

Protokoll: Mach-Zehnder Interferometer Quantenradierer

Alexander Jankowski, Philipp Hacker

4. Januar 2016

Betreuer: Jakob Walowski
Versuchsdatum: 10.12.2015

Note:

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	2
2	Physikalische Grundlagen	3
2.1	MZ-Interferometer für Wellen	4
2.2	MZ-Interferometer für einzelne Photonen	5
3	Durchführung	6
4	Auswertung	7
5	Anhang	8

1 Motivation

2 Physikalische Grundlagen

Das *Mach-Zehnder*-Interferometer dient hauptsächlich zur Untersuchung der Brechungsindizes von Probesubstanzen bspw. in flüssiger oder gasförmiger Phase. Dabei nutzt man das Prinzip der Interferometrie, bei welchem ein Lichtstrahl/eine elektromagnetische Welle über optische Bauteile zuerst in zwei Anteile gleicher Amplitude aufgeteilt und nach einer festen, bei beiden gleichen Wegstrecke wieder überlagert wird. Der eine Teil wird als Referenz zum anderen, durch eine Probe laufenden genutzt. Die gesuchten Informationen stecken hierbei in den relativen Phasen der Strahlen/Wellen.

Bei dem Mach-Zehnder-Interferometer trifft ein kollimierter Lichtstrahl auf einen 50 : 50-Strahlteiler, welcher einen Proben- und Referenzstrahl gleicher Intensitäten erzeugt. Idealerweise legen diese, ohne das Einführen einer zu untersuchenden Substanz in den Strahlengang, einen gleichen optischen Weg im Aufbau zurück. Dabei werden sie zusätzlich über Spiegel jeweils einmal reflektiert und an einem zweiten Strahlteiler in 2 Detektoren gebracht. Den Aufbau dafür zeigt Abbildung 1. Wichtig ist, dass die halbverspiegelte Oberfläche des hinteren Teilers in Richtung des Detektors A/ersten Schirms, also von der Lichtquelle weg zeigt.

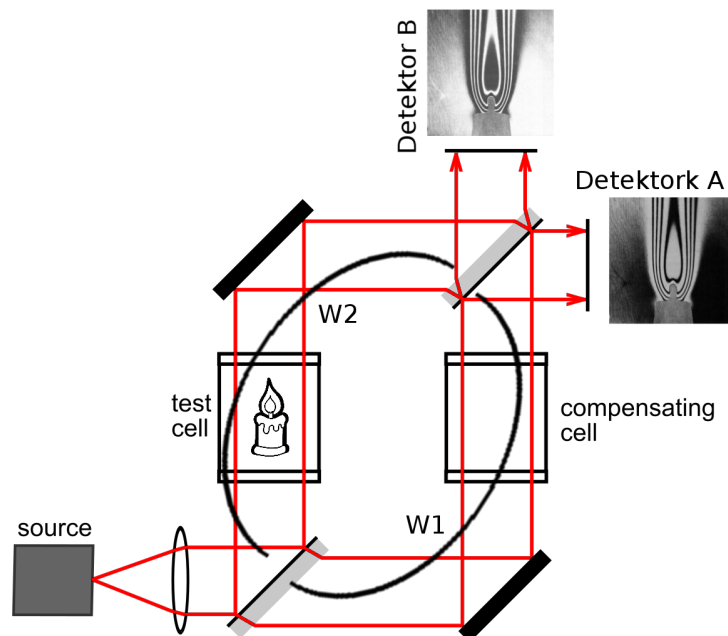


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Mach-Zehnder-Interferometers. Ein kollimierter Lichtstrahl (*source*, Linse) trifft einerseits auf eine Probe (*test cell*) und andererseits auf eine leere Referenzkammer (*compensating cell*). Unterschiedliche Interferenzbilder werden auf 2 Schirmen, den Detektoren **A** und **B** nach Überlagerung beobachtet. [2]

2.1 MZ-Interferometer für Wellen

Nach Abbildung 1 durchläuft jeweils ein Strahl den Weg **W1** und **W2** mit den Weglängen s_{W1} bzw. s_{W2} . Offensichtlich erfahren beide eine unterschiedliche Phasenverschiebung aufgrund der Probe bzw. den Reflexionen an Spiegeln und dem Durchgang durch die Strahlteiler.

Bei der Reflexion eines Lichtstrahls einem optisch dichteren Medium - unter Annahme einer, zur Einfallsebene senkrecht polarisiert einlaufenden Welle und nicht-absorbierender Medien - tritt „für die zur Einfallsebene senkrechte Komponente ein Phasensprung von π auf.“ (aus [1], S. 239). Gleiches gilt auch für die Parallelkomponente und jeden Einfallswinkel (exc. den *Brewster-Winkel*) womit man annehmen kann: „Die Welle macht dann einen Phasensprung von π bei der Reflexion.“

Untersucht man nun die einzelnen Wege des Lichtstrahls - **W1** oder **W2** zum Detektor **A** oder **B** - so findet man, dass der gesamte Phasenunterschied jeweils 2π beträgt und man somit auf beiden Schirmen konstruktive Interferenz, e.g. *kohärente* Überlagerung erwarten muss.

Augenscheinlich muss zusätzlich die, bisher vernachlässigte Richtungsabhängigkeit eines Strahlteilers und der daran stattfindenden Reflexion beachtet werden. Es kommt demnach zu keinem Phasensprung bei einer Reflexion an der 'Rückseite', dem halbdurchlässigen Spiegel eines realen Strahlteilers.

Tatsächlich nimmt eine durchlaufende Welle im Glas des Bauteils eine zusätzliche Phase von $2\pi s/\lambda$ auf, wobei λ die Wellenzuglängen und s der optische Weg im Medium - respektive Brechungsindex und Einfallswinkel - ist. Damit wird entlang des Pfades **W1** zum Detektor **A** die Gesamt-Phasenverschiebung zu φ_A in Gleichung 1. Analog gilt dies für den anderen Detektor **B** und den zweiten Pfad **W2** in Gleichung 2 - Gleichung 4.

$$\varphi_A = \pi + \pi + \frac{2\pi s}{\lambda} + \frac{2\pi s_{W1}}{\lambda} \quad (1)$$

$$\varphi_B = \pi + \pi + \pi + \frac{2\pi s}{\lambda} + \frac{2\pi s_{W1}}{\lambda} = \phi_1 + \pi \quad (2)$$

$$\vartheta_A = \pi + \pi + \frac{2\pi s}{\lambda} + \frac{2\pi s_{W2}}{\lambda} \quad (3)$$

$$\vartheta_B = \pi + 2\frac{2\pi s}{\lambda} + \frac{2\pi s_{W2}}{\lambda} \quad (4)$$

Mit der Kenntnis über die Phasen-*shifts* können nun eindeutig Interferenzverhältnisse vorhergesagt werden. Die Differenz aus φ_A und ϑ_A entspricht gerade der Phasenrelation zwischen den Wellen entlang der beiden Pfade auf den Detektor **A** in Gleichung 5. Gleiches gilt für die Überlagerung auf Schirm **B** in Gleichung 6 [?].

$$\varphi_A - \vartheta_A = \frac{2\pi(s_{W1} - s_{W2})}{\lambda} = \delta \quad (5)$$

$$\varphi_B - \vartheta_B = \pi + \delta \quad (6)$$

2.2 MZ-Interferometer für einzelne Photonen

3 Durchführung

4 Auswertung

5 Anhang

Literatur

- [1] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2, Elektrizität und Optik*. Springer; Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2006. – 231–239 S. – ISBN 978–3–540–33795–9 (Online). – insbesondere 293, 8.4.8
- [2] FROM WIKIPEDIA, the free e.: *Mach–Zehnder interferometer*. Online, siehe URL. https://en.wikipedia.org/wiki/Mach%E2%80%93Zehnder_interferometer. Version: am 04.01.2016