



Ringlaser

Inhalt

	Seite
A. Versuchsanleitung:	
1. Vorbemerkung	2
2. Versuchsbeschreibung	3
3. Aufgabenstellung	5
4. Versuchsdurchführung.....	5
B. Technische Hinweise:	
1. Versuchsaufbau (Blockschaltbild + Foto)	8
2. Geräteliste (Kurzbeschreibung)	10
3. Gerätebeschreibungen (siehe Ordner am Versuch)	
C. Literatur:	
1. Wissenschaftliche Arbeiten	11
2. Weiterführende Literatur	11

A. Versuchsanleitung

1. Vorwort zum Versuch

Seit 1851 wurden von zahlreichen Physikern Experimente zur Messung des Einflusses bewegter Medien auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes unternommen (Fizeau 1851, Michelson und Morley 1886, Zeeman 1914). Das Interesse an solchen Experimenten entstand im letzten Jahrhundert aus der Kontroverse um die verschiedenen Varianten der Theorie des Lichtäthers. Man nahm seinerzeit an, dass durch die Bewegung eines materiellen Körpers mit der Geschwindigkeit w der im absoluten Raum ruhende Äther und damit die Lichtwelle zu einem Bruchteil mitgeführt würde. Ein ruhender Beobachter sollte die Lichtgeschwindigkeit

$$v = c/n \pm \alpha \cdot w$$

messen. (c/n = Lichtgeschwindigkeit im ruhenden Medium). Für den Mitführungskoeffizienten α hat Fresnel aufgrund verschiedener Annahmen über das Verhalten des Äthers den Ausdruck $\alpha = 1 - 1/n^2$ hergeleitet. Für die im Labor erreichbaren Medium-Geschwindigkeiten w von etwa $10^2 - 10^3$ cm/sec ($c/n \approx 2 \cdot 10^{10}$ cm/sec) liegt die zu erwartende Geschwindigkeitsänderung in der Größenordnung von $10^{-7} - 10^{-8}$. Man sieht daran, welch grosses experimentelles Geschick zum Nachweis dieses Effektes mit den Hilfsmitteln der damaligen Zeit notwendig war.

Die Erklärung für den Mitführungseffekt ergibt sich heute zwanglos und ohne zusätzliche Annahmen aus dem relativistischen Gesetz über die Addition von Geschwindigkeiten :

$$v = \frac{c/n \pm w}{1 + \frac{c/n \cdot w}{c^2}}$$

Für den Fall $w \ll c$ kann man das vereinfachen zu

$$v = c/n \pm (1 - 1/n^2) \cdot w$$

Die relativistische Zusammensetzung von Geschwindigkeiten führt genau zu dem Ergebnis, das Fresnel mit einer teilweisen Mitführung des Lichtes erklären musste. Obwohl die ursprünglich gemeinte Bedeutung nicht mehr zutrifft, wird die Bezeichnung Mitführung für diesen rein relativistischen Effekt immer noch verwendet (englisch : Fresnel or light drag).

Nach der Entwicklung den Lasers sind erneut Experimente zur Bestimmung des Mitführungskoeffizienten aufgenommen worden. Der Grund dafür liegt darin, dass mit einer Ringlaser-Anordnung, wie sie auch hier benutzt wird, der Mitführungskoeffizient wesentlich genauer gemessen werden kann, als es in den historischen Experimenten möglich war. So lässt sich heute auch ein in obiger Ableitung unberücksichtigt gebliebener Term (Dispersions- oder Doppler-Term, s.Staatsarbeit A.Ippendorf), der nur etwa 1 % des Fresnels-Terms ausmacht, bestimmen.

2. Versuchsbeschreibung

Ein aus den drei Spiegeln (s.Versuchsaufbau) S_1 , S_2 und S_3 "ringförmig" aufgebauter Resonator mit dem Helium-Neon- Entladungsrohr in einem Arm bildet einen sogenannten Ringlaser. In einem solchen Resonator können sich voneinander unabhängige, rechts- und linksherumlaufende Wellen ausbilden (bei einem linearen Resonator existieren nur stehende Wellen). In einem zweiten Arm des Resonators befindet sich eine Quarzglasscheibe Q, die durch einen Motor in Rotation versetzt werden kann. Der Laserstrahl tritt unter einem Winkel θ_B (= Brewster-Winkel, zur Verringerung der Reflexionsverluste) zur Normalen der Quarzgrenzfläche ein, sodass in der Scheibe eine Geschwindigkeitskomponente w_r in bzw. gegen den r- bzw. l-Strahl vorhanden ist (Geometrie der Scheibe s. Staatsarbeit A. Ippendorf). Da der optische Weg bei ruhender Scheibe für beide Umlaufrichtungen derselbe ist, fallen die Frequenzen der r-Moden mit den Frequenzen der l- Moden zusammen. Bei rotierender Scheibe ändert sich die Lichtgeschwindigkeit innerhalb der Quarz-scheibe für den einen Umlaufsinn um $+ \alpha w_r$ und für den andern r um $- \alpha w_r$. Dies bedeutet eine Änderung des optischen Weges und damit der optischen Länge des Resonators. Die Frequenzen der Moden für den einen Umlaufsinn werden etwas erhöht, für den anderen etwas erniedrigt. Bei Überlagerung von r- und l-Strahl hinter dem Auskoppelspiegel S_3 (Transmission $< 0,1 \%$) erhält man auf der Photodiode P als Schwebungsfrequenz die Differenzfrequenz

zwischen r- und l-Moden. Das Signal von der Photodiode wird auf einem Digitalspeicher-Oszillographen sichtbar gemacht.

Zusammenhang zwischen gemessener Frequenz $\Delta \nu$ und Mitführungskoeffizient α (Herleitung s. Staatsarbeit A. Ippendorf) :

$$\alpha = \frac{L \cdot \lambda \cdot \Delta \nu}{2 \cdot n \cdot \omega \cdot d \cdot x_0}$$

L = optische Gesamtlänge des Resonators einschl. des optischen Weges in den Quarzscheiben und den Fenstern des Laser-Entladungsrohres = 214,9 cm

λ = Laserwellenlänge in Luft = $6,3282 \cdot 10^{-5}$ cm

n = Brechungsindex von Quarzglas = 1,457

d = Dicke der Quarzscheibe = 1,27 cm

ω = Drehfrequenz der Scheibe

x_0 = x-Koordinate des Auftreffpunktes auf der Scheibe

Die Drehfrequenz der Scheibe wird aus der mit Lichtschranke und Periodenzähler ermittelten Umlaufzeit bestimmt.

3. Aufgabenstellung

1. Man bestimme den Mitführungskoeffizienten durch Messung der Schwebungsfrequenz
 - a. bei Variation des Durchtrittpunktes x_0 für 3 - 4 feste Drehzahlen. Die Steigung der Schlittenspindel beträgt 1 mm/Umdrehung.
 - b. bei 3 - 4 fest eingestellten Werten von x_0 und Variation der Drehzahl.
2. Man vergleiche den experimentell gefundenen Wert mit dem aus dem Brechungsindex berechneten Wert

$$\alpha = 1 - 1/n^2 - \frac{\lambda \cdot \Delta n}{n \cdot \Delta \lambda}$$

$$\left. \begin{array}{l} n = 1,457 \\ \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} = -300 \text{cm}^{-1} \end{array} \right\} \text{für Quarzglas bei } 6328 \text{ \AA}$$

4. Versuchsdurchführung

1. Laser in Betrieb nehmen
 - Lasernetzgerät einschalten
 - Blende B öffnen
 - Auf maximale Intensität einstellen durch vorsichtiges Drehen des aus der Abdeckplatte herausstehenden Hebels am Spiegel S_3
 - Spiegel S_1 , so einstellen, dass der r-Strahl nach Reflexion an S_3 sich auf der Photodiode mit dem l-Strahl überlagert.
2. Erzeugen des Signals
 - Quarzscheibe rotieren lassen. Spannung am Motornetzgerät ca. 10 Volt
 - Oszilloskop einschalten. Durch drücken der Taste AUTOSSET muß nun ein Signal zu sehen sein.
 - Periodenzähler einschalten

- Computer einschalten
- Starten des Programms SP107 (HAMEG Programm für HM 1507 Oszilloskop) zur Datenaufnahme

3. Optimieren des Signals

- Funktion der Blende

Das auf dem Oszillographen zu beobachtende Signal zeigt einen irregulären Verlauf. Es enthält Anteile verschiedener Frequenzen. Durch langsames Schliessen der Blende B und Beobachten des Signals auf dem Oszillographen erreicht man eine Blendeneinstellung (kurz vor dem Ausgehen des Lasers), bei der ein ziemlich gleichförmiges, sinusförmiges Signal zu sehen ist. Dazu folgende Erläuterung In Bild 2 ist das Modenspektrum des Ringlasers gezeigt. Es wurde mit einem Fabry-Perot-Interferometer (Auflösungsvermögen $\approx 10^{-7}$) aufgenommen. Man erkennt innerhalb der Dopplerverbreiterten Ne-Linie von $\approx 1,5$ GHz Breite etwa 10 longitudinale Moden mit einem Modenabstand $c/l = 139,5$ MHz. Dieser Abstand ist nicht für alle benachbarten Moden derselbe, sondern er ändert sich wegen der Dispersion des Brechungsindex über die Neonlinie hinweg. Die Frequenz-abweichungen liegen je nach Abstand von der Linienmitte im Bereich von

1 KHz bis 100 KHz (in Bild 2 nicht zu erkennen). Die Überlagerung der Moden auf dem Photodetektor liefert ein Ausgangssignal, das alle möglichen Differenzfrequenzen (und deren Differenzen) zwischen den optischen Frequenzen enthält und die Ursache des fluktuierenden Signals sind. Durch Einengen des Laserstrahls mit der Blende B werden die Verluste im Resonator soweit erhöht, dass nur noch ein oder zwei im Maximum des Verstärkungsprofils liegende Moden schwingen können. Das Signal enthält dann nur noch die durch die Rotation der Quarzscheibe verursachte Differenzfrequenz. Gelegentliche Störungen sind durch Staubpartikel auf der Scheibe verursacht.

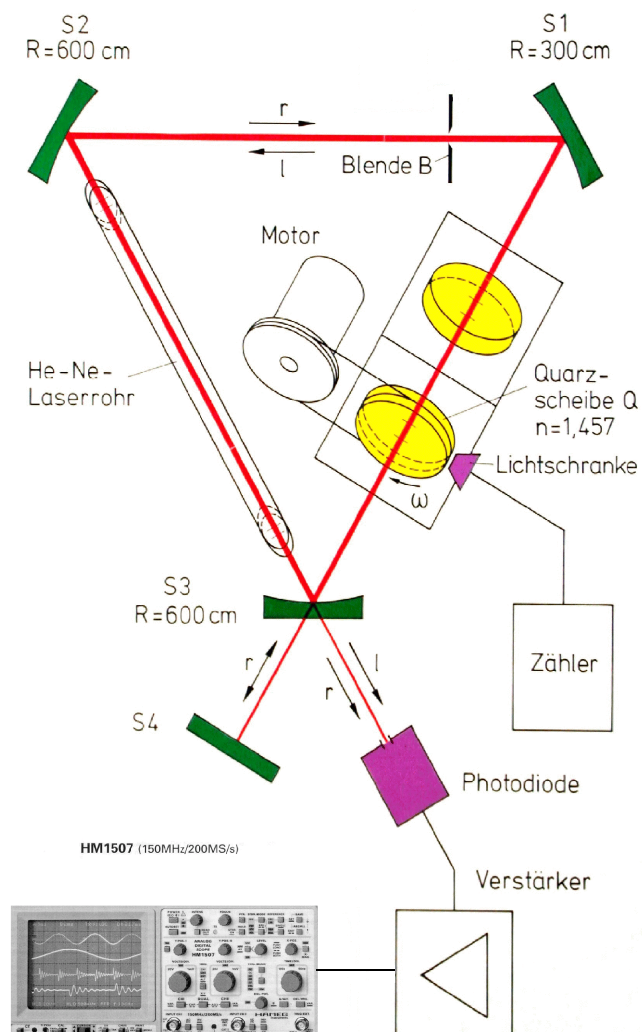
- Durch Feinjustierung des Spiegels S_4 kann an Hand des Oszillographenbildes die exakte Überlagerung von r- und l-Strahl überprüft werden. Das Netzgerät für Lichtschranke und Zähler wird eingeschaltet. Die Anzeige des Zählers gibt die Zeit für einen vollen Umlauf der Quarzscheibe in $\mu\text{sec.}$ an (Zeitbereich etwa 17 - 100 msec, entsprechende Drehfrequenzen 60 - 10 Hz). Am Oszilloskop erhält man bei Betätigung der "HOLD" -Taste ein stehendes Oszillographenbild. Durch wiederholtes Drücken der Taste kann man ein Signal aussuchen, das zur Frequenzbestimmung geeignet ist.

Möglichst gleichzeitig dazu ist am Lichtschrankenzähler die Umlaufdauer abzulesen. Auf dem Oszillographenbild wird die Anzahl der Perioden bestimmt. Bei etwas Übung lässt sich das auf fast 1/10 Periode genau machen. Dabei ist nur bis zu der sichtbaren Unterbrechung (oder dem Sprung) des Signals etwa 1 cm vor dem Ende des Bildes auszuwerten. Diese Länge entspricht bei Stellung 0,1 ms/div einer Zeitdifferenz von 1 msec. Bei niederen Frequenzen ist es günstiger den Zeitschalter auf 0,2 oder 0,5 msec/div zu stellen, um genügend Perioden zur Auszählung zu haben. Die entsprechenden Zeitintervalle sind dann 2 msec bzw. 5 msec.

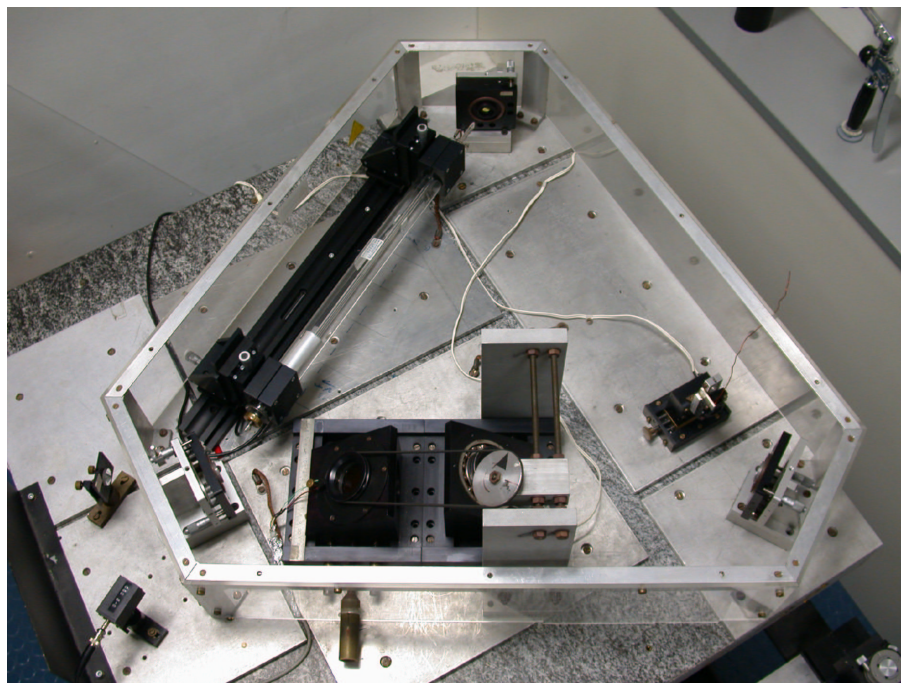
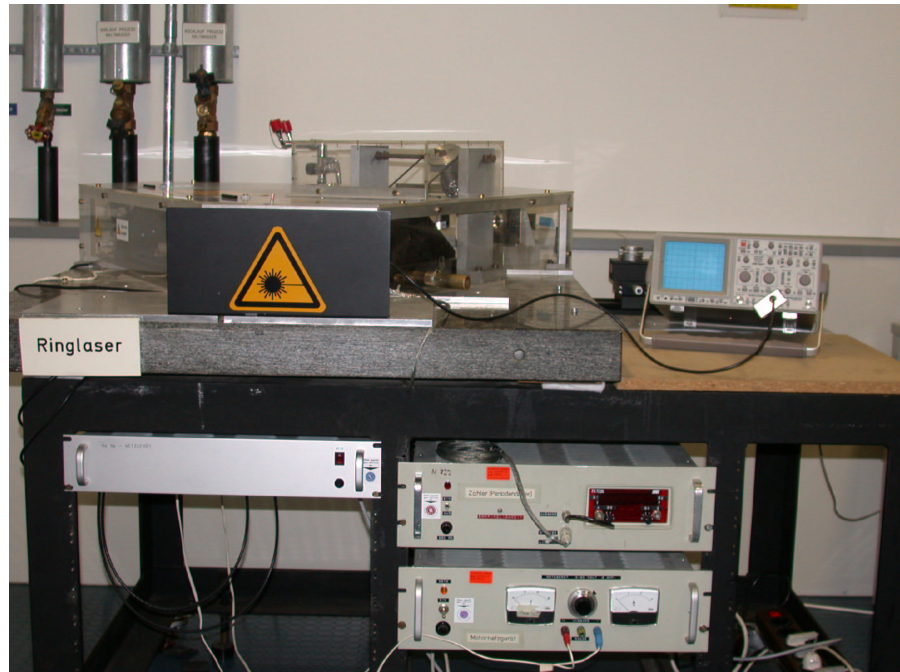
B. Technische Hinweise

1. Versuchsaufbau (Blockschaltbild)

He-Ne-RINGLASER $\lambda = 6328,2 \text{ \AA}$



2. Versuchsaufbau (Bild)



3. Geräteliste

1. He-Ne Laserrohr "Open Cavity" 15mW
2. He-Ne Netzgerät
3. Photodiode
4. Infrarotlichtschranke
5. Periodenzähler (Eigenbau)
6. Netzgerät für Motor zum Antrieb der Quarzscheibe (Eigenbau)
7. Oszilloskop Hameg 1507
8. Computer mit Drucker

C. Literatur

1. Wissenschaftliche Arbeiten

1. Staatsexamensarbeit von A. Ippendorf: *Messung des Mitführungskoeffizienten von Licht mit einem Ringlaser*, (Auszug), Freiburg 1979
2. Buchwald: *Hundert Jahre Mitführungsversuch*, die Naturwissenschaften 38, 519 (1951)
3. Bilger,Zavodny: *Fresnel drag in a ring laser*, Phys.Rev.A5, 591 (1972)
4. Bilger,Stowell: *Light drag in a ring laser*, Phys.Rev.A16,313 (1977)

2. Weiterführende Literatur

1. French: *Die spezielle Relativitätstheorie*
2. Sexl, Schmidt : *Raum, Zeit, Relativität*
3. Weber, Herziger: *Laser - Grundlagen u.Anwendungen*
4. Tradowski : *Laser*