

## I. Das Michelson –Interferometer

**Sicherheitshinweis: Laser sind gefährlich! Blicken Sie niemals direkt in den Laserstrahl! Nehmen Sie den Laser nicht aus dem Aufbau heraus!**

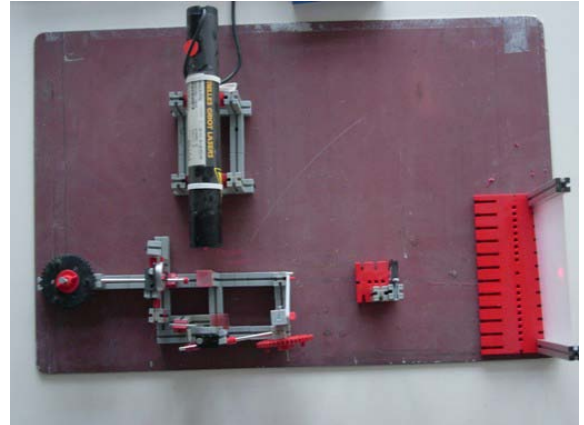


### 1. Theorie

Informieren Sie sich anhand des beigegeführten Materials über den Aufbau des Michelson-Interferometers!

### 2. Aufbau des Interferometers

Der Aufbau ist im wesentlichen fertig und besteht aus dem Laser, dem Strahlteiler, zwei Laserspiegeln, einer Linse und einem Schirm. Alle Teile sind mit Magnetstreifen versehen und haften auf der Stahlplatte. Die stabile Platte ist notwendig, um Störungen zu reduzieren.



### 3. Justierung des Interferometers

Lassen Sie zunächst die Linse weg. Schalten Sie den Laser ein, der nach wenigen Sekunden zu leuchten beginnt. Auf dem Schirm sind bei richtiger Ausrichtung des Lasers zwei kleine rote Lichtflecken zu sehen. Bringen Sie diese mithilfe der roten (horizontal) und schwarzen (vertikal) Zahnräder ungefähr übereinander. Stellen Sie die Linse in den Strahlengang (zwecks Aufweitung) und justieren Sie fein, bis die beiden Lichtflecken genau übereinander liegen. Sie sollten dann ein Interferenzmuster sehen. Überprüfen Sie durch Zuhalten der einzelnen Arme, ob die Interferenz tatsächlich ihre Ursache in der Überlagerung der beiden Teilstrahlen hat!



### 4. Experiment

- Testen Sie zunächst die Empfindlichkeit des Interferometers gegen leichte Erschütterungen und Luftveränderung (Atemluft). Was können Sie beobachten?
- Laufzeitänderung durch Glasplatte im Strahlengang  
Hält man eine Glasplatte in den Strahlengang eines Interferometerarms, so beobachtet man eine Verschiebung der Interferenzstreifen. Diese ist auf die unterschiedliche Lichtgeschwindigkeit in Glas und Luft zurückzuführen. Die Frage ist, ob sich hiermit der Brechungsindex  $n = c/v$ ,  $v$  die Geschwindigkeit des Lichts im Glas, ermitteln lässt. Dazu bestimmt man die veränderte Laufzeit und die entsprechende Phasenverschiebung des Signals.

Es ergibt sich:  $\frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{d}{\lambda} (n - 1)$ , wobei  $d$  die Dicke des Glases ist.

Leiten Sie diese Formel her (falls genügend Zeit ist)!

Schätzen Sie die Anzahl  $\Delta s/\lambda$  ab!

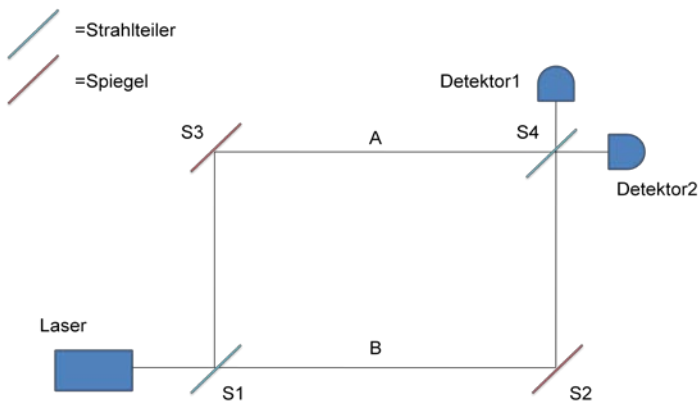
## II. Das Mach-Zehnder Interferometer

**Sicherheitshinweis: Laser sind gefährlich! Blicken Sie niemals direkt in den Laserstrahl! Nehmen Sie den Laser nicht aus dem Aufbau heraus!**



**Aufgabe: Bauen Sie das Mach-Zehnder Interferometer auf und justieren Sie es!**

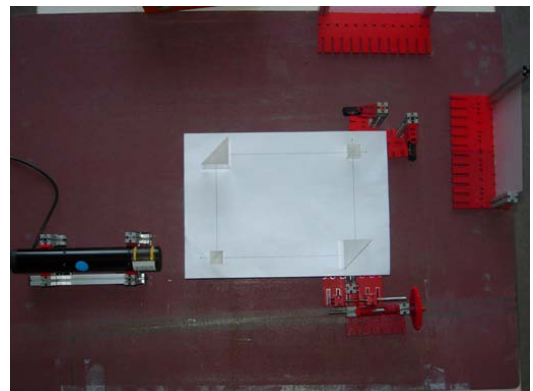
Im Gegensatz zum Michelson-Interferometer sollen Sie hier selbst den Aufbau durchführen. Sie werden sehen, dass es nicht so einfach ist ein Interferenzmuster zu erzielen, wie die Theorie es Glauben macht!



Den prinzipiellen Aufbau kennen Sie bereits vom Freitag. Als Spiegel werden Umkehrprismen verwendet, die Strahlteiler sind Würfelförmig. Als Detektoren dienen zwei milchige Schirme. Zur Vereinfachung ist das Aufbau-Schema auf einem Blatt vorgezeichnet.

Reihenfolge:

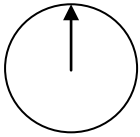
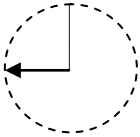
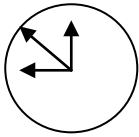
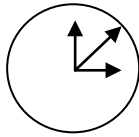
- i. Stellen Sie an Position S1 einen Strahlteilerwürfel und richten Sie diesen und den Laser so aus, dass die beiden Teilstrahlen senkrecht zueinander entlang der eingezeichneten Linien verlaufen. Dies können Sie mit einem kleinen Blatt Papier kontrollieren.
- ii. Stellen Sie an Position S3 ein Prisma auf, sodass der reflektierte Strahl A parallel zu B verläuft. Der Schirm (Detektor2) zeigt nun einen Lichtfleck.
- iii. Stellen Sie den zweiten Strahlteilerwürfel bei S4 so auf, dass der reflektierte Teilstrahl senkrecht zum nicht reflektierten verläuft, auf dem zweiten Schirm (Detektor1) ist dann ebenfalls ein Lichtfleck zu sehen.
- iv. Stellen Sie das zweite Prisma S2 auf, so dass die nun jeweils zwei Lichtflecke auf den Schirmen möglichst nahe beisammen sind.
- v. Stellen Sie im Abstand von einigen Zentimetern von den beiden Ausgängen von S4 die Linsen zwecks Aufweitung der Strahlen auf.
- vi. Führen Sie mithilfe des Rads an dem Unterbau von S2 die vertikale und durch Drehen von S3 die horizontale Feinabstimmung durch, bis ein Interferenzmuster sichtbar wird. Dazu müssen Sie gegebenenfalls die beiden Schirme etwas weiter weg stellen.
- vii. Sie sehen eine größere Anzahl von feinen Streifen?  
Herzlichen Glückwunsch!
- viii. Testen Sie die Funktion und Empfindlichkeit des Interferometers durch zuhalten einzelner Wege, durch Pusten etc.!
- ix. Zur Diskussion: Wie kann es sein, dass Photonen an vorher schwarze Stellen gelangen, wenn man einen der möglichen Wege versperrt?



### III. Polarisation

Licht wird in der Quantenphysik theoretisch durch elektromagnetische Wellen beschrieben, in der Messung setzen sich die Intensitäten entsprechend der statistischen Interpretation aus einer Vielzahl von Einzelereignissen zusammen.

Elektromagnetische Wellen sind Querwellen, sie können daher polarisiert werden: Die Schwingung findet dann in einer Richtung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung statt. Es gibt zwei unabhängige Polarisationsrichtungen: vertikal ( $0^\circ$  zur Senkrechten) und horizontal ( $90^\circ$  zur Senkrechten); (i.A. in einem willkürlich gewählten Koordinatensystem senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.) Andere Polarisationsrichtungen entstehen durch Überlagerung dieser beiden:

			
$ 0^\circ\rangle$	$ 90^\circ\rangle$	$ +45^\circ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}( 0^\circ\rangle +  90^\circ\rangle)$	$ -45^\circ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}( 0^\circ\rangle -  90^\circ\rangle)$

Dementsprechend kann man auch die ursprünglichen Polarisationsrichtungen als Überlagerung schreiben:

$$|0^\circ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|+45^\circ\rangle + |-45^\circ\rangle) \text{ und } |90^\circ\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|+45^\circ\rangle - |-45^\circ\rangle)$$

Die statistische Interpretation besagt nun, dass von einem vertikal polarisierten Strahl durch ein  $45^\circ$  gedrehtes Polarisationsfilter 50% der Photonen hindurchkommen, 50% reflektiert werden (wären eine Welle stets aufgeteilt würde. Die transmittierten Photonen sind dann in einem Zustand  $|+45^\circ\rangle$ , die reflektierten in Zustand  $|-45^\circ\rangle$ , es hat eine Messung verbunden mit einer Wechselwirkung stattgefunden.

#### Aufgabe 1

Finden Sie heraus, in welche Richtung der Laser polarisiert ist und experimentieren Sie mit verschiedenen Stellungen der beiden Polfilter (der erste hat einen Pfeil, der zweite ein Loch zur Markierung der Durchlassrichtung.)

#### Aufgabe 2

Wie müssen Sie die beiden Polfilter stellen, damit das letztlich transmittierte Licht in seiner Polarisationsrichtung um  $90^\circ$  gedreht ist?

#### Aufgabe 3 (falls genügend Zeit)

Vergleichen Sie mit einer normalen Lichtquelle (Experimentierleuchte)

#### Zur Diskussion

Klassisch würde man annehmen, dass die Messung den Zustand nicht beeinflusst und daher ein mit Photon im Zustand  $|+45^\circ\rangle$  immer schon in diesem Zustand war, also die Photonen aus  $|0^\circ\rangle$  zur Hälfte in  $|+45^\circ\rangle$ , zur anderen in  $|-45^\circ\rangle$ . Warum ist diese Annahme nicht haltbar? Ist die Polarisation eines Photons eine objektive, reale Eigenschaft des einzelnen Quants?