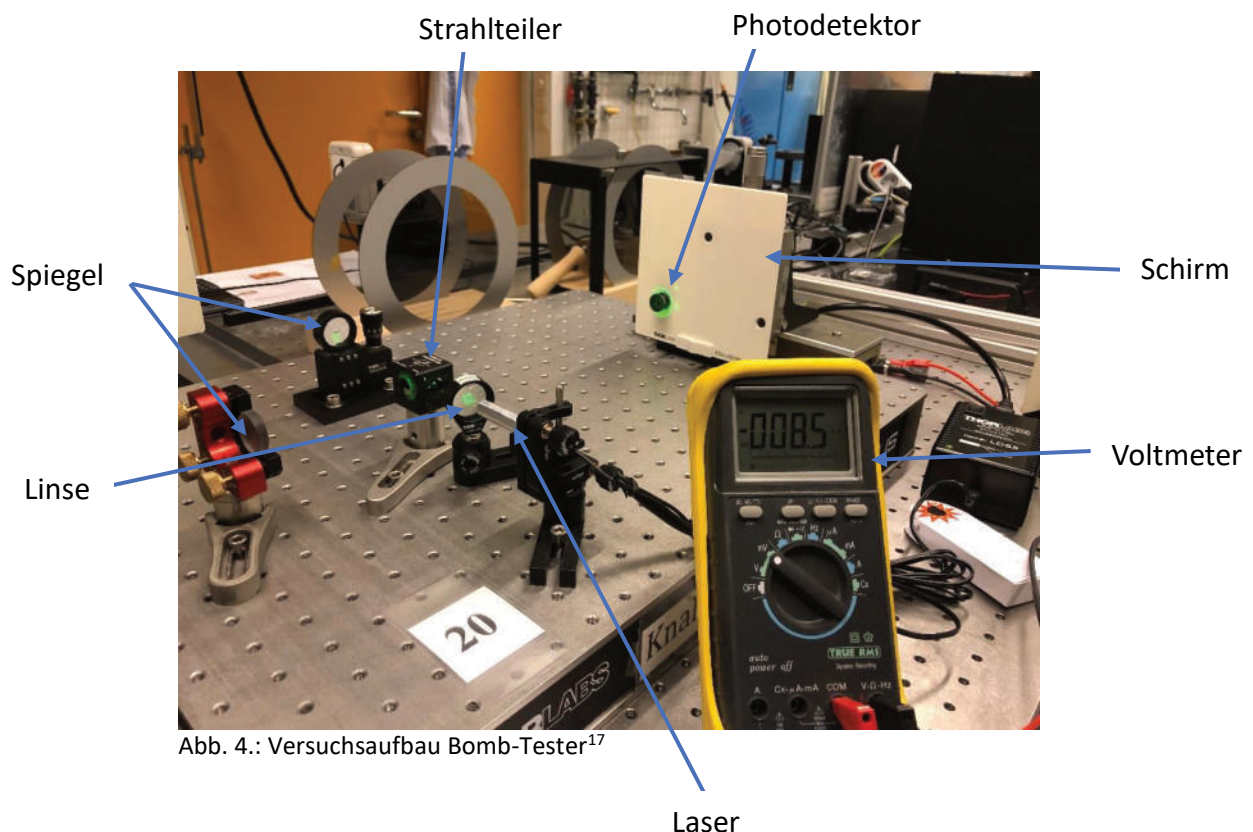


Abb. 4.: Versuchsaufbau Bomb-Tester¹⁷

¹⁷ (Tsulukidze, 2022)

3.4 Bombe oder Blindgänger?

Beim Experiment mit Photonen würde beim Auftreffen auf den halbdurchlässigen Spiegel eine Überlagerung (Interferenz) stattfinden. Die Wahrscheinlichkeit, reflektiert und transmittiert zu werden, ist gleich. Das Photon befände sich in einer Superposition, also an zwei Orten gleichzeitig. Damit die Bomben unterschieden werden können, wird jede einzelne der Reihe nach in einem der Interferometerarme platziert. Man sehe nun ein Interferenzmuster aus dunklen und hellen Ringen (s. Abb.5). Es ist wichtig, dass das Interferometer so eingestellt wird, dass man an der Stelle des Detektors eine destruktive Interferenz, also die Stelle eines dunklen Ringes, vorfindet, damit man eine Wechselwirkung detektieren kann.

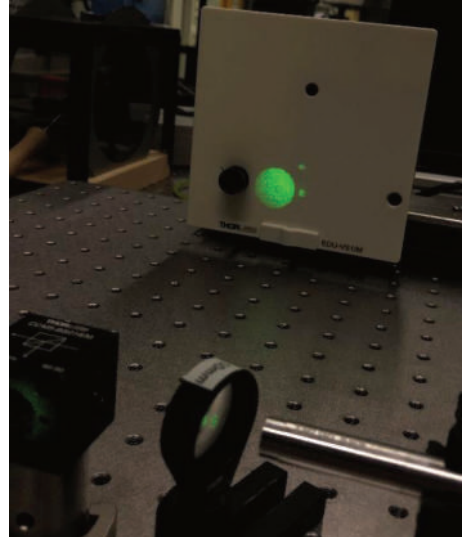
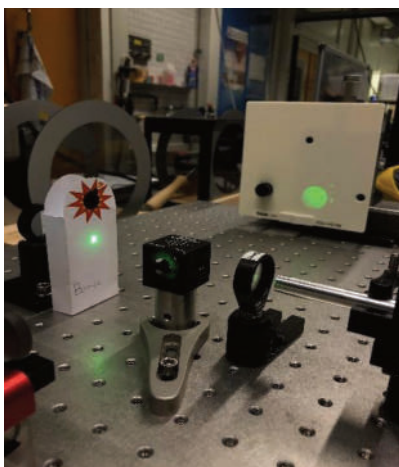


Abb.5: Interferenzmuster, mittig destruktive Interferenz¹⁸

Es gibt zwei Fälle, die man unterscheiden kann:

Fall 1: Die Bombe ist scharf

Bei einer scharfen Bombe findet eine Wechselwirkung zwischen Photon und Auslöser der Bombe statt. a) Wenn das Photon den Weg nimmt, in dem sich der Knaller nicht befindet, würde es an dem jeweiligen Spiegel reflektiert werden, und am Strahlteiler entweder Richtung Detektor oder zurück zum Laser transmittiert werden. Die Wahrscheinlichkeiten stehen also bei jeweils 50%, sodass der Detektor entweder ein Photon misst oder dunkel bleibt. Nur in



den Fällen, in denen ein Photon am Detektor auftrifft bzw. detektiert wird, wird das Interferenzbild zerstört (da destruktive Interferenz eingestellt war), und es kann somit mit Sicherheit angenommen werden, dass eine scharfe Bombe vorhanden ist. b) In den Fällen, in denen der Detektor dunkel bleibt, kann angenommen werden, dass das Photon zum Laser zurücktransmittiert wurde. Aus diesem Grund kann man auch keine Aussage über die Bombe treffen.

Abb.6: Kein Interferenzmuster bei scharfer Bombe¹⁹

¹⁸ (Tsulukidze, 2022)

¹⁹ (Tsulukidze, 2022)

c) Die weitere Möglichkeit wäre, dass das Photon den anderen Weg nimmt, und somit direkt auf den Knaller trifft, welche dann detoniert.²⁰

Fall 2: Die Bombe ist ein Blindgänger

In der makroskopischen Welt gibt es nichts, das nicht mit Licht in Wechselwirkung gerät, also stellt man in diesem Fall nichts in den Aufbau, oder zur Veranschaulichung einen „Blindgänger“ (s. Abb. 7). a) Bei einem Blindgänger gibt es keine Wechselwirkung mit einem Photon. Somit kann man auch den Weg, den das Photon genommen hat, nicht unterscheiden und die Bedingungen für das Auftreten einer Interferenz sind nicht verletzt. Aus diesem Grund bleibt die destruktive Interferenz am Detektor erhalten, da keine Wechselwirkung mit einem Photon stattgefunden hat und somit auch nichts detektiert wurde, d.h. es wird keine Änderung der Spannung gemessen.

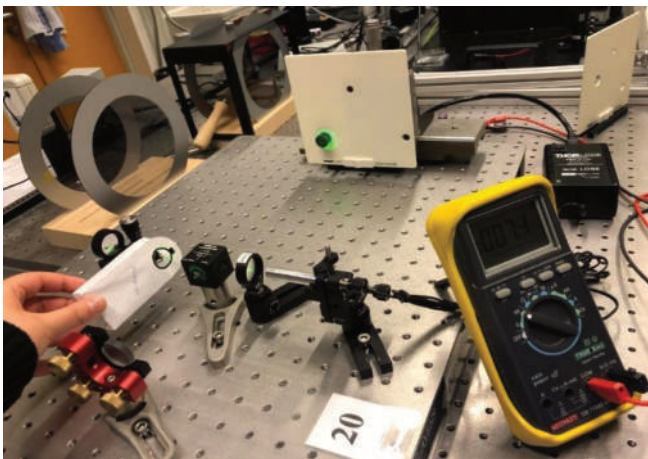


Abb.7: Blindgänger²¹

Man stelle eine Bombe, von der man nicht weiß, ob sie defekt ist oder nicht, in den Aufbau und bestrahle diese mit dem Laser. Man kann letztendlich drei mögliche Ergebnisse erhalten:

1. Es herrscht Dunkelheit am Detektor: Es kann keine Aussage über die Bombe getroffen werden (Fall 1b oder 2a, also muss ein weiteres Photon in den Aufbau geschickt werden)
2. Es gibt eine Detonation und der Detektor bleibt dunkel, da die Bombe das Photon absorbiert hat (Fall 1c)

Es wird ein Photon am Detektor gemessen: Es befindet sich mit Sicherheit eine funktionsfähige Bombe im Aufbau (Fall 1a)²²

²⁰ Vgl. (Thorlabs Discovery, 2014) S.18-19

²¹ (Tsulukidze, 2022)

²²Vgl. (Unbekannt, De.knowledgr.com, kein Datum)

Aus den möglichen Ergebnissen kann man schließen, dass in 25% der Fälle eine scharfe Bombe nachgewiesen werden kann, ohne dass diese explodiert. In 50% der Fälle detoniert eine scharfe Bombe und in den restlichen 25% kann keine Aussage gemacht werden.

Folglich stellt man also fest, dass ohne eine Wechselwirkung zwischen Bombe und Photon das Vorhandensein einer funktionsfähigen Bombe nachgewiesen werden kann aufgrund des Zusammenbruchs der destruktiven Interferenz.²³

²³ Vgl. (Thorlabs Discovery, 2014) S.20

3.5 Messungen

Wie schon in Kapitel 3.1 erwähnt, kann das Experiment mit Einzelphotonquellen- und -detektoren durchgeführt werden. Aufgrund des großen Aufwandes und der hohen Kosten dienen Analogie-Experimente mit kohärentem Laserlicht zur Veranschaulichung. Anstatt eines Einzelphotonendetektors wird hier ein Photodiodendetektor verwendet, welcher nur die Lichtintensitäten misst, was bedeutet, dass letztendlich anstatt der Einzelphotonen nur die Wahrscheinlichkeiten der möglichen Zustände gemessen werden, welche die Photonen realisieren können.²⁴

Die gemessenen Daten weichen etwas von den zu erwartenden bzw. errechnenden Zahlen ab. Dies liegt schlichtweg an der Instabilität und Divergenz des Lasers (s. Videodatei, man erkennt dort am Messgerät die schnellen Schwankungen der gemessenen Lichtintensitäten, sodass dies eine präzise Messung erschwert). Bei einem perfekt justiertem Aufbau und einem stabileren Laser wären die Messungen genauer durchzuführen.

Messung	Gesamtintensität (doppelte Messung in mV)	Blindgänger (Intensität d. Minimums)	Scharfe Bombe (ein Arm abgedeckt)
1	23,0 • 2 = 46,0	7,3	9,0
2	19,6 • 2 = 39,2	6,2	8,3
3	18,0 • 2 = 36,0	6,3	9,1
4	42,9 • 2 = 85,8	20,4	22,0
5	45,5 • 2 = 100	18,0	21,7
6	40,8 • 2 = 81,6	8,0	24
7	38,4 • 2 = 76,8	17,9	21,9
Durchschnitt	66,5	12,0	16,6

Zuerst misst man die gesamte Intensität beider Teilstrahlen. Dafür dejustiert man das Interferometer so lange, bis das Interferenzmuster verschwunden ist. Die gemessene Spannung spiegelt die Hälfte der Gesamtintensität wider, wobei 50% des Lichts in den Laser zurückreflektiert werden, also muss diese verdoppelt werden (s. Tabelle 1 Spalte 2).

Durch Drehen an den Einzelschrauben kann man das Interferenzmuster so einstellen, dass im

²⁴ Vgl. (Thorlabs Discovery, 2014) S.20

Zentrum ein Minimum bzw. Dunkelheit herrscht (s. Abb.5). Weil man praktisch nie ein perfektes Minimum erreichen kann und das Umgebungslicht auch Einfluss auf die Messung nimmt, kann die Spannung der Photodiode nie auf null sein. Den Wert für das Minimum findet man in Tabelle 1 Spalte 3. Hat man nun einen Blindgänger im Aufbau, so ändert sich nichts an dem niedrigen Wert, da die destruktive Interferenz erhalten bleibt. Es treffen also keine Photonen auf den Detektor. Durch das Blockieren eines der Interferometerarme oder durch Nutzung des Modells (s. Abb. 6) simuliert man eine funktionsfähige Bombe im Aufbau. Wie schon bekannt führt dies zur Zerstörung der Interferenz (Bedingung 2: Unterscheidbarkeit der Wege) und das Minimum im Zentrum des Detektors verschwindet. Die Spannung steigt also an (s. Tabelle 1 Spalte 4). Diese gemessene Spannung sollte ungefähr $\frac{1}{4}$ der Gesamtspannung betragen. Dies würde im Photonenbild bedeuten, dass ein Viertel der geschickten Photonen auf den Detektor treffen. Diese 25% der Photonen deuten auf die Anwesenheit der scharfen Bombe hin (Fall 1a). In der Tabelle erkennt man in den Messungen Werte von ungefähr 20% bis 30% anstatt der erwarteten 25%. Neben der Divergenz des Lasers sind diese Abweichungen sowohl auf Verluste an Strahlteilern und Spiegeln als auch auf Messungenauigkeiten beim Aufstellen des Detektors zurückzuführen. Anzumerken ist, dass man den Versuch auch mit konstruktiver Interferenz im Zentrum durchführen kann. Denn auch bei einem Intensitätsmaximum kann bei einer scharfen Bombe die Superposition zerstört werden, sodass man keine Interferenz mehr beobachten kann. Bevor man eine Bombe in den Aufbau stellt, so würde man logischerweise in diesem Fall einen hohen Spannungswert messen. Wenn man nun eine Bombe in den Aufbau stellt, so wäre hier die Interferenz ebenfalls zerstört, aber für das quantenmechanische Testen der Bomben eher sinnlos, da für ein im Zentrum nachgewiesenes Photon über das Bestehen der Interferenz keine Aussage getroffen werden kann.²⁵

Letztendlich wurde uns hier durch quantenmechanische Phänomene eine Möglichkeit gegeben, etwas über die Wahrscheinlichkeiten der Photonen auszusagen und somit scharfe Bomben zu identifizieren, ohne dass sie explodieren. Man würde daran scheitern, dies mit der bekannten klassischen Physik zu erklären. Durch das Experiment ist es Lev Vaidman und Avshalom Elitzur gelungen, eine neue Methode zum besseren Verständnis der Quantenphysik einzuführen.

²⁵ Vgl. (Thorlabs Discovery, 2014) S.21-23

4.Fazit

Durch die Quantenmechanik sind wir gezwungen, unser fundamentales Verständnis von Realität zu hinterfragen. Die Welt besteht nun aus unendlich vielen Wahrscheinlichkeiten, nichts ist mehr sicher, denn hinter der makroskopischen Welt verbirgt sich etwas, was wir nur passiv erleben können. Es passieren Geschehnisse, die nicht in unseren Händen liegen, mit denen wir nur experimentieren können, um Fakten aufzustellen. Klar ist jedoch, Licht ist viel mehr als nur eine bloße Transversalwelle, und das ist Gewissheit. Bevor es Physikerinnen und Physikern aber gelang, diese scheinbar absolute Gewissheit über das Licht zu erlangen, brachte diese einen langen, holprigen, und meist unverständlichen Weg mit sich. Denn wie es auch üblich in der Wissenschaft ist, kommt es oft zum Scheitern oder Widerlegen, aber: „Auch eine Enttäuschung, wenn sie nur gründlich und endgültig ist, bedeutet einen Schritt vorwärts [...]“²⁶. Und genaugenommen ist es sehr selten, dass man sich über ein Thema in der Wissenschaft zu von Anfang an 100% sicher sein kann. Denn was ist schon absolute Gewissheit? Kann man sich als Mensch zutrauen, vollkommenes Wissen über etwas zu haben? Und die Physik wirft hier wohl mehr Fragen auf, als man sie beantworten kann. Das ist aber nicht schlimm, denn mit jeder neuen, richtigen Information ist man ein Stück näher an der Wahrheit, jedoch gibt es immer Neues zu entdecken, dafür ist von der Natur gesorgt. Einerseits scheint die Quantenphysik sehr aussichtslos in Hinsicht der Verständlichkeit und kompletten Aufklärung und Aufdeckung dieser. Andererseits kann man sich freuen, dass es noch kein abgeschlossenes Thema ist, sondern im Gegenteil, eines, über das sich die Menschheit mit größter Freude weiterhin den Kopf zerbrechen kann. Denn das ist es, was die Naturwissenschaft ausmacht: Es ist das noch Unbekannte, Unentdeckte, das Mysteriöse, das den neugierigen und wissgierigen Menschen auf Trab hält. Es sind nicht nur Zahlen und Figuren, es ist das Rationale kombiniert mit dem Irrationalen des Menschen. Es ist das Angehen von Problemen mit sowohl Verstand als auch Gefühl und Intuition. Es ist das Ausleben einer Leidenschaft mit dem Risiko, den Verstand zu verlieren, ebenso wie den Durchblick. Und wenn man nun auch nach dieser Seminararbeit über die Welt der Quanten das Gefühl hat, den Durchblick komplett verloren zu haben, dann nur keine Sorge, denn: „Ich denke, man kann mit Sicherheit sagen, dass niemand die Quantenmechanik versteht.“²⁷

²⁶ (Münch, 2022)

²⁷ (Wieselberg, 2013)

5. Literaturverzeichnis

- Blech, R. (kein Datum). *Studyflix*. Von <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/michelson-interferometer-2263> abgerufen am 07.August 2022
- Foundation, T. N. (2022). *The Nobel Prize*. Von <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1927/compton/facts/> abgerufen am 02.November 2022
- Joachim Hertz Stiftung. (kein Datum). *Christiaan Huygens (1629-1695)*. Von LEIFIphysik: <https://www.leifiphysik.de/optik/wellenmodell-des-lichts/geschichte/christiaan-huygens-1629-1695> abgerufen am 07.August 2022
- Krause, J. (2010). *Metzler Physik 12*. Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH.
- Münch, A. (2022). *Zitate-Fibel*. Von <https://zitate-fibel.de/zitate/max-planck-auch-eine-enttauschung-wenn-sie-nur-gruendlich-und-endgueltig-ist-bedeutet-einen-schritt-vorwaerts> abgerufen am 07.August 2022
- Perezogin, R. (1. Juli 2020). *Entropy-Wissenschaft schnell erklärt*. Von Youtube: <https://youtu.be/eL5yI0DSaUE> abgerufen am 04.November 2022
- Pollmann, M. (19. August 2009). *Der Michelson-Interferometer*. Von Spektrum: <https://www.spektrum.de/fm/912/thumbnails/Michelson-Morley.jpg.3612595.jpg> abgerufen am 07.August 2022
- Seilnacht, T. (kein Datum). *Seilnacht.com*. Von <https://seilnacht.com/Lexikon/Licht.htm> abgerufen am 04.November 2022
- Stevenson, R. L. (1886). *Der seltsame Fall des Dr.Jekyll und Mr. Hyde*. Anaconda Paperback.
- Studyflix. (kein Datum). *Studyflix*. Von <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/doppelspaltexperiment-durchfuhrung-und-beobachtungen-1945> abgerufen am 04.November 2022
- Thorlabs Discovery. (2014). *Knaller-Test Handbuch*.
- Tonomura, D. (23. August 2012). Von https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7e/Double-slit_experiment_results_Tanamura_2.jpg/309px-Double-slit_experiment_results_Tanamura_2.jpg abgerufen am 04.November 2022
- Tsulukidze, A. (2022). Versuchsaufbau Bomb-Tester. Von <https://www.leifiphysik.de/quantenphysik/quantenobjekt-photon/grundwissen/erklarungsprobleme-des-photoeffekts> abgerufen
- Unbekannt. (5. Mai 2010). *New Scientist*. Von <https://www.newscientist.com/article/mg20627596-400-quantum-wonders-the-elitzur-vaidman-bomb-tester/> abgerufen am 06.August 2022
- Unbekannt. (kein Datum). *De.knowledgr.com*. Von <https://de.knowledgr.com/01724594/ElitzurVaidmanBombentester> abgerufen am 06.August 2022
- Wieselberg, L. (28. März 2013). *Die wundersame Welt der Quantenmechanik*. Von science.ORF.at: <https://science2.orf.at/stories/1723499/index.html> abgerufen am 07.August
- Willig, H.-P. (kein Datum). *Physik für alle!* Von <https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Doppelspaltexperiment> abgerufen am 02.November 2022
- Wünschmann, A. (2008). *Der Weg zur Quantenmechanik*. Studien-Verlag Wünschmann.

6.Eidesstaatliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Hausarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Prüfungsleistung war.

Ort, Datum und Unterschrift der Verfasserin / des Verfassers