

Zusammenfassung

v401 - Michelson-Interferometer

Max Rademacher
max.rademacher@tu-dortmund.de

25.06.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

1 Ziel

Bestimmung der Wellenlänge eines Lasers und Brechungsindex der Luft

2 Theorie

2.1 Allgemeines

- Licht ist elektromagnetische Welle
 - elektrische und magnetische Feldstärke stehen senkrecht aufeinander
 - Ausbreitungsgeschwindigkeit $c = \lambda\nu$ mit Frequenz ν und Wellenlänge λ
 - für Optik nur elektrische Feldstärke relevant (hauptsächlich)
- $$\vec{E}(\vec{x}, t) = \vec{E}_0 \sin(\omega t - kx)$$
- mit $\omega = 2\pi\nu$: Kreisfrequenz, $k = \frac{1}{\lambda}$: Wellenzahl (in Theorie: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$)
- Licht hochfrequent \rightarrow nicht \vec{E} sondern nur Intensität $I \propto |\vec{E}|^2$ detektierbar
 - Interferenz bei Überlagerung zweier monochromatischer Wellen, Intensität abhängig von Phasenbeziehung $\Delta\varphi$
 - $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_{12})$
 - *konstruktive* Interferenz bei phasengleicher Überlagerung
 - *destruktive* Interferenz bei gegenphasiger Überlagerung
 - inkohärentes Licht: natürliche Lichtquellen, die durch spontane Emission unkorrelierte Wellenzüge aussenden mit statistisch verteilter Phasendifferenz
 - kohärentes Licht: monochromatisches Licht mit fester Phasenbeziehung (Laser)
 - spektrale Bandbreite
$$\Delta\nu \propto \frac{1}{\Delta l}$$
mit Δl : Länge des Wellenzuges ($\Delta\nu \Delta l = c$)
 - nur unendlich ausgedehnte Welle ist wirklich monochromatisch

2.2 Laser

- *Light amplification of simulated emission of radiation*
- *induzierte Emission*
 - induzierte Welle hat selbe Ausbreitungsrichtung und feste Phasenbeziehung zur induzierenden Welle
 - geringe spektrale Breite und große Kohärenzlänge (HeNe-Laser haben ca. 1000 km Kohärenzlänge)
- wird von Interferometern genutzt, um Längenänderungen oder Brechungsindizes präzise zu bestimmen

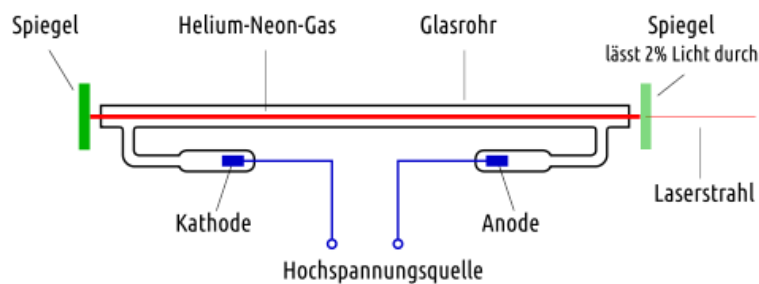


Abbildung 1: Laser - Aufbau

2.2.1 Bestandteile

- Glasrohr mit Medium
 - Durchmesser von 1 mm
 - Gas steht unter geringem Druck
 - Gemisch aus 80% Helium und 20% Neon (Neon ist das laseraktive Medium)
- Elektronenpumpe
 - Kathode und Anode an jeweils den Enden des Glasrohrs
 - Hochspannung wird an die Kathode und Anode angelegt
 - Elektronen werden an Kathode ausgelöst → stoßen auf dem Weg zur Anode mit Gasatomen zusammen → Ionisation → Auslösung von weiteren Elektronen → Stöße übertragen Energie, regen Helium-Atome an, diese regen Neon-Atome an

- Neon-Atom fällt aus angeregtem Zustand → stimulierte Emission eines Photons (Photon trifft auf Neon-Atom und wird stimuliert mit Wellenlänge $\lambda = 633 \text{ nm}$)
- Resonator
 - Photonen bewegen sich zufällig durch Glasrohr
 - bei senkrechtem Aufprall auf Spiegel → Photonen bewegen sich durch Gas und verstärken Licht
 - Spiegel haben im Optimalfall einen Abstand von $n\lambda/2$ → Bildung einer stehenden Welle

3 Photozelle

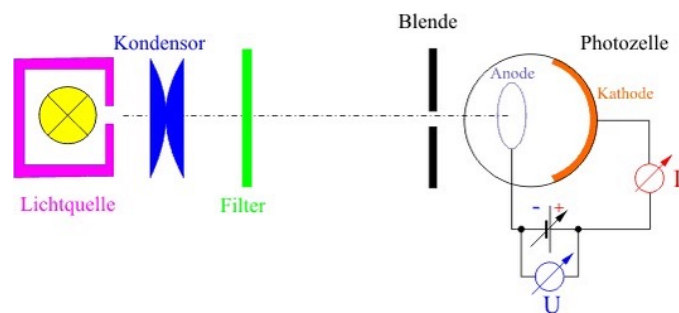


Abbildung 2: Photozelle

- Glaskolben mit großflächiger Kathode
- Anode vor Kathode, meist dünner Draht ring oder Netz, damit Licht auf dem Weg zur Kathode nicht geschwächt wird
- Beim Einfall in die Photozelle lösen die Photonen Elektronen aus der Kathode aus
- Elektronen wandern zur Anode und lösen elektrischen Impuls aus
- Signal näherungsweise proportional, schwach ($1 \mu\text{A} - 1 \text{ mA}$)
- Betriebsspannung zwischen $10 \text{ V} - 200 \text{ V}$
- Effekt kann mit Edelgas unter leichtem Druck in Glaskolben verstärkt werden

3.1 Schmidtrigger

- obere und untere Schaltwelle
- bei überschreiten der unteren Schaltschwelle durch elektrischen Puls wird eine „1“ gesetzt
- wird die Schaltschwelle unterschritten, wird eine „0“ gesetzt

4 Durchführung/Auswertung

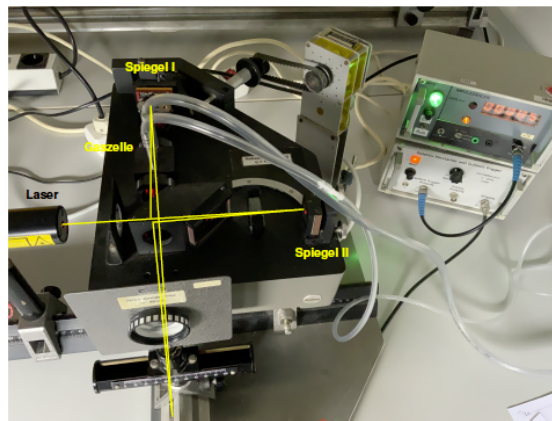


Abbildung 3: Versuchsaufbau

4.1 Interferometer

- Lichtbündel von Laser wird auf Teilerplatte geschickt → Aufteilung in zwei zueinander senkrechte Strahlen
- Strahlenbündel werden gespiegelt und parallel den Strahlen entgegengeschickt
- neue Strahlen werden zurück zur Teilerplatte geschickt und gebündelt → Interferenz bei Weglängenänderung
- Interferenz sichtbar als Interferenzmuster auf Schirm, wird von Photodiode detektiert
- Umwandlung durch Schmidtrigger (Unterabschnitt 3.1) in elektrischen Puls → verstärktes Signal wird von Zähler aufgenommen und gezählt
- Bei Strahlenteilung verlängert sich der Weg des transmittierten Strahls → Glasplatte wird zur Kompensation in Weg des reflektierten Strahls gesetzt
- Verschiebung eines Spiegels um $\lambda/2$ → Interferenzmaximum wird zu Minimum, oder Minimum wird zu Maximum

- Bei Verschiebung um d und Anzahl z der Maxima kann Wellenlänge berechnet werden

$$\lambda = \frac{2 \cdot d}{z}$$

- Gaszelle zwischen verschiebbarem Spiegel und Strahlteiler
- Mikrometerschraube mit Motor und Übersetzung

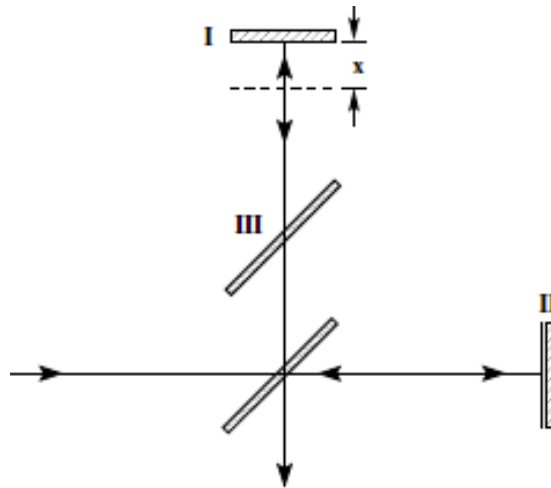


Abbildung 4: Interferometer

4.2 Wellenlänge

4.2.1 Durchführung

- Justieren der Apparatur
 - Laser
 - Spiegel
 - Linse
 - Überlagern der beiden hellsten Reflexe der Spiegel
- Berechnen der Wellenlänge
 - Zählen der Intensitätsmaxima bei einem Weg von 5 mm an der Mikrometerschraube (Durch Übersetzung ist der wirkliche Weg geringer)
 - wiederholen des Prozesses (9 weitere Male)
 - Berechnen der Wellenlänge, anschließende Mittlung der Ergebnisse

4.2.2 Auswertung

- Wellenlänge ergibt sich aus

$$\lambda = c_{trans} \cdot \frac{2 \cdot d}{z}$$

- $\bar{\lambda}_{\text{Laser}} \approx 700 \text{ nm}$, in Theorie $\lambda_{\text{theo}} = 633 \text{ nm}$
- relativ gute Bestimmungsmethode

4.3 Brechungsindex

4.3.1 Durchführung

- durch Luft erhält das Lichtbündel Phasenverschiebung \rightarrow Brechung(sindex)
- Aufnahme der Raumtemperatur T und des Umgebungsdrucks p_0
- Evakuierung der Gaszelle und Messen der Maxima während der Evakuierung

4.3.2 Auswertung

- Brechungsindex ergibt sich aus

$$n = 1 + \Delta n \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{\Delta p}$$

mit T_0 : Temperatur unter Normalbedingung (273,15 K), Δp : Druck innerhalb Gaszelle

•

$$\Delta n = \frac{z \cdot \lambda}{2 \cdot D}$$

mit D : Länge der Gaszelle, „2“, da Gaszelle zwei mal durchlaufen wird

- $\Rightarrow n \approx 1,00015$
- Methode relativ schlecht durchzuführen
- Pumpe ist defekt, es tritt wieder Luft beim Evakuieren ein
- Ergebnisse sind dennoch gut, da durch die geringe Temperaturdifferenz und dem kleinen Δn der Druckunterschied kaum Gewicht in der Berechnung hat